

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADİYAMAN BÖLGESİNE AİT TURBANIN
BOYA GİDERİMİNDE KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Salih BEKDAŞ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Musa SARIKAYA

OCAK 2022

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADİYAMAN BÖLGESİNE AİT TURBANIN
BOYA GİDERİMİNDE KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Salih BEKDAŞ
(Y36183616031)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Musa SARIKAYA

OCAK 2022

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her evresinde bilgi, tecrübe, yardım, öneri ve desteklerini esirgemeyen, bana her konuda yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Musa SARIKAYA'ya,

İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'ne (İBTAM),

Yüksek lisans tezimin ilk anından son anına kadar yanımda olan desteklerini eksik etmeyen Dr. Ayşegül YÜCEL'e ve Dr. Selda SEZER'e,

Hiçbir zaman benden yardımlarını esirgemeyen, sıkıntılı ve zor anlarımda her daim desteklerini hissettiğim pek değerli arkadaşlarım; Müh. Berfin KARAKAŞ'a ve Psk. Dan. Âlânur YEŞİLYURT'a,

Benim bugüne gelmemde büyük emeği olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili dedem Bedii, annem Melek, babam Burhan, kardeşlerim Maria, Ziya, Malik ve Rim'e

teşekkürü borç bilirim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “**Adıyaman Bölgesine Ait Turbanın Boya Gideriminde Kullanılması**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel etik, kural ve geleneklere ters düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ayrıca faydalandığım tüm kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun olarak gösterilenlerden ibaret olduğunu belirterek bunu onurumla doğrularım.

Salih BEKDAŞ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Turbalaşma.....	5
2.1.1. Turbanın Kullanım Alanları.....	7
2.2. Kömürleşme	7
2.3. Kömürün Sınıflandırılması	8
2.4. Adsorpsiyon	10
2.5. Adsorpsiyon İzotermi	15
2.5.1. Langmuir İzotermi.....	16
2.5.2. Freundlich İzotermi	17
2.5.3. Adsorpsiyon Kinetiği.....	19
2.6. Turba ile İlgili Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları	21
2.7. Boyar Maddeler	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	25
3.1. Materyal	25
3.2. Yöntem.....	27
3.2.1. Deneyin Yapılışı.....	27
3.2.2. UV ve Görünür Bölge Adsorpsiyon Spektrofotometreleri	29
3.2.3. XRD Analizi.....	30
3.2.4. SEM Analizi	32
3.2.5. FT-IR Analizi	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	34
4.1. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu	34

4.1.1. Malahit Yeşili Adsorpsiyonunun Sıcaklığa ve Zamana Bağlı Değişimi ..	34
4.1.2. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu XRD Analiz Sonuçları	36
4.1.3. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu SEM Analiz Sonuçları.....	37
4.1.4. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu FT-IR Analiz Sonuçları.....	38
4.1.5 Malahit Yeşili Adsorpsiyon İzoterm ve Kinetik Model Sonuçları.....	39
4.2. Metilen Mavisi Adsorpsiyonu.....	42
4.2.1. Metilen Mavisi Adsorpsiyonunun Sıcaklığa ve Zamana Bağlı Değişimi.	42
4.2.2. Metilen Mavisi Adsorpsiyonu XRD Analiz Sonuçları.....	44
4.2.3. Metilen Mavisi Adsorpsiyonu SEM Analiz Sonuçları	45
4.2.4. Metilen Mavisi Adsorpsiyonu FT-IR Analiz Sonuçları	46
4.2.5. Metilen Mavisi Adsorpsiyon İzoterm ve Kinetik Model Sonuçları	46
4.3. Kristal Violet Adsorpsiyonu	50
4.3.1. Kristal Violet Adsorpsiyon İzoterm ve Kinetik Model Sonuçları.....	50
4.3.2. Kristal Violet Adsorpsiyonu XRD Analiz Sonuçları	52
4.3.3. Kristal Violet Adsorpsiyonu SEM Analiz Sonuçları.....	53
4.3.4. Kristal Violet Adsorpsiyonu FT-IR Analiz Sonuçları	54
4.3.5. Kristal Violet Adsorpsiyonu İzoterm ve Kinetik Sonuçları.....	55
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	59
EKLER	61
KAYNAKÇA	68
ÖZGEÇMİŞ	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Uluslararası genel kömür sınıflandırması.....	8
Çizelge 2.2 Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması.....	11
Çizelge 2.3 R Değerlerinin değerlendirilmesi.....	17
Çizelge 3.1 Turbanın elementel analiz sonuçları.....	27
Çizelge 4.1 Malahit yeşili adsorpsiyonunun zamana bağlı verimliliği.....	35
Çizelge 4.2 Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonunun izoterm parametreleri.....	39
Çizelge 4.3 Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonunun kinetik parametreleri.....	41
Çizelge 4.4 Metilen mavisi adsorpsiyonunun zamana bağlı verimliliği.....	43
Çizelge 4.5 Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonunun izoterm parametreleri.....	47
Çizelge 4.6 Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonunun kinetik parametreleri.....	49
Çizelge 4.7 Kristal violet adsorpsiyonunun zamana bağlı verimliliği.....	51
Çizelge 4.8 Turbanın kristal violet boyası adsorpsiyonunun izoterm parametreleri.	56
Çizelge 4.9 Turbanın kristal violet boyası adsorpsiyonunun kinetik parametresi....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Kömürleşme süreci.....	4
Şekil 2.2 Turba oluşumu.....	5
Şekil 2.3 Sıcaklık ve basınç altında kömürleşme süreci.....	7
Şekil 2.4 Kömürün yapısında bulunan örnek gözenek dağılımı.....	9
Şekil 2.5 Adsorpsiyon olayının şematik görünümü.....	10
Şekil 2.6 Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun birlikte gösterimi	12
Şekil 2.7 Malahit yeşili ve kimyasal yapısı.....	22
Şekil 2.8 Kristal violet ve kimyasal yapısı.....	23
Şekil 2.9 Metilen mavisi ve kimyasal yapısı.....	24
Şekil 3.1 Adıyaman ili maden haritası.....	26
Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan turba numunesi.....	28
Şekil 3.3 Hazırlanan çözelti, 0,45 µm gözenek çaplı filtre, boya konsantrasyonunun ölçümleri yapmak için alınan örenkler.....	28
Şekil 3.4 Spektrofotometre dalga boyları.....	29
Şekil 3.5 Agilant marka Cary 60 model UV-Vis spektrofotometre cihazı.....	30
Şekil 3.6 XRD analiz cihazı.....	31
Şekil 3.7 SEM analiz cihazı.....	32
Şekil 3.8 FT-IR analiz cihazı.....	33
Şekil 4.1 Malahit yeşili adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi.....	34
Şekil 4.2 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve malahit yeşili boya giderimi sonrası XRD desenleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası).....	36
Şekil 4.3 Malahit yeşili adsorpsiyon öncesi ve sonrası turba örneklerin SEM görüntüleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası).....	37
Şekil 4.4 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve malahit yeşili boya giderimi sonrası FT-IR spekturumu (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası).....	38
Şekil 4.5 Malahit yeşili adsorpsiyonu izotermi a) Langmuir b) Freundlich.....	39

Şekil 4.6 Malahit yeşili adsorpsiyon kinetiği a) Yalancı Birinci Dereceden b) Yalancı İkinci Dereceden.....	40
Şekil 4.7 Metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi....	42
Şekil 4.8 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve metilen mavisi boya giderimi sonrası XRD desenleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası).....	44
Şekil 4.9 Metilen mavisi adsorpsiyon öncesi ve sonrası turba örneklerin SEM görüntüleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası).....	45
Şekil 4.10 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve metilen mavisi boya giderimi sonrası FT-IR spekturumu (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası).....	46
Şekil 4.11 Metilen mavisi boyasının adsorpsiyon izotermi a) Langmuir b) Freundlich.....	47
Şekil 4.12 Metilen mavisi adsorpsiyon kinetiği a) Yalancı Birinci Dereceden b) Yalancı İkinci Dereceden.....	48
Şekil 4.13 Kristal violet adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi.....	50
Şekil 4.14 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve kristal violet boya giderimi sonrası XRD desenleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası).....	52
Şekil 4.15 Kristal violet adsorpsiyon öncesi ve sonrası turba örneklerin SEM görüntüleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası.....	53
Şekil 4.16 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve kristal violet boya giderimi sonrası FT-IR spekturumu (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası).....	54
Şekil 4.17 Kristal violet boyasının adsorpsiyon izotermi a) Langmuir b) Freundlich	55
Şekil 4.18 Kristal violet boyası adsorpsiyon kinetiği a) Yalancı Birinci Dereceden b) Yalancı İkinci Dereceden.....	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

İBTAM	İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi
ppm	Milyonda bir
CO ₂	Karbondiyoksit
cal	Kalori
mg	Milligram
L	Litre
°C	Celsius
Cu ⁺²	Bakır II Nitrat
nm	Nanometre
µm	Mikrometre
XRD	X-ışını difraktometrisi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
FT – IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopis

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ADİYAMAN BÖLGESİNE AİT TURBANIN BOYA GİDERİMİNDE KULLANILMASI

Salih BEKDAŞ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

74+xii sayfa

2021

Danışman: Prof. Dr. Musa SARIKAYA

Artan nüfus ve buna bağlı olarak artan talebe karşı gelişen teknoloji ve ihtiyaçlar zaman içerisinde farklı sektörlerde çevresel kirliliği de beraberinde arttırmıştır. Çevresel kirliliklerin ilk sırasında boya içeren atık sular gelmektedir. Bu nedenle sulu ortamlardan boya giderimi hâlâ bilim insanları arasında çözüm aranılan konulardan biri olmaktadır. En yaygın kullanılan yöntem adsorpsiyondur. Bu yöntemde en önemli rolü adsorban oynamaktadır. Adsorbanın ucuz, kolay bulunabilir ve en önemlisi de doğa dostu olması gerekmektedir. Bu nedenle tez kapsamında malahit yeşili, kristal violet ve metilen mavisi boyalarının gideriminde Adıyaman bölgesinden alınan turba kullanılmıştır. Tez çalışmasında adsorban madde olarak kullanılan turba miktarı ve boya derişimleri sabit tutularak boya gideriminde sıcaklık ve zaman parametreleri arasındaki ilişki aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Turbanın adsorban olarak kullanıldığı malahit yeşili boyasının adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uygun olup adsorpsiyon kapasitesi 6,901 mg/g olarak

hesaplanmıştır. Yapılan analizler, R_L ve n değerleri ışığında gerçekleşen adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olduğu söylenebilir.

Metilen mavisi adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uygun olduğu ve adsorpsiyon kapasitesinin 363,726 mg/g olduğu görülmüştür. Yapılan analizler, R_L ve n değerlerine bakıldığında gerçekleşen adsorpsiyonun kimyasal adsorpsiyon olduğu söylenebilir.

Kristal violet boyasının adsorpsiyonun Langmuir izotermine uygun olduğu görülmüş olup adsorpsiyon kapasitesi 13,221 mg/g olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizler, R_L ve n değerleri göz önüne alındığında gerçekleşen adsorpsiyonun hem kimyasal hem de fiziksel olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Turba, Boya Giderimi, Adsorpsiyon, Malahit Yeşili, Kristal Violet, Metilen Mavisi

ABSTRACT

MSc. Thesis

USING OF PEAT FROM ADIYAMAN REGION FOR DYE REMOVAL

Salih BEKDAŞ

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mining Engineering

74+xii pages

2021

Supervisor: Prof. Dr. Musa SARIKAYA

The developing technology and needs for the increasing population and accordingly the increasing demand have increased environmental pollution in different sectors over time. Wastewater containing dyes comes first among environmental pollution. For this reason, dye removal from aqueous media is still one of the issues that are sought for solutions among scientists. The most widely used method is adsorption and in this method adsorbent plays an important role. The absorber should be cheap, easily available, durable and most importantly, environmentally friendly. Therefore, within the scope of the thesis peat from Adiyaman region was used for the removal malachite green, crystal violet and methylene blue dyes . In the study, the amount of peat to be used as adsorbent and dye concentrations were kept constant and the relationship between temperature and time parameters for dye removal was tried to be clarified.

The adsorption of malachite green dye, in which peat was used as an adsorbent, was in accordance with the Langmuir isotherm model and the adsorption capacity was calculated

as 6,901 mg/g. In the light of the analyzes, R_L and n values it can be said that the realized adsorption is physical adsorption.

It was observed that the adsorption of methylene blue was in accordance with the Freundlich isotherm and the adsorption capacity was found as 363,726 mg/g. When the analyzes, R_L and n values are examined it can be said that the adsorption is chemical adsorption.

In the adsorption of the crystal violet it was observed that adsorption of dye was suitable for the Langmuir isotherm and the adsorption capacity was calculated as 13,221 mg/g. Considering the analyses, R_L and n values, it can be said that the adsorption occurred is both chemical and physical.

Keywords: Peat, Dye Removal, Adsorption, Malachite Green, Crystal Violet, Methylene Blue

1. GİRİŞ

Boya ve pigmentlerin kullanıldığı tekstil, deri, kâğıt üretimi, plastik ve kozmetik gibi endüstrilerin meydana getirdiği çevresel sorunlar gittikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak bu sektörlerin meydana getirmiş olduğu büyük miktarda askıda katı içeren oldukça kirli, renkli atık suların miktarı da artmaktadır. Bu atık suların boya gideriminin yapılması için önerilen yöntemler arasında; uygulama kolaylığı ve adsorban maliyetinin düşük olması gibi avantajlara sahip olan adsorpsiyon ön plana çıkmakta ve bilim insanları tarafından çalışılmaya devam etmektedir. Diğer boya giderim yöntemleri ise membran, çöktürme, iyon değişimi ve elektrokimyasal yöntemlerdir.

Günümüzde kullanılan düşük maliyetli ve biyokütle olarak sınıflandırılan bazı adsorban malzemeler çeşitli meyve kabukları ve çekirdekleri (kayısı çekirdeği, zeytin çekirdeği, ceviz/findık kabuğu vs.), talaş, pirinç kabuğu, linyit, uçucu kül, killeri, farklı endüstrilerin atıkları (yanmış pirina, kırmızı çamur vs.) ve turba bunlardan biridir.

Depci ve diğ. (2011) Kütahya – Tunçbilek bölgesine ait linyitten kimyasal aktivasyon ile elde ettikleri aktif karbonu Rhodamine – B boya gideriminde kullanmışlardır. BET yüzey alanı $902\text{m}^2/\text{g}$ olan linyitten elde edilen aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesinin $(1.80-2.55)\times 10^{-4}\text{ mol/g}$ olduğunu olduğu sonucuna varmışlardır.

Aydogmus ve diğ. (2016) yaptıkların çalışmada Van – Zilan bölgesine ait kömürü mikrodalga ön işlemine maruz bıraktıktan sonra kömürün yüzdürülebilirlik özelliklerini incelerken aynı zamanda flotasyon sonrası aktif karbon üretmişlerdir. Elde ettikleri aktif karbonun yüzey alanı $696\text{ m}^2/\text{g}$ olarak bildirmişler ve kristal violet boyasının gideriminde kullanmışlardır. Sıcaklığın artması ile boya gideriminde adsorpsiyon kapasitesinin arttığını ve bu nedenle potansiyel bir ürün olabileceğini belirtmişlerdir.

Depci ve diğ. (2016) Gölbaşı linyitlerinden elde ettikleri aktif karbon ile kristal violet boyasının giderimi üzerinde çalışmışlardır. Yapılan simülasyon modellemesinde moleküllerin aktif karbon yüzeyinde serbestçe, çatlaklar boyu ilerleyerek yüzeye tutunduğunu göstermiştir. Yapılan deneysel çalışma da simülasyonu destekler sonuçlar vermiştir.

Rashid ve diğ., (2018) FeCl_3 kimyasal aktivasyon ve karbonizasyon yöntemi ile hindistan cevizi yaprağından aktif karbon elde etmişlerdir. Bu aktif karbon ile metilen mavisi boyasının giderimini incelemişlerdir. Adsorpsiyon çalışmalarında adsorban miktarının, pH değerinin, çözelti konsantrasyonunun ve temas süresinin artırılmasıyla adsorpsiyon kapasitesinin de arttığı belirlenmiştir. 30°C 'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 66 mg/g olarak tespit etmişlerdir.

Geçgel ve diğ., (2013) bezelye kabuğunu kimyasal aktivasyon yöntemine (ZnCl_2) ve karbonizasyon yöntemine tabi tutarak aktif karbon üretmişlerdir. Üretilen aktif karbon metilen mavisi boyasının gideriminde kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklarda (25°C , 35°C , 45°C ve 55°C) 200 dakika boyunca karıştırılan boya çözelti ortamından adsorban ayrıldıktan sonra spektrofotometrik yöntemi ile çözeltilde kalan boya konsantrasyonları tespit edilmiştir. Sıcaklık arttıkça boya gideriminin de arttığı de görülmüştür. Ayrıca maksimum adsorpsiyon kapasitesinin 25°C 'de 246,91 mg/g olduğunu belirtmişlerdir.

Benadjemia ve diğ., (2011) aktif karbon üretmek amacıyla kullandıkları enginar yapraklarına H_3PO_4 ile kimyasal aktivasyon uyguladıktan sonra karbonizasyon yapmışlardır. Daha sonra metilen mavisi boyasının gideriminde kullanmışlardır. Metilen mavisi boyasının mikrogözeneklere penetrasyonunun da kolay olduğunu belirtmişlerdir. Adsorpsiyon sürecinde bazik pH değerlerinde metilen mavisi boyasının (katyonik boya) ile karbon arasındaki elektrostatik etkileşimin artmasıyla adsorpsiyon veriminin de arttığını belirtmişlerdir.

Sharma (2010), pirinç kabuğundan kimyasal aktivasyon (ZnCl_2) ve karbonizasyon yöntemi ile aktif karbon üretmiş ve metilen mavisi boyasının gideriminde kullanmışlardır. Aktif karbonun gözenek yapısının mezo ve mikro gözenekli yapıda olduğunu belirtmiş ve metilen mavisi boyasının gideriminde maksimum adsorpsiyon kapasitesinin 9,83 mg/g olduğunu tespit etmişlerdir.

Stavropoulos ve Zabaniotou (2005) zeytin çekirdeğini KOH ile kimyasal aktivasyona ve 800°C - 900°C arasında karbonizasyon sıcaklığı ile aktif karbon üretmişlerdir. Yüksek yanma düzeylerinde mezo gözeneklilik gözlemlenirken; düşük yanma düzeyinde mikro gözenek dağılımı gözlemlenmiştir. Metilen mavisi boyasının adsorpsiyonunda maksimum adsorpsiyon kapasitesini 263 mg/g olarak hesaplamışlardır.

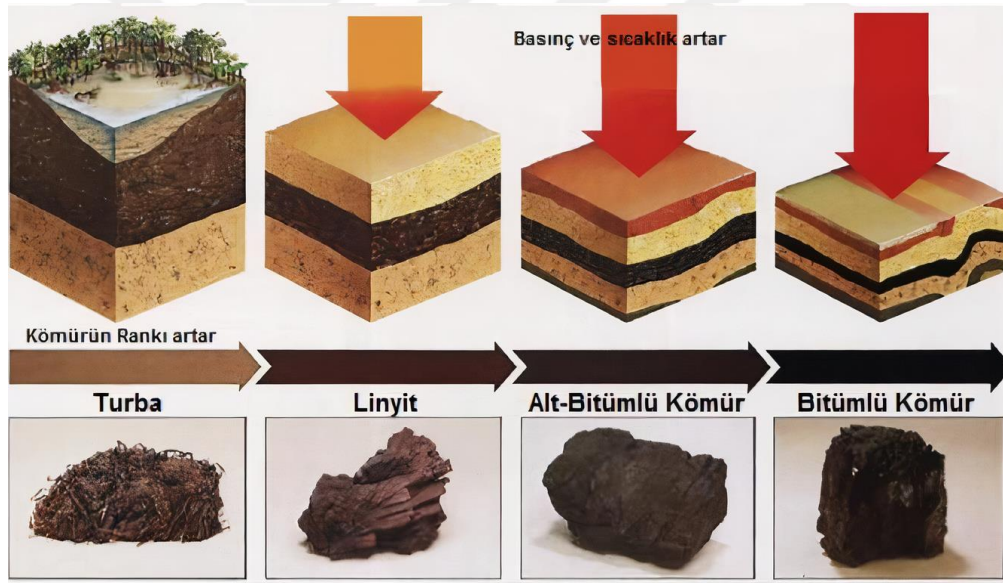
Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında Adıyaman bölgesinden getirilen turbanın hiçbir ön işlem görmeksizin boya gideriminde adsorban olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Turbanın genel karakterizasyonu XRD, SEM, FT – IR analizleri ile yapılmıştır. Aday adsorban malzeme olarak kullanılacak turbanın malahit yeşili, kristal violet ve metilen mavisi boya ile başlangıç boya derişimleri (100 ppm) sabit tutularak sıcaklığa (25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C) ve zamana (0 dak, 1 dak, 3 dak, 5 dak, 10 dak, 15 dak, 30 dak, 45 dak, 60 dak, 90 dak, 120 dak, 150 dak ve 180 dak) bağı adsorpsiyon mekanizmaları incelenmiştir. Çalışmada elde edilen veriler adsorpsiyon dengesinin modellenmesinde Langmuir ve Freundlich modelleri, adsorpsiyon kinetiğinde ise yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri adsorpsiyon mekanizmasının açıklamalarında kullanılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Çeşitli jeolojik evreler boyunca kömür; organik ve inorganik bileşikleri yapısında bulundurmış olup basınç, ısı ve mikrobiyolojik etkiler sonucunda oluşmuş, heterojen özelliğe sahip bir kayadır (Rice, 1993; Riley, 2007; Hüyükpınar, 2010).

Kömür, kayaç tabakaları arasında damar şeklinde bulunmakta, içerisinde başlıca karbon, hidrojen, kükürt, azot ve oksijen elementlerini barındırmaktadır (Karta, 2016).

Organik ve inorganik maddeler zamanla çökeller oluşturup (Şekil 2.1), bu çökellerin taşlaşması sonucu kömürleşme olmaktadır. Söz konusu olay iki aşama olarak değerlendirilebilir. İlki maddelerin turbaya dönüşmesi yani turbalaşma, diğeri ise turbanın linyitten antrasite dönüşmesi yani kömürleşme olayıdır (Ünalın, 2010; Korkmaz, 2017).



Şekil 2.1 Kömürleşme süreci (Esen, 2021)

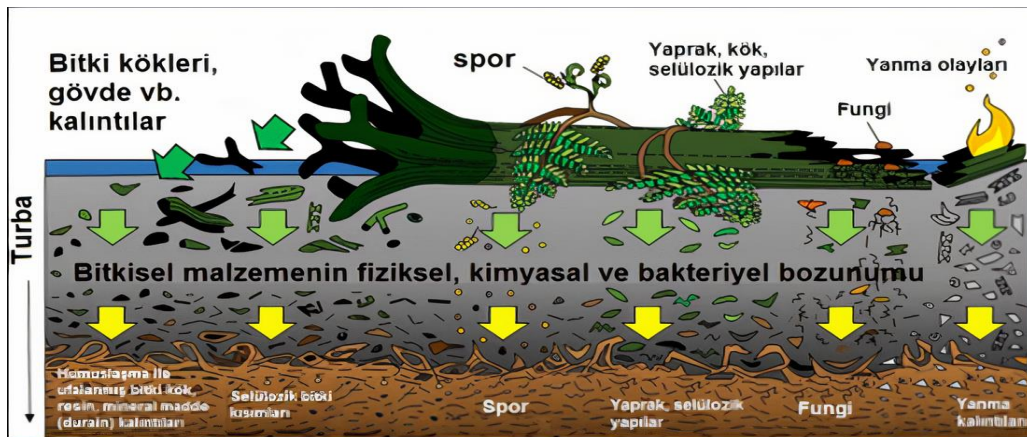
2.1. Turbalaşma

Çökelen organik maddelerin bakteri faaliyetleri ile oksitlenme, hidroliz ve indirgenme süreçleriyle bio-kimyasal değişimle turba oluşmaktadır. Organik maddelerin meydana getirdiği hümitik asitlerin, asidik özelliklerini kaybetmesi ile hüminler oluşmaktadır. Bozunmaya devam eden maddeler ve hüminin bir arada bulunmasına turba denilmektedir (Kural, 1991; Korkmaz, 2017).

Turbalaşma genellikle bataklık kenarlarında görülmektedir. Bataklıktaki su seviyesi oldukça önemlidir. Su seviyesi düşük olduğunda aşırı oksitlenme nedeniyle turba oluşmayacaktır. Su seviyesi yüksek olduğunda ise kömür dışı sedimanterler ve organik çamur oluşacaktır (Kural, 1991; Korkmaz, 2017). Şekil 2.2’de turbanın oluşumu verilmiştir. Turba, toprağı nemli ve bol yağış alan, yaz sıcaklarının düşük seyrettiği bölgelerde, bataklık vb. su altındaki arazilerde yetişen bitkilerin, hava ile ilişkisi olmayan su altındaki ortamlarda uzun yıllar çürüyüp birikmesiyle meydana getirdiği kalın yataklar sonucu oluşan lifli yapıdaki organik toprak türü, toprak düzenleyicisidir (Hinwood ve diğ., 2005; Rydelek, 2006; Karta, 2016).

Kahverengi, sarı ve siyah renkte olan turbaların sertliği düşük seviyededir. Turbalarda odunumsu yapıyı görmek mümkündür.

Türkiye’de, Adıyaman- Çelikhane, Kayseri, Hakkâri- Yüksekova, Antalya- Kaş, Afyon- Çay, Denizli- Buldan, Bursa- Orhangazi, Bolu- Gerede, İstanbul- Silivri bölgelerinde turba yatakları bulunmaktadır. Fakat, bazı yataklarda bulunan turbaların ısı değeri düşük ve kül oranları yüksektir (Kemal ve Arslan, 2014; Aksoy, 1988).



Şekil 2.2 Turba oluşumu (Dai ve diğ., 2020; Esen, 2021)

Dünya yüzeyinin %3'ünden fazlasını turba kaplamaktadır. Türkiye'de ise turba görünür rezervinin 200 milyon ton olabileceği ön görülmektedir. Polonya ve Almanya gibi karasal özelliklere sahip olan ülkelerde turba oluşum durumu topoğrafya tarafından etkilenmiştir.

Yunanistan Philippi Plain içinde, ABD'de, Joaquin'de ve Florida'da çukur alanlarda suyun birikmesi ile turba oluşmuştur.

Turbaların önemli bazı nitelikleri şöyle sıralanır:

- Sulandırılmış alkalide işlem gördüğünde lif ve dal parçaları kalmaktadır.
- El ile sıkılması halinde su kaybetmektedir.
- Serbest selüloz içermektedir.
- Turbada çıplak gözle ayrışmamış ve şekilleri bozulmamış bitki artıklarının görülmesi mümkündür.
- Turba, mineral ve organik yönden toprağı zenginleştirir. Bitki köklerin daha iyi şekilde hava almasını sağlar. Bu sayede turba kullanılan yerlerde bitki gelişim seviyesi artmaktadır.
- Turba, bitki yetiştirme alanının bir parçasıdır. Üstün çimlendirme ve köklendirme özelliğine sahiptir. Her türlü bitkiyi yetiştirmeye oldukça elverişlidir.

Kavuşan'a (2014) göre turbanın sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.

- Botanik bileşimlerine göre: Saz kamış turbalığı, ağaç turbalığı, yosun turbalığı.
- Ayrışma derecesine göre: Az ayrışmış turbalık, orta derecede ayrışmış turbalık, çok ayrışmış turbalık.
- Trofik durumlarına göre: Oligortrofik, mesotrofik, ötrofik.
- Topografik konumlarına göre: Alçak, yüksek.
- Su kütlesi ile ilişkilerine göre: Alçak, yüksek.
- Jeolojik ilişkilerine göre: Otokton, allokton.

2.1.1. Turbanın Kullanım Alanları

- Golf alanlarında, çevre düzenleme işlerinde, futbol sahalarında, park-bahçe vb. yerlerin kurulması için kullanılabilir.
- Çimlendirme, seracılık, çiçek üretimi, bahçe düzenlemeleri, kültür mantarı üreticiliği ve fidencilik için kullanılabilir.
- pH'ı nötr veya alkali topraklarda toprağın su tutma miktarını fazlaştırmak için kullanılabilir.

2.2. Kömürleşme

Organik kökenli maddelerin türleri, çürümesi, depolanması ve jeolojik hareketler gibi birçok parametreden etkilenecek kömür türleri oluşmaktadır (Miller ve Tillman, 2008). Bitki gibi organik maddelerden kömür oluşabilmesi için hava ile ya hiç temas etmemeli ya da çok az temas etmelidir. Hava ile temas etmesi durumunda parçalanma gerçekleşerek H₂O ve CO₂ ayrışması olacaktır (Kemal ve Arslan, 2010).

Kömürleşmenin jeokimyasal sürecinde (Şekil 2.3) sıcaklığın ve basıncın artması ile birlikte kahverengi kömür diye adlandırılan linyitten sert kömür olan antrasite dönüşüm başlayacaktır. Bu süreçte nem miktarı azalırken karbon miktarı artmaktadır. Örneğin; kurum mineral maddesiz bazda, otsu bitkilerde ve odunda %50 civarında bulunan karbon; turbada %60'a, linyitte %70'e, yarı bitümlü kömürde %75'e, bitümlü kömürde %80-90'a ve antrasitte ise %90'ın üzerine çıkmaktadır (Miller ve Tillman, 2008; Korkmaz, 2017).



Şekil 2.3 Sıcaklık ve basınç altında kömürleşme süreci

2.3. Kömürün Sınıflandırılması

Kömür; ısı değeri, karbon miktarı, nem, hidrojen, uçucu madde, ve koklaşabilme gibi özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından desteklenerek 1957 yılında çeşitli ülkelerin katıldığı Uluslararası Kömür Kurulu tarafından genel bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu genel sınıflandırma Çizelge 2.1’de verilmiştir. Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi temel haliyle kömür; sert (taşkömürü) ve kahverengi (linyit) olarak iki sınıfta ele alınmıştır (Taşdemir, 2007).

Çizelge 2.1 Uluslararası genel kömür sınıflandırması (Karta, 2016)

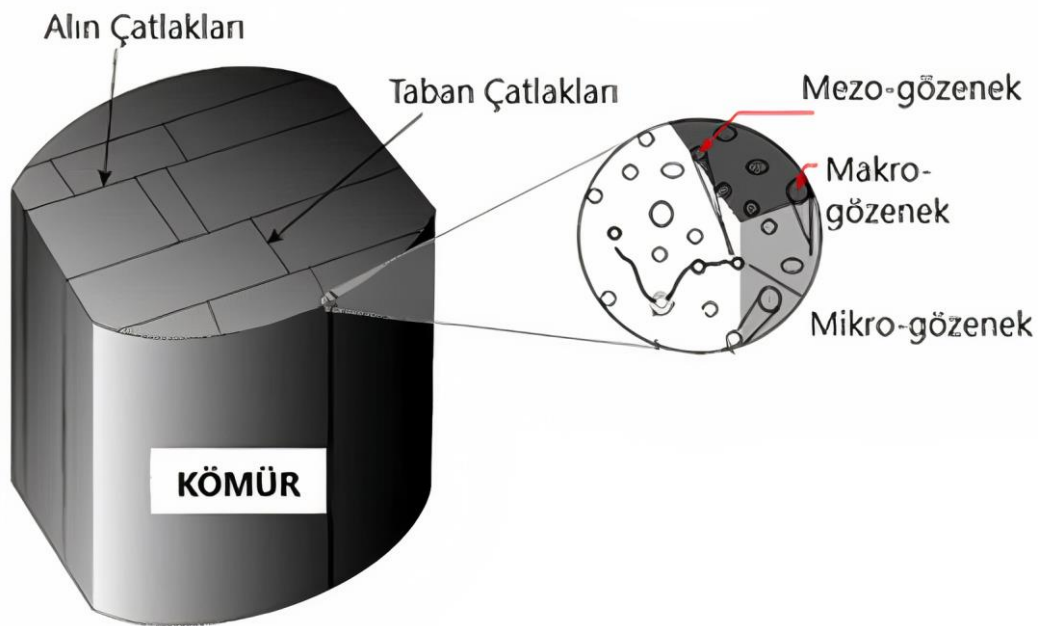
A. TAŞKÖMÜRÜ	B. KAHVERENGİ KÖMÜR
1. KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLER (Yüksek fırınlarda kullanıma ve kok üretimine uygun)	1. ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER (4,165 – 5,700 kcal/kg, topraklaşma özelliği yok)
2. KOKLAŞMAYAN KÖMÜRLER a. Bitümlü Kömürler b. Antrasit	2. LİNYİT (4,165 kcal/kg altında, topraklaşma özelliği yok)

Sınıflandırılmasından sonra kömürleri birbirlerinden ayıran diğer özelliklerin başında renkler gelmektedir. Linyit, kahverengi; alt bitümlü, siyah; bitümlü, koyu siyah renkte iken antrasit parlak renktedir. Linyitin karbon içeriği düşük iken bitümlü ve antrasitin karbon miktarı yüksektir. Linyitin nem miktarı antrasitten daha yüksektir. Linyit kırılkan, antrasit de mercekli kırılma göstermektedir.

Kömürün başka bir özelliği de geçirgenliktir. Geçirgenlik kömürün ya da herhangi bir akışkanı kendi bünyesinde iletebilme gücü ya da yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Geçirgenlik, mutlak (absolute) ve bağıl (relative) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Mutlak geçirgenlik; sadece kömürün sahip olduğu gerilme koşullarına ve adsorbe ettiği akışkan miktarına bağlı olduğu geçirgenliktir (Gentzis ve diğ., 2006). Birçok kömür damarında su ve serbest halde gaz bulunmaktadır (Esen, 2021). Bağlı geçirgenlik ise kömürün toplam geçirgenliği olarak tanımlanmaktadır (Seidle, 2011).

Bir kömürün yapısında farklı boyutlarda ve şekillerde gözenekler bulunmaktadır. Bu gözenekler ya kapalı ya da diğer gözenekler ile bağlantılı halde bulunmaktadır (Flores, 2014; Esen, 2021). Karbon içeriği % 85-91 arasında olan ve 2 nm'den küçük boyuttaki gözenekler mikro gözenek, karbon içeriği % 75-84 arasında olan ve 2-50 nm boyutundaki gözenekler mezo gözenek ve karbon içeriği % 75'in altında olan 50 nm'den büyük gözenekler ise makro gözenek olarak sınıflandırılmaktadır (Dubinin, 1969; Schraufnagel ve Schafer, 1996; Esen, 2021). Bir kömürün yapısında bulunan gözenek dağılımı şematik olarak Şekil 2.4'te verilmiştir.

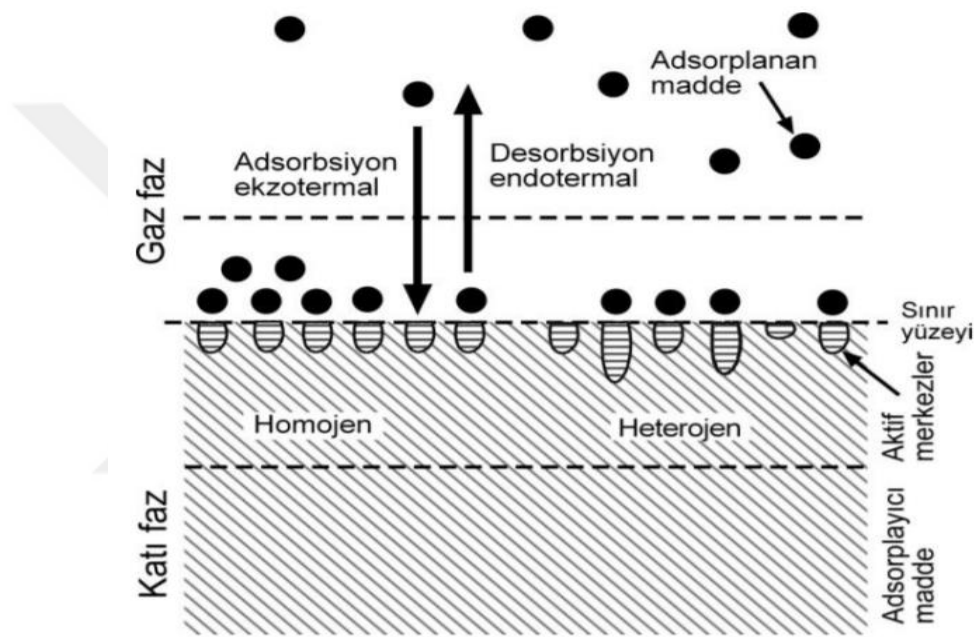


Şekil 2.4 Kömürün yapısında bulunan mikro-gözenek, mezo-gözenek ve makro-gözenek dağılımı (Esen, 2021)

Alın çatlakları kömürde bulunan tabakalanmaya dik yönde olan süreksizlikleri, taban çatlakları ise bunlara dik olarak meydana gelen çatlaklardır (Flores, 2014).

2.4. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon iki farklı faz (katı-gaz, sıvı-gaz, sıvı-sıvı, sıvı-katı) arasındaki yüzeyde meydana gelen atom, iyon veya moleküllerin yüzeyde tutunması olayı olarak tanımlanabilir. Yüzeyde tutunan maddeye adsorplanan (adsorbat), yüzeyine çeken maddeye ise adsorplayıcı (adsorban veya adsorbent) denilmektedir (Ben-Mansour ve diğ, 2016). Adsorpsiyon, taşınacak ortamın adsorbanın dış yüzeyine adsorbe olması, dış yüzey hariç adsorbanın gözeneklerine difüzyonu ve iç yüzeyde ortamın adsorplanması olarak özetlenebilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Adsorsiyon olayının şematik görünümü (Güneş, 2016; Erdem, 2021)

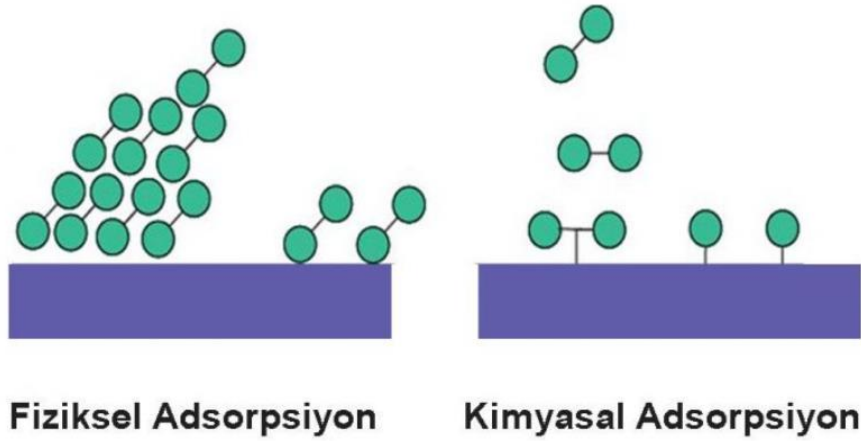
Adsorpsiyon olayı seçinimsel bir durumdur. Aynı adsorban üzerine bazı malzemeler çok ya da az adsorplanabilirken bazıları ise hiç adsorplanmayabilir. Adsorpsiyon oldukça hızlı gerçekleşen bir olaydır. Gözenekler adsorpladıkça başka bir deyişle adsorban doygunluğa ulaştıkça adsorpsiyon hızı düşecektir. Adsorbanın adsorpsiyon kapasitesi de önemli bir parametredir. Ayrıca adsorpsiyon bazen çift yönlüdür. Adsorplanan malzeme belli bir süre sonra adsorban yüzeyinden serbest kalarak desorbe olabilir (Dumanlı, 2011; Erdem, 2021). Adsorpsiyon işlemi, adsorplanan atom, iyon veya moleküller ile adsorban yüzeyi arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak kimyasal, fiziksel ve iyonik olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Arslan, 2018). Adsorpsiyonda kullanılan bazı adsorbanlar aktif karbon, turba, odun talaşı, silika, kil ve bazı biyolojik kökenli atıklardır (Kayhan, 2019).

Adsorplanan madde (adsorbat) ve adsorplayan madde (adsorbent) arasında Van der Waals kuvvetlerinin etkileşiminden meydana gelen adsorpsiyon türüne fiziksel adsorpsiyon adı verilir. Van der Waals kuvveti, kimyasal reaksiyona beraber girmeyen atomlar için çekici etki meydana getirir. Uzun mesafede etkili olsalar da bu kuvvetler zayıftır. Fiziksel adsorpsiyonda adsorplanan moleküller, adsorbanın yüzeyinde hareketli haldedirler. Fiziksel adsorpsiyon tersinir yani geri dönüşümlüdür. Çünkü adsorban yüzeyine bağlanan iyon ya da molekülün yapısı değişmez (Şekil 2.6) (Öztürk ve diğ, 2016).

Adsorplanan madde ile adsorban yüzeyi arasındaki fonksiyonel grupların kimyasal etkileşimiyle meydana gelen adsorpsiyonuna kimyasal adsorpsiyon adı verilir. Bu adsorpsiyon tek tabakalı ve tersinmezdir. Yüksek enerjiyle gerçekleşir. Çünkü adsorban üzerindeki etkin merkezler ile çözünen, kuvvetli bağlar meydana getirmektedir. Adsorban ve adsorplanan maddeler arasındaki bağ sıcaklık artışıyla kuvvetlenir. Bu durum kimyasal tepkimelerde görülmektedir. Bu tipteki adsorpsiyonun ısısı, reaksiyon ısısıyla aynı değerdedir (Şekil 2.6) (Erkan, 2013). Ayrıca kimyasal ve fiziksel adsorpsiyonun karşılaştırılması Çizelge 2.2’de aktarılmıştır.

Çizelge 2.2 Kimyasal ve fiziksel adsorpsiyonun karşılaştırılması (Erdem, 2021)

Parametre	Fiziksel	Kimyasal
Bağ Kuvvetleri	Moleküller arasında	Moleküller içinde
Kaplama	Çok tabaka	Tek tabaka
Adsorban	Tüm katı maddeler	Bazı katı maddeler
Adsorplanan Madde	Kritik sıcaklığın altında tüm gazlar	Kimyasal reaktifler, buharlar
Tersinirlik	Tersinir	Tersinmez
Hız	Hızlı ve difüzyonla sınırlı	Sıcaklığa bağlı, hızlı ve yavaş
Sıcaklık Etkisi	Sıcaklıkla azalır	Kompleks
Adsorpsiyon Çalışmalarında Kullanımı	Spesifik yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımının tayini	Aktif yüzey alanı ve reaksiyon kinetiğinin tayini



Şekil 2.6 Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun birlikte gösterimi (Cuong, 2020)

Yüzey ile adsorplanan madde arasındaki elektriksel çekim ile gerçekleşen adsorpsiyona iyonik adsorpsiyon adı verilir. İyon değişimi bu grupta bulunur. Elektrik yüklerinin karşıt olarak bulunduğu adsorplanan madde ile adsorban yüzeyinin birbiri tarafından çekilmesi önemli bir durumdur. Küçük çaplı ve elektrik yükleri yüksek iyonların adsorbe olması daha iyidir.

Adsorpsiyon olayını, tüm adsorpsiyon çeşitlerine karşın tek bir türü ile açıklamak zordur (Mumcu, 2006).

Adsorpsiyonu etkileyen faktörler:

Adsorpsiyonun etkilendiği faktörlerin başında, adsorbanın sahip olduğu yapı, tanecik büyüklüğü ve yüzey alanı; adsorplanan maddenin ise molekül büyüklüğü, çözünürlüğü gelir. Ayrıca karıştırma hızı, temas süresi, ortamın pH değeri ve sıcaklığı da adsorpsiyonun etkilendiği faktörlerdendir (Çiçekçi, 2019).

Karıştırma Hızı: Karıştırma hızı adsorpsiyon hızını etkilemektedir. Karıştırma hızının artmasıyla adsorpsiyonun hızı da artış gösterir. Çünkü karıştırma hızı arttıkça adsorban-adsorplanan etkileşimi de artar ve böylelikle daha yüksek düzeyde adsorpsiyon gerçekleşir (Koçar, 2013).

Temas Süresi: Adsorpsiyon ve temas süresi arasındaki ilişki incelendiğinde adsorbanın başta elinde bulundurduğu geniş yüzey alanı adsorplama miktarının artmasını sağlamaktadır. Yüzey alanı; temas süresi uzadıkça azalır bunu neticesinde adsorplanan madde miktarı düşer. Adsorplanan madde miktarının düşmesiyle adsorplama oranının

azalması beklenir. Adsorplama doygunluk düzeyine ulaşıldığında dış yüzey yerine adsorbanın gözeneklerinde gerçekleşir. Adsorplamanın azalması, temas süresinin artması ve iç yüzey alanının dar olması sebebi ile gerçekleşmektedir (Baran, 2012).

pH: Ortamın pH değeri de adsorpsiyonu etkileyen önemli faktörlerdendir. Ortamın sahip olduğu pH, adsorplanan maddenin iyonlaşması ve adsorbanın yapısı üzerinde etkilidir. pH değeri yüksek olan ortamlarda adsorban yüzeyi negatif yüklenir ve adsorplanan maddenin yüzeyinin de pozitif yüklü olması durumunda adsorpsiyon daha yüksek miktarlarda meydana gelir. Düşük pH düzeyine sahip ortamlarda ise adsorban yüzeyi daha pozitif yüklenir ve adsorplanan maddenin yüzeyinin negatif yüke sahip olmasıyla adsorpsiyon daha yüksek miktarda meydana gelir (Koçar, 2013). Ph değeri yüksek olduğunda katyonik iyonlar, düşük olduğunda anyonik iyonlar adsorbe olmaya eğilimlidir (Yalvaç, 2018).

Sıcaklık: Adsorplanan maddenin iyon ve moleküllerinin iyonlaşması ve çözünmesi sıcaklıktan etkilenir. Adsorban porozitesinde değişikliklere sebep olabilir. Adsorpsiyon tepkimeleri genellikle ekzotermiktir. Sıcaklık düşüğü gerçekleştikçe adsorbanın kapasitesi fazlalaşır. Adsorpsiyonda entalpi değişimleri sıklıkla yoğunlaşma veya kristalizasyon ısıları düzeyinde olur (Sarpaşar, 2019).

Adsorbanın yapısı ve tanecik boyutu: Adsorpsiyon hızı, adsorbanın hem tanecik boyutu hem de yapısından etkilenmektedir. Adsorbanların taneciklerinin boyutu ufaldıkça yüzey alanı genişleyecek ve bu sebeple de adsorpsiyon hızı yükselecektir (Koçar, 2013). Adsorban hacmi bünyesindeki miktar, adsorbanın por yapısı olarak bilinmektedir. Ayrıca adsorbanın por yapısının da adsorpsiyon üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. (Çiçekçi, 2019).

Yüzey alanı: Adsorbanın yüzey alanı adsorpsiyon üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Adsorbanın yüzey alanı genişledikçe adsorplanan madde ile olan teması da artar. Bu sebeple adsorpsiyon hızı da yüzey alanı genişledikçe artacaktır (Çiçekçi, 2019).

Çözünen maddelerin nitelikleri ve cinsi: Maddenin çözünürlüğü adsorpsiyon dengesini kontrol eden bir etkidir. Çözünen maddenin sıvı fazdaki çözünürlüğü ile adsorpsiyon hızı arasında aksi bir ilişki bulunmaktadır. Buna "Lendelius Kuralı" denir. Çözünürlüğün artmasıyla çözücü ve çözünen arasında bağ kuvvetlenir, adsorpsiyon düzeyi ise azalır. Herhangi bir organik bileşiğin zincir uzunluğu artarsa genellikle suda çözünürlüğü ters orantılı olarak azalır. Bunun sebebi karbon sayısının artması ve böylece bileşiğin

hidrokarbona daha çok benzemesidir. Bu durum adsorpsiyon ve çözünenin cinsi arasındaki ilişkiyi ele alan ikinci ana kural "Traube Kuralı" olarak adlandırılır. Hidrokarbon yapı çoğaldıkça çözünenin hidrofobi özelliği de artmaktadır. Hidrofobik maddeler daha çok adsorplanmaktadır. İyonlaşmanın artmasıyla adsorpsiyon azalmakta yüklü olanlarda adsorpsiyon minimum düzeyde, nötr olanlarda ise maksimum düzeyde olmaktadır (Hasçıçek, 2020).

Adsorpsiyon prosesinin su ve atık su arıtımında kullanım amaçları:

- İstenmeyen koku ve tatları uzaklaştırmak.
- Az miktarda bulunan toksik bileşikler (fenol ve benzeri) sudan uzaklaştırmak.
- Suyu deterjan kalıntılarında arındırmak.
- Hem kalıcı olan organik maddeleri hem de renkleri endüstriyel atıklardan gidermek.
- Özel organik maddelerin (Nitro ve klor bileşikler vb.) ve rengin giderilmesi.
- Klor ve TOC ihtiyacını azaltmak.
- Deklorinasyon (klor giderme) için kullanılmaktadır (Hasçıçek, 2020).

Adsorbanlarda olması gereken özellikler:

- Bilimsel olarak kullanıma uygun olmalı
- Zehirli olmamalı
- Çevreye zarar vermemeli
- Suda çözünmemeli
- Kolay elde edilebilir ve ucuz olmalı
- Geri kazanımı kolay olmalı
- Adsorbanlarla etkileşime girmeye açık fonksiyonel gruplar barındırmalı
- Bir adsorbanın iyi olabilmesi için sahip olması gereken temel özelliği: birim kütle başına düşen yüzey alanının geniş olmalı

- En iyi adsorbanlar, yüzeyinde geniş gözenekler bulundurmalıdır (Hasçıçek, 2020).

2.5. Adsorpsiyon İzotermi

Sabit sıcaklıkta ve denge halindeki çözeltide, adsorban tarafınca adsorplanan madde miktarıyla çözeltinin derişimi ya da çözeltinin basıncı arasındaki bağıntıya adsorpsiyon izotermi denilmektedir (Erciyes, 2016). Adsorpsiyon izotermi, adsorplanan madde miktarının (q) ve adsorplanan maddenin çözeltideki derişiminin fonksiyonu olarak türetilmektedir (Alioğlu, 2013). Adsorpsiyon prosesi ile elde ettiğimiz veriler adsorplanan boyar madde miktarını q_t (mg/g) ve adsorpsiyon kapasitesi q_e (mg/g) denge süresinde birim kütle başına adsorplanmış olan boyar madde miktarı olarak gösterilmiştir (Yalvaç, 2018).

Adsorpsiyonun % verim ve denge denklemleri aşağıdadır (Qu ve diğ, 2019).

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t).V}{m} \quad (2.1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e).V}{m} \quad (2.2)$$

$$\%Verim = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} * 100 \quad (2.3)$$

Denklemdaki;

C_e : denge anındaki adsorplanan boyar madde derişimi (mg/L),

C_0 : başlangıç boyar madde derişimi (mg/L),

m : adsorban madde miktarı (g).

V : çözelti hacmini (L) ifade eder. (Yalvaç, 2018)

Adsorpsiyon sistemlerinin tasarımı için, adsorpsiyon izotermi oldukça önemlidir. Genel olarak adsorpsiyon izotermi; adsorbanın, adsorplanan madde ile nasıl bir etkileşim halinde olduğunu açıklar ve bu sebepten ötürü adsorbanların optimizasyonu için oldukça önemlidir. (Sülkü, 2012).

2.5.1. Langmuir İzotermi

Yüzey kimyası üzerine 1918 tarihinde gerçekleştirdiği çalışmalarla bilinen Nobel ödüllü bilim insanı Irving Langmuir tarafından keşfedilen bir teorik denge izotermidir. Langmuir izotermi homojen yüzeylerde meydana gelen adsorpsiyonlar için kullanılmaktadır (Sarpaşar, 2019). Adsorpsiyon süreçlerinde en sık tercih edilen model Langmuir izoterm modelidir.

Genel anlamda adsorplanan miktar belli bir sıcaklıktaki derişimin ya da kısmi basıncın bir fonksiyonu olarak ölçölmektedir ve adsorpsiyon izotermiyle ifade edilmektedir (Yalvaç, 2018). Langmuir adsorpsiyon izotermi bazı kabullere dayanır. Bu kabuller aşağıda sıralanmıştır:

- Adsorban yüzeyi homojendir. Adsorpsiyon yüzeyde tek tabaka şeklinde gerçekleşmektedir.
- Adsorpsiyon entalpisi yüzeyin kaplanmasından etkilenmez.
- Adsorpsiyon bölgeseldir ve adsorplanan moleküller yüzeyde hareketsizdir.
- Adsorplanmış moleküller birbiriyle etkileşime girmez. Bu sebeple birim yüzeyde adsorplanan adsorplanan madde miktarı adsorpsiyon hızına etki etmez (Koçar, 2013).

Langmuir izotermi denklemini aşağıda gösterilmiştir (Qu ve diğ, 2019).

$$q_e = \frac{q_m * K_L * C_e}{1 + K_L * C_e} \quad (2.5)$$

Denklemdaki;

q_e : m kütlesinin adsorpladığı madde miktarı (mg/g),

C_e : adsorplanan maddenin derişimi (mg/L),

q_m : maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),

K_L : Langmuir sabitini (L/mg) ifade eder.

Langmuir denkleminin lineer hali aşağıdadır (Qu ve diğ, 2019)

$$q_e = q_m + \frac{q_e}{K_L C_e} \quad (2.5)$$

Ayrıca Langmuir izoterm verilerinden boyutsuz ayırma faktörü olan R_L elde edilebilir, R_L adsorpsiyon sisteminin uygunluğu ile alakalı araştırmacının tahmin etmesine olanak sağlamaktadır (Öçsoy, 2019). R_L değeri aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (Youcef ve diğ, 2019).

$$R_L = \frac{1}{(1+K_L \cdot C_0)} \quad (2.6)$$

Denklemdaki;

R_L : Langmuir izotermine boyutsuz sabit ayırma faktörü,

C_0 : Başlangıç boyar madde konsantrasyonu (mg/L),

K_L : Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg) ifade eder (Köylü ve diğ, 2015).

Çizelge 2.3 R Değerlerinin değerlendirilmesi (Sülkü, 2012; Çakır ve diğ, 2013; Köylü ve diğ 2015; Demirçivi, 2018).

R_L değeri	Adsorpsiyon
$(R_L > 1)$	Uygun değil
$(R_L = 1)$	Doğrusal
$(0 < R_L < 1)$	Uygun
$(R_L = 0)$	Geri döndürülemez (tersinmez)

2.5.2. Freundlich İzotermi

1926 yılında Freundlich tarafından geliştirilmiş, adsorpsiyon sürecini ifade eden ampirik bir denklemdir. Freundlich izotermi, Langmuir izoterminden temellenerek varsayımlarla ve gelişimlerin matematiksel ifadesiyle ortaya koyulmuştur (Sülkü, 2012). Freundlich izotermi, heterojen yüzeylerde meydana gelmesi ile birlikte fiziksel ve tersinir

adsorpsiyonu ele alır. Ayrıca Freundlich izotermi, heterojen yüzeylerde adsorpsiyon alakasının ve ısısının eşit dağılmadığı çok tabakalı adsorpsiyonda kullanılmaktadır. Freundlich eşitliği aşağıdaki gibi gösterilir (Özmetin, 2007; Koçar, 2013).

$$q_e = K_F + C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.7)$$

Denklemdaki;

C_e : Çözeltide adsorplanmayan maddenin denge anındaki derişimi (mg/L),

q_e : Denge anında birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g),

K_F : Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),

n : Adsorpsiyon şiddetini (g/L) ifade eder.

n ve K_F adsorban ve adsorplanan maddenin yapısına ve sıcaklığa bağlı Freundlich deneysel sabitleridir.

Genel olarak n değerinin 1 ile 10 arasında olduğu durumlarda, adsorpsiyon iyi gerçekleşmiş anlamına gelmektedir. $1/n$ değeri ise heterojenite faktörünü verir ve 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. Yüzeyin heterojenliği ne kadar olursa, $1/n$ değeri o kadar 0'a yakın durumda olur (Sülcü, 2012; Çakır ve diğ, 2013; Köylü ve diğ 2015; Demirçivi, 2018). Heterojen yüzeylerdeki çok tabakalı adsorpsiyon için Freundlich izoterm modeli denkleminin lineer formülü aşağıda gösterilmiştir. (Wang ve diğ, 2013).

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} * \ln C_e \quad (2.8)$$

$\ln q_e$ 'ye karşı $\ln C_e$ çizildiğinde, y ekseninin kesim noktasından $\ln K_F$, grafiğinin eğiminden ise $1/n$ elde edilmektedir. $\ln K_F$ ve n değerlerinin büyük olması durumu, adsorbanın, adsorpsiyona eğilimi ve kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir (Erkan, 2013).

2.5.3. Adsorpsiyon Kinetiği

Sistem tasarımına yönelik adsorpsiyon kinetiğinin ve mekanizmasının saptanması, adsorpsiyon proseslerinde oldukça önemlidir. Kinetik modeller ile adsorpsiyon mekanizması, sıcaklık, karıştırma hızı, pH, süre, adsorbanın yapısı ve kimyasal netlikleri vb. etkenlere göre ortaya çıkar (Çiçekçi, 2019).

Etkin adsorban-adsorplanan madde temas süresi, adsorpsiyon kinetiğinin bilinmesi ile elde edilir. Adsorpsiyon adımları, adsorpsiyon işleminin hızını etkiler. Bu adımların belirlenebilmesi için temas süresi bilinmesi gereklidir. Çözeltide içinde bulunmakta olan adsorplanan maddenin, adsorban ile adsorplanması olayını gösteren 4 adım bulunmaktadır:

- Yığın çözelti aktarımı; bu adım adsorpsiyon düzeneğinde belirli bir karıştırma olmasından dolayı genel olarak göz ardı edilmektedir.
- Film kütle aktarımı/sınır tabakası difüzyonu; adsorplanan madde adsorbanın gözeneklerine doğru ilerlemektedir.
- Parçacık içi difüzyon (intraparticle diffusion); adsorplanan madde adsorbanın gözenek boşluklarına doğru hareket eder ve adsorpsiyonun gerçekleşeceği yüzeye doğru ilerlemektedir.
- Sorpsiyon; adsorplanan maddenin adsorbanın gözenek yüzeyinde tutunması adımıdır (Soyak, 2012).

Zamanla ilişkili kinetik modeller incelendiğinde genel olarak aşağıda bulunan modellerin sıvı adsorpsiyon incelemelerinde uygulandığı kanaatine varılmaktadır (Orbak, 2009).

- **Pseudo (yalancı) birinci derece kinetik modeli (Erdem, 2021):**

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1 (q_e - q_t) \quad (2.9)$$

Denklemdaki;

q_e : Denge anında birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g).

q_t : t anında adsorplanan madde miktarı (mg/g).

K_1 : Birinci dereceden adsorpsiyona ait hız sabitini (dak^{-1}) ifade eder.

(2.9) denkleminin integrali alındığında;

$$\ln(q_e - q_t) = -K_1 t + C_1 \quad (2.10)$$

C_1 bu derecedeki reaksiyon kinetiğinin integrasyon sabitidir. $q_t=0$ ve $t=0$ kabul edildiğinde;

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \quad (2.11)$$

(2.11) formülü elde edilmiş olur. Adsorblanan madde miktarı q_e , $\ln (q_e - q_t)$ 'nin t 'ye karşı çizilen grafiğin kesim noktasından, hız sabiti K_1 'in değeri ise grafiğin eğiminden hesaplanmaktadır (Yıldız, 2020).

- **Pseudo (yalancı) ikinci derece kinetik modeli (Erdem, 2021)**

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (2.12)$$

Denklemdaki;

K_2 : İkinci dereceden reaksiyon sabitini (g/mg.dak) ifade eder.

(2.12) denklemini integre edilirse;

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = K_2 t + C_2 \quad (2.13)$$

C_2 : İntegrasyon sabiti ve gerekli düzeltmeler yapıldığında elde edilen son formül;

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \left(\frac{1}{q_e}\right)t \quad (2.14)$$

t/q_t 'ye karşı t grafiği çizildiğinde grafik eğimi q_e değerini, grafik kesim noktasından ise K_2 değeri hesaplanır (Ray ve diğ., 2020)

h : Başlangıç adsorpsiyon hızı (mg/g.dak), denklemi de aşağıda verilmiştir:

$$h = K_2 (q_e)^2 \quad (2.15)$$

2.6. Turba ile İlgili Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları

Fernandes, (2007) turba ile sulu çözeltiden metilen mavisi boyasının uzaklaştırılmasını analiz etmiştir. Adsorpsiyon, Metilen Mavisi boyasının çözeltilerinin çeşitli başlangıç konsantrasyonları ve üç farklı sıcaklık (35, 45 ve 60 °C) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışılan konsantrasyon aralığında belirtilen tüm sıcaklıklarda dengeye ulaşması için yaklaşık 4,5 saatlik bir adsorpsiyon süresinin yeterli olduğundan söz edilmiştir. Seyreltilmiş çözeltiler için uzaklaştırma yüzdesinin daha büyük olduğu belirtilmiştir .Ancak denge durumunda turba tarafından adsorbe edilen mutlak Metilen Mavisi boyası miktarının, ilk konsantrasyonun artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. Bu da turbanın bir adsorban olarak etkinliğinin doğruladığını göstermiştir.

Özenç, (2004) yayımladığı ‘Turba üzerine boyar maddelerin adsorpsiyonu’ konulu tezin kapsamında yürütülen çalışmanın sonucunda adsorban olarak kullanılan turbanın adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olduğu görülmüştür. Adsorban miktarının 1 g olarak kullanılması durumunda yüksek bir verim elde edildiğinden söz edilmiştir. Adsorban miktarının 1 g’dan fazla kullanılması halinde de verimin yine yüksek bir değer aldığı görülmüştür. Sıcaklık parametresine göre; bazik kırmızı ve metilen mavisi boyar maddeleri için en ideal sıcaklık 25°C, reaktif mavi ve reaktif kırmızı için 60°C, metal kompleks ve metal kompleks boyar maddeleri için 80°C olduğu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmaya göre tüm işlemler yerine getirildikten sonra turbanın; bazik, reaktif ve metal kompleks boyaların giderilmesinde ekonomik birer adsorban olarak kullanılabileceğinden söz edilmiştir.

Erdoğan (2005) yayımladığı ‘Atık sulardan Çeşitli Adsorbanlarla Arsenik Giderimi’ konulu yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmaya göre, turbanın yapısındaki fenolik, karboksilik ve hidroksilik fonksiyonel gruplar, yüzey alanının büyük, gözenekliliğinin 200 m²/g’dan yüksek olmasından dolayı ağır metallerin gideriminde etkin bir adsorban olduğundan bahsedilmektedir. Söz konusu çalışmada; gümüş, çinko, nikel, kadmiyum, demir, bakır, kurşun ve krom gibi metallerin gideriminde etkili olduğundan söz edilmiştir.

Sharma ve Forster, (1993) yürüttükleri çalışmada turbanın adsorpsiyon kapasitesinin 132 mg /g olarak bulunduğunu belirtmişlerdir.

Chen ve diğ, (1990) yaptıkları çalışma sonucunda, turbayı kullanarak Cu⁺² (Bakır II Nitrat) giderme kapasitesini araştırmışlardır. Trofik durumuna göre Ötrofik turba diye adlandırılan turba ile yapılan bu çalışmada, adsorpsiyon kapasitesi 19,56 mg/g olarak

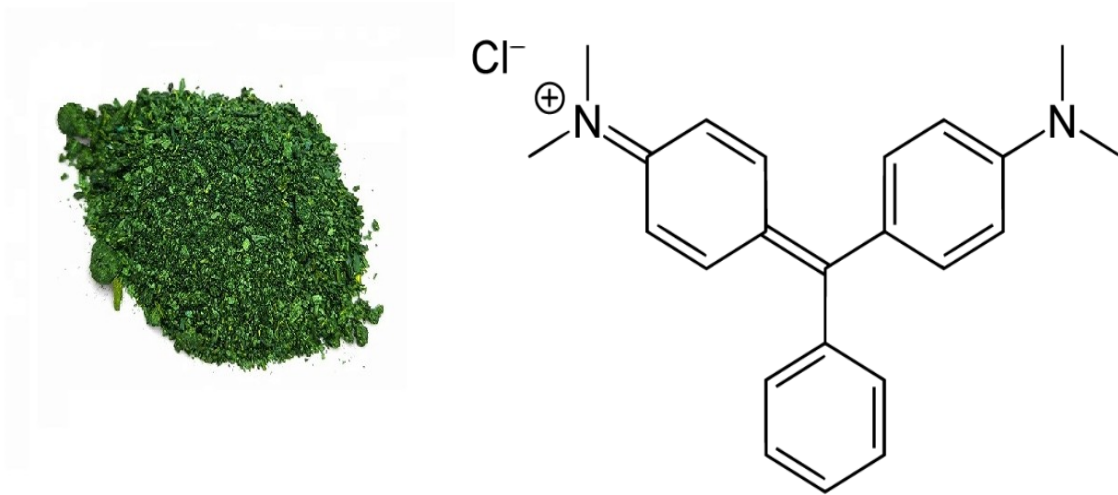
bulunmuş ve Ötrofik turbanın Oligotrofik turbadan daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu sonucuna varıldığı söylenmiştir.

2.7. Boyar Maddeler

Dokuma sektörü başta olmak üzere tekstil, kâğıt, kozmetik, deri ve gıda sektörlerinde tercih edilen boyar maddelerin doğal ve suni olmak üzere oldukça fazla çeşidi bulunmaktadır. Ancak boyaların toksik yapıları nedeniyle faaliyet alanındaki atıklarda belirli düzeyin altında olması gerekmektedir. Bazı boyalar ve özellikleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- **Malahit Yeşili**

Bu madde boyama amacıyla kullanılan zehirleyici bir kimyasaldır. Suda çözündüğünde, deniz canlıları için antiseptik, mantar ve bakteriyel enfeksiyonlarını önleyici özellik taşımaktadır. Bakteriyolojide boyar madde şeklinde kullanılan malahit yeşili, malahit minerali içermemesine rağmen renk benzerliği sebebiyle bu ismi almıştır (Tanyol, 2017; Yıldız, 2020). Moleküler formülü $C_{23}H_{25}N_2$ ve moleküler kütlesi 329,46 g/mol olan malahit yeşilinin kimyasal yapısı ise Şekil 2.7’de verilmiştir.



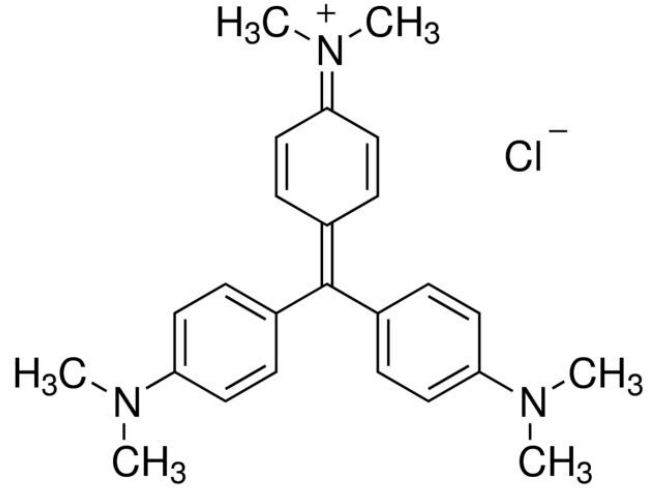
Şekil 2.7 Malahit yeşili ve kimyasal yapısı

Malahit yeşili kâğıt, ipek, deri ve aynı zamanda hücrelerin ve kültür örneklerinin mikroskopik analizi için boyar madde özelliği taşımaktadır (Srivastava ve diğ., 2004).

Gimenez boyama yönteminde bakteri bir boyar madde ile kırmızı rengine boyanmaktadır. Bakterilerin daha iyi görünebilmesi için, malahit yeşili bakterileri mavi-yeşil bir rengine boyamaktadır.

- **Kristal Violet**

Kristal viyole; histolojik leke ve Gram'ın bakterileri sınıflandırma yönteminde kullanılan bir triarilmetan boyadır. Doğru boyama yöntemi uygulandığında Gram negatif bakteriler pembe renkte görülür. Gram boyama yöntemi, Danimarkalı bilim adamı Gram tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem hücre duvarlarının kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre bakterileri iki farklı gruba ayırmak için kullanılmaktadır. Kristal violet antibakteriyel, antifungal ve antelmintik özelliklere sahiptir ve eskiden topikal bir antiseptik olarak kullanılmakta idi. Boya eskiden tıbbi amaçla kullanılırken, yerini daha modern ilaçlar almıştır, ancak hâlâ Dünya Sağlık Örgütü tarafından listelenmektedir (Bumpus ve diğ., 1988; Güner ve diğ., 2021). $C_{25}H_{30}ClN_3$ kimyasal formülüne sahip kristal violet boyasının moleküler ağırlığı 407,979 g/mol'dür. Şekil 2.8'de kristal violete ait kimyasal yapı yer almaktadır.

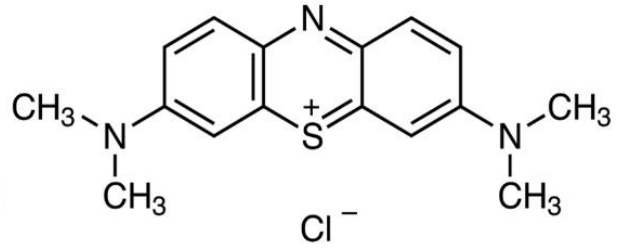


Şekil 2.8 Kristal violet ve kimyasal yapısı

- **Metilen Mavisi**

Yaygın olarak metilen mavisi olarak adlandırılan metiltiyoninyum klorür, boya ve ilaç olarak kullanılan bir tuzdur. Metilen mavisi bir tiazin boyadır ve hemoglobin içindeki ferrik demiri ferröz demire dönüştürerek çalışmaktadır. Metilen mavisi ilk kez 1876'da Heinrich Caro tarafından hazırlanmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü'na ait Temel İlaçlar Listesi'nde yer almaktadır. Bir ilaç olarak, esasen methemoglobinemi tedavisi için kullanılır, özellikle, oksijen tedavisine rağmen semptomların devam ettiği veya %30'un üzerinde olan methemoglobin düzeylerinin tedavisinde kullanılmaktadır. Daha önce idrar yolu enfeksiyonları ve siyanür zehirlenmesinde kullanılmıştır, ancak bu kullanım artık önerilmemektedir (Drugs, 2021; Ahmad ve Akil, 2009). Şekil 2.9'da metilen mavisine ait kimyasal yapı verilmiştir. 319,85 g/mol moleküler kütleyle sahip metilen mavisinin formülü $C_{16}H_{18}ClN_3S$ 'dir.



Şekil 2.9 Metilen mavisi ve kimyasal yapısı

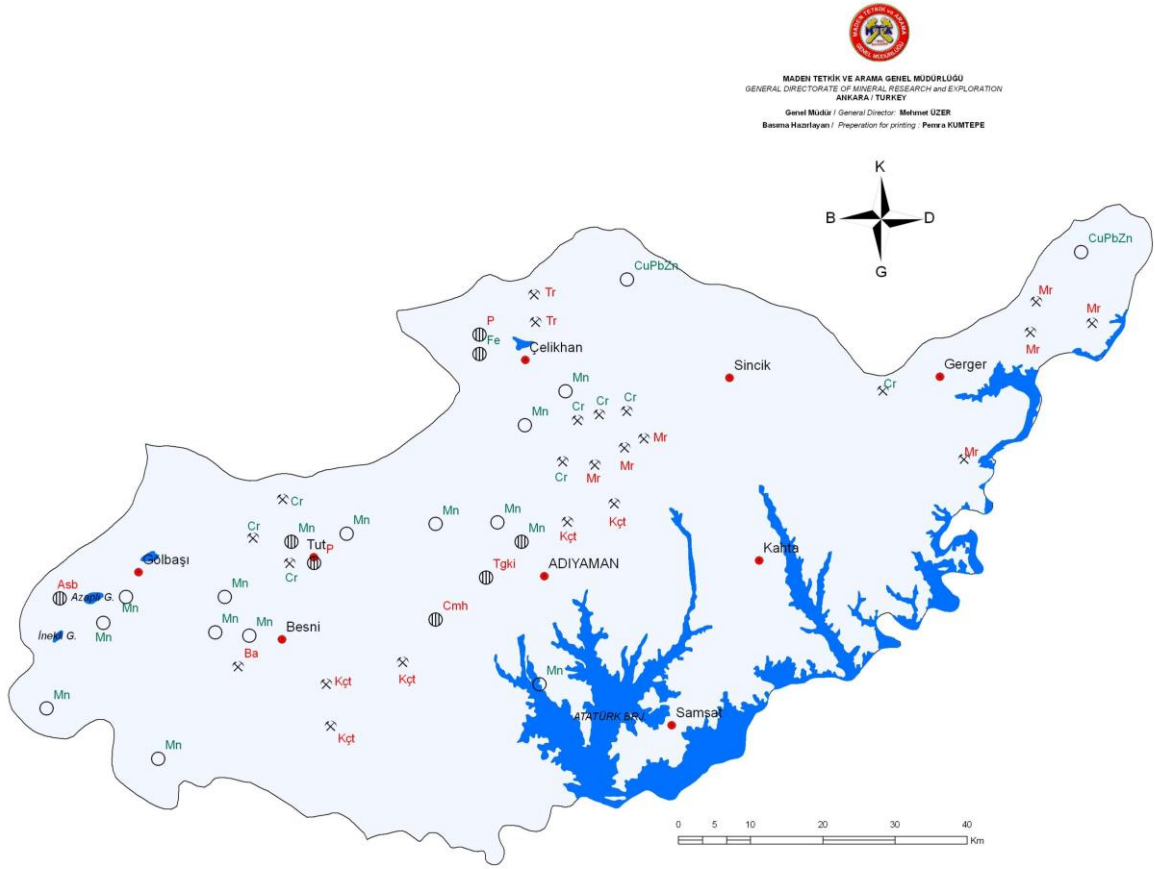
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Turba hücresel yapısı sayesinde ideal bir adsorban olma özelliği taşımaktadır. İçerisinde boyar madde olan atık sulardan polar organik bileşikleri adsorplama kapasitesi, turbanın renk giderimi için kullanılmasını artırmıştır. Turbada aktif çamurdaki gibi aktivasyona ihtiyaç duyulmaz ve çok ucuz bir gereçtir. Boyar maddelerin atık sulardan giderilmesinde turba kullanılan çalışmalarda, turbanın maliyeti az olduğundan renk giderilmesi işleminde kullanılabileceği görülmüştür (TÜBİTAK, 2013).

Tez çalışmasında Adıyaman bölgesinden alınmış olan turbanın üç farklı boya türünde (malahit yeşili, kristal violet, metilen mavisi) sıcaklık ve zamana bağlı boya giderim mekanizması araştırılmıştır. Adıyaman ili maden haritası ve turbanın bulunduğu konumlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Kumtepe ve Üzer, 2021).

ADİYAMAN İLİ MADEN HARİTASI / MINERAL MAP OF ADİYAMAN



AÇIKLAMALAR / EXPLANATIONS

○ ZUHUR / EXPOSURE	Asb	Asbest Asbestos	Mn	Mangan Manganese
⦶ YATAK / ORE DEPOSIT	Ba	Barit Barite	Mr	Mermer Marble
✕ İŞLETME / MINE	Cm	Çimento Hammaddeleri Cement Raw Materials	P	Fosfat Phosphate
● Yerleşim merkezi Urban Center	CuPbZn	Bakır-Kurşun-Çinko Copper-Lead-Zinc	Tgki	Tuğla-Kiremit Brick-Tile Building Stone
METALİK MADENLER METALLIC MINERALS	Fe	Demir Iron	Tr	Turba Peat
ENDÜSTRİYEL HAMMADELER INDUSTRIAL RAW MATERIALS				

Şekil 3.1 Adıyaman ili maden haritası (Kumtepe ve Üzer, 2021)

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında adsorban malzemesi olarak kullanılan ham turbanın malahit yeşili, kristal viyole ve metilen mavisi boyalarının giderimindeki etkinliği incelenmiş ve kullanım kapasiteleri belirlenmiştir. Çalışma için Adıyaman-Çelikhan bölgesinden temin edilen Turba , öğütüldükten sonra delik çapı 0,75 μm olan elek ile elenmiş, -75 mikron tanecik boyutuna sahip numuneden alınan miktarın karakterizasyonları yapılmış ve adsorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan turbanın elementel analiz sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Turbanın elementel analiz sonuçları

İçerik	%
C (Karbon)	%42,88
H (Hidrojen)	%5,22
N (Azot)	%2,10
S (Kükürt)	%0,318

Turba numunesindeki Azot miktarının fazla olması çok az bozunmaya uğramış bir turba olduğunu göstermektedir (Karta, 2016; Fuchsman, 1989).

3.2.1. Deneyin Yapılışı

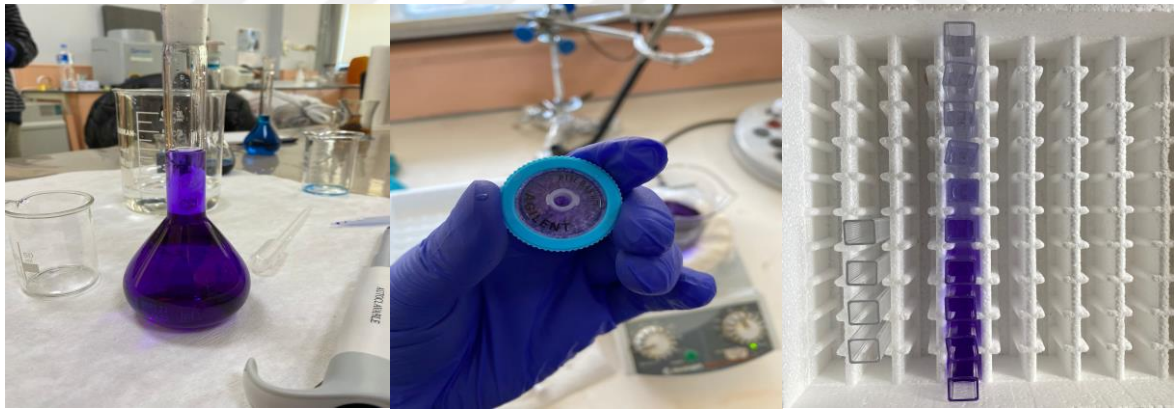
Farklı sıcaklıklarda (25°C, 35°C, 45°C ve 55°C) turbanın adsorpsiyon davranışı ile her bir boya türünde ve sıcaklıkta temas süresinin (0 dak, 1 dak, 3 dak, 5 dak, 10 dak, 15 dak, 30 dak, 45 dak, 60 dak, 90 dak, 120 dak, 150 dak ve 180 dak) adsorpsiyon kapasitesine olan etkisini incelemek amacıyla deney düzeneği kurulmuş ve aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te gösterildiği gibi başlangıç boya derişimi 100 ppm konsantrasyonda hazırlanan farklı boya çözeltilerinin her birine; tane boyutu -0,75 μm olan turbadan 1 g ilave edilip belirlenen sürelerde disposal küvetlere örnekler alınmış, 0,45 μm gözenek çaplı, PTFE şırınga ucu filtreden geçirildikten sonra Agilant marka Cary 60 model

UV-Vis spektrofotometre cihazı ile kalan boya konsantrasyon ölçümleri yapılmış ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir.



Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan turba numunesi



Şekil 3.3 Hazırlanan çözelti, 0,45 μm gözenek çaplı filtre, boya konsantrasyonunun ölçümleri yapmak için alınan örnekler.

Bu aşamada elde edilen sonuçlar ile adsorpsiyon hızı ve mekanizması hakkında bilgi sağlamak amacıyla adsorpsiyon kinetik çalışmaları yapılmıştır. Kinetik çalışmalarında en fazla inceleme yapılan yalancı birinci dereceden kinetik ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri kullanılmıştır. Adsorbanın yüzey özellikleri, adsorpsiyon davranışı ve adsorpsiyon sistemlerinin tasarımı hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla da denge adsorpsiyon izotermi

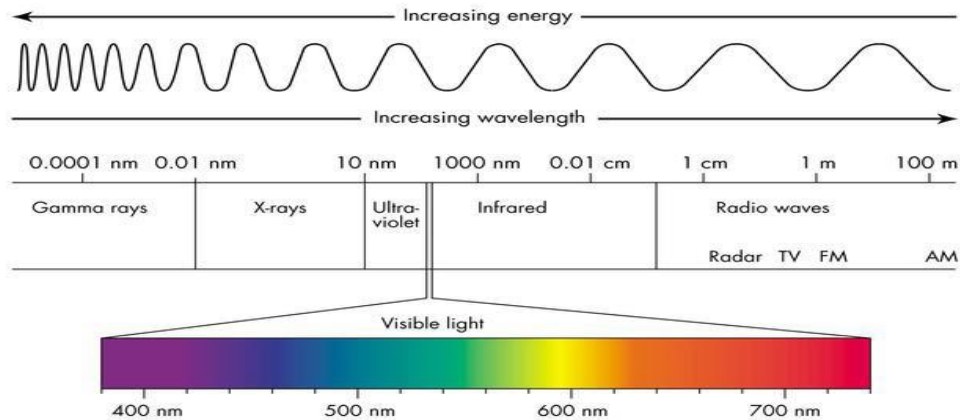
detaylı olarak incelenmiştir. Adsorpsiyonunun deneysel denge verileri Langmuir ve Freundlich modellerine uyarlanarak yorumlanmıştır.

Ayrıca turba temel karakterizasyon analizleri yapılarak turbanın yapısı aydınlatılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla turbanın yapısal faz değerlendirilmesi XRD, yüzey morfolojisi ve özelliklerinin değerlendirilmesi SEM ve FT-IR analizleri ile elementel analizleri yapılmıştır.

3.2.2. UV ve Görünür Bölge Absorpsiyon Spektrofotometreleri

Spektrofotometri renkli maddeler, bir ayraçla renklendirilen bazı renksiz maddelerin absorbe ettiği ışık şiddetini ölçme yöntemiyle yapılan bir analizden meydana gelmektedir. Bu cihaz yardımıyla, sektörel olarak İSG laboratuvarında ortam ölçümleri kapsamında yapılan ağır metal ölçümlerini de yapılmaktadır. Gıda laboratuvarında boya ve türevlerini tespit etmede, baca gazında formaldehit ve hidrojen siyanürü, suda renk, krom, klor, siyanür tayinini, atık sular, deniz suyu ve havuz suyundaki kirleticileri belirlemek amacıyla kullanılır. İş hijyeni ölçümlerinde hidrojen siyanür, amonyak, krom ve formaldehit tayininde, silis, silika kristallerinin tespitinde kullanılabilmektedir (Agilent, 2022).

Spektrofotmetrelerde dalga boyu analiz metodu olarak belirtilmektedir. Dalga boyuna karşın transmitans veya absorbans ölçümü alınmaktadır. Spektrofotmetre dalga boyları Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Agilent, 2022).



Şekil 3.4 Spektrofotmetre dalga boyları

UV-Vis Spektrofotometre Cihazı

Şekil 3.5'te tez çalışmasında kullanılan İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünde bulunan Agilent marka Cary 60 model UV-Vis spektrofotometre cihazı gösterilmiştir.

Çalışma prensibi: Öncelikle ışık kaynağı (lamba) yayılan ışın topluluğu, monokromatör (dalga boyu seçici) vasıtasıyla tek bir dalga boyundaki ışın haline getirilir. Bu ışın küvetteki numunenin içine girer. Numuneden geçen ışığın şiddeti kaydediciye elektrik sinyali olarak iletilmeden önce dedektör tarafından saptanır. Bu aşamadaki absorpsiyon daha çok moleküllerdeki bağ elektronlarının uyarılmasından meydana gelir. Cihazın bölümleri; küvet, kaydedici, ışık kaynağı, dedektör ve monokromatörden ibarettir (Agilent, 2022).



Şekil 3.5 Agilent marka Cary 60 model UV-Vis spektrofotometre cihazı

3.2.3. XRD Analizi

X-ışını kristalografisi, bir kristalin atomik ve moleküler yapısını belirleyen deneysel analizdir; burada kristal yapı, gelen X-ışınları demetinin birçok spesifik yöne kırılmasına neden olur. Bu kırınımli ışınların açılarını ve yoğunluklarını ölçerek, bir kristalograf, kristal içindeki elektron yoğunluğunun üç boyutlu bir resmini üretebilir. Bu elektron yoğunluğundan, kristaldeki atomların ortalama konumları, kimyasal bağları, kristalografik düzensizlikleri ve diğer çeşitli bilgiler belirlenebilir (Fink ve diğ, 2013).

Tuzlar, metaller, mineraller, yarı iletkenler ve çeşitli inorganik, organik ve biyolojik moleküller gibi birçok malzeme kristaller oluşturabildiğinden, X-ışını kristalografisi birçok bilimsel alanın gelişiminde temel olmuştur. Bu yöntem, kullanımının ilk yıllarında atomların boyutunu, kimyasal bağların uzunluklarını ve türlerini ve çeşitli malzemeler, özellikle mineraller ve alaşımlar arasındaki atomik ölçekteki farklılıkları belirledi. Yöntem ayrıca vitaminler, ilaçlar, proteinler ve DNA gibi nükleik asitler de dahil olmak üzere birçok biyolojik molekülün yapısını ve işlevini ortaya çıkardı. X-ışını kristalografisi, yeni malzemelerin atomik yapısını karakterize etmek ve diğer deneylerle benzer görünen malzemeleri ayırt etmek için hâlâ birincil yöntemdir. X-ışını kristal yapıları ayrıca bir malzemenin olağandışı elektronik veya elastik özelliklerini açıklayabilir, kimyasal etkileşimlere ve işlemlere ışık tutabilir veya hastalıklara karşı farmasötiklerin tasarlanması için temel olarak hizmet edebilir (Fink ve diğ, 2013).

Bu tez çalışmasında Şekil 3.6’da görülen İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünde bulunan Rigaku marka Miniflex 600 model XRD cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.6 XRD analiz cihazı

3.2.4. SEM Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), odaklanmış bir elektron demeti ile yüzeyi tarayarak bir numunenin görüntülerini üreten bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşir ve numunenin yüzey topografyası ve bileşimi hakkında bilgi içeren çeşitli sinyaller üretir. Elektron ışını bir raster tarama modelinde taranır ve bir görüntü üretmek için ışının konumu algılanan sinyalin yoğunluğu ile birleştirilir. En yaygın SEM modunda, elektron ışını tarafından uyarılan atomlar tarafından yayılan ikincil elektronlar, bir ikincil elektron detektörü (Everhart-Thornley detektörü) kullanılarak saptanır. Tespit edilebilecek ikincil elektronların sayısı ve dolayısıyla sinyal yoğunluğu, diğer şeylerin yanı sıra numune topografyasına bağlıdır. Bazı SEM'ler 1 nanometreden daha iyi çözünürlükler elde edebilir (Stokes, 2008).

Numuneler, geleneksel bir SEM'de yüksek vakumda veya değişken basınçta veya çevresel SEM'de düşük vakumda veya ıslak koşullarda ve özel aletlerle çok çeşitli kriyojenik veya yüksek sıcaklıklarda gözlemlenir (Stokes, 2008).

Bu tez çalışması esnasında Şekil 3.7'de gösterilen EVO 40 (LEO) marka İBTAM'a ait SEM analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.7 SEM analiz cihazı

3.2.5. FT-IR Analizi

Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), bir katı, sıvı veya gazın kızılötesi absorpsiyon veya emisyon spektrumunu elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Bir FT-IR spektrometresi, geniş bir spektral aralıkta aynı anda yüksek çözünürlüklü spektral verileri toplamaktadır. Bu, bir seferde dar bir dalga boyu aralığında yoğunluğu ölçen bir dağıtıcı spektrometreye göre önemli bir avantaj sağlamaktadır (Griffiths ve Hasseth, 2007).

Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi terimi, ham verileri gerçek spektruma dönüştürmek için bir Fourier dönüşümünün (matematiksel bir süreç) gerekli olduğu gerçeğinden kaynaklanmaktadır (Griffiths ve Hasseth, 2007).

Tez çalışmasında Şekil 3.8’de gösterilen İBTAM’a ait Perkin Elmer Precisely Spektrum One FT-IR Spectrometer marka FT-IR analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.8 FT-IR analiz cihazı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

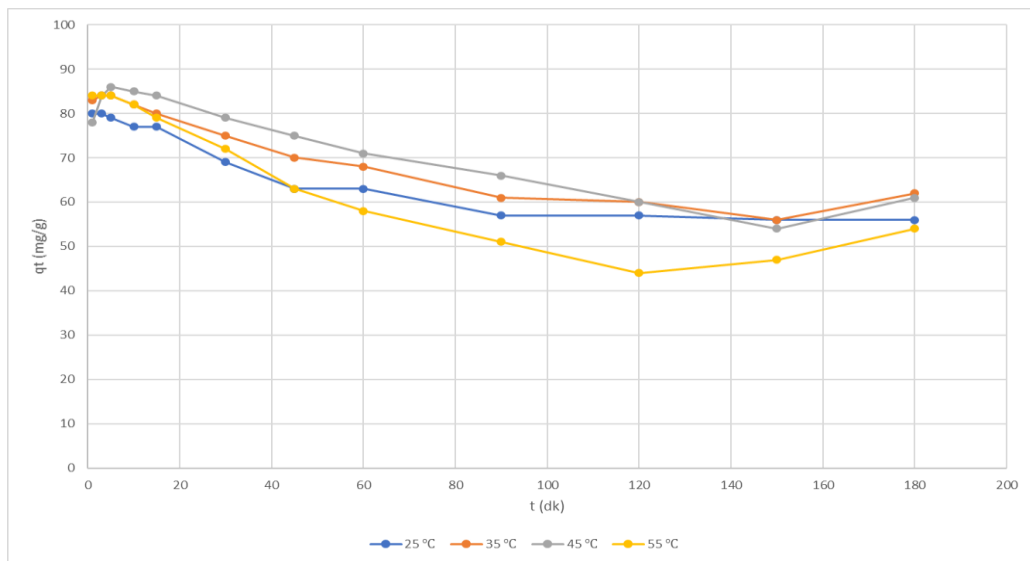
Adıyaman bölgesinden getirilen turbanın karakterizasyonunun boya giderimi işlemi (adsorpsiyon) öncesi ve sonrası karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Adsorpsiyon öncesi ve sonrası yapısal karakterizasyonlarını belirlemek amacıyla yapılan analizler sırasıyla XRD, SEM ve FT – IR analizleridir. Buna ek olarak her boyanın sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi grafik halinde sunulmuştur.

4.1. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu

Malahit yeşili boya konsantrasyonu 100 ppm olarak alınmış ve içerisine adsorban olarak 1 g turba ilave edilmiştir. 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C olan her bir sıcaklık için ayrı çözelti ortamı hazırlanmıştır. Boya ve adsorban temas süresi 180 dakika olacak şekilde çalışılmıştır. Malahit yeşili adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi, XRD analiz sonuçları, SEM analiz sonuçları, FT-IR analiz sonuçları, adsorpsiyon denge izotermi ve adsorpsiyon kinetik modelleri aşağıda sırası ile verilmiştir.

4.1.1. Malahit Yeşili Adsorpsiyonunun Sıcaklığa ve Zamana Bağlı Değişimi

Malahit yeşili adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.1 Malahit yeşili adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi

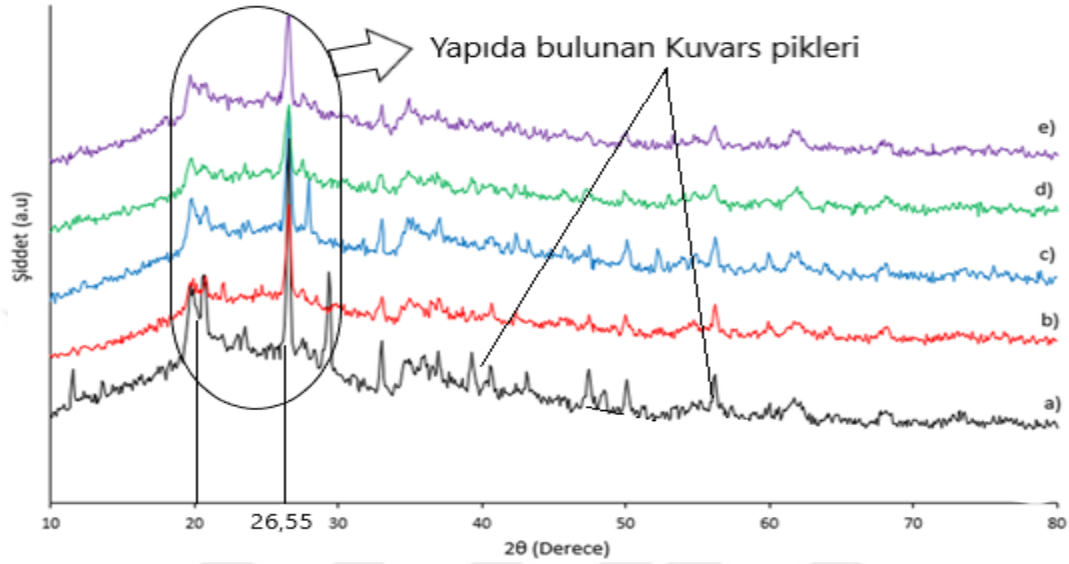
Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi 25 °C sıcaklığında adsorpsiyon 1. ve 3. dakikada 80 mg/g değeri aldıktan sonra desorpsiyon başlamıştır. 35 °C ve 55 °C sıcaklıklarında adsorpsiyon ilk 3 dakika boyunca artarak 3. dakikada 84 mg/g değere ulaştıktan sonra desorpsiyon başlamıştır. 55 °C sıcaklığında 120. dakikaya kadar desorpsiyon devam etmiş 120. dakikadan sonra tekrar adsorpsiyon başlamıştır. 25 °C sıcaklığında 90. dakikadan sonra adsorpsiyon miktarı stabil bir şekilde devam etmiştir. 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarında 150. dakikaya kadar desorpsiyon devam ederken 150. dakikadan sonra tekrar adsorpsiyon başlamıştır. Bu bulgular en yüksek verimin ilk 15 dakikada elde edildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.1 Malahit yeşili adsorpsiyonunun zamana bağlı verimliliği

Sıcaklık	En yüksek verim	En düşük verim
25 °C	1. ve 3. dak (80 mg/g)	150. dak (56 mg/g)
35 °C	3. ve 5. dak (86 mg/g)	150. dak (56 mg/g)
45 °C	5. dak (86 mg/g)	150. dak (54 mg/g)
55 °C	1., 3. ve 5. dak (86 mg/g)	120. dak (44 mg/g)

4.1.2. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu XRD Analiz Sonuçları

Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası XRD toz kırınım desenleri Şekil 4.2’de yer almaktadır.



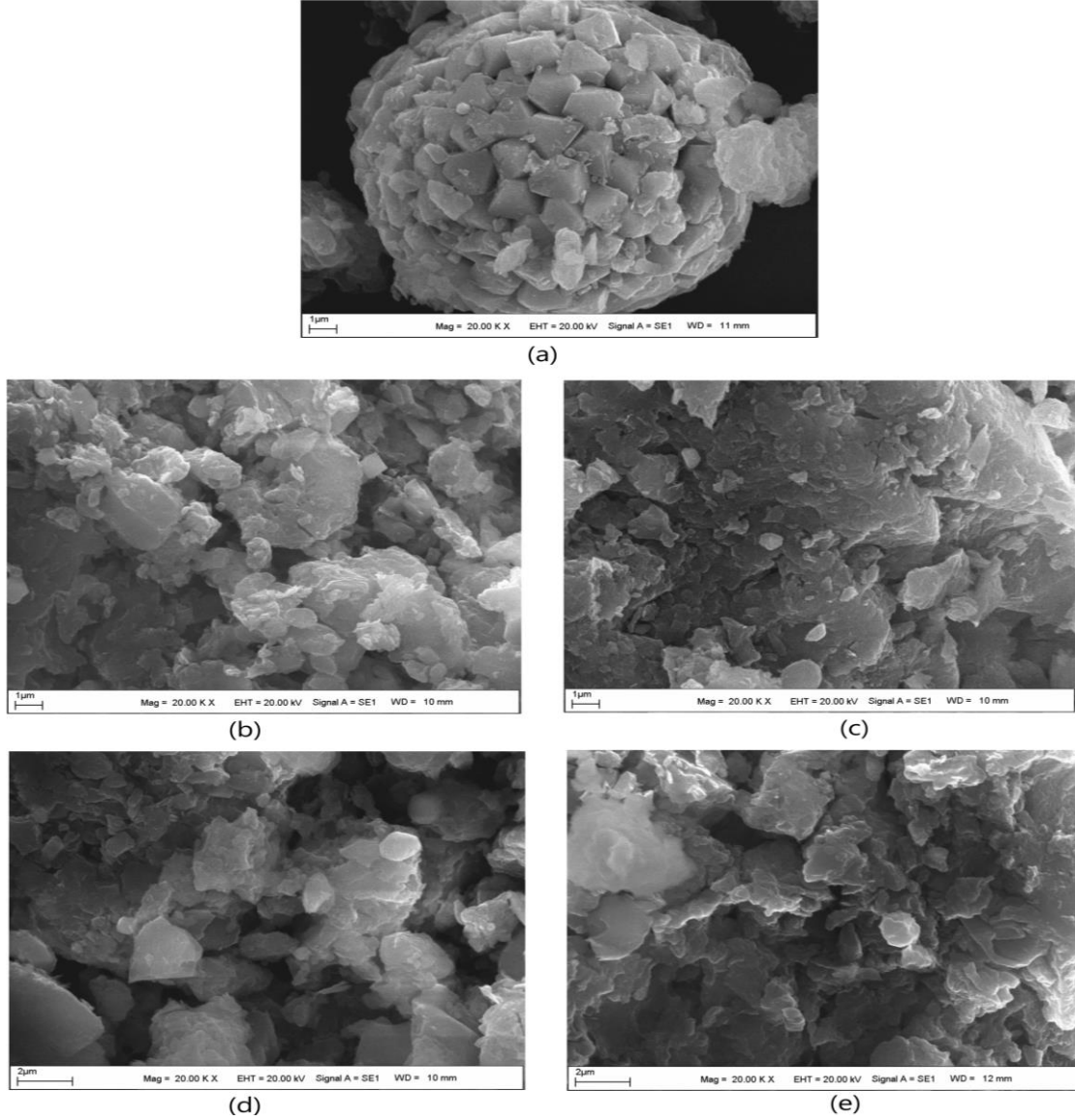
Şekil 4.2 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve malahit yeşili boya giderimi sonrası XRD desenleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

Şekil 4.2’deki adsorpsiyon öncesinde ham turbaya ait toz kırınımaları incelendiğinde belirli bir kristal yapıya sahip olduğu, turbanın 20,76° ve 26,55°’de bulunan 2θ değerlerinde kuvars piklerinin yapısında bulunduğu görülmüştür. Ayrıca turbanın yapısında bulunan bazı amorf yapıların, selülozik yapıdan kaynaklandığı ifade edilmektedir (Karta, 2016; Hanning ve diğ., 2011; Ishikawa ve diğ., 1998).

Sıcaklığın artması ile birlikte 10° ve 25° arasında yer alan piklerin şiddetlerinin azaldığı, yayvan ve geniş piklere dönüştüğü görülmektedir. Piklerin bu değişimi malahit yeşili boyasının yüzeye tutunduğunu göstermektedir.

4.1.3. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu SEM Analiz Sonuçları

Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası SEM görüntüleri Şekil 4.3'te yer almaktadır.



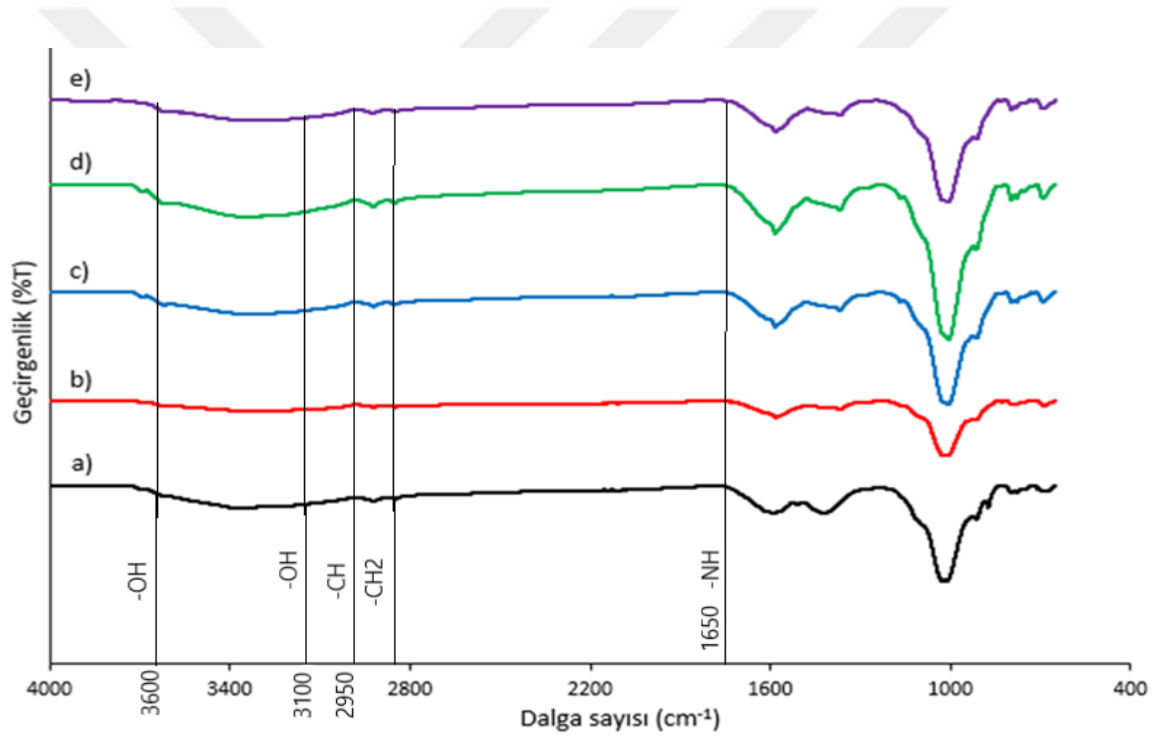
Şekil 4.3 Malahit yeşili adsorpsiyon öncesi ve sonrası turba örneklerin SEM görüntüleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

Şekil 4.3 (a) incelendiğinde turba içerisinde bulunan kuvars ikizleri görülmektedir. Ayrıca amorf yapılarda olan organik bileşiklerin de bulunduğu görülmektedir (Karta, 2016). Şekil 4.3 (b) ile ifade edilen SEM görüntüsü 25 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrasına aittir. Kristal yapıların varlığı ve yer yer boya moleküllerinin kristal yüzeyleri kapladığı

görülmektedir. Şekil 4.3 (c)'de 35 °C'de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrasına aittir. Kristal sisteme ait yüzeylerin gittikçe boya ile kaplandığı görülmektedir. Şekil 4.3 (d)'de 45 °C'de yapılan adsorpsiyon sonrası hem kristal yapılar hem de boya kaplamalarını göstermektedir. Şekil 4.3 (e)'de 55 °C'de yapılan adsorpsiyon işleminden sonra boya moleküllerinin yüzeyi kapladığını göstermiştir.

4.1.4. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu FT-IR Analiz Sonuçları

Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası FT-IR spekturumu Şekil 4.4'te yer almaktadır.



Şekil 4.4 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve malahit yeşili boya giderimi sonrası FT-IR spekturumu (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C'de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

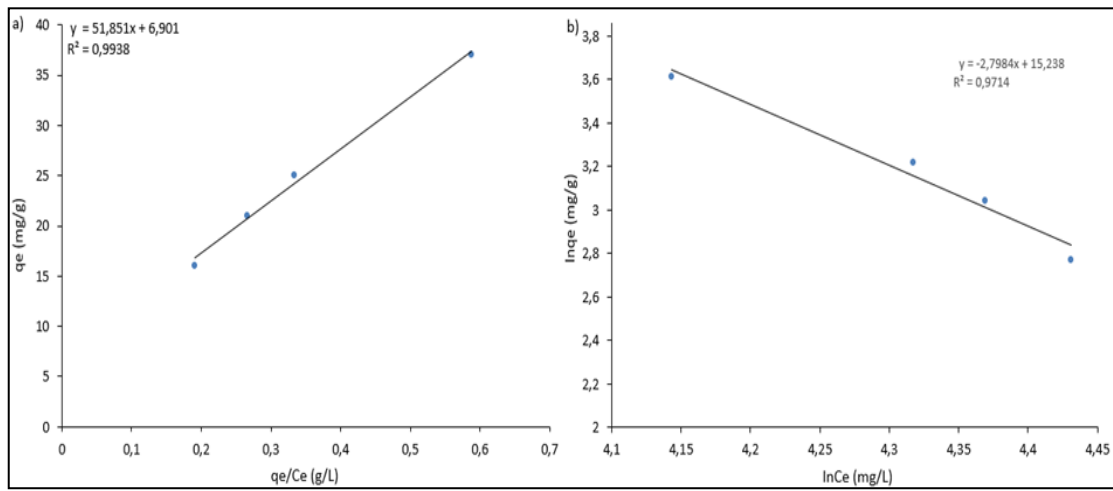
Şekil 4.4 incelendiğinde 3100-3600 cm^{-1} 'de gelen yayvan pik yüzeyde bulunan -OH gruplarına aittir. 2850 cm^{-1} ve 2950 cm^{-1} de gelen küçük pikler, yapıdaki -CH ve -CH₂'den gelen simetrik ve asimetrik gerilmelerden kaynaklanmaktadır. 1650 cm^{-1} civarında gelen -NH piklerinin daha keskin olması yapıda malahit yeşilinin varlığını göstermektedir (Jiuling ve diğ., 2016; Hayes ve diğ. 2015).

Bu durum yapıda değişim olmadığı için malahit yeşilinin adsorbe olduğu ancak turbanın yapısını bozmadığını göstermektedir.

4.1.5 Malahit Yeşili Adsorpsiyon İzoterm ve Kinetik Model Sonuçları

Malahit yeşili boyasının giderimi amacıyla yapılan adsorpsiyon çalışmalarına ait izoterm ve kinetik modelleri aşağıda sunulmuştur.

Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonuna ait Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 Malahit yeşili adsorpsiyonu izotermi a) Langmuir b) Freundlich

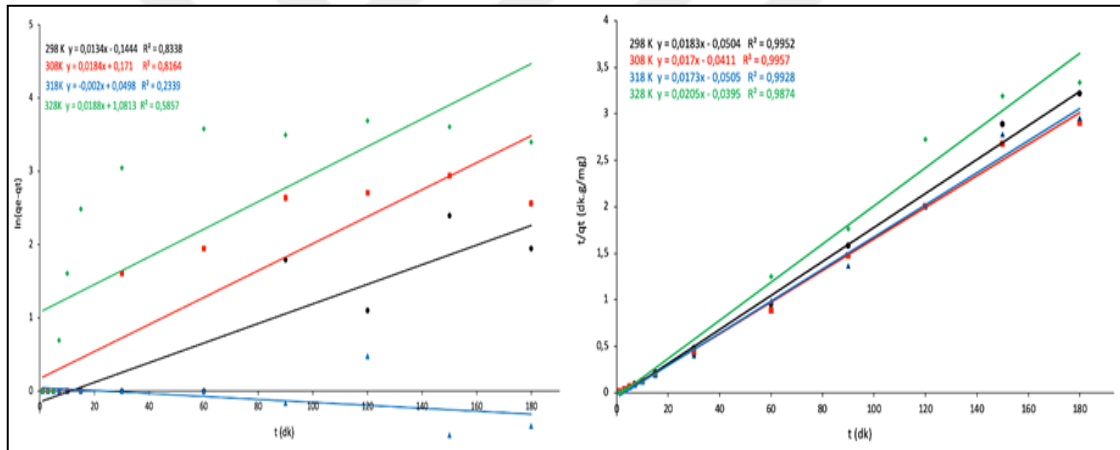
Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonuna ait Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine ait hesaplamalar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonunun izoterm parametreleri

Langmuir		Freundlich	
Parametre	Sonuç	Parametre	Sonuç
q_m (mg/g)	6,901	n (g/L)	-0,3573
K_L (L/mg)	0,01928	K_F (mg/g)	0,357
R_L	0,3414	R^2	0,97
R^2	0,99		

Langmuir izoterm modeline göre adsorplanan malahit yeşili boyası yüzeye tutunarak tek tabakalı lokalize olarak adsorplanmıştır. q_e 'nin q_e/C_e 'ye karşı grafiğe geçirilmesi sonucunda adsorpsiyon kapasitesi $q_m = 6,901$ mg/g, Langmuir izoterm sabiti $0,01928$ L/mg, korelasyon katsayısı $R^2 = 0,99$ olarak hesaplanmıştır. Burada verilen boyutsuz ayırma faktörü $R_L = 0,3414$ olarak hesaplanmıştır ve (R_L) 0 ile 1 arasında olduğundan dolayı fiziksel adsorpsiyon gerçekleşmiştir (Sülkü, 2012; Çakır ve diğ, 2013; Köylü ve diğ 2015; Demirçivi, 2018). Freundlich izoterm modeline göre ise n değerinin $-0,3573$ g/L, turbanın malahit yeşili adsorpsiyon kapasitesi $K_F = 0,357$ mg/g, korelasyon katsayısı $R^2 = 0,97$ olarak hesaplanmıştır. Turbanın malahit yeşili izotermine Freundlich denkleminde daha çok Langmuir denkleminde uyduğu görülmektedir.

Şekil 4.6'da Malahit yeşili adsorpsiyonunun yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri verilmiştir.



Şekil 4.6 Malahit yeşili adsorpsiyon kinetiği a) Yalancı Birinci Dereceden b) Yalancı İkinci Dereceden

Çizelge 4.3'te Malahit yeşili adsorpsiyonunun yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik hesaplama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.3 Turbanın malahit yeşili adsorpsiyonunun kinetik parametreleri

Kinetik Model	Konsantrasyon (mg/L)	Parametre	Sıcaklık (°C)			
			25	35	45	55
Yalancı Birinci Dereceden Kinetik	100	q_e (mg/g)	0,866	1,187	1,202	2,949
	100	K_1 (1/dak)	-0,0134	-0,018	-0,020	-0,0188
	100	R^2	0,83	0,82	0,80	0,59
Yalancı İkinci Dereceden Kinetik	100	q_e (mg/g)	54,645	58,824	57,804	48,781
	100	K_2 ($\times 10^{-3}$) (g/mg.dak)	-6,645	-7,032	-5,927	-10,6
	100	h (mg/g.dak)	-19,841	-24,33	-19,80	-25,317
	100	R^2	0,99	0,99	0,99	0,99

Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi turbanın malahit yeşili adsorpsiyonunun yalancı birinci dereceden kinetik modelinde 25 °C sıcaklığı için korelasyon katsayısı $R^2 = 0,83$; 35 °C için $R^2 = 0,82$; 45 °C için $R^2 = 0,80$; 55 °C için $R^2 = 0,59$ olarak hesaplanmıştır. Turbanın birim kütlesi başına düşen malahit yeşili miktarı olan q_e değerleri ise 25 °C için $q_e = 0,866$ (mg/g); 35 °C için $q_e = 1,187$ (mg/g); 45 °C için $q_e = 1,202$ (mg/g); 55 °C için $q_e = 2,949$ (mg/g) olarak hesaplanmıştır.

Yalancı ikinci dereceden kinetik modelinde ise 25 °C sıcaklığı için korelasyon katsayısı $R^2 = 0,99$; 35 °C için $R^2 = 0,99$; 45 °C için $R^2 = 0,99$; 55 °C için $R^2 = 0,99$ olarak hesaplanmıştır. Turbanın birim kütlesi başına düşen malahit yeşili miktarı olan q_e değerleri ise 25 °C için $q_e = 54,645$ (mg/g); 35 °C için $q_e = 58,824$ (mg/g); 45 °C için $q_e = 57,804$ (mg/g); 55 °C için $q_e = 48,781$ (mg/g) olarak hesaplanmıştır.

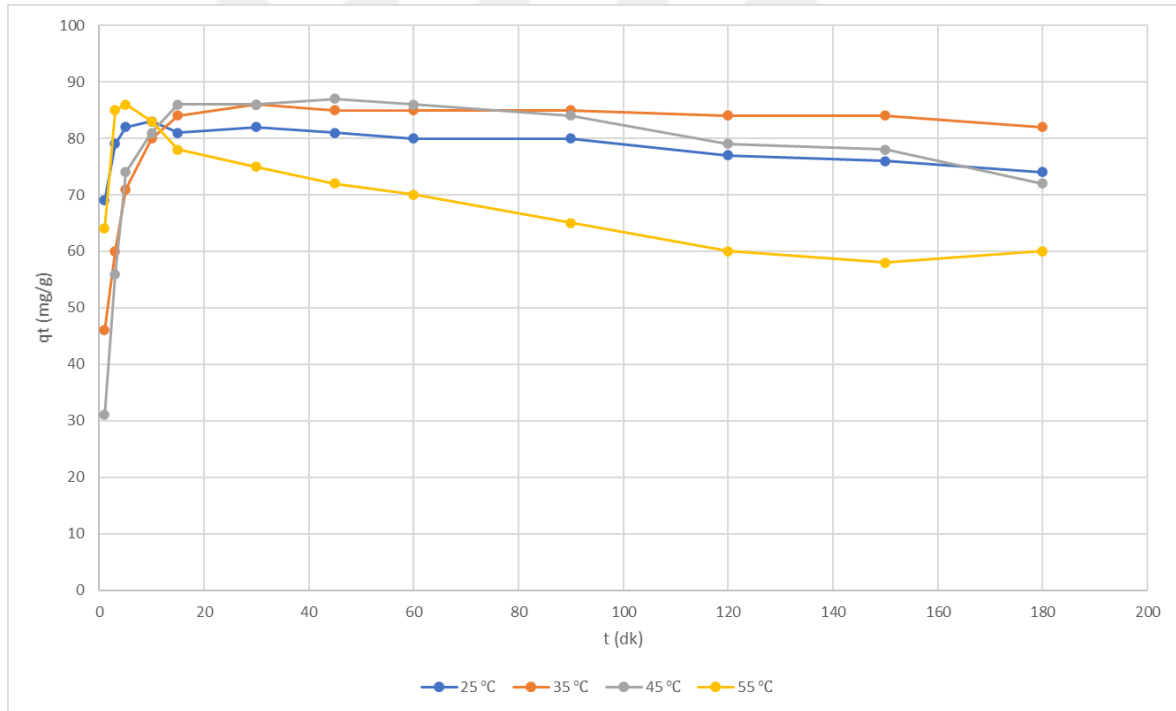
Bu değerler incelendiğinde yalancı birinci dereceden kinetik modelindeki R^2 ve q_e değerlerinin yalancı ikinci dereceden kinetik modelindeki değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu bulgular ışığında turbanın malahit yeşili adsorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik modeline daha uygun olduğu görülmüştür (Fernandes, 2007).

4.2. Metilen Mavisi Adsorpsiyonu

Metilen mavisi boya konsantrasyonu 100 ppm olarak alınmış ve içerisine adsorban olarak 1 g turba ilave edilmiştir. 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C olan her bir sıcaklık için ayrı çözelti ortamı hazırlanmıştır. Boya ve adsorban temas süresi 180 dakika olacak şekilde çalışılmıştır. Metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi, XRD analiz sonuçları, SEM analiz sonuçları, FT-IR analiz sonuçları, adsorpsiyon denge izotermi ve adsorpsiyon kinetik modelleri aşağıda sırası ile verilmiştir.

4.2.1. Metilen Mavisi Adsorpsiyonunun Sıcaklığa ve Zamana Bağlı Değişimi

Metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 4.7’de yer almaktadır.



Şekil 4.7 Metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi

Şekil 4.7 ve Çizelge 4.4 incelendiğinde 25 °C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklarında adsorpsiyonun ilk 30 dakika boyunca arttığı ve 30. dakikada sırası ile 82 mg/g, 86 mg/g ve 86 mg/g değerlerine ulaştığı görülmüştür. Daha sonra 25 °C ve 35 °C sıcaklıklarında desorpsiyon başlarken 45 °C sıcaklıkta adsorpsiyon 87 mg/g değerine ulaştıktan sonra 45. dakikada desorpsiyon başlamıştır.

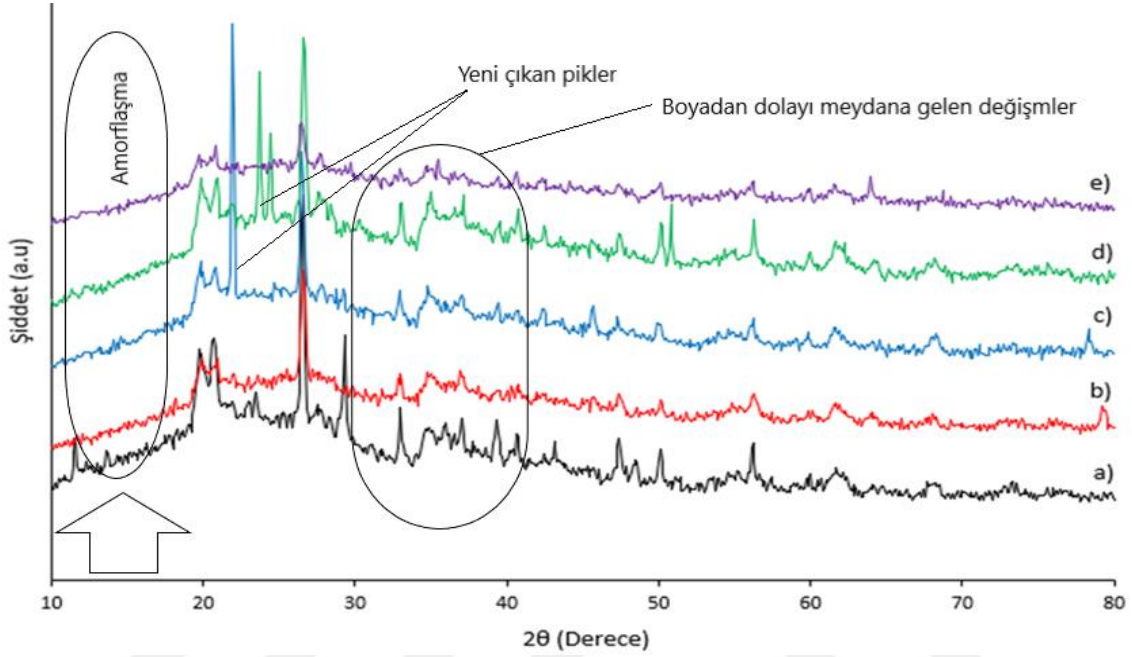
55 °C sıcaklığında ise diğer sıcaklıklardan farklı olarak ilk 5 dakika boyunca adsorpsiyonun arttığı 5. dakikada 86 mg/g değere ulaştıktan sonra desorpsiyon başlamış olup 150. dakikaya kadar devam etmiştir. 150. dakikadan sonra ise tekrar adsorpsiyon başlamıştır. Bu da adsorpsiyonun tamamlandığının bir göstergesidir. Bu bulgular 25 °C, 35 °C ve 45 °C sıcaklıklar için en yüksek verimin ilk 30 dakika, 55 °C için ise ilk 5 dakikada elde edildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.4. Metilen mavisi adsorpsiyonunun zamana bağlı verimliliği

Sıcaklık	En yüksek verim	En düşük verim
25 °C	30. dak (82 mg/g)	1. dak (69 mg/g)
35 °C	30. dak (83 mg/g)	1. dak (46 mg/g)
45 °C	45. dak (87 mg/g)	1. dak (31 mg/g)
55 °C	5. dak (86 mg/g)	120. dak (58 mg/g)

4.2.2. Metilen Mavisi Adsorpsiyonu XRD Analiz Sonuçları

Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası XRD toz kırınım desenleri Şekil 4.8’de yer almaktadır.

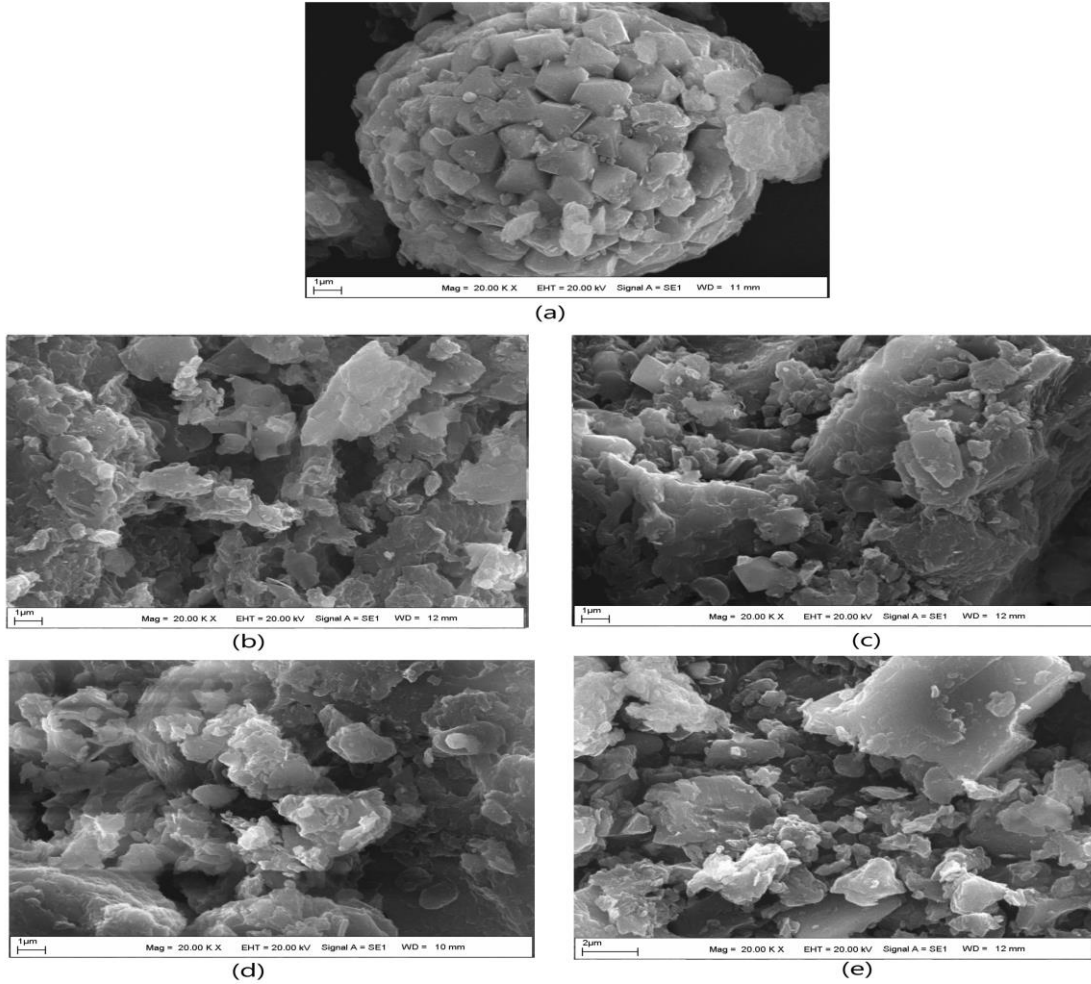


Şekil 4.8 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve metilen mavisi boya giderimi sonrası XRD desenleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

Şekil 4.8 incelendiğinde 2θ değerlerinin 10° – 20° arasındaki pik şiddetlerinin azaldığı yapının amorflaştığı görülmektedir. 2θ değerlerinin 20°–30° arasındaki pikler incelendiğinde 35°C ve 45°C’lerde yapılan adsorpsiyon işlemi sonrasında yeni piklerin ortaya çıktığı görülmüştür. Ayrıca 30° – 40° (2θ) arasında da pik değişimleri görülmektedir. Piklerdeki bu değişimlerin, boyadan kaynaklandığı düşünülmektedir. 55°C’de yapılan adsorpsiyonda ise pik şiddetlerinin oldukça küçüldüğü ve yapının amorflaşmış olduğu görülmektedir.

4.2.3. Metilen Mavisi Adsorpsiyonu SEM Analiz Sonuçları

Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası SEM görüntüleri Şekil 4.9'da yer almaktadır.

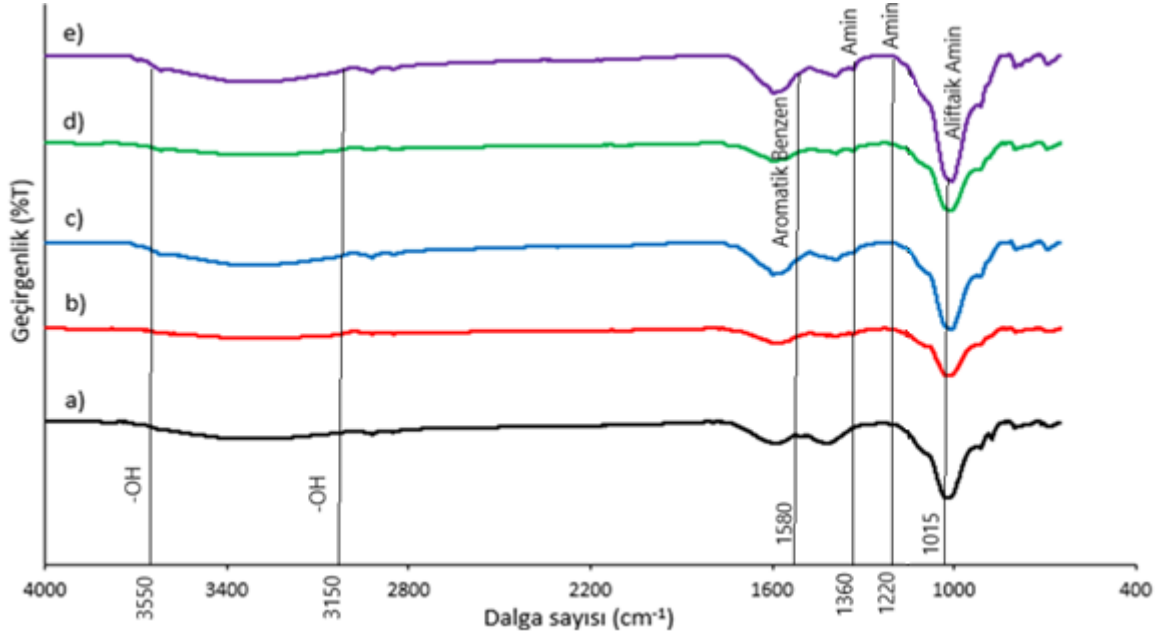


Şekil 4.9 Metilen mavisi adsorpsiyon öncesi ve sonrası turba örneklerin SEM görüntüleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

Şekil 4.9 incelendiğinde 25°C (b), 35°C (c) ve 45°C (d) sıcaklıklarda yapılan işlemlerde adsorpsiyon ve desorpsiyondan kaynaklanan boya moleküllerinin bazı bölgelerde fazla tutunduğu ve kristal yapıların amorflaşmaya yakın bir etki gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.9 (e) 55°C sıcaklıkta yapılan işlemde ise boya moleküllerinin kısa sürede adsorplamasından sonra zamanla desorplaması ve yeniden adsorplaması sonucu yüzeyde bulunan boya moleküllerinin belirginliği diğer üç sıcaklıktaki boya moleküllerine göre daha azdır.

4.2.4. Metilen Mavisi Adsorpsiyonu FT-IR Analiz Sonuçları

Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarda yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası FT-IR spekturumu Şekil 4.10'da yer almaktadır.



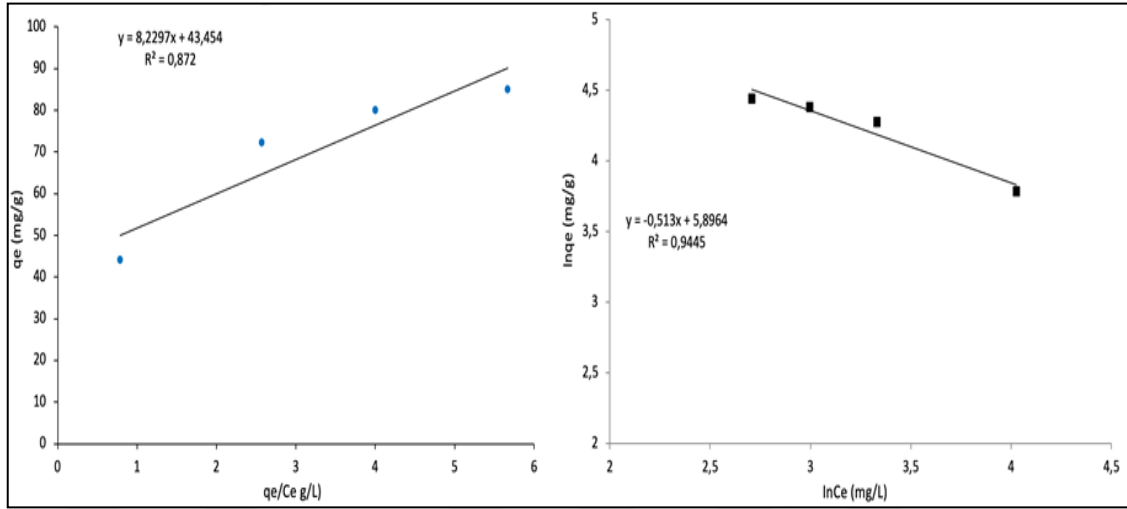
Şekil 4.10 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve metilen mavisi boya giderimi sonrası FT-IR spekturumu (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C'de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

Şekil 4.10'da yapıda bulunan -OH yayvan pikleri 3150-3550 cm^{-1} 'de görülmektedir. Metilen mavisi boyar maddesinden kaynaklı aromatik halkada bulunan amin pikleri 1220-1360 cm^{-1} 'de, alifatik amin ise 1015-1255 cm^{-1} 'de görülmüştür. Aromatik benzen halkasından kaynaklı pikler ise 1580 cm^{-1} 'de görülmüştür (Jiuling ve diğ, 2016; Hayes ve diğ, 2015).

4.2.5. Metilen Mavisi Adsorpsiyon İzoterm ve Kinetik Model Sonuçları

Metilen mavisi boyasının giderimi amacıyla yapılan adsorpsiyon çalışmalarına ait izoterm ve kinetik modelleri sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonuna ait Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 Metilen mavisi boyasının adsorpsiyon izotermi a) Langmuir b) Freundlich

Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonuna ait Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine ait hesaplamalar Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonunun izoterm parametreleri

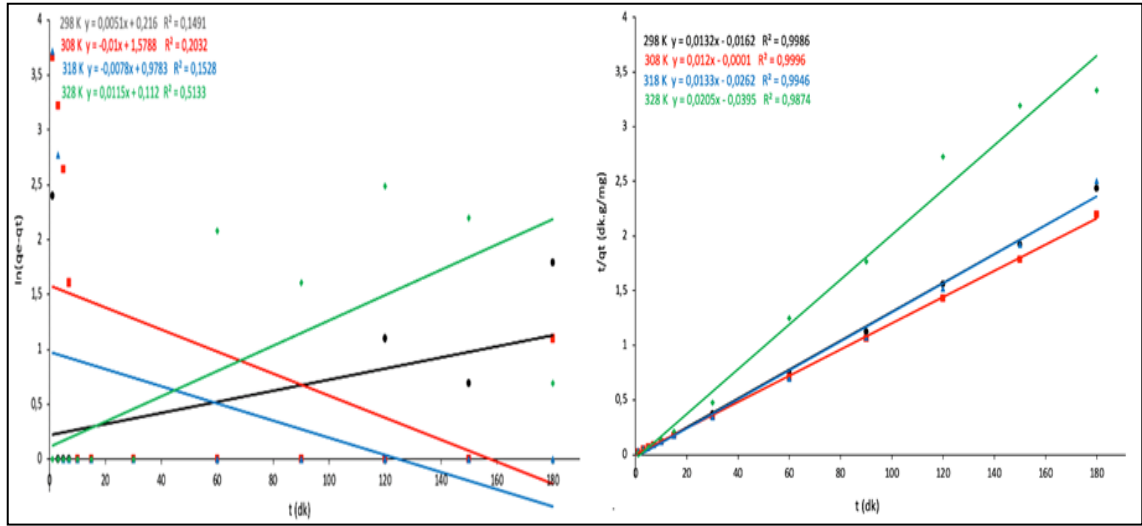
Langmuir		Freundlich	
Parametre	Sonuç	Parametre	Sonuç
q_m (mg/g)	43,54	n (g/L)	-1,945
K_L (L/mg)	0,1215	K_F (mg/g)	363,726
R_L	0,07604	R^2	0,95
R^2	0,87		

Langmuir izoterm modeline göre adsorplanan metilen mavisi boyasının yüzeyde tutunmamış olduğunu ve kimyasal adsorpsiyona yakın olduğu görülmüştür. Dengedeki adsorpsiyon miktarı olan q_e ’nin q_e/C_e ye karşı çizilen grafik sonucunda adsorpsiyon kapasitesi $q_m=43,54$ mg/g, Langmuir sabiti 0,1215 L/mg, korelasyon katsayısı 0,87 olarak hesaplanmıştır. Burada verilen boyutsuz ayırma faktörü $R_L=0,07604$ olarak hesaplanmıştır ve R_L 0’a çok yakın olduğundan geri dönüşümü olmayan adsorpsiyon gerçekleşmiştir

(Sülkü, 2012; kır ve diğ, 2013; Köylü ve diğ 2015; Demirçivi, 2018). Metilen mavisi boyasının adsorpsiyonunun Langmuir denkleminde uymadığı görülmektedir.

Freundlich izoterm modeline göre ise n değerinin -1,945 g/L, olarak hesaplanmıştır. Adsorban olarak kullanılan turbanın metilen mavisi adsorpsiyon kapasitesi $K_F = 363,726$ mg/g, R^2 değeri ise 0,95 olarak hesaplanmıştır. Turbanın metilen mavisi boyasında adsorpsiyon izoterminin Langmuir denkleminde daha çok Freundlich denkleminde uyduğu görülmektedir.

şekil 4.12’de Kristal violet adsorpsiyonunun yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri verilmiştir.



şekil 4.12 Metilen mavisi adsorpsiyon kinetiği a) Yalancı Birinci Dereceden b) Yalancı İkinci Dereceden

Çizelge 4.6’da Metilen mavisi adsorpsiyonunun yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik hesaplama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.6 Turbanın metilen mavisi adsorpsiyonunun kinetik parametreleri

Kinetik Model	Konsantrasyon (mg/L)	Parametre	Sıcaklık (°C)			
			25	35	45	55
Yalancı Birinci Dereceden Kinetik	100	q_e (mg/g)	1,241	4,849	2,660	1,119
	100	K_1 (1/dak)	-0,0051	0,01	0,0078	-0,015
	100	R^2	0,15	0,20	0,15	0,51
	100	q_e (mg/g)	75,76	83,33	75,188	48,781
Yalancı İkinci Dereceden Kinetik	100	K_2 (g/mg.dak)	-0,0107	-1,44	-0,0068	-0,0106
	100	h (mg/g.dak)	-61,728	-10,000	-38,168	-25,317
	100	R^2	0,99	0,99	0,99	0,99

Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi turbanın metilen mavisi adsorpsiyonunun yalancı birinci dereceden kinetik modelinde 25 °C sıcaklığı için korelasyon katsayısı $R^2 = 0,15$; 35 °C için $R^2 = 0,20$; 45 °C için $R^2 = 0,15$; 55 °C için $R^2 = 0,51$ olarak hesaplanmıştır. Turbanın birim kütlesi başına düşen malahit yeşili miktarı olan q_e değerleri ise 25 °C için $q_e = 1,241$ (mg/g); 35 °C için $q_e = 4,849$ (mg/g); 45 °C için $q_e = 2,660$ (mg/g); 55 °C için $q_e = 1,119$ (mg/g) olarak hesaplanmıştır.

Yalancı ikinci dereceden kinetik modelinde ise 25 °C sıcaklığı için korelasyon katsayısı $R^2 = 0,99$; 35 °C için $R^2 = 0,99$; 45 °C için $R^2 = 0,99$; 55 °C için $R^2 = 0,99$ olarak hesaplanmıştır. Turbanın birim kütlesi başına düşen malahit yeşili miktarı olan q_e değerleri ise 25 °C için $q_e = 75,76$ (mg/g); 35 °C için $q_e = 83,33$ (mg/g); 45 °C için $q_e = 75,188$ (mg/g); 55 °C için $q_e = 48,781$ (mg/g) olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler incelendiğinde yalancı birinci dereceden kinetik modelindeki R^2 ve q_e değerlerinin yalancı ikinci dereceden kinetik modelindeki değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür.

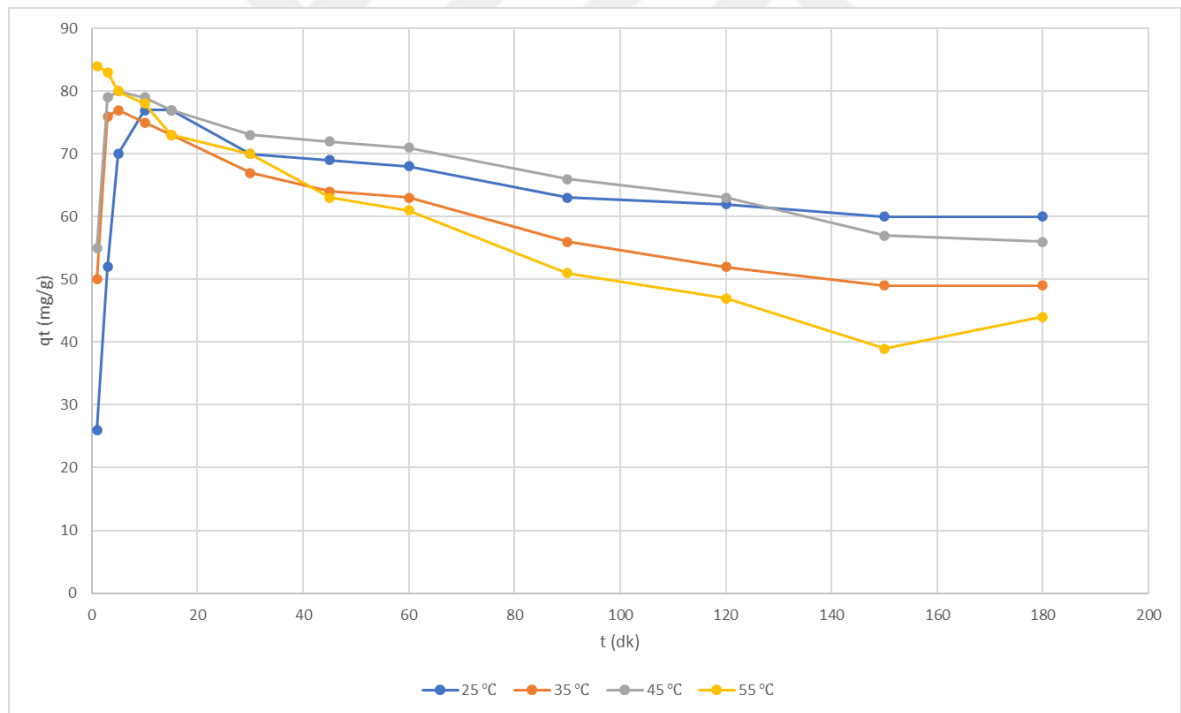
Bu bulgular ışığında turbanın metilen mavisi adsorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik modeline daha uygun olduğu söylenebilir (Fernandes, 2007).

4.3. Kristal Violet Adsorpsiyonu

Kristal violet boya konsantrasyonu 100 ppm olarak alınmış ve içerisine adsorban olarak 1 g turba ilave edilmiştir. 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C olan her bir sıcaklık için ayrı çözelti ortamı hazırlanmıştır. Boya ve adsorban temas süresi 180 dakika olacak şekilde çalışılmıştır. Kristal violet adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi, XRD analiz sonuçları, SEM analiz sonuçları, FT-IR analiz sonuçları, adsorpsiyon denge izotermi ve adsorpsiyon kinetik modelleri aşağıda sırası ile verilmiştir.

4.3.1. Kristal Violet Adsorpsiyon İzoterm ve Kinetik Model Sonuçları

Kristal violet adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 4.13'te yer almaktadır.



Şekil 4.13 Kristal violet adsorpsiyonunun sıcaklığa ve zamana bağlı değişimi

Şekil 4.13 ve Çizelge 4.7 incelendiğinde 25 °C sıcaklığında adsorpsiyonun ilk dakikalarda diğer sıcaklıklara göre daha düşük gerçekleştiği, 10. dakikada 77 mg/g'a kadar arttığı görülmüştür. 15. dakikadan sonra ise desorpsiyon başlamış olup 150. dakikada miktarın 60 mg/g'a kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

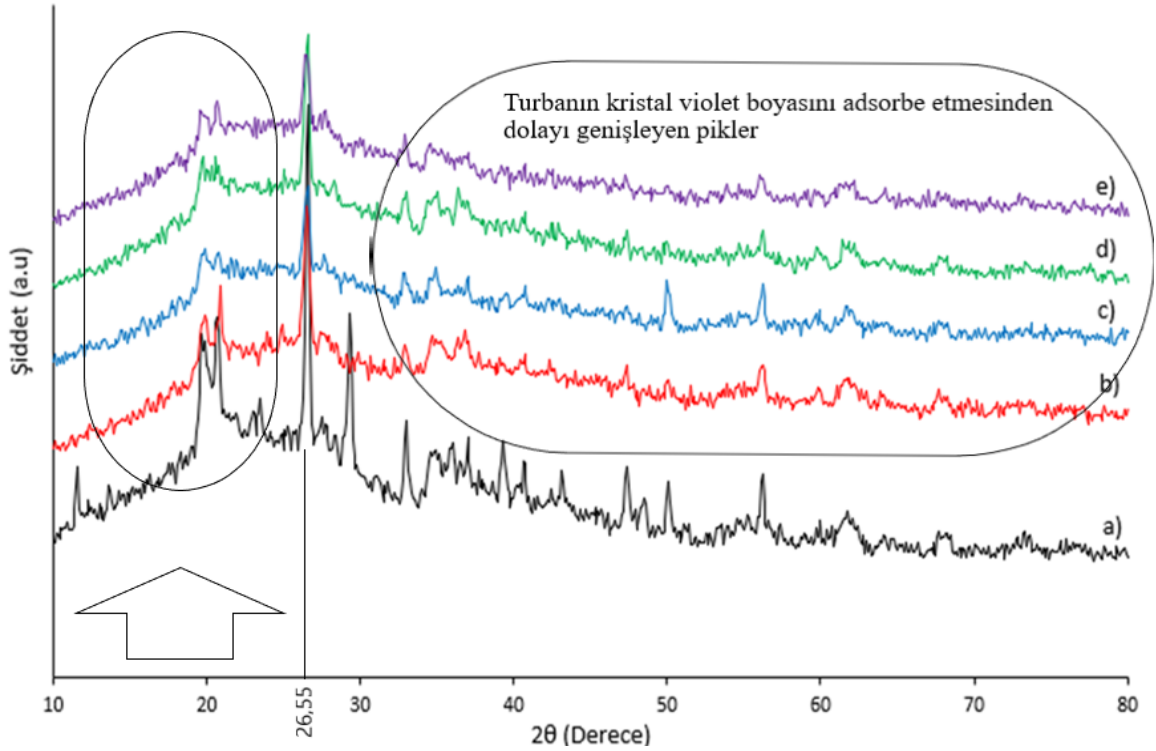
35 °C ve 45 °C sıcaklıklarında ise adsorpsiyon 5. dakikada sırası ile 77 mg/g, 80 mg/g olarak gerçekleştiği, daha sonra desorpsiyonun başladığı görülmüştür. 55 °C sıcaklığında adsorpsiyon miktarı 1. dakikada 84 mg/g olup süre ilerledikçe desorpsiyon gerçekleşerek miktar 150. dakikada 39 mg/g'a kadar düşmüştür. 150. dakikadan sonra tekrar adsorpsiyon başlayıp 180. dakikada 44 mg/g değerine ulaşılmıştır. Bu bulgular en yüksek verimin 15. dakikada elde edildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.7 Kristal violet adsorpsiyonunun zamana bağlı verimliliği

Sıcaklık	En yüksek verim	En düşük verim
25 °C	10. ve 15. dak (77 mg/g)	1. dak (26 mg/g)
35 °C	5. dak (77 mg/g)	150. dak (49 mg/g)
45 °C	5. dak (80 mg/g)	1. dak (55 mg/g)
55 °C	1. dak (80 mg/g)	150. dak (39 mg/g)

4.3.2. Kristal Violet Adsorpsiyonu XRD Analiz Sonuçları

Turbanın kristal violet adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası XRD toz kırınım desenleri Şekil 4.14'te yer almaktadır.

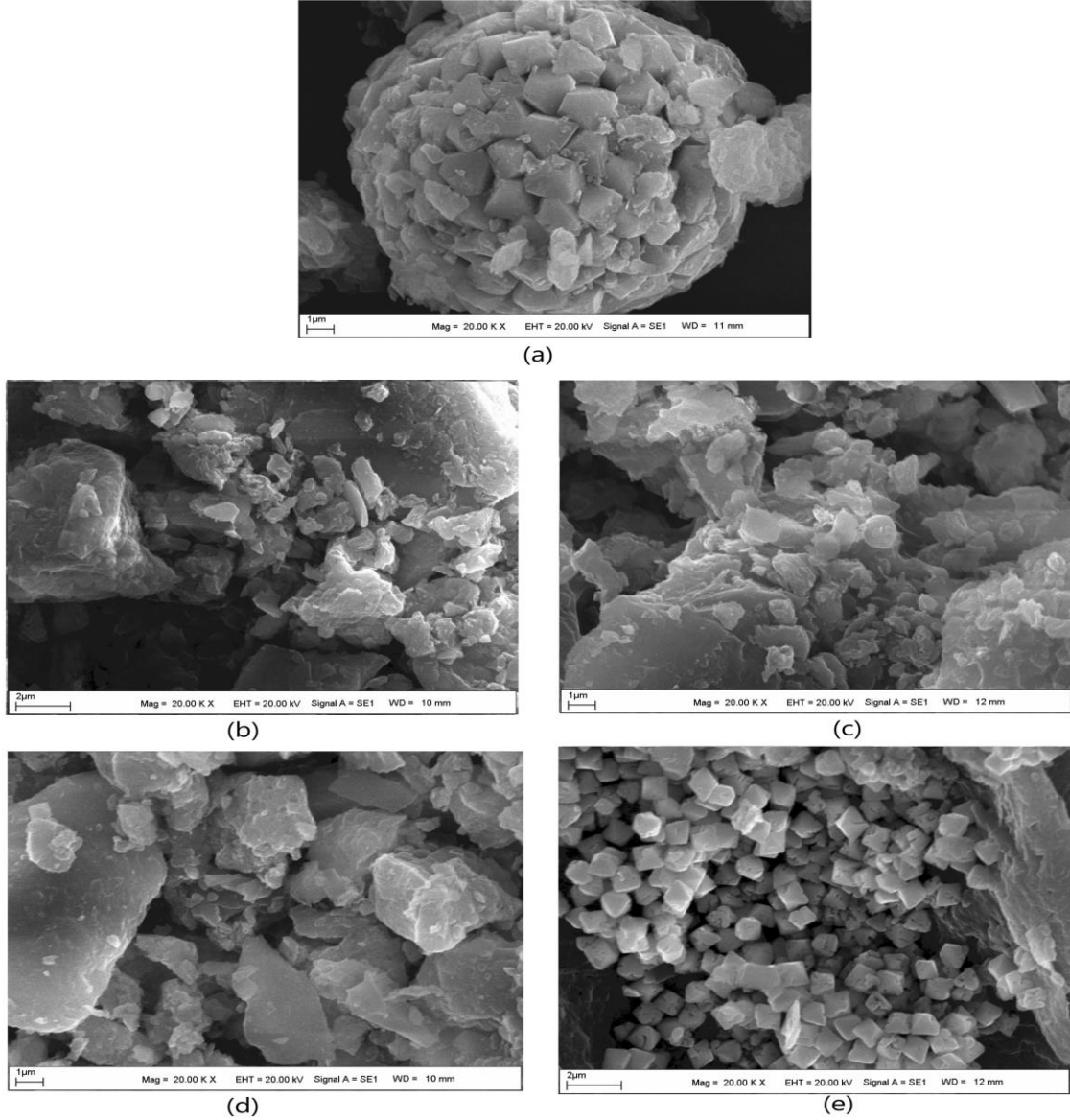


Şekil 4.14 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve kristal violet boya giderimi sonrası XRD desenleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

Şekil 4.14’te 2θ değeri $26,55^\circ$ olan yapıda bulunan kuvars pikinin tüm sıcaklıklarda değişmediği görülmektedir. $10^\circ - 25^\circ$ arasındaki pik şiddetlerinin azaldığı, genişlediği ve amorflaşmaya yakın bir hal aldığı görülmektedir. 2θ değerlerinin 30° ’den sonraki piklerde bazı piklerin kaybolduğu, genişlediği ve şiddetinin azaldığı görülmektedir. Piklerde olan bu değişimler turbanın kristal violet boyasını adsorbe ettiğini göstermektedir.

4.3.3. Kristal Violet Adsorpsiyonu SEM Analiz Sonuçları

Turbanın kristal violet adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası SEM görüntüleri Şekil 4.15'te yer almaktadır.



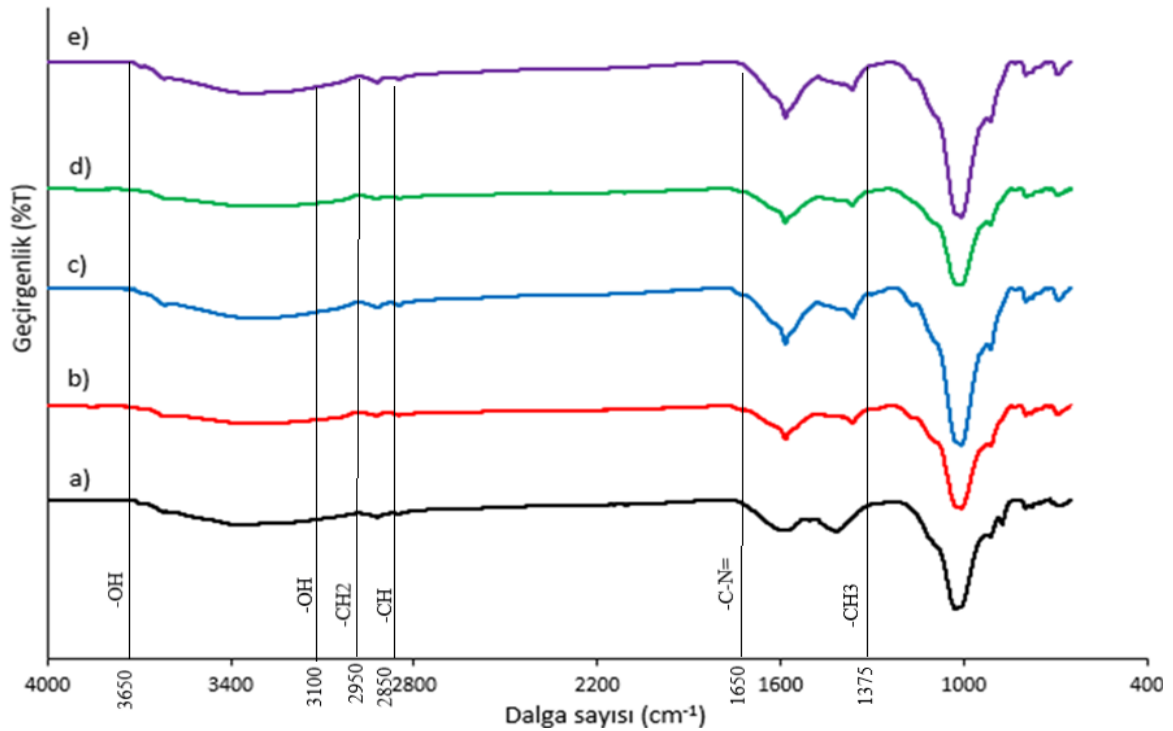
Şekil 4.15 Kristal violet adsorpsiyon öncesi ve sonrası turba örneklerin SEM görüntüleri (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

Şekil 4.15 incelendiğinde farklı sıcaklıklarda yapılan adsorpsiyon çalışmasında ilk anlarda yüksek adsorpsiyon kapasitesine ulaşıldıktan sonra desorpsiyon başlamıştır. Bunun etkisini SEM görüntülerinde, XRD desenlerinde ve FT-IR piklerinde görülmektedir.

En fazla desorpsiyon 55°C sıcaklıkta olması 150 dakikadan sonra tekrar adsorpsiyona başlaması kuvars kristal ikizlerini daha belirgin göstermiştir.

4.3.4. Kristal Violet Adsorpsiyonu FT-IR Analiz Sonuçları

Turbanın kristal violet adsorpsiyonu öncesi ve 25 °C, 35 °C, 45 °C ve 55 °C sıcaklıklarında yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası FT-IR spekturumu Şekil 4.16'da yer almaktadır.



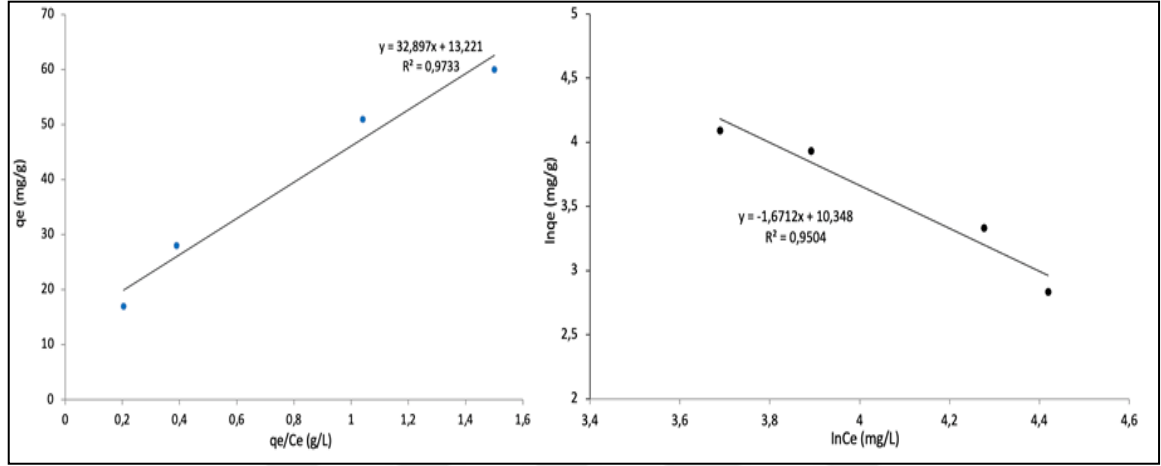
Şekil 4.16 Turbanın adsorpsiyon öncesi ve kristal violet boya giderimi sonrası FT-IR spekturumu (a: Turba, b: 25 °C , c: 35 °C, d: 45 °C ve e: 55 °C’de yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası)

Şekil 4.16 incelendiğinde 3100-3650 cm⁻¹ civarında gelen geniş pik -OH gruplarına aittir, kristal violet boyasının yapısından kaynaklı -CH₃ gruplarına ait simetrik ve asimmetrik -CH, -CH₂, -CH₃ pikleri ise sırasıyla 2850 cm⁻¹, 2950 cm⁻¹ ve 1375 cm⁻¹ de gelmektedir (Jiuling ve diğ, 2016; Hayes ve diğ, 2015). Alifatik -C-N= pikleri ise 1650 cm⁻¹ de daha keskin görülmektedir. Yapıda bulunan değişimlerden kaynaklı kimyasal bağlanma görülmüştür. Fakat yapıda kristal violet boyasına ait sabit pikler de bulunması nedeniyle hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyon gerçekleştiği ön görülmüştür.

4.3.5. Kristal Violet Adsorpsiyonu İzoterm ve Kinetik Sonuçları

Kristal violet boyasının giderimi amacıyla yapılan adsorpsiyon çalışmalarına ait izoterm ve kinetik modelleri sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

Turbanın kristal violet adsorpsiyonuna ait Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17 Kristal violet boyasının adsorpsiyon izotermi a) Langmuir b) Freundlich

Turbanın kristal violet adsorpsiyonuna ait Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine ait hesaplamalar Çizelge 4.8’de verilmiştir.

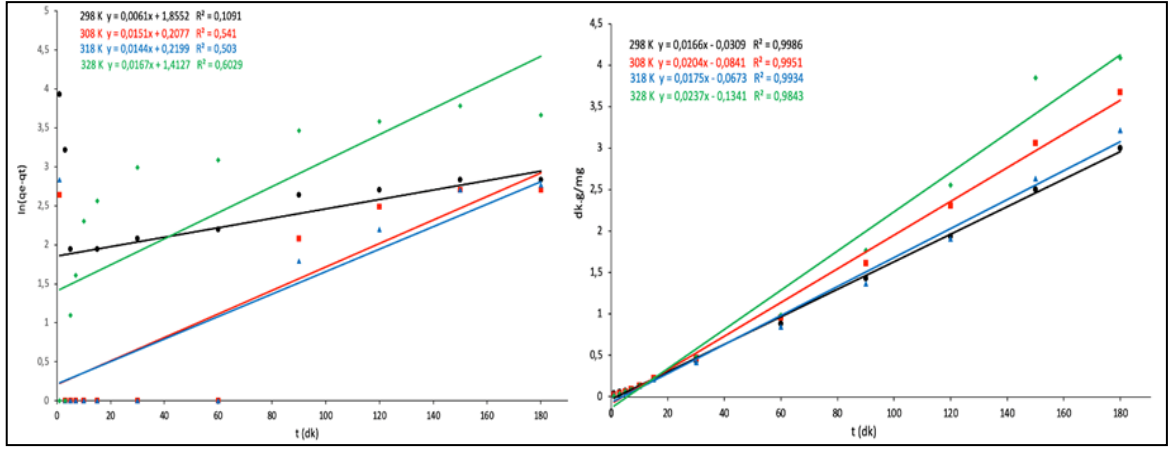
Çizelge 4.8 Turbanın kristal violet boyası adsorpsiyonunun izoterm parametreleri

Langmuir		Freundlich	
Parametre	Sonuç	Parametre	Sonuç
q_m (mg/g)	13,221	n (g/L)	-0,5984
K_L (L/mg)	0,03039	K_F (mg/g)	$31,194 \times 10^3$
R_L	0,2475	R^2	0,95
R^2	0,97		

Langmuir izoterm modeline göre adsorplanan kristal violet boyası yüzeye tutunarak tek tabakalı lokalize olarak adsorplanmıştır. q_e ’nin q_e/C_e ye karşı grafiği nin çizilmesi sonucunda adsorpsiyon kapasitesi $q_m=13,221$ mg/g, Langmuir sabiti 0,03039 L/mg, korelasyon katsayısı 0,97 olarak hesaplanmıştır. Burada verilen boyutsuz ayırma faktörü $R_L=0,2475$ olarak hesaplanmıştır ve (R_L) 0 ile 1 arasında olduğundan fiziksel olarak adsorpsiyon gerçekleşmiştir (Sülkü, 2012; Çakır ve diğ, 2013; Köylü ve diğ 2015; Demirçivi, 2018). Kristal violet boyasının adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon izoterm denkleminde uygun olduğu görülmektedir.

Freundlich adsorpsiyon izoterm modeline göre ise n değerinin -0,5984 g/L, turbanın kristal violet boyası adsorpsiyon kapasitesi $K_F= 31,194 \times 10^3$ mg/g ve $R^2= 0,95$ olarak hesaplanmıştır. Turbanın kristal violet boyasının adsorpsiyon izoterminin Freundlich denkleminde daha çok Langmuir denkleminde uygun olduğu görülmektedir. Turbanın kristal violet boyası adsorpsiyonu için hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyon yaptığı düşünülmektedir.

Şekil 4.18’de Kristal violet adsorpsiyonunun yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri verilmiştir.



Şekil 4.18 Kristal violet boyası adsorpsiyon kinetiği a) Yalancı Birinci Dereceden b) Yalancı İkinci Dereceden

Çizelge 4.9’da Kriстал violet adsorpsiyonunun yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik hesaplama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.9 Turbanın kristal violet boyası adsorpsiyonunun kinetik parametresi

Kinetik Model	Konsantrasyon (mg/L)	Parametre	Sıcaklık (°C)			
			25	35	45	55
Yalancı Birinci Dereceden Kinetik	100	q_e (mg/g)	6,393	1,231	1,246	4,107
	100	K_1 (1/dak)	-0,0061	-0,015	-0,014	-0,0167
	100	R^2	0,11	0,54	0,50	0,60
Yalancı İkinci Dereceden Kinetik	100	q_e (mg/g)	60,241	49,020	57,143	42,194
	100	K_2 ($\times 10^{-3}$) (g/mg.dak)	-8,918	-4,948	-4,55	-4,189
	100	h (mg/g.dak)	-32,362	-11,89	-14,86	-7,457
	100	R^2	0,99	0,99	0,99	0,98

Çizelge 4.9’da görüldüğü gibi turbanın kristal violet adsorpsiyonunun yalancı birinci dereceden kinetik modelinde 25 °C sıcaklığı için korelasyon katsayısı $R^2 = 0,11$; 35 °C için $R^2 = 0,54$; 45 °C için $R^2 = 0,50$; 55 °C için $R^2 = 0,60$ olarak hesaplanmıştır. Turbanın birim kütlesi başına düşen malahit yeşili miktarı olan q_e değerleri ise 25 °C için $q_e = 6,393$ (mg/g); 35 °C için $q_e = 1,231$ (mg/g); 45 °C için $q_e = 1,246$ (mg/g); 55 °C için $q_e = 4,107$ (mg/g) olarak hesaplanmıştır.

Yalancı ikinci dereceden kinetik modelinde ise 25 °C sıcaklığı için korelasyon katsayısı $R^2= 0,99$; 35 °C için $R^2= 0,99$; 45 °C için $R^2= 0,99$; 55 °C için $R^2= 0,98$ olarak hesaplanmıştır. Turbanın birim kütlesi başına düşen malahit yeşili miktarı olan q_e değerleri ise 25 °C için $q_e= 60,241$ (mg/g); 35 °C için $q_e= 49,020$ (mg/g); 45 °C için $q_e= 57,143$ (mg/g); 55 °C için $q_e= 42,194$ (mg/g) olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler incelendiğinde yalancı birinci dereceden kinetik modelindeki R^2 ve q_e değerlerinin yalancı ikinci dereceden kinetik modelindeki değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür.

Bu bulgular ışığında turbanın kristal violet adsorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik modeline daha uygun olduğu görülmüştür (Fernandes, 2007).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Adsorpsiyon çalışmasında 3 farklı boya türü (malahit yeşili, metilen mavisi, kristal violet) için 4 ayrı sıcaklıkta (25°C, 35°C, 45°C ve 55°C) 180 dakika temas süresi boyunca adsorban malzeme olarak Adıyaman bölgesine ait turba kullanılmıştır . Üç farklı boya türünde adsorpsiyon öncesi ve sonrası yapı incelendiğinde malahit yeşili boyasında fiziksel adsorpsiyon, metilen mavisi boyasında kimyasal adsorpsiyon ve kristal violet boyasında ise hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyon gerçekleştiği yapılan yapısal karakterizasyon, izoterm ve kinetik hesaplamalar sonucunda bulunmuştur.

Malahit yeşili boyası için turbanın yapısal karakterizasyonunda XRD, SEM ve FT-IR sonuçlarına göre malahit yeşilinin yapıda herhangi bir kimyasal tepkimeye girmeden turbanın yüzeyinde tutunduğu görülmüştür. Langmuir izotermi incelendiğinde adsorpsiyon kapasitesi 6,901 mg/g olarak hesaplanmıştır. R_L değeri sonucunda fiziksel adsorpsiyonun tek tabakalı boyutta fiziksel olarak gerçekleştiği görülmüştür. Tepkime hızına göre ise yalancı ikinci dereceden kinetiğe uyduğu ve korelasyon katsayısının 0,99 olduğu hesaplanmıştır.

Metilen mavisi boyası için turbanın yapısal karakterizasyonunda XRD, SEM ve FT-IR sonuçlarına göre metilen mavisinin turbanın yüzeyinde kimyasal tepkimeye girdiği görülmüştür. Bunun turbanın yapısında olabilecek organik kökenli bileşikler olabileceği düşünülmektedir. Langmuir izotermi incelendiğinde R_L değerinin 0'a çok yakın olması sonucunda kimyasal adsorpsiyonun olması nedeniyle geri dönüşümün olmadığı görülmüştür. Freundlich izotermine göre adsorpsiyon kapasitesi 363,726 mg/g olarak hesaplanmıştır. Tepkime hızına göre ise yalancı ikinci dereceden kinetiğe uyduğu ve korelasyon katsayısının 0,99 olduğu hesaplanmıştır.

Kristal violet boyası için turbanın yapısal karakterizasyonunda XRD, SEM ve FT-IR sonuçlarına göre kristal violetin turbanın gözeneklerinde hem fiziksel hem de kimyasal tepkime olduğu görülmüştür. Langmuir izotermi incelendiğinde; adsorpsiyon kapasitesi 13,221 mg/g olarak hesaplanmıştır. R_L değerinin 0 ile 1 aralığında olması sonucunda fiziksel adsorpsiyon tek tabakalı boyutta gerçekleştiği görülmüştür. Tepkime hızına göre ise yalancı ikinci dereceden kinetiğe uyduğu ve korelasyon katsayısının 0,99 olduğu hesaplanmıştır. Bunun sonucunda kristal violet adsorpsiyonunun hem fiziksel hem de kimyasal olduğu söylenilebilmektedir.

Yapılan çalışmada turbanın boya gideriminde uygun bir adsorban olabileceği ön görölmüştür.

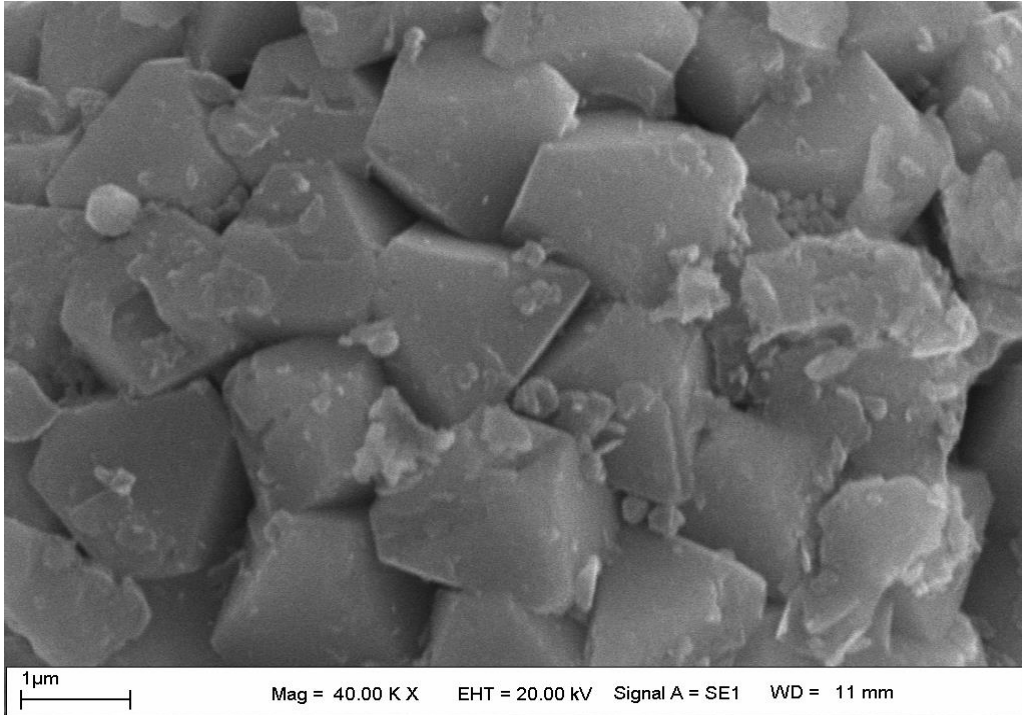


EKLER

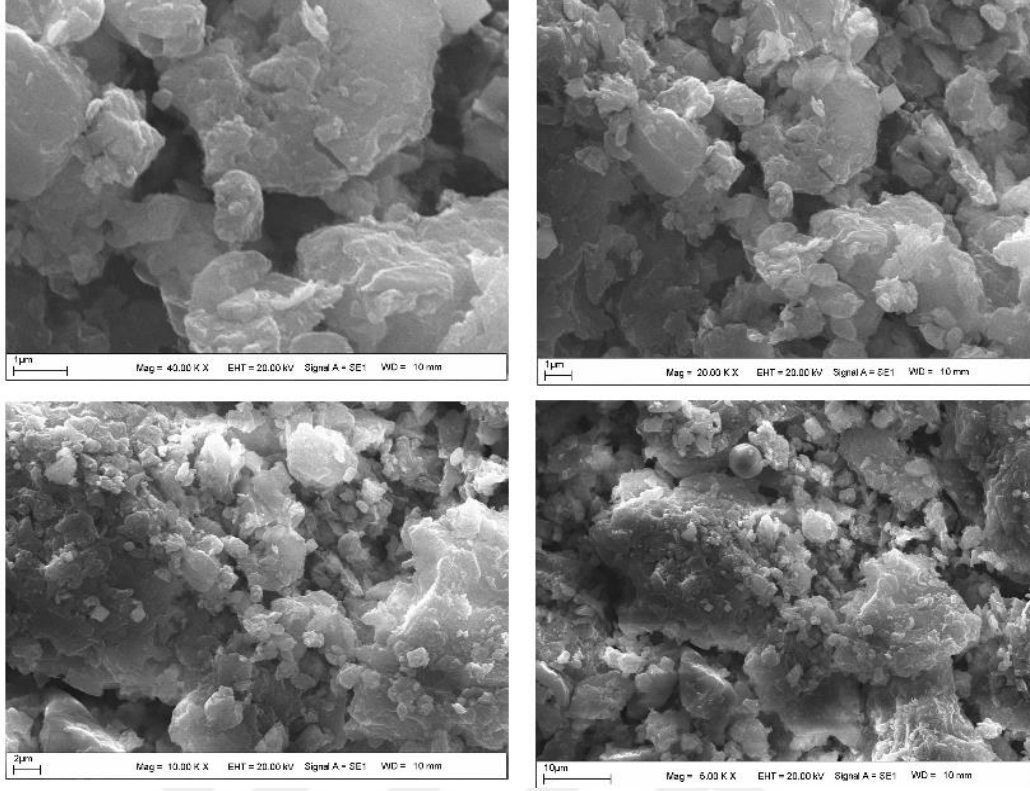
Ek A. SEM Analiz Görüntüleri



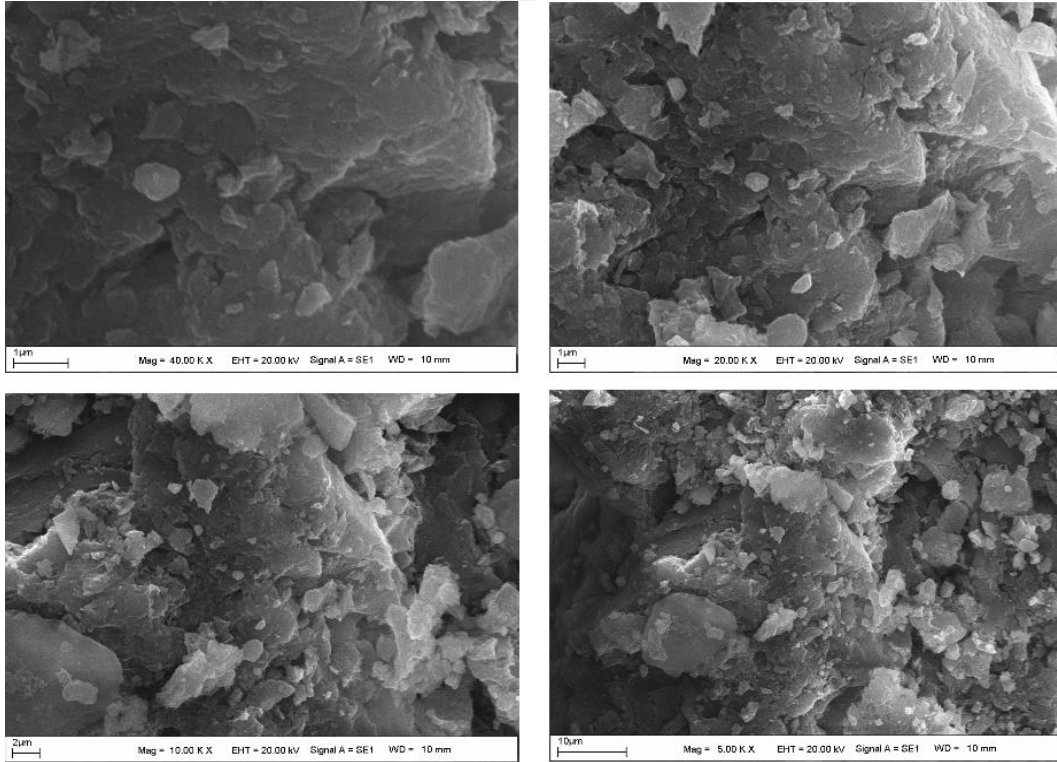
Şekil A.1 Adsorpsiyon işlemi öncesi turbanın SEM görüntüsü



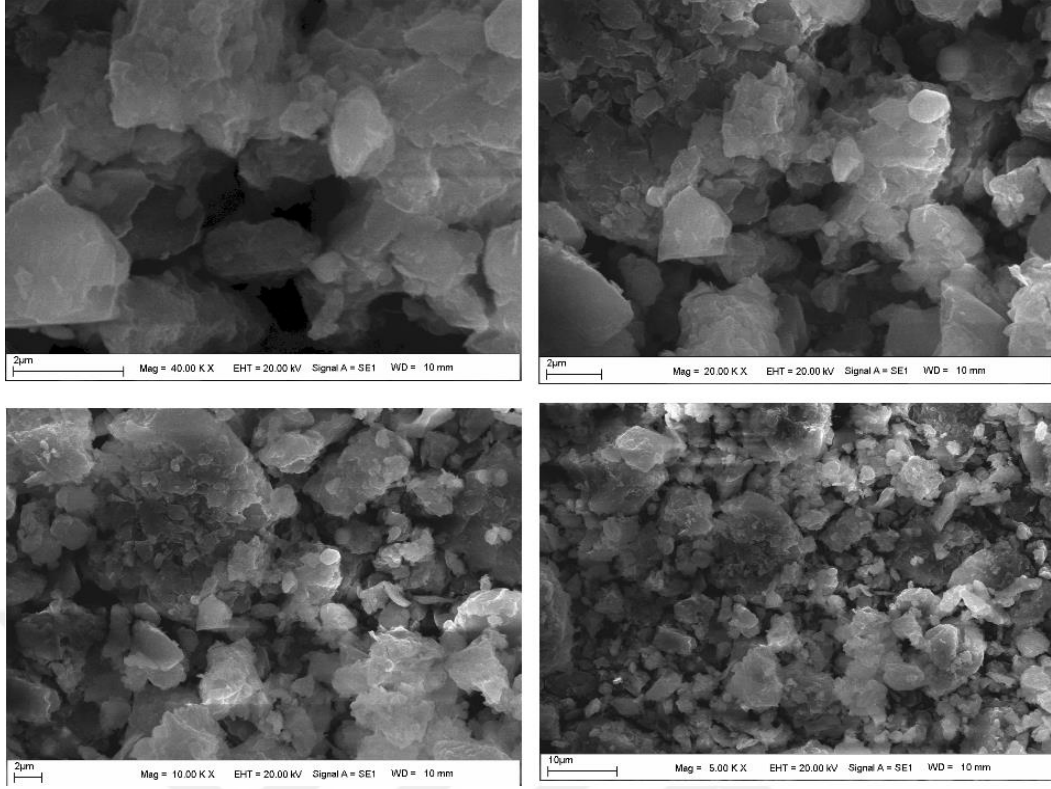
Şekil A.2 Adsorpsiyon işlemi öncesi turbanın SEM görüntüsü



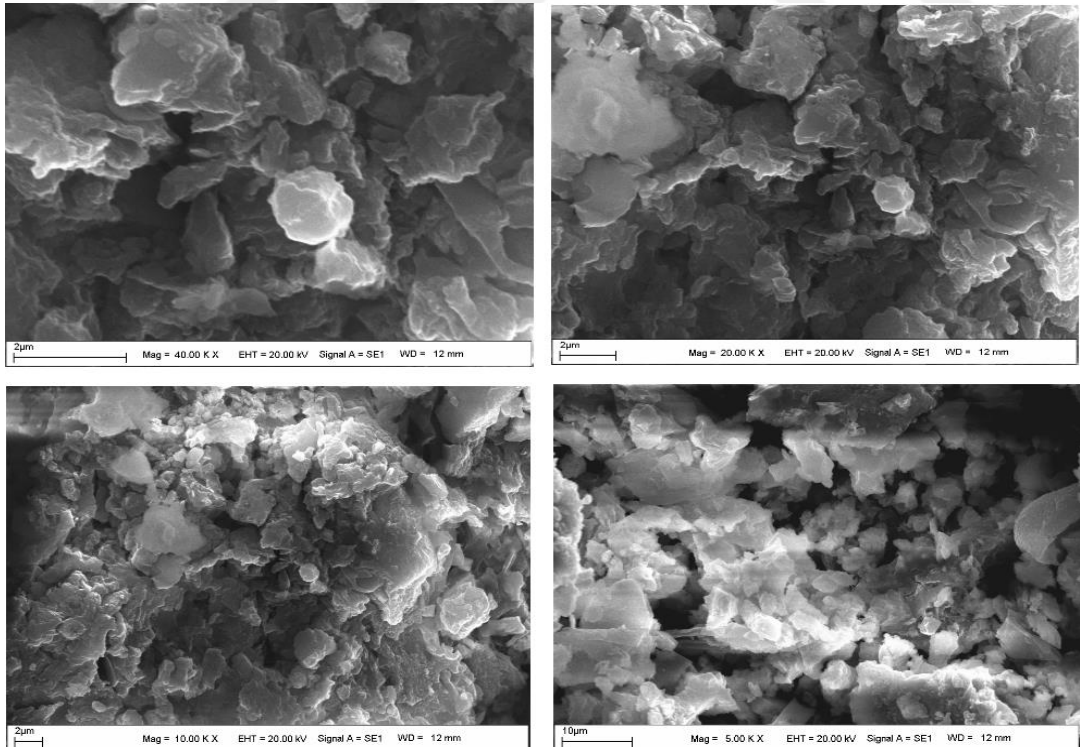
Şekil A.3 25 °C sıcaklığında yapılan malahit yeşili adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



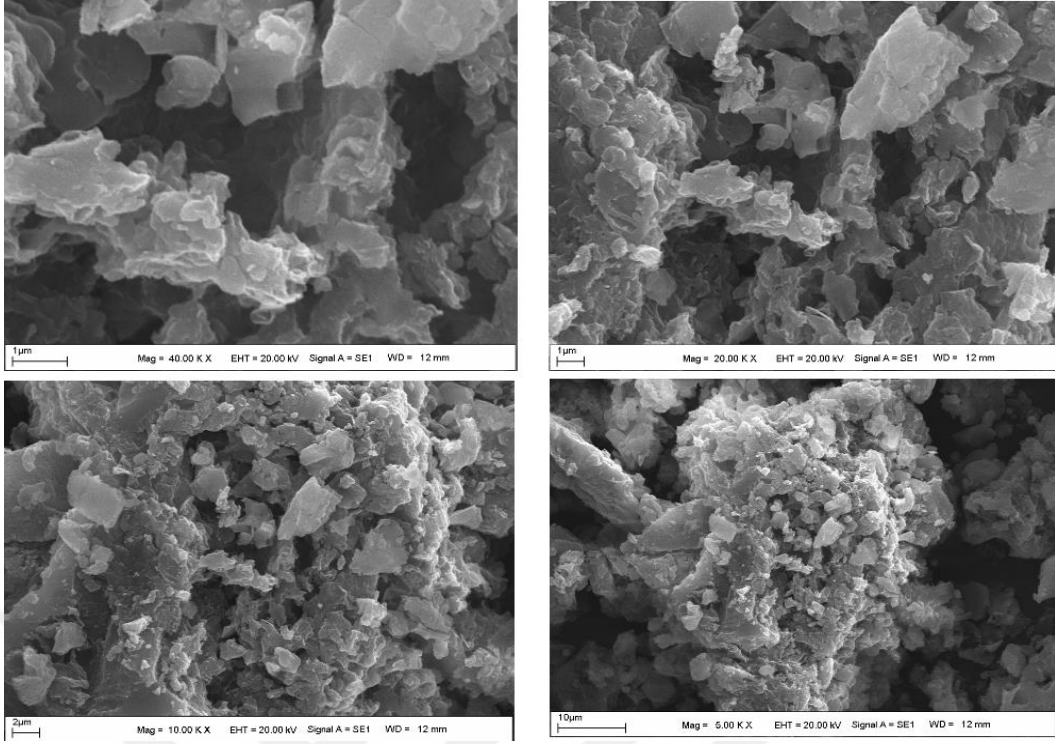
Şekil A.4 35 °C sıcaklığında yapılan malahit yeşili adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



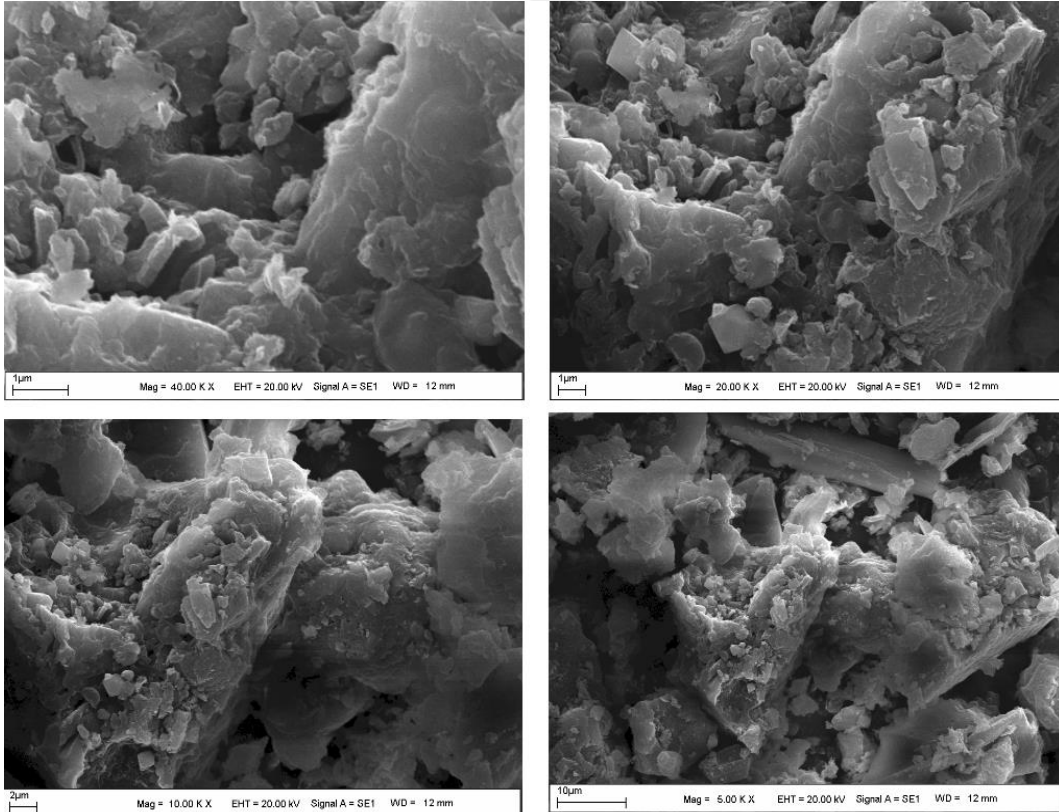
Şekil A.5 45 °C sıcaklığında yapılan malahit yeşili adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



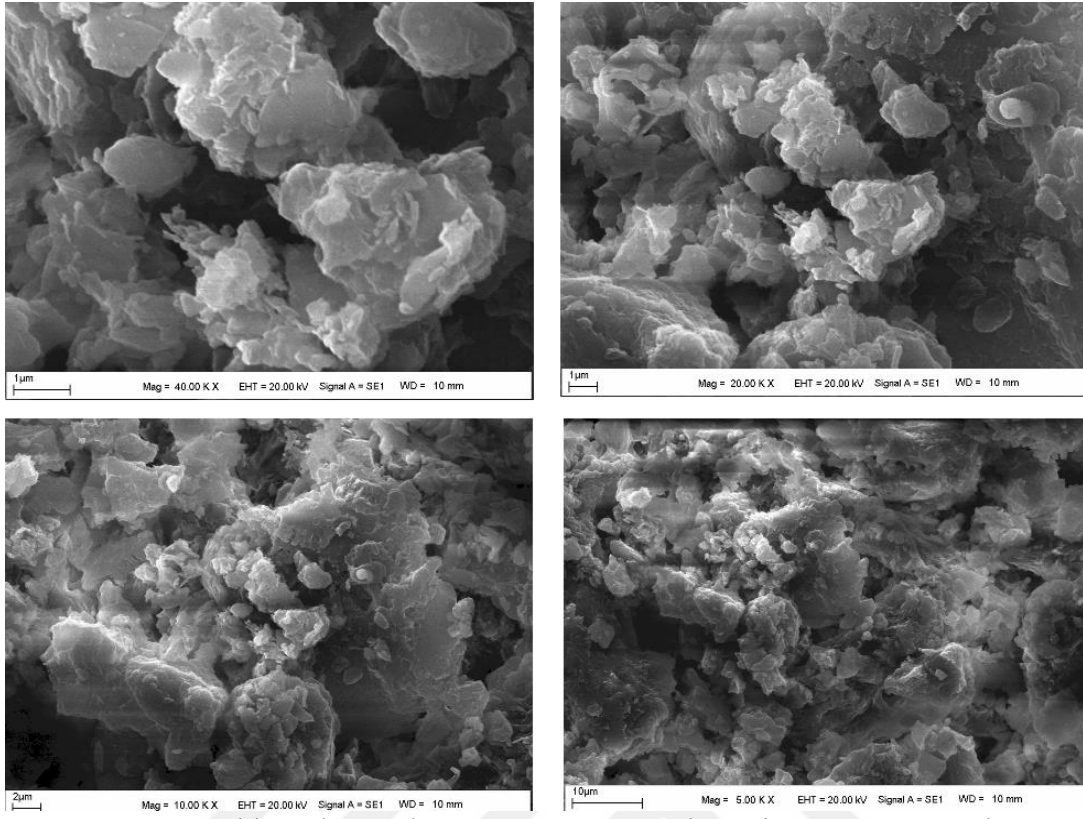
Şekil A.6 55 °C sıcaklığında yapılan malahit yeşili adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



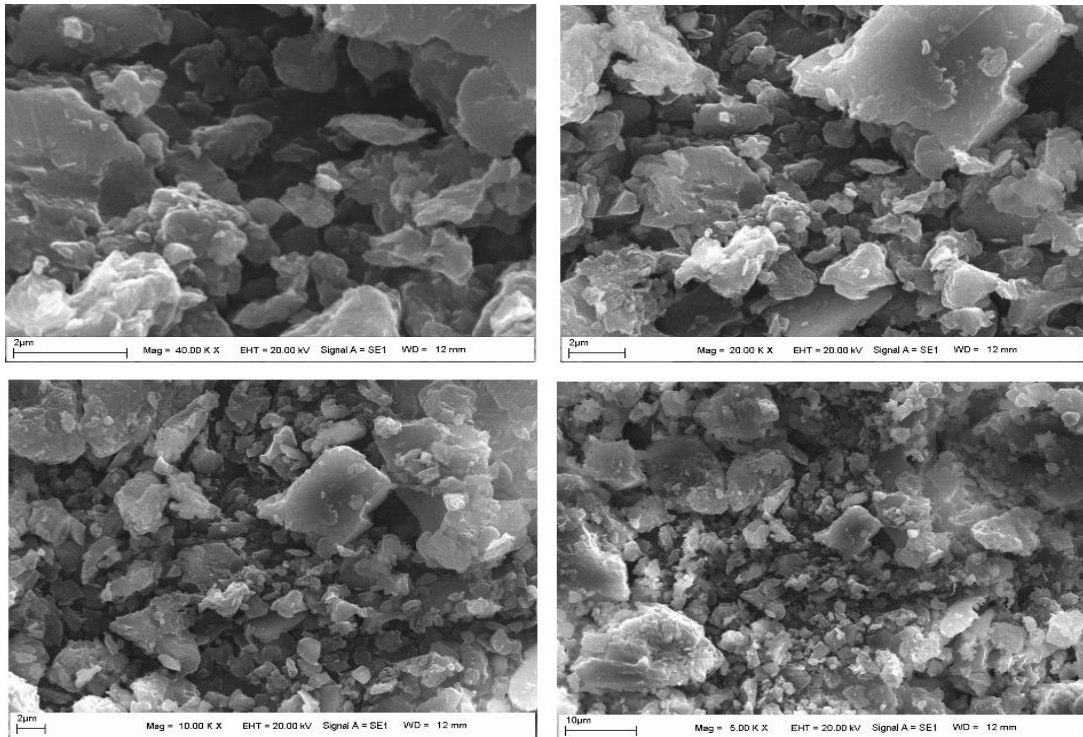
Şekil A.7 25 °C sıcaklığında yapılan metilen mavisi adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



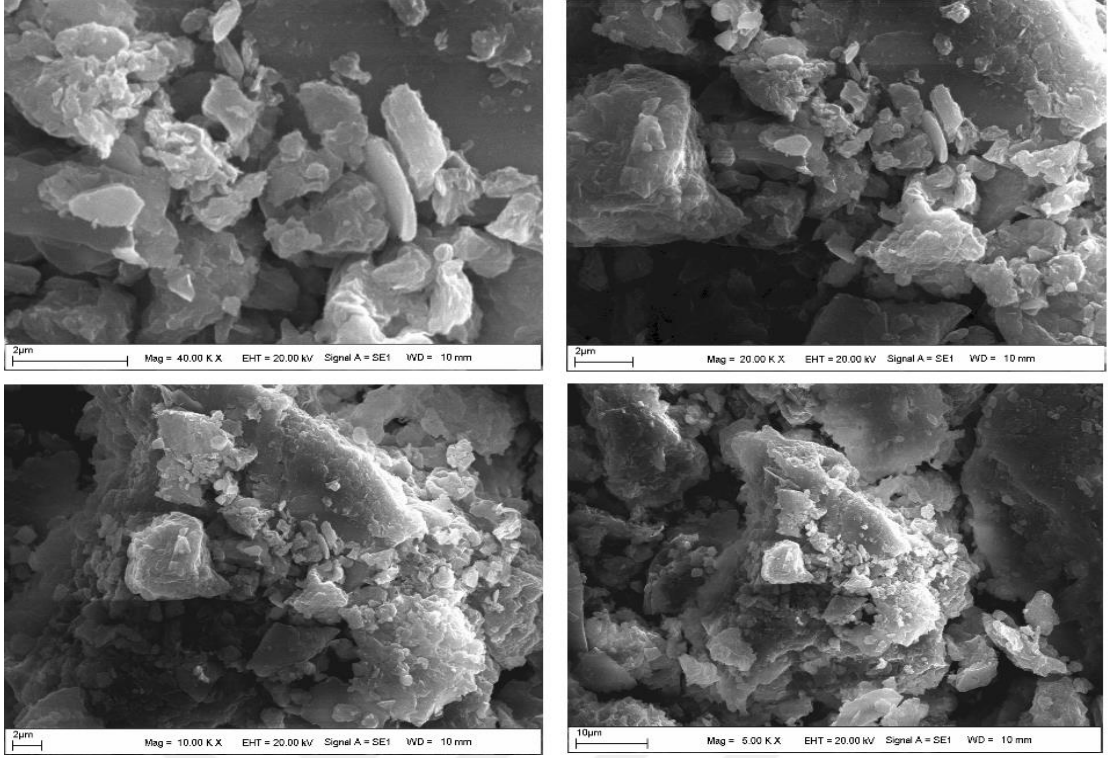
Şekil A.8 35 °C sıcaklığında yapılan metilen mavisi adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



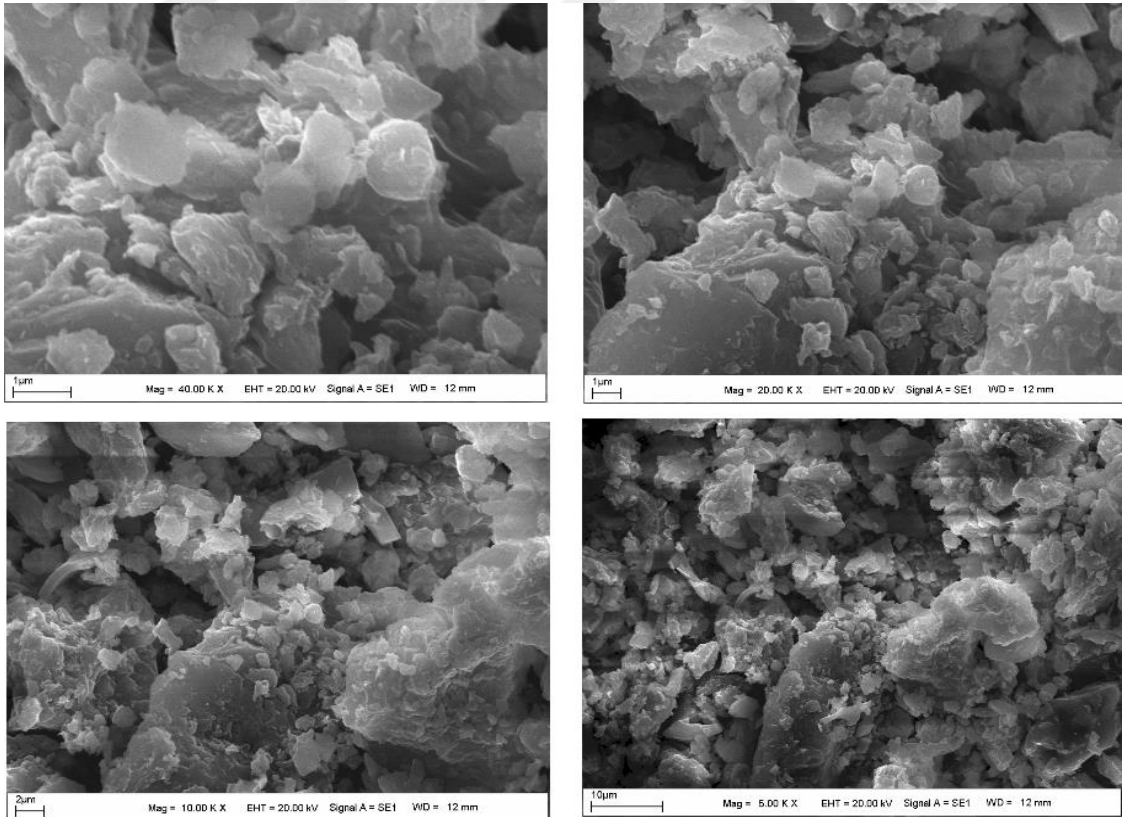
Şekil A.9 45 °C sıcaklığında yapılan metilen mavisi adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



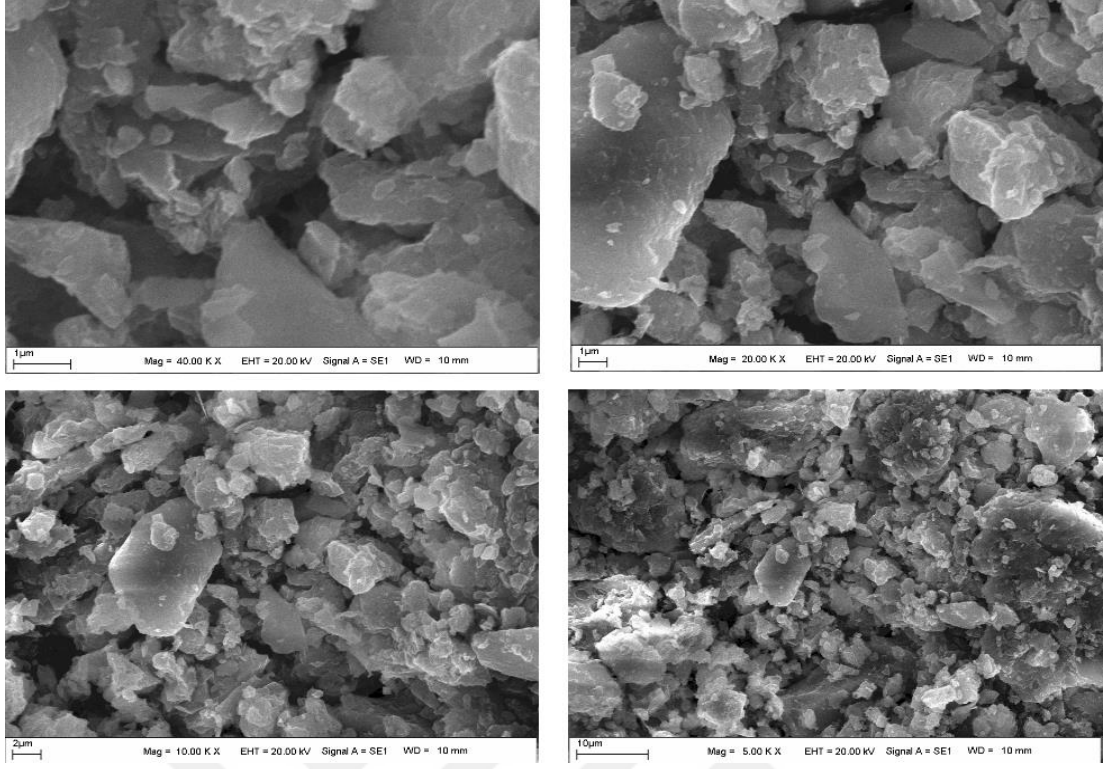
Şekil A.10 55 °C sıcaklığında yapılan metilen mavisi adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



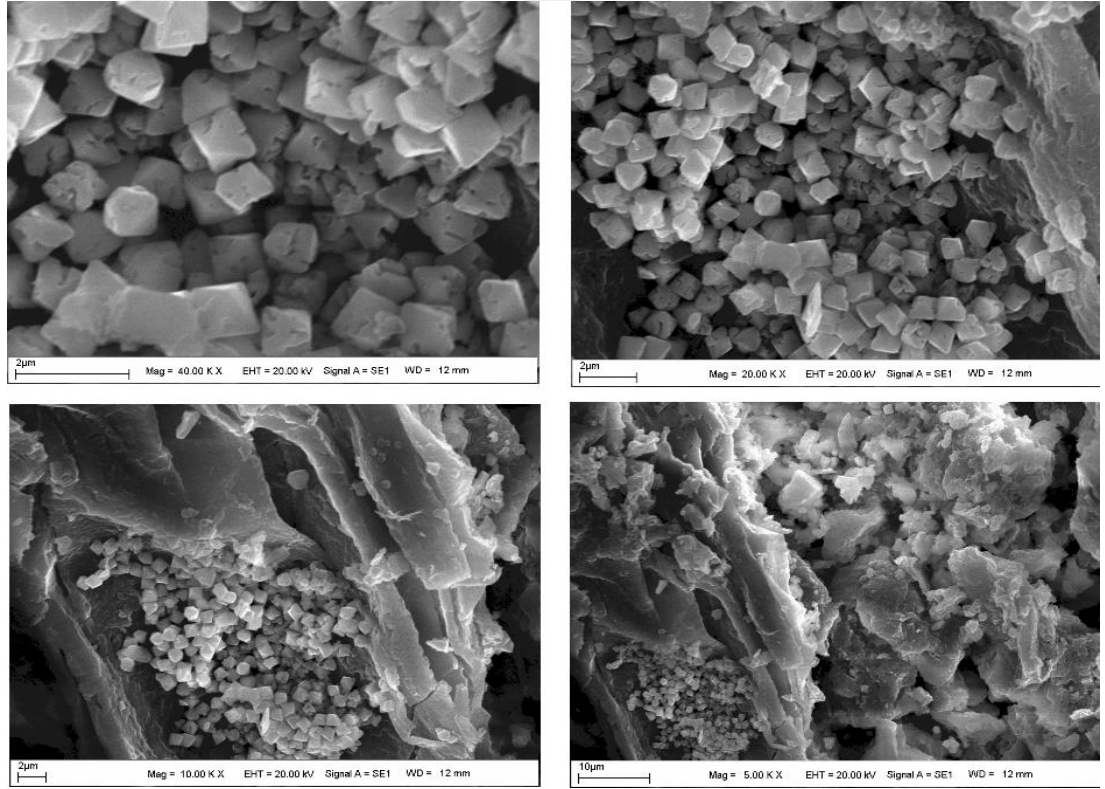
Şekil A.11 25 °C sıcaklığında yapılan kristal violet adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



Şekil A.12 35 °C sıcaklığında yapılan kristal violet adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



Şekil A.13 45 °C sıcaklığında yapılan kristal violet adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü



Şekil A.14 55 °C sıcaklığında yapılan kristal violet adsorpsiyonu sonrası turbanın SEM görüntüsü

KAYNAKÇA

- Ahmad, I. and Akil, F. (2009). New Strategies Combating Bacterial Infection. Wiley-Blackell.
- Aksoy, 1988, Tarımda Torfun Önemi ve Türkiye’deki Torf Yatakları, Akdeniz Üniveristesi Ziraat Fakültesi Dergisi.
- Alioğlu, E. (2013). Katyonik Boyarmaddelerin Aktif Kömür Üzerinde Adsorpsiyonu. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Analitik Kimya Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Agilent, (2022), <https://www.agilent.com/>, Erişim Tarihi 25.01.2022
- Arslan, F., 2018, Fındık kabuğu ve ceviz kabuğunun pirolizi ile biyokömür üretimi ve sulu çözeltilerden ağır metal gideriminde adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, s. 187.
- Aydogmus, R., Depci, T., Sarikaya, M., Kul, A. R., and Onal, Y. (2016, October). Adsorption of crystal violet on activated carbon prepared from coal flotation concentrate. Earth and Environmental Science. 44, s. No. 5, p. 052022. IOP Publishing.
- Baran, E. (2012, Ocak). Tekli ve İkili Sistemde Zeolit Yüzeyine Malachite Green ve rhodamine b'nin Adsorpsiyonunun Araştırılması. Kilis: Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Benadjemia, M., Millière, L., Reinert, L., Benderdouche, N., Duclaux, L., 2011, Preparation, characterization and Methylene Blue adsorption of phosphoric acid activated carbons from globe artichoke leaves, Fuel Processing Technology, 92(6): 1203-1212.
- Ben-Mansour, R., Habib, M., Bamidele, O., Basha, M., Qasem, N., Peedikakkal, A., Laoui, T., Ali, M., 2016, Carbon capture by physical adsorption: materials, experimental investigations and numerical modeling and simulations–a review, Applied Energy, 161: 225-255.
- Bumpus, J. J. and Brock, B. J. (1988). Biodegradation of Crystal Violet by the White Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Biology Department and the Biotechnology Center, Utah State University, Utah: American Society for Microbiology.
- ChenX.-H., Gosset T. and Thevenot D. R., 1990. Batch Copper Ion Binding and Exchange Properties of Peat, Water Research, 24, 1463-1471.
- Cuong, D. V. (2020). Removal of pollutants from environmentally friendly biocarbon materials in water: material preparation, characterization and application. Degree thesis of the Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University.
- Çakır, E., Tosunoğlu, V., ve Bayhan, Y., 2013, Ceviz Ağacı Talaşı (*Juglans Regia* L.)’nın Krom (VI) Adsorpsiyonu Üzerine Etkileri, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik,

Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum, ISSN:1307-3311.

- Çiçekçi, A. (2019). Doğal Şeftali Çekirdeği İle Malahit Yeşilinin Adsorpsiyonu. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Dai, S., Bechtel, A., Eble, C. F., Flores, R. M., French, D., Graham, I. T., ... O'Keefe, J. M. K. (2020). Recognition of peat depositional environments in coal: A review. *International Journal of Coal Geology*, 219, 103383.
- Demirçivi, P., 2018, Asit Turuncu II Boyasının Kitosan Ve Zirkonyum(IV)-Kitosan Üzerine Adsorpsiyonunun Karşılaştırılması, 1Kimya ve Süreç Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 24(7), 1298-1303, 2018.
- Depci, T., Onal, Y., Erdoğan, S. and Akmil, C. (2011). Adsorption and kinetics of hazardous dye Rhodamine-b from aqueous solutions with activated carbon-based low-rank coal. *Fresenius Environmental Bulletin*. *Fresenius Environnetal Bulletin*, 22(2), 303-309.
- Depci, T., Sarıkaya, M., Prisdrey, K. A. and Yucel, A. (2016, October). Computational Chemistry Approach to Interpret the Crystal Violet Adsorption on Golbasi Lignite Activated Carbon. I. C. Science (Dü.). içinde 44. IOP Publishing Ltd.
- Drugs. (2021). <https://www.drugs.com/monograph/methylene-blue>. Kasım 2, 2021 tarihinde <https://www.drugs.com/monograph/methylene-blue> adresinden alındı
- Dubin, M. M. (1969). The potential theory of adsorption of gas. *Chemical Reviews*, 60(13), 235–241.
- Dumanlı, A., 2011, Alunit cevheri üzerinde bazı ağır metal iyonlarının adsorpsiyon davranışlarının incelenmesi ve modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 83.
- Erciyes, Ü. (2016). Adsorpsiyon İzotermi. Kayseri: Çevre Mühendisliği Bölümü, Fiziksel ve Kimyasal Temel İşlemler Laboratuvarı Dersi.
- Erdem, Ö. F., (2021), Biyokütleden Aktif Karbon Üretimi ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erdoğan, Y., 2005, Atık sulardan Çeşitli Adsorbanlarla Arsenik Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erkan, M. (2013). Erzincan ve ordu bentonitleri yüzeyine katyonik boyarmadde adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi.
- Esen, O. (2021). Soma Kömür Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriği, Gaz Depolama Kapasitesi ve Gaz Akış Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi.
- Fernandes, A., Almeida, C., Menezes, C., Debacher, N., and Sierra, M., 2007, Removal Of

- Methylene Blue From Aqueous Solution By Peat, *Journal of Hazardous Materials* 144 (2007) 412–419, Brezilya.
- Fink, J., Schierle, E., Weschke, E., and Geck, J., 2013, Resonant elastic soft x-ray scattering, IOP science, Reports On Progress In Physics Berlin.
- Flores, R.M. (2014). Coal and coalbed gas: Fueling the future. First Edition. ISBN: 9780123969729, Elsevier, USA.
- Fuchsman, C. H., Peat- Industrial Chemistry and Technology, Academic Press, (1989) 279.
- Geçgel, Ü., Özcan, G., Gürpınar, G.Ç., 2013, Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Activated Carbon Prepared from Pea Shells (*Pisum sativum*), *Journal of Chemistry*.
- Gentzis, T., Schoderbek, D., & Pollock, S. (2006). Evaluating the coalbed methane potential of the Gething coals in NE British Columbia, Canada: An example from the Highhat area, Peace River coalfield. *International Journal of Coal Geology*, 68(3–4), 135–150.
- Griffiths, P.; de Hasseth, J. A. (18 May 2007). *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (2nd ed.). Wiley-Blackwell. ISBN 978-0-471-19404-0.
- Güner, E., İçer, F., Özdemir, O., and Çağlar, B. (2021, Mayıs 15). Photodegradation of crystal violet dyestuff on kaolinite-BiFeO₃ nanocomposite under different light irradiations, 815-827. Erzincan: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi.
- Güneş, S., 2016, Portakal (*citrus sinensis* l.) küspesinden üretilen aktif karbonun sulu çözeltilerden reaktif boyar madde adsorpsiyonunda kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 143.
- Hanning, L., Hurley, S., Chunbao, X. (Charles), Liquefactions of peat in supercritical water with a novel iron catalyst, *Fuel*, 90, (2011), 412–420.
- Haşçıçek, C. B. (2020). *Farmasötik Teknoloji*. Ankara Fakültesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Teknoloji Anabilim Dalı, Farmasötik Teknoloji II Ders Notları.
- Hayes, D. J. M. Hayes, M. H. B. Leahy, J. J. (2015) Analysis of the lignocellulosic components of peat samples with development of near infrared spectroscopy models for rapid quantitative predictions, *Fuel*, 150 261–268.
- Hemmatia, F., Norouzbeigiab, R., Sarbisheha, F. and Shayesteha, H. (2016, January). Malachite Green Removal Using Modified Sphagnum Peat Moss as a Low-Cost Biosorbent: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 482-489.
- Hinwood, A. Rodriguez, C. (2005) Potential health impacts associated with peat smoke: a review, *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 88, , 133–138.
- Hüyükpınar T. 2010. "Çeşitli organik asit çözeltileri ve Sub-kritik su kullanılarak bazı Türk kömürlerinin Demineralizasyon ve Desülfürizasyonu" Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Türkiye.

- Ishikawa, A., Kuga, S., Okano, T. (1998). Determination of parameters in mechanical model for cellulose III fibre, *Polymer*, 39 8-1875.
- Jiuling, Y., Haixiang, C., Weitao, Z. Jianjun, Z. (2016). TG–FTIR-MS study of pyrolysis products evolving from peat, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 117 296-309.
- Karta, M. (2016, Haziran). Elbistan Linyiti, Turba ve Biyokütlenin Sıvılaştırma Olanaklarının Araştırılması. Malatya: İnönü Üniveristesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Kavuşan, G. (2014). Turba, Turbalaşma.
- Kayhan, Y., 2019, Tekstil boyası üretim prosesi atık sularının kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon yöntemleri ile arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, s. 109.
- Kemal, M., ve Arslan, V. (2014). Kömür Teknolojisi (6 b.). İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları no:033.
- Koçar, O. (2013). Zeytin Posası (Pirina) Üzerine Malaşit yeşili'nin Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyonu. Kilis: Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Korkmaz, Aksoğan A. (2017). Zenginleştirme yöntemlerinin değişik linyitlerin piroliz ürün verimleri üzerine etkisi. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Doktora Tezi.
- Köylü, E., Gönen, F., ve Önal, F., 2015, Asidik Boyarmadde İçeren Tekstil Endüstrisi Atık sularından Adsorpsiyon Yöntemiyle Renk Giderilmesi, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, Cilt: 16 Sayı: 2 - 2015, Sayfa: 145 – 153, DOI: 10.18038/btd-a.48423
- Kumtepe, P. ve Üzer, M., (2021), MTA Yayınları. Kasım 15, 2021 tarihinde <https://www.mta.gov.tr/> adresinden alındı.
- Kural, O. (1991, Şubat). Kömür. İTÜ, Maden Fakültesi.
- Miller, B.G., Tillman, D.A. (2008). *Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems*. Elsevier Academic Press, San Diego, USA, 496 s.
- Mumcu, A. (2006, Temmuz). Modifiye Edilmiş Vermikulitin Fiziksel Karakterizasyonu ve Malahit Yeşili Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Malatya: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Orbak, İ. (2009, Haziran). Aktif Karbon ile Çevre Kirleticisi Bazı Unsurların giderilmesi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- Öçsoy, K. (2019). Bazı Boyar Maddelerin Bıttım Kabuğundan Elde Edilen Aktif Karbon Üzerindeki Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Van: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

- Özmetin, E. (2007). İllitin Elektrokinetik Özellikleri ve Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisi Giderimi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- Öztürk, A. (2016). Sürekli ve Kesikli Adsorpsiyon Sistemlerinde Basic Yellow 2 Gideriminin İncelenmesi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Qu, W., Yuan, T., Yin, G., Xu, S., Zang, Q. and Su, H. (2019, August 1). Effect of Properties of Activated Carbon on Malachite Green Adsorption. 249, 45-53. Shandong, China: Shandong Provincial Key Lab of Chemical Engineering and Process, Yantai University.
- Ray, S.S., Gusain, R., Kumar, N., Carbon nanomaterial-based adsorbents for water purification: Fundamentals and applications, 2020, Elsevier.
- Rashid, A., Guan, D. X., Farooqi, A., Khan, S., Zahir, S., Jehan, S., ... & Khan, R. (2018). Fluoride prevalence in groundwater around a fluorite mining area in the flood plain of the River Swat, Pakistan. Science of the Total Environment, 635, 203-215.
- Rice, D. D. (1993). Composition and Origins of Coalbed Gas. AAPG Bulletin.
- Riley, J. T. (2007). Routine Coal and Coke Analysis: Collection, Interpretation, and Use of Analytical Data. Routine Coal and Coke Analysis: Collection, Interpretation, and Use of Analytical Data, 2nd Edition (2nd Edition). PA: ASTM International.
- Rydelek P., (2006). Application of Scanning Electron Microscope (SEM) in PeatStudies, Polish J. Environ. Stud, 15:5 117 – 121.
- Sharma, D.C., Forster C.F., 1993. Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat, Water Research, 27, 1201-1208.
- Sarpaşar, Z. (2019, Temmuz). Zeolitin manyetik Fe₃O₄ nanoparçacıklar ile modifikasyonu ve boyarmadde adsorpsiyonunun incelenmesi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi .
- Schraufnagel, R. A., & Schafer, P. S. (1996). The Success of Coalbed Methane. İçinde J. L. Saulsberry, P. S. Schafer, & R. A. Schraufnagel (Ed.), A Guide To Coalbed Methane Reservoir Engineering (s. 343). Chicago, Illinois, U.S.A. Printed in the U.S.A. GRI: Gas Research Institute.
- Seidle, J. (2011). Fundamentals of Coalbed Methane, Reservoir Engineering. ISBN: 978-1-59370-001-0, Tulsa, Oklahoma, USA.
- Sharma, Y.C., 2010, Optimization of parameters for adsorption of methylene blue on a low-cost activated carbon, Journal of Chemical & Engineering Data, 55(1): 435-439.
- Soyak, S. (2012). Nano-Hidroksispsiti Üzerine Malahit Yeşili Adsorpsiyonun İncelemesi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi .

- Srivastava, S. Sinha, R. and Roy, D. (2004). Toxicological Effects of Malachite Green. *Aquat. Toxicol.*
- Stavropoulos, G., Zabaniotou, A., 2005, Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue, *Microporous and Mesoporous Materials*, 82(1-2): 79-85.
- Stokes, J. (2008). Principles and Practice of Variable Pressure Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM). Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 978-0470758748.
- Sülkü, A. S. (2012). Atık sular dan Boyar Maddelerin Adsorpsiyon Yöntemi ile Giderimi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Analitik Kimya Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Tanyol, M. (2017). Malahit Yeşili İçeren Atık suların Fenton Oksidasyon Prosesi ile Renk Gideriminde İşletme Parametrelerinin Optimizasyonu. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 183-191.
- Taşdemir, A. (2007, Mart). Kömür Flotasyonunda Yeni Tekniklerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması. İstanbul: İstanbul Üniveritesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- TÜBİTAK. (2013). Boyar Madde İçeren Atık su Arıtma Tesislerinin işletilmesine Yönelik El Kitabı. Ankara: Tübitak Kamag Projesi.
- nalın, G. (2010). Kömür Jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Eğitim Serisi-41, Ankara, Türkiye, 556 s.
- Wang, Y., Wang, W. and Wang A. (2013, July 15). Efficient Adsorption of Methylene Blue on an Alginate-Based Nano Composite Hydrogel Enhanced by Organo-İllite/Smectite Clay. *Chemical Engineering Journal*, 228, 132-139.
- Yalvaç, G. M. (2018). Karbonize Mandalina Kabuğ ve Sıfır Değ erlikli Nano Demir İçeren Adsorbentlerin Hazırlanması ve Malahit Yeş ilinin Adsorpsiyon zelliklerinin İncelenmesi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mhendisliğ i Ana Bilim Dalı, Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Yıldız, M. (2020). Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Malahit Yeş ili Boyar Maddesinin İllit Minerali ile Giderimi. Balıkesir: Balıkesir Üniveritesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ç evre Mhendisliğ i Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Youcef, L. D., Belaroui, L. S. and Lpez-Galindo, A. (2019, October). Adsorption of a Cationic Methylene Blue Dye on an Algerian Palygorskite. *Applied Clay Science*, 179(105145).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, Soyadı : SALİH BEKDAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri :
E-posta:

Eğitim Bilgileri

Derece	Okul/ Program	Mezuniyet
Lise	Selma Lisesi (Lazkiye, Suriye)	2012
Lisans	İnönü Üniversitesi (Malatya, Türkiye), Maden Mühendisliği	2018
Yüksek Lisans (Erasmus)	AGH University of Science and Technology (Krakow, Polonya), Mining Engineering	2020
Yüksek Lisans	İnönü Üniversitesi (Malatya, Türkiye), Maden Mühendisliği Anabilim Dalı	2022

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2020-2021	Max İnşaat Yatırım Gıda Tekstil Sanayi ve Ticaret Limited Şi. (Erzurum, Türkiye)	Daimî Nezaretçi

Yabancı Dil

Arapça
İngilizce