

**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ATERMİT FABRİKASI ATIKLARI KULLANILARAK
BOYAR MADDE GİDERİMİ**

Serhat DÖNMEZ

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Serpil SAVCI**

Yozgat 2020

**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ATERMİT FABRİKASI ATIKLARI KULLANILARAK
BOYAR MADDE GİDERİMİ**

Serhat DÖNMEZ

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Serpil SAVCI**

**Bu çalışma, Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
6601-FBE/17-123 kodu ile desteklenmiştir.**

Yozgat 2020



YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

TEZ ONAY FORMU

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Enstitümüzün Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70112516006 numaralı öğrencisi Serhat DÖNMEZ'in hazırladığı "Atermit Fabrikası Atıkları Kullanılarak Boyar Madde Giderimi" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 16/01/2020 günü saat 11:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Halil İbrahim OĞUZ

Jüri Üyesi (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi Serpil SAVCI

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 30/01/2020 tarih ve 5 sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

30/01/2020

Prof. Dr. Mustafa SACMACI

Müdür



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Adsorpsiyon.....	2
2.1.1. Tanım	2
2.1.2. Adsorpsiyon Oluşum Mekanizması.....	2
2.1.3. Adsorpsiyon Türleri.....	3
2.1.4. Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler	4
2.2. Adsorpsiyonun Kullanıldığı İşlemler	5
2.3. Adsorpsiyon İzotermleri.....	6
2.3.1. Langmuir İzotermi	6
2.3.2. Freundlich İzotermi.....	8
2.4. Adsorpsiyon Kinetiği	8
2.4.1. Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model	9
2.4.2. Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model	9
2.5. Adsorpsiyon Termodinamiği.....	10
2.6. Atermit.....	11
2.7. Boyar Maddeler	13
2.7.1. Malachite Green.....	14
2.7.2. Methylene Blue.....	15
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	16
4. MATERYAL VE METOD	21
4.1. Deneyde Kullanılan Kimyasal Maddeler	21
4.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar	21
4.3. Adsorpsiyon Çalışmaları	21

4.4. Adsorpsiyona pH Etkisi.....	22
4.5. Adsorpsiyona Başlangıç İyon Derişiminin Etkisi	22
4.6. Uygunluk Analizleri	22
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	23
5.1. Karakterizasyon.....	23
5.1.1. Taramalı Elektron Mikroskop Fotoğrafları (SEM).....	23
5.2. Adsorpsiyon Çalışmaları	25
5.2.1. Adsorpsiyona pH Etkisi	25
5.2.2. Adsorpsiyona Başlangıç İyon Derişiminin Etkisi.....	26
5.2.3. Adsorpsiyona Sürenin Etkisi	27
5.3. Adsorpsiyon İzotermi.....	28
5.3.1. Langmuir İzotermi	28
5.3.2. Freundlich İzotermi.....	30
5.4. Adsorpsiyon Kinetiği	32
5.4.1. Methylene Blue Yalancı İkinci Dereceden Adsorpsiyon Kinetiğinin Değerlendirilmesi.....	32
5.4.2. Malachite Green Yalancı İkinci Dereceden Adsorpsiyon Kinetiğinin Değerlendirilmesi.....	33
TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER.....	34
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ.....	42

ATERMİT FABRİKASI ATIKLARI KULLANILARAK BOYAR MADDE GİDERİMİ

Serhat DÖNMEZ

**Yozgat Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2020; Sayfa:42

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Serpil SAVCI

ÖZET

Bu çalışmada, sulu çözeltilerden atermit fabrika atıklarının adsorban olarak kullanılmasıyla Methylene blue ve malachite green boyar maddelerinin giderilmesi araştırılmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarında çözelti pH' ın, alıkonma süresinin ve boya konsantrasyonunun etkileri incelenmiştir. Kesikli adsorpsiyon deneyler methylene Blue (pH=4) için Langmuir İzotermine ve yalancı ikinci derece kinetik modeline uyum sağlamış maximum adsorpsiyon kapasitesi 56,525 mg/g olarak tespit edilmiştir. Malachite green (pH=8) için Langmuir İzotermine ve yalancı ikinci derece kinetik modeline uyum sağlamış maximum adsorpsiyon kapasitesi 10,058 mg/g olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar SEM ile karakterize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Methylene Blue, Malachite Green, Atermit, SEM

REMOVAL OF DYE MATTERS BY USING ETERMIT FACTORY WASTE

Serhat DÖNMEZ

**Yozgat Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering
Master of Science Thesis**

2020; Page:42

Thesis Supervisor: Assit. Prof. Dr. Serpil SAVCI

ABSTRACT

In this study, the removal of methylene blue and malachite green synthetic dye was investigated by using etermit factory waste as an adsorbent. The adsorption studies were examined effects of pH of the solution, contact time and dye concentration. Batch adsorption experimental data were suitable for the Langmuir isotherm and a good fit to the second order kinetic model (pH=4) for the methylene blue dye. The maximum adsorption capacity was found to be 56,525 mg/g Batch adsorption experimental data were suitable for the isotherm and good fit to the second order kinetic model (pH=8) for the malachite green dye. The maximum adsorption capacity was found to be 10,058 mg/g. The research were characterized by SEM.

Keywords: Adsorption, Methylene Blue, Malachite Green, Etermit, SEM

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim sürecinde bilgi ve emeklerini benden esirgemeyen kendilerine danışma olanağı veren tez konumun kararında çalışmalarımın sonuçlandırılmasında ve yönlendirilmesinde deneyim ve düşüncelerini benim ile paylaşan çalışmalarına katkıda bulunmuş saygıdeğer danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serpil SAVCI' ya sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmaya 6601-FBE/17-123 kodu ile destek veren Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Tez jürim de yer alan ve tezimi büyük emeklerle inceleyen üniversitemizin Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ' a ve Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Halil İbrahim OĞUZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında deneysel bilgi ve birikimleriyle yanımda olan Sayın Doç. Dr. Ramazan ÇOŞKUN' a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan sevgili annem, babam ve abime sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5. 1. Langmuir İzoterm Katsayıları	29
Tablo 5. 2. Freundlich İzoterm Katsayıları	30
Tablo 5. 3. Methylene Blue için Yalancı İkinci Dereceden Hız Katsayılarının (k_2 , ad) (g/mg, dakika) Değerleri (pH=4).....	32
Tablo 5. 4. Malachite Green için Yalancı İkinci Dereceden Hız Katsayılarının (k_2 , ad) (g/mg, dakika) Değerleri (pH=8).....	33

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2. 1. Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Durumu [25].....	2
Şekil 2. 2. Atermit Üretiminde Gerçekleşen İşlemler.....	12
Şekil 2. 3. Atermit Fabrika Atığı	13
Şekil 2. 4. Malachite Green Kimyasal Yapısı ve Görünümü.....	15
Şekil 2. 5. Methylene Blue Kimyasal Yapısı ve Görünümü.....	15
Şekil 5. 1. Atermit Atığının Adsorpsiyon Öncesi Görüntüsü	23
Şekil 5. 2. Atermit Atığının Methylene Blue Adsorpsiyonu Sonrası Görüntüsü ..	24
Şekil 5. 3. Atermit Atığının Malachite Green Adsorpsiyonu Sonrası Görüntüsü .	24
Şekil 5. 4. Atermit Atığının Methylene Blue için pH Etkisi.....	25
Şekil 5. 5. Atermit Atığının Malachite Green için pH Etkisi.....	26
Şekil 5. 6. Methylene Blue Konsantrasyon Etkisi	26
Şekil 5. 7. Malachite Green Konsantrasyon Etkisi	27
Şekil 5. 8. Methylene Blue Zamanın Etkisi	27
Şekil 5. 9. Malachite Green Zamanın Etkisi	28
Şekil 5. 10. Methylene Blue için Langmuir İzotermi	29
Şekil 5. 11. Malachite Green için Langmuir İzotermi	30
Şekil 5. 12. Methylene Blue için Freundlich İzotermi.....	31
Şekil 5. 13. Malachite Green için Freundlich İzotermi.....	31
Şekil 5. 14. Methylene Blue için Yalancı İkinci Dereceden İzoterm Model.....	32
Şekil 5. 15. Malachite Green için Yalancı İkinci Dereceden İzoterm Model.....	33

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması, teknolojinin gelişmeye devam etmesi, birçok yenilikle birlikte endüstriyel hareketlerin artmasını da yol açmaktadır. Üretimin hızla artması doğal kaynakların tükenmesine yol açarken, diğer yandan çevre kirliliğine neden olmaktadır. Tekstil endüstrisine olan talebin artmasıyla tekstilde kullanılan atıksuların da miktarı giderek artmaktadır. Kullanılan sular, kirlenerek tekrar doğal su ortamına verilmektedir. Tekstil endüstrisi atıksularının ana kaynağını kumaş boyama işlemlerinde kullanılan boyar maddeler oluşturmaktadır. Bu atıksular toksik olmasının yanı sıra suların ışık geçirgenliğini azaltmasıyla su altı canlılarına da zarar vermektedir. Bu nedenle boyar madde arıtımı toksik maddelerin ve ışık geçirgenliğini giderimi için büyük önem taşır [1-4]. Boyar maddeler birleşik yapıya sahiptirler ve bu yapıyı organik ve inorganik olarak birçok madde meydana getirir. Tekstil atıksularının arıtılmasında biyolojik, fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kombinasyonu uygulanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle tekstil atıksularının arıtılması zor ve pahalıdır. Arıtım yöntemlerinden bazıları ise elektrokimyasal, oksidasyon, adsorpsiyon, aktive edilmiş karbon, ters ozmoz, koagülasyon flokülasyon vb. şeklindedir [5-8]. Adsorpsiyon maliyetinin düşük olması ve sulu çözeltilerde iyi bir arıtım yöntemi olması nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır. Adsorpsiyonda en iyi adsorbanlar aktif karbonlar ve reçinelerdir. Fakat bunların yıkama ihtiyacı ve maliyetinin fazla oluşu farklı adsorbanların araştırılmasına neden olmaktadır. [9-12].

Bu çalışmanın amacı, tekstil endüstrisinde en fazla kullanılan boyar maddelerden methylene blue ve malachite green' in endüstriyel atık olan atermite fabrikası katı atığının kesikli sistemde adsorban olarak kullanılmasıyla gideriminin sağlanmasıdır. Birçok araştırmacı maliyeti daha az olan adsorbanları incelemiştir. Bunlardan bazıları; zeytin çekirdeği [13], elma ve portakal kabuğu [14], doğal kil ve hindistan cevizi kabuğu [15], kahve telvesi [16], kabak çekirdeği kabuğu [17], ananas yaprağı [18], kitosan ve silika jel [19], çay atığı ve susam küspesi [20], yumurta kabuğu [21], şeftali çekirdeği [22], çörek otu küspesi [23] farklı adsorpsiyon yöntemleri için kullanılmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

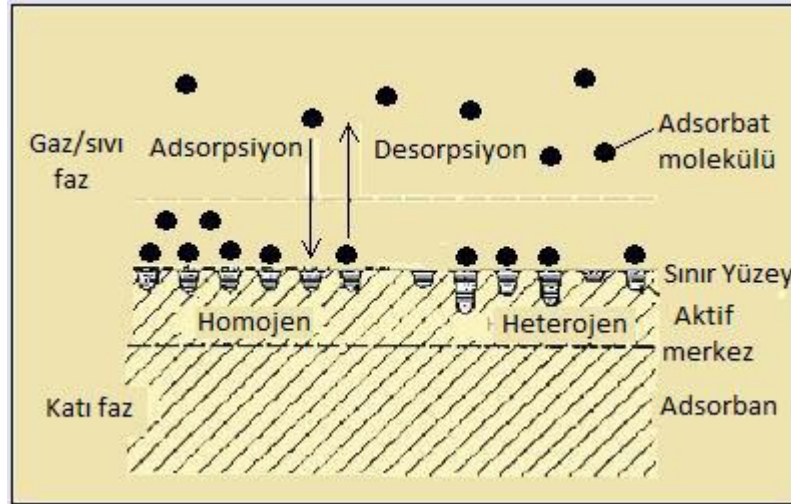
2.1. Adsorpsiyon

2.1.1. Tanım

Adsorpsiyon Lowitz tarafından 1785 yılında gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon yöntemi birçok alanda kullanılmakta olup birbirinden ayrı iki fazın ara yüzeyinde meydana gelen tutunma olayıdır. Adsorpsiyon yöntemi katı-sıvı, sıvı-sıvı, gaz-katı ve sıvı-gaz fazları arasında gerçekleşmektedir. Temelde adsorpsiyon yöntemi dengelenmiş kuvvetlerin ortama giren diğer moleküllerle etkileşimler sonucu dengeye ulaşmasına dayanır.

Adsorpsiyon yönteminde, adsorban ve adsorbat olmak üzere iki etmen adsorpsiyon miktarını etkilemektedir. Adsorban adsorpsiyonu yapan adsorbat ise adsorplanan madde olarak tanımlanır [24]. Adsorpsiyon işlemi çevre kirliliğini azaltmada önemli bir yere sahiptir.

Desorpsiyon, adsorpsiyonun tersi olarak adlandırılabilir. Adsorpsiyonda yüzeye tutunan maddeler desorpsiyonda yüzeyden ayrılır.



Şekil 2. 1. Adsorpsiyon ve Desorpsiyon Durumu [25]

2.1.2. Adsorpsiyon Oluşum Mekanizması

Adsorpsiyon bir denge prosesidir adsorban ve adsorbat arasında dinamik bir denge oluşuncaya kadar adsorpsiyon devam eder. Adsorpsiyon işlemi sırasında sıvı içerisinde çözülmüş halde bulunan adsorbat molekülleri, adsorban tarafından

tutulurak çözüldüden ayrıştırılır. Sıvı içerisindeki büyük adsorbat molekülleri adsorban gözenekleri içerisindeki geniş yüzeylere tutulur. Bu proses dengeye ulaştığında adsorban ve adsorbat arasındaki transfer durur ve kararlı bir hal meydana gelir [26].

2.1.3. Adsorpsiyon Türleri

Adsorpsiyon işlemi üç farklı şekilde gerçekleşebilir. Bunlar fiziksel adsorpsiyon (Van der Waals), kimyasal adsorpsiyon ve iyonik (değişim) adsorpsiyondur.

- **Fiziksel Adsorpsiyon**

Fiziksel adsorpsiyonda adsorban ve adsorbat arasında elektron alışverişi meydana gelmez adsorpsiyon kendiliğinden meydana gelir, adsorban ve adsorbat arasında zayıf Van der Waals kuvvetleri etkilidir. Adsorban yüzeyinde bulunan adsorbat hareketli ve güçlü olmadığı için fiziksel adsorpsiyon tersinirdir. Bu durum ayrıca desorpsiyon olarak da adlandırılır. Katı yüzeyde bulunan moleküllerin katı yüzeyden diğer faza hareket edebilmeleri şeklinde tanımlanabilir [27,28].

Fiziksel adsorpsiyonun gerçekleşmesi için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaz. Adsorban ile adsorbat arasında çözünme meydana gelmez adsorbat adsorbanın yüzeyini örter. Bu sebeple adsorpsiyon sonrası adsorban bazı işlemlerden geçtikten sonra tekrar kullanılabilir. Desorpsiyon işleminin gerçekleşebilmesi ve yüksek sıcaklık istememesi nedeniyle fiziksel adsorpsiyon endüstriyel uygulamalarda sıkça tercih edilen bir yöntemdir [29-31].

- **Kimyasal Adsorpsiyon**

Kimyasal adsorpsiyonda fiziksel adsorpsiyona göre çok daha güçlü bir tutunma gerçekleşir. Kimyasal adsorpsiyonda kimyasal tepkimeler meydana gelmesi, adsorban ve adsorbat moleküllerinin kimyasal yapıları değişmesi nedeniyle desorpsiyon meydana gelemez, tersinir bir işlem değildir. Kullanılan adsorban ve adsorbatın geri kullanımını mümkün değildir [32]. Kimyasal adsorpsiyon işlemi fiziksel adsorpsiyona göre daha yavaş meydana gelir. Düşük sıcaklıklarda meydana gelmez. Belirli bazı sıcaklıkların üstünde tepkime gerçekleşir. Bu sebeplerden kimyasal adsorpsiyon fiziksel adsorpsiyona göre daha pahalı ve zor gerçekleşen bir adsorpsiyon türüdür. Kimyasal adsorpsiyon yöntemi katı katalizör uygulamalarında sıkça görülür [33].

- **İyonik Adsorpsiyon**

Değişim adsorpsiyonu olarak da bilinir. İyonik adsorpsiyon elektrostatik çekim kuvvetiyle iyonların adsorban üzerindeki yüklü bölgelere tutunmasıyla meydana gelir. Bu adsorpsiyon çeşidinde önemli olan adsorban moleküllerinin dış yapısı ve adsorban ve adsorbatın iyonik yükleri arasındaki kuvvettir. Kullanılan adsorbanla zıt elektrik yüküne sahip ve iyon çapı küçük olan adsorbatlar arasında daha iyi bir adsorpsiyon gerçekleşir. Kullanılan iyonların elektrik yüklerinin aynı olması durumunda daha küçük iyon çapındaki moleküller yüzeye tutunur [34].

Yapılan bir adsorpsiyon işlemini sadece bir adsorpsiyon çeşidi ile açıklamak oldukça zordur. Adsorpsiyon işlemlerinde farklı adsorpsiyon türleri aynı anda veya art arda gerçekleşir.

2.1.4.Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler

Adsorpsiyonu etkileyen faktörler alt başlıklarda verilir tanımlanmıştır.

- **Temas Süresi**

Adsorpsiyon işleminde temas süresi önemli bir yere sahiptir. Adsorpsiyon işleminde tutunma gerçekleşir ve adsorban ve adsorbat ilk başlarda bu potansiyele fazlasıyla sahiptir. Bu nedenle temas başladığında hızlı bir adsorpsiyon gerçekleşirken zamanla adsorbanın yüzey alanının azalmasıyla adsorpsiyon hızında bir düşüş meydana gelir. Gözenek miktarı az olan adsorbanlar denge noktasına kısa sürede ulaşırken gözenek miktarı fazla olan adsorbanlarda denge noktasına daha geç ulaşır [35].

Adsorpsiyon işlemi uygulanırken adsorban ve adsorbat arasındaki optimum zamanın bulunması adsorpsiyonun işleminin uygulanabilir olup olmadığının tespitinde önemli bir yere sahiptir.

- **Yüzey alanı**

Adsorpsiyon adsorban yüzeyinde meydana gelen bir proses olduğundan, maksimum adsorpsiyon miktarı yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Adsorbanın yüzey alanının büyük olması, adsorbat ile temas halinde alanın fazla olması demektir. Bu nedenle etkileşimdeki alan büyüdükçe adsorpsiyon da artar. Adsorbanın gözenekli ve parçacıklı olması yüzey alanını yani adsorpsiyonunu artırır [36].

- **Sıcaklık**

Adsorpsiyon işleminde sıcaklık adsorpsiyonun tipini karakterize eder. Adsorpsiyon işlemi genellikle ekzotermiktir. Azalan sıcaklık ile adsorpsiyon kapasitesinde artış gözlemlenir. Adsorpsiyon işleminde sıcaklığın değişmesiyle denge kapasitesinin değişimi söz konusudur [37].

- **pH**

Adsorpsiyonun gerçekleştiği pH seviyesi adsorpsiyonu etkileyen önemli bir faktördür. Çözeltinin asidik veya bazik olması hidrojen ve hidroksil iyonlarının güçlü bir şekilde yüzeye tutunmasıyla diğer iyonların adsorblanmasına etki eder. Asitler düşük pH seviyelerinde daha fazla adsorbe olurken, bazlar yüksek pH seviyelerinde daha fazla adsorbe olur. Bunun sebebi adsorban ve adsorbatın negatif veya pozitif yüklü olmasıyla ilgilidir. pH' ın etkisi adsorban ve adsorbatın cinsine ve çözeltideki davranışa göre değişiklik göstermektedir [38].

- **Adsorbatın Çözünürlüğü**

Adsorpsiyon dengesini adsorbatın çözünürlüğü kontrol eder. Adsorplanan miktar ve adsorbatın çözünürlüğü arasında Lundelius kuralı olarak adlandırılan ters bir ilişki bulunmaktadır. Bu kurala göre çözünürlük ne kadar yüksek olursa adsorplanan miktar o kadar düşüktür. Bazı durumlarda çözünürlük azalsa bile molekül büyüklüğünün artması sebebiyle adsorbanın gözenek boyutundan büyük olacağından adsorpsiyonda azalma meydana gelecektir [39].

- **Karıştırma Hızı**

Karıştırma hızının fazla olması adsorban ve adsorban moleküllerinin çarpışma miktarını artacağından adsorpsiyon hızı artar. Ancak karıştırma hızının çok olmasıyla adsorban ve adsorbat arasındaki bağ bozulabilir. Bu nedenle adsorpsiyon işlemi gerçekleşirken karıştırma hızının çok fazla olmaması tercih edilmelidir.

2.2. Adsorpsiyonun Kullanıldığı İşlemler

Adsorpsiyon güçlü bir saflaştırma gerçekleştirilmesinden dolayı arıtımın son kısmında sıklıkla kullanılmaktadır. Adsorpsiyonun kullanıldığı işlemler, aşağıda maddeler halinde verilmiştir [40].

- Tıpta sıvılarda çözülmüş olan zehirli maddelerin ayrılması
- Sıvı ortamda renk giderilmesi ve saydamlaştırılması
- Buharın gazlardan ayrılması
- Gazların gazlardan ayrılması
- Suyun sertliğinin giderilmesi
- Sıvı içinde çözülmüş gazların ayrılması
- Sularda sertliğin giderilmesi

2.3. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, gerçekleşen adsorpsiyon işlemlerini açıklamak amacıyla oluşturulmuş matematiksel modellerdir. Adsorpsiyon gerçekleşirken adsorban üzerine tutunan adsorbat miktarı ile adsorplanmadan kalan madde arasında dinamik bir denge oluşmaktadır [41]. Adsorpsiyon izotermi denge durumuna ulaşmış ve sabit sıcaklıktaki çözeltinin adsorplanmadan kalan ve adsorplanan çözünenin grafiğe aktarılması ile elde edilir. Adsorpsiyon izotermi; adsorbanın kapasitesini, adsorpsiyon enerjisini ve adsorpsiyonun hangi türde olduğu hakkında önemli bilgilerin elde edilmesini sağlar [42].

İzoterm modellerinden sıklıkla kullanılanlar Langmuir ve Freundlich izoterm modelleridir. Ayrıca Tempkin, Flory-Huggins, Sips, Toth, Khan, Halsey, Koble Corrigan, Brunauer-Emmett-Teller (BET), Redlich-Petterson ve Henderson gibi birçok izoterm eşitliği ortaya sürülmüştür [43].

2.3.1. Langmuir İzotermi

1916 yılında Amerikalı bilim insanı Irwing Langmuir tarafından geliştirilmiştir. Langmuir izotermi birkaç karakteristik özelliğe dayanmaktadır. Bu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [44-46]:

- Katı yüzeyindeki bütün noktalar aynı adsorpsiyon aktivitesi gösterir. Yüzeydeki her nokta eşit enerjiye sahiptir.
- Adsorpsiyon tek tabaka halinde gerçekleşir ve maksimum adsorpsiyon, adsorplayıcı yüzeyine bağlanan moleküllerin doygun bir tabaka oluşturduğu zamandaki adsorpsiyonudur.
- Desorpsiyon hızı sadece yüzeyde adsorplanmış madde miktarına bağlıdır.

- Yüzey homojendir. Gaz molekülleri için yüzeyin her noktasında etkinliği aynıdır.
- Adsorpsiyon entalpisi yüzey kaplanmasından bağımsızdır.
- Adsorpsiyon lokalizedir. Adsorplanmış moleküller yüzeyde hareket etmezler.
- Adsorplanmış moleküller arasında etkileşim yoktur. Bu sebeple yüzeyde adsorplanmış madde miktarının adsorpsiyon hızına herhangi bir etkisi yoktur.

Bu özelliklere göre yapılan modelin matematiksel eşitlikleri aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \left(\frac{a_L}{K_L}\right) C_e \quad (1.1)$$

$$q_e = \frac{Q_{max} a_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (1.2)$$

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (1.3)$$

Denklemlerdeki değişkenler;

q_e : Adsorbanın birim kütlesinde adsorplanan madde miktarı (mg/g adsorban),

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

a_L : Langmuir sabiti (L/mg),

K_L : Adsorbatın adsorpsiyon kapasitesine bağlı olan sabit (L/g),

Q_{max} : Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g).

C_e/q_e değerinin, C_e değerine karşı değişiminin grafiğe geçirilmesiyle ortaya çıkan doğrunun eğimi a_L/K_L sabitinin değerini verirken kesim noktası da $1/K_L$ sabitini verir.

Adsorpsiyonun elverişliliğini bulmak için boyutsuz R_L (dağılma) sabiti hesaplanır.

Bu sabitin 0 ile 1 arasında değerler alması elverişlilik durumunun sağlandığı anlamına gelir.

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (1.4)$$

a_L : Langmuir sabiti (L/mg)

C_0 : Başlangıç çözünen derişimi (mg/L)

Bu denklem sonucunda;

$R_L > 1$ ise izoterm tipi uygun olmayan

$R_L = 1$ ise izoterm tipi lineer

$0 < R_L < 1$ ise izoterm tipi uygun

$R_L = 0$ ise izoterm tipi tersinmez

2.3.2. Freundlich İzotermi

1916 yılında Alman kimyacı Herbert Max Finley Freundlich tarafından geliştirilmiştir. Freundlich izotermi heterojen yüzeydeki adsorpsiyonu ifade eder ve Langmuir izotermine göre daha gerçekçidir. Freundlich, çözeltilerdeki adsorpsiyonu açıklamak için denklem 1.5' i geliştirmiştir [41,46].

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (1.5)$$

Bu denkleme göre;

C_e : Denge anında adsorpsiyon sonrası çözeltilerde kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)

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

K_F : Deneysel olarak hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi.

n : Adsorpsiyon şiddeti.

Bu eşitlikte K_F ve n değerleri sıcaklığa, adsorban ve adsorbat maddeye bağlıdır. Adsorpsiyon şiddeti (n) 1' den büyük olmalıdır. Bu durum ($n > 1$) adsorpsiyon işleminin uygun olduğunu gösterir.

Denklem 1.6 da eşitliğin iki tarafında logaritmasını alınarak doğrusal hale getirirsek;

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1.6)$$

Elde edilir. $\log q_e$ ' nin $\log C_e$ ' ye karşı değişimi grafiğe çizildiğinde K_F ve n değerleri bulunur.

2.4. Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon prosesini karakterize eder. Boyar maddenin adsorpsiyonu sırasında ne tür bir mekanizmanın gerçekleştiğini belirlemek için ortaya sürülen çeşitli kinetik

modeller bulunmaktadır [47]. Bunlar yalancı birinci dereceden kinetik model (pseudo-first order kinetik model), yalancı ikinci dereceden kinetik model (pseudo-second order kinetik model) ve partikül içi difüzyon modeli (intra-particle diffusion model) olarak üç kısımda incelenebilir [48-50].

2.4.1. Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model

Lagergren tarafından geliştirilmiş ve denklem 1.7'deki gibi ifade edilmiştir.

$$\log \frac{(q_e - q_t)}{q_e} = - \frac{k_{1,ad} t}{2.303} \quad (1.7)$$

Buna göre;

q_e : Denge anında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarını (mg/g)

q_t : Herhangi bir anda adsorbentin gramının adsorpladığı madde miktarı (mg/g)

k_{1ad} : Hız sabiti

t : Temas süresi.

Hız sabiti (k_{1ad}), $\log (q_e - q_t)$ ' nin t ' ye karşı çizilmiş grafiğin eğiminden, q_e değeri ise grafiğin kesim noktasından hesaplanır.

2.4.2. Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model

Y.S. Ho tarafından geliştirilmiş ve denklem 1.8' deki gibi ifade edilmiştir.

$$\frac{t}{q_t} = \left[\frac{1}{k_{2,ad} q_e^2} \right] + \frac{1}{q_e} t \quad (1.8)$$

İkinci dereceden hız eşitliği:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + kt \quad (1.9)$$

Buna göre;

q_e : Denge anında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarını (mg/g)

q_t : Herhangi bir anda adsorbentin gramının adsorpladığı madde miktarı (mg/g)

$k_{1,ad}$: Lagergren adsorpsiyon hız sabiti (dk-1)

$k_{2,ad}$: Yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (g/mg.dk)

k : İkinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (g/mg.dk)

q_{eq} : Hesaplanan adsorbe olan madde miktarı (mg/g)

$\log(q_e - q_t)$, t/q_t ve $1/(q_e - q_t)$ değerlerinin t değerine karşı grafiğe konulmasıyla k_1 , k_2 ve k değerleri hesaplanır.

Deneysel sonucu elde edilen veriler, grafikler yardımı ile değerlendirilip adsorpsiyon için en uygun izoterm ve adsorpsiyon hız derecesi bulunur.

2.5. Adsorpsiyon Termodinamiği

Adsorpsiyon işlemi için entalpi, entropi ve serbest enerji değişimleri denge sabiti ile belirlenebilir [51-53]. Bu termodinamik parametreler denklem 1.10' da gösterilmiştir.

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (1.10)$$

ΔG^0 : Serbest enerji değişimi, Gibbs serbest enerjisi (kJ/mol)

ΔH^0 : Entalpi değişimi (kJ/mol)

ΔS^0 : Entropi değişimi (kJ/mol K)

T : Mutlak sıcaklık (Kelvin)

Gibbs serbest enerjisini bulmak için denge sabiti olan K_c hesaplanır. Bunun için;

$$K_c = \frac{C_a}{C_e} \quad (1.11)$$

K_c : Denge sabiti

C_a : Adsorban tarafından adsorbe edilmiş madde konsantrasyonu (mg/l)

C_e : Çözeltide adsorbe edilmemiş madde konsantrasyonu (mg/l)

Denklem 1.11 ile bulunan Denge sabiti (K_c)'nin C_e ' ye karşı grafiğe geçirilmesi ile K_c^0 bulunur. Ardından denklem 1.12 yardımıyla Gibbs serbest enerjisi elde edilir.

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_c^0 \quad (1.12)$$

$$\ln K_c^0 = \frac{\Delta S^0 - \Delta H^0}{R} \times \frac{1}{T} \quad (1.13)$$

R: Gaz sabiti (8,314 J/mol K)

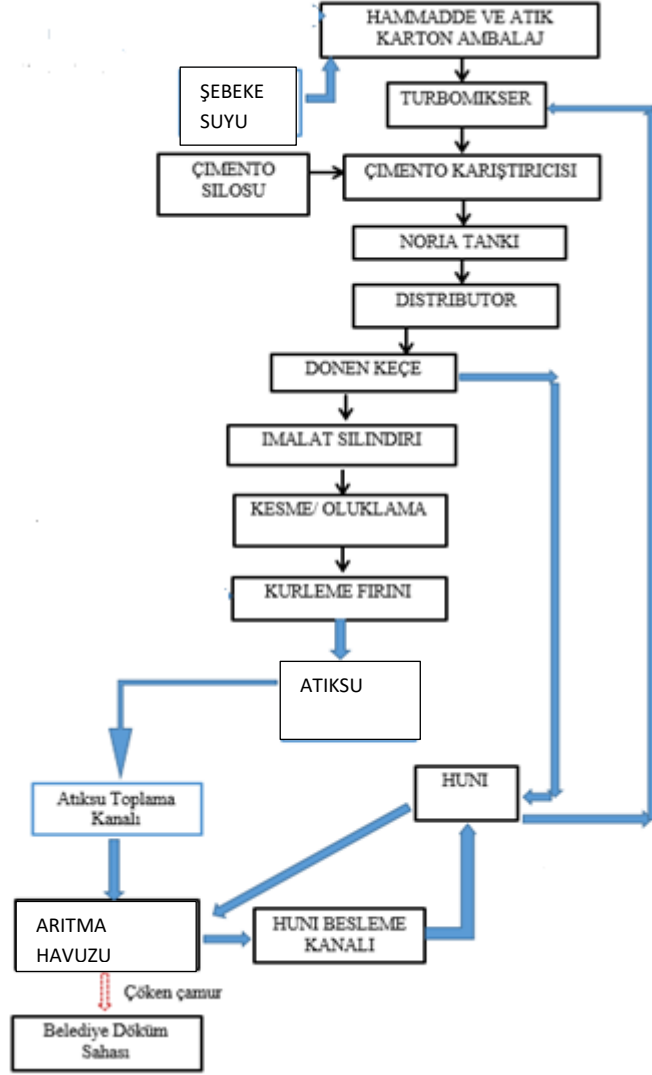
Denklem 1.13 sonucu $\ln K_c^0$ değerinin $1/T$ değerine karşı grafiğe geçirilmesiyle oluşan doğrunun eğimi ve kesim noktası ile ΔH^0 ve ΔS^0 hesaplanır.

ΔH^0 ' ın pozitif olması adsorpsiyonun endotermik yani dışarıdan ısı, enerji gerektirdiğini, ΔG^0 ' ın negatif olması ise adsorpsiyonun ekzotermik yani kendiliğinden, bir enerji gerekmeden geręekleřeceęini gösterir.

2.6. Atermit

Atermit lkemizde çatı malzemesi olarak kullanılmakta olup çimentodan üretilmektedir. Atermit içinde çimentonun yanı sıra ham selüloz ve atık karton ambalajları içindeki selüloz da bulunmaktadır.

Atermit retiminde asbestli imento önceki sistemlerde kullanılmaktaydı. Yeni teknolojilerde, asbestin yasaklanmasıyla birlikte ham selüloz ve atık kartonlar atermit üretiminde, son ürüne esneklik sağlamaktadır. Bunların yanı sıra üretimde temel ve yardımcı ham maddeler kullanılmaktadır. Selüloz fiberler sıcak su yardımıyla kağıt katkılı seramik çamuruna dönüşmektedir. Daha sonra diğer ham maddelerin ilavesiyle birlikte üretim bandına gönderilmektedir. Atermit retimi boyunca üretilen atıksu sedimentasyon havuzunda toplanmaktadır. okeltmeden sonra sistemde yeniden kullanılmaktadır [54].



Şekil 2. 2. Atermit Üretiminde Gerçekleşen İşlemler

Yapılan çalışmada adsorban olarak atermit atığı kullanılmıştır. Atermit atığı tehlikesiz özellikte bir atık olduğu kabul edilmiştir. Kullanılan işletmenin atermitinde asbest yerine doğal organik ve inorganik lifler ve çimento kimyasalları kullanılmıştır. Atermit atığının içinde 33' e 1 oranında karton ambalaj bulunmaktadır. Karton ambalajlar sayesinde üretimde gereken selüloz sağlanmaktadır. Üretimde karton ambalajlardan elde edilen selülozun yanı sıra ek olarak ayrıca ham selülozda kullanılmaktadır.



Şekil 2. 3. Atermit Fabrika Atığı

Adsorban tercihinin atermit atığı olmasındaki etkenler ise atermit atığının çevreye boşaltılmasıyla meydana gelen çevre kirliliğinin önüne geçilmesi, adsorpsiyon işleminin iyi olması sonucunda maliyeti olmayan bir adsorbanın bulunması olarak sıralanabilir.

2.7. Boyar Maddeler

Boyar maddeler 400 nm- 700 nm aralığındaki görünür ışığı absorbe edebilen ve ışığın adsorbe edilmesi ile renkli bir görüntü ortaya çıkaran maddelerdir. Boyar maddeler inorganik ve organik boyarmaddeler olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar. Bu grupların birçok alt grubu mevcuttur.

Renklendiriciler, boya veya pigmentlerden meydana gelir. Pigmentler su içerisinde çözünmezler. Bunun yanısıra su ortamında tamamen çözünebilen boyalarda mevcuttur [55,56].

Boyaların temelinde kromofor grup, boyaya rengini veren grup ve fonksiyonel grup, boyanın kumaşta sabitlenmesini sağlayan gruptan oluşur.

Hidrokarbonlar normalde renksizdirler. Fakat hidrokarbonlara kromofor denilen doymamış gruplar bağlanırsa renkli görünürler. Hidrokarbona kromofor bağlanırsa yeni oluşuma kromojen adı verilir. Kromoforlar yapısal olarak yedi gruba ayrılır.

- Nitroso Grubu
- Nitro Grubu
- Azo Grubu

- Etilen Grubu
- Karboksil Grubu
- Karbon-Azot Grubu
- Kükürt Grubu

Hidrokarbon ve kromoforun bağlanmasıyla oluşan kromojenlerin tam anlamıyla boyar madde özellikleri kazanabilmesi için ayrıca oksokrom adı verilen ikinci seri grup molekülleri ile bağlanması gerekmektedir. Oksokrom grup kromojene bağlanıp renk şiddeti ve renk denkliliğini artırır. Kromoforlar, kromojenler ve oksokromlar boyaların yapısında ve boyaların sınıflandırılmasında rol oynar. Bazik, küp, mordan, asit, kükürt, oksidasyon, dispersiyon, pigment, diazolama, ftalogen, substantif vb. boyarmadde sınıflarından birkaçıdır [57,58].

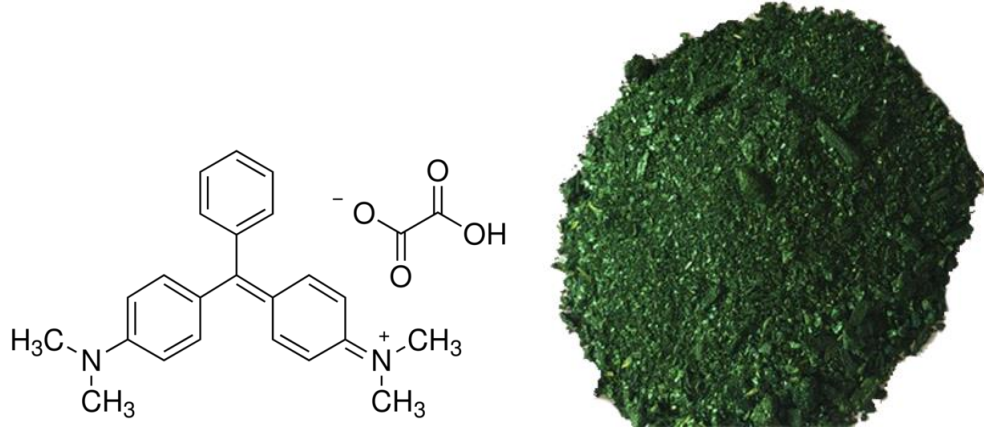
2.7.1. Malachite Green

Malachite green (Malahit yeşili, MG)' in ticari birçok ismi bulunmaktadır. Victoria green B, Diamond green B, BX katı green, astra malachite green bunlardan birkaçıdır. Molekül ağırlığı 365 g/moldür. Bazik grubunda bulunan bir boyadır. Malachite green renk indeks numarası C1.42000 ve tür C1 Basic green 4' tür. Malachite green tekstil endüstrisinde, su ürünlerinde ve kağıt sanayinde kullanılmaktadır.

Malachite green asitlik sabiti (pKa) 6.9' dur. Malachite green pH 4,0 ortamda %100, pH 6,9 %50, pH 7,4' de %25 ve pH 10,1' de %0 iyonize olur. Alkali ortamda aktif yapısını kaybeder ve renksiz daha az çözünen karbinol formuna dönüşür [59].

Malachite green, 1930' lu yıllardan bu yana su ürünlerinde balık, balık yumurtası ve kabuklularda tedavi amaçla kullanılmıştır. Günümüzde halen bu yönüyle kullanılmaya devam etmektedir. İnsan gıdası olarak tüketilecek su ürünlerinde kullanılmasına müsaade edilmez.

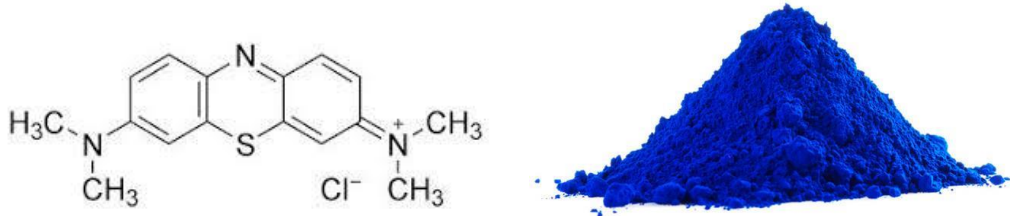
Malachite green memeli hücrelerinde sitotoksik etkisi yüksek ayrıca tümör ilerletici olarak görev yapan bir maddedir. Malachite green' in besin zincirine girmesi sonucu insanlarda kanserojenik etkilere neden olabilir.



Şekil 2. 4. Malachite Green Kimyasal Yapısı ve Görünümü

2.7.2. Methylene Blue

Methylene blue (Metilen mavisi, MB) bazik ve katyonik bir boya olup, Basic blue 9 olarak da bilinir. Kimya, biyoloji, tıp ve boya endüstrisinde birçok kullanım alanı vardır. Molekül ağırlığı 373,91 g/mol'dür. Uzun süre etkileşime geçildiğinde kusma, bilinç kaybı, şok geçirme, kalp çarpıntısı ve hiper tansiyona neden olabilir.



Şekil 2. 5. Methylene Blue Kimyasal Yapısı ve Görünümü

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Pamuk atıklarından hazırlanan lifli selüloz sülfat ile sulu çözeltilerden malachite green' in giderimini çalışmışlardır. Çalışma hem kesikli hem de sürekli olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde ettikleri verileri Redlich–Peterson ve Dubinin–Radushkevich izoterm modellerine uygulamışlardır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesini 945 mg/g olarak hesaplamışlardır. Pseudo-second-order ve intraparticle diffusion kinetik modellerinin de sisteme uyum sağladığını tespit etmişlerdir. Adsorbanın karakterizasyonunu SEM görüntüsü ve FTIR analizleri ile gerçekleştirmişlerdir. Adsorbanın yeniden kullanılabilirliği için desorpsiyon çalışması da yapmışlardır. Lifli selüloz sülfatın biyolojik olarak parçalanabilir, çevreye dost ve malachite green' in gideriminde etkili bir adsorban olduğu tespit edilmiştir [60].

Patates atıkları kullanarak malachite green ve methylene blue' nun adsorpsiyon ile giderimini çalışmışlardır. Adsorbanın karakteristik özelliklerini SEM ve FTIR analizleri ile belirlemişlerdir. Adsorpsiyona etki eden parametrelerden pH, adsorban dozu, başlangıç boya konsantrasyonu, sıcaklık ve zamanın etkisini araştırmışlardır. Adsorpsiyon kinetiği için yalancı birinci derece, yalancı ikinci derece ve intrapartikül difüzyon modelleriyle belirlenmiştir. Langmuir ve Freundlich izoterm modellerini de denemişlerdir. Ayrıca adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşip gerçekleşmediğini belirlemek için termodinamik çalışmalar da yapmışlardır. Adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiği belirlenmiştir. Patates atıklarının hem methylene blue' nun hem de malachite green' in gideriminde etkili bir adsorban olduğu belirlenmiştir [61].

Makro gözenekli üç boyutlu grafen oksit köpükler ile rhodamine B (RB), malachite green (MG) ve acriflavine (AF) giderimini çalışmışlardır. Langmuir ve Freundlich İzoterm modelleri denenmiştir. Her bir boya için adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 446, 321 ve 228 mg/g olarak bulunmuştur. Çevresel uygulamalar için etkili bir adsorban olduğu tespit edilmiştir [62].

Badem ağacı sakızını adsorban olarak kullanarak malachite green' in giderimini kesikli deneylerle incelemişlerdir. Adsorpsiyona etki eden parametrelerden adsorban miktarı, pH, başlangıç boya konsantrasyonu, partikül boyutu alıkonma zamanı ve

çalkalama hızının etkisini araştırmışlardır. Deneylelerden elde edilen verilere Freundlich, Langmuir ve Tempkin izoterm modellerini denemişlerdir. Farklı sıcaklıklarda (303.16 K, 313.16 K ve 323.16 K) adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 172,41 mg/g, 181,81 mg/g, and 196,07 mg/g olarak hesaplanmıştır. Termodinamik ve desorpsiyon çalışmaları da yapmışlardır. Desorpsiyon çalışmaları HCl ile pH 2' de gerçekleştirilmiştir [63].

Nar kabuğu kullanılarak sulu çözeltilerden malachite green' in biyosorpsiyonunu çalışmışlardır. Denge modellemesi, kinetik ve termodinamik çalışmalar yapmışlardır. Biyosorbentin karakterizasyonun belirlenmesi amacıyla FTIR, SEM ve BET analizleri yapıp incelenmiştir. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler olarak adsorban miktarı, pH, boyar madde konsantrasyonu, alıkonma zamanı ve sıcaklık yönünden incelenmiştir. Optimum pH' ı 6 boyar madde konsantrasyonunu 30 mg/L, adsorban miktarını 0,1 g, sıcaklığı 50 °C ve alıkonma zamanını 90 dakika olarak tespit etmişlerdir. Langmuir, Freundlich, Temkin, Dubinin-Radushkevich ve Redlich-Peterson izoterm modelleri arasında en iyi uyum sağlayan izotermin Langmuir izotermi olduğunu ($R^2=0.992$) hesaplamışlardır. Sonuç olarak nar kabuğunun boyar maddelerin gideriminde iyi bir performans sergilediği görülmüştür [64].

Pirinç kepeğinden üretilen polianilin, nişasta, polipirol, kitin anilin ve kitin piroladsorban olarak kullanılarak malachite green' in giderimini çalışmışlardır. Adsorpsiyon kapasiteleri 200 mg/L başlangıç boya konsantrasyonu 50 °C sıcaklık, 50–60 dk alıkonma zamanı, 0,05 g/L adsorban miktarı ve 5-7 pH aralığında sırasıyla 143,17, 147,47, 140,85, 122,5, 145,03 ve 55 (mg/L) olarak bulunmuştur. Freundlich ve yalancı ikinci derece kinetik modelin en iyi uyum sağladığı görülmüş hız belirleyen basamak intropartükül difizyon modeliyle belirlenmiştir. Termodinamik çalışmalarda yapılmıştır. Pirinç kepeğinden üretilen adsorbanların tekstil endüstrisi atık sularının gideriminde potansiyel bir aday olduğu belirlenmiştir [65].

Doğal tarımsal bir kaynak olan Rosacanina L yapraklarından sentezlenen kül üzerine yüklenmiş demir nanapartiküller adsorban olarak kullanılarak sıvı fazdan toksik malachite green' in hızlı giderimini sağlamışlardır. Çeşitli parametreler adsorban miktarı, başlangıç boya konsantrasyonu, sıcaklık, pH' ın etkisi kesikli yöntemle tespit edilmiştir. Optimum pH 8 başlangıç boya madde konsantrasyonu 50 mg/L ve

alınma zamanı 30 dakika olarak tespit edilmiştir. Adsorpsiyon denge ve kinetik verileri Langmuir ve yalancı ikinci derece kinetik modellerine uyum sağladığı görülmüştür. Adsorpsiyonun termodinamiği de çalışılmış ve sistemin kendiliğinden gerçekleştiği tespit edilmiştir [66].

Limoniacidissima' in kabuğunu adsorban olarak kullanılarak sulu çözeltilerden malachite green' in giderimini araştırmışlardır. Düşük maliyetli kolay elde edilebilir çevreye ekolojik olarak dost ve yüksek etkili adsorban olan *Limoniacidissima*' in kabuğunun alternatif bir adsorban olduğunu tespit etmişlerdir. Sıcaklık, başlangıç boya konsantrasyonu, adsorban miktarının etkisi, pH ve alınma süresinin etkisi araştırılmıştır. Adsorpsiyon FTIR ve SEM öncesi ve sonrası görüntüleriyle onaylanmıştır. Termodinamik çalışmalar ile adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiği görülmüştür [67].

Maleik ve ftalik anhidrit ile modifiye edilen selülozu malachite green' in gideriminde adsorban olarak kullanmışlardır. Deneyden elde edilen veriler Langmuir ve yalancı ikinci derece kinetik modele uyum sağlamıştır. Adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 370 mg/g ve 111 mg/g olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca termodinamik çalışmalarda yapmışlardır bu çalışmalar sonucunda adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini belirtmişlerdir [68].

Kitosan maddesi kullanılarak tekstil endüstri atıksularından acid blue 29 (AB29) boyar maddesinin giderimini incelemişlerdir. Adsorpsiyonda pH, başlangıç boya konsantrasyonu, sıcaklık ve adsorban miktarının etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deney sonuçlarında en iyi adsorpsiyonun pH=4 adsorban miktarı 1 g/L sıcaklık 35⁰C değerlerinde gerçekleştiği bulunmuştur. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri araştırıldığında Langmuir modeline uyum sağlamıştır. Termodinamik çalışmalar sonucunda adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiği görülmüştür [69].

Balık kılçığını adsorban olarak kullanarak malachite green sentetik boyasının giderimini incelemişlerdir. Boya konsantrasyonu, alınma süresi ve sıcaklık etkisi kesikli yöntemlerle incelenmiştir. Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin araştırılması sonucunda Freundlich izoterm modeline daha iyi uyum sağladığı bulunmuştur. Yalancı ikinci derece kinetik modele uyum sağlamış ve termodinamik

çalışmalar sonucunda adsorpsiyonun kendiliğinden meydana geldiği bulunmuştur [70].

Tarımsal bir atık olan muz kabuğu ile acid blue 121 (AB 121)' in kesikli sistemde adsorpsiyon ile giderimini araştırmışlardır. Araştırmalarında adsorpsiyonu etkileyen faktörlerden pH' ı, sıcaklığı, adsorban miktarını, başlangıç boya konsantrasyonunu araştırmışlardır. Denge verilerinde Langmuir izoterm modeline çok iyi uyum sağladığını, muz kabuğunun maksimum adsorpsiyon kapasitesinin 141 mg/g olduğunu, yalancı ikinci derece kinetik modeline uygun olduğu, adsorpsiyon sisteminin ekzotermik ve kendiliğinden gerçekleştiği görülmüştür [71].

Sulu çözeltilerden dispers 211 tekstil boyasının adsorpsiyon yöntemiyle giderimini kiraz ve kayısı çekirdeklerini adsorban olarak kullanarak sağlamışlardır. Çalışmalarında; adsorban miktarı, sıcaklık, pH ve alıkonma süresinin giderim verimine etkisini incelemişlerdir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi kayısı çekirdekleri için 156,25 mg/g kiraz çekirdekleri için 105,71 mg/g olarak bulmuşlardır. Kiraz ve kayısı çekirdeklerinin dispers sarı 211 tekstil boyasının giderimi için düşük maliyetli ve etkili bir adsorban olduğu tespit edilmiştir [72].

Kullanım sonrası toplanan pet şişe atıklarını kaynak olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında atık ile atık giderimi üzerine odaklanmışlardır. Adsorpsiyon methylene blue ve acid blue üzerinde yapılmış ve parametrelerden alıkonma süresi, adsorban miktarı, boya konsantrasyonu, zaman ve sıcaklık incelenmiştir. SEM, FTIR, TEM, Raman ve TGA ölçümleri yapılmıştır. Adsorpsiyon kinetiği ve izotermi yalancı ikinci derece kinetik modeline ve Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygun olduğu görülmüştür. Termodinamik parametrelerin gösterdiği sonuçlara göre boya adsorpsiyonu spontane ve endotermik biçimde gerçekleşmiştir. Plastik atıklar değerli karbon içerikli nano materyale dönüştürüldükten sonra sulu çözeltilerden adsorpsiyon için kullanılabilceği bulunmuştur [73].

Malachite green' in atıksulardan giderimini indirgenmiş graphin oksit kullanarak adsorpsiyon yöntemiyle incelemişlerdir. Malachite green maksimum adsorpsiyon kapasitesini 476,2 mg/g olarak bulmuşlardır. Termodinamik parametre hesaplamaları sonucunda adsorpsiyonun spontane ve endotermik bir süreç olduğu görülmüştür. Bu

sonuçlar doğrultusunda indirgenmiş graphin oksitin atıksulardan katyonik boyların gideriminde etkili bir adsorban olduğu tespit edilmiştir [74].

Basic violet 3' ün elik endüstrisinden gelen katı atıkların deiyonize su içinde Milli-Q ekipmanı ile hazırlanması sonucu oluşturulan adsorbanın giderim yönünden yeterliliği incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda %90 giderim sağlanmış ve optimum değerler olarak pH=4,75, iyonik kuvvet 0,170 mol/L, 70 mg adsorban miktarı, 45⁰C, karıştırma süresi 110 rpm de 175 dakika ve partikül büyüklüğü 250 mesh olarak bulunmuştur. Kinetik ve termodinamik çalışmalarda ise adsorpsiyon karakteristikleri yalancı ikinci derece kinetik ve Morris-Weber modellerine uyduğu hesaplanmıştır [75].

Toksik bir boya olan malachite green' in kesikli yöntem ile şeker fabrikası atık külü kullanılarak sulu atıklardan adsorsiyon ile giderimini incelemiştir. Kinetik ve izoterm davranışlarını, pH, etkileşim süresi ve başlangıç boya konsantrasyonun adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiştir. Atık külle yapılan deneyler adsorpsiyonun pH 8 başlangıç boya konsantrasyonu 25 mg/L ve 303⁰ K de en iyi boya giderimi sağladığını gösterdi. Denge verileri langmuir modeline, sorpsiyon seviyesi yalancı ikinci kinetik modeline uyum sağladı görülmüştür. Termodinamik adsorpsiyon çalışmaları da yapılmış atık külün malachite green ile tepkimesi ekzotermik olduğu bulunmuştur. Malachite green' in şeker fabrikası atık külü ile su ürünlerinden adsorpsiyon ile giderileceği bulunmuştur [76].

Ficus carica hasır lifinin aktif karbona dönüştürülmesiyle methylene blue' nun adsorpsiyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Temas süresi, başlangıç boya konsantrasyonu, adsorban dozu, sıcaklık ve pH değerlerinin adsorpsiyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri araştırılmış Langmuir ve Tempkin denklemlerinde iyi değerler verdiği görüşmüştür. Adsorpsiyon yalancı ikinci derece denkleme uyum sağlamıştır. Adsorpsiyon süreci spontane ve endotermik bir süreç olduğu bulunmuştur [77].

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Deneyde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Yapılan deneysel çalışmalarda adsorban olarak bir atermite fabrikalarından elde edilen atermite fabrika atıkları kullanılmıştır. Methylene blue ve malachite green boyar maddesi Carlo Erba Reagent firmasından satın alınmıştır. Adsorpsiyon işlemlerinde ortam pH' ı ayarlanırken tampon çözeltiler kullanılmıştır. Deneylerde ultra saf su kullanılmıştır.

Adsorpsiyon deneylerinde sıkça kullanılması nedeniyle methylene blue ve malachite green boyar maddeleri tercih edilmiştir. Boyar maddeler hazırlanırken ilk olarak stok çözeltiler hazırlanmış ardından stok çözeltilerin seyreltilmesi ile boyar madde çözeltileri hazırlanmıştır. Çözeltilerin boyar maddenin maksimum adsorbans gösterdiği dalga boyunda adsorbans saptanarak konstrasyon-adsorbans grafiği çizilmiştir. Adsorpsiyon deneylerinde boyar madde çözeltisinin konsantrasyonu boyar maddenin konsantrasyon-adsorbans grafiğinden hesaplanmıştır.

4.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar

Yapılan deneyler Bozok Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi kimya laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyde; terazi (Precisa XB 220 A 0,0001 g duyarlılıkta), etüv (Elektro.Mag. M 6040 P), buzdolabı (altus), SEM (FEI Quanta 450 FEG), UV-Vis Spektrofotometre (Shimadzu 1208), çalkalayıcı (VWR), pH Metre (WTW 82362 Weilheim), Santrifüj (Elektro Mag. M 815 M) kullanılmıştır.

4.3. Adsorpsiyon Çalışmaları

100, 200, 300, 400, 500 mg/L konsantrasyonlarında hazırlanan boyar madde çözeltilerinden 30 mL alınıp 250 mL' lik erlenlere konulmuştur. Her bir erlene 0,3 g atermite fabrika atığı eklenmiştir. Adsorpsiyon işlemleri madde miktarı aynı olacak şekilde ayarlanıp çalkalayıcı ile (200 rpm) ile sürekli karışım sağlanarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Methylene blue dalga boyu 665 nm malachite green dalga boyu 619 nm' dir.

Langmuir ve Freundlich izoterm sabitlerinin elde edilmesi amacıyla farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonları uygulanmıştır. İşlem sonrası kalan boyar madde

miktarı, karışımın santrifüjlenerek (6000 rpm, 10 dk) duru fazın spektrofotometrede ölçülmesi ile bulunmuştur.

4.4. Adsorpsiyona pH Etkisi

Adsorban olarak kullanılan atermite atığına metyhlene blue ve malachite green adsorpsiyonu için en uygun pH etkisini bulmak için, farklı pH değerleri denenmiştir. 250 mL' lik erlenlerde toplamda 30 mL olacak şekilde 100 ppm' lik methylene blue ve malachite green konsantrasyonu kullanılmış ve pH değerleri 2,6, 3, 4, 5, 8 ve 10 değerlerinde hazırlanmıştır. pH değerleri ayarlanırken tampon çözeltilerden faydalanılmıştır. Her bir erlene 0,3 g atermite atığı ilave edilmiştir. Erlenlerin ağzları kapatılarak 24 saat oda sıcaklığında çalkalanmıştır. Adsorpsiyon sonunda çözeltiler seyreltilip santrifüjlenerek, duru fazın spektrofotometrede okunup, konsantrasyonları hesaplanmıştır.

4.5. Adsorpsiyona Başlangıç İyon Derişiminin Etkisi

Başlangıç iyon derişimi hesaplanırken farklı konsantrasyonlarda 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 ppm' lik methylene blue ve malachite green çözeltileri 30 mL olacak şekilde hazırlanmıştır. Methylene blue pH' sı 4' e malachite green pH' sı 8' e ayarlandıktan sonra toplam hacim 30 mL' ye olacak şekilde hazırlanmıştır. Tüm erlenlere 0,3 g atermite atığı ilave edilmiştir. Erlenlerin ağzları kapatılıp 24 saat çalkalıyıcıda oda sıcaklığında çalkalanmıştır. Adsorpsiyon sonunda çözeltiler seyreltilip santrifüjlenerek, duru fazın spektrofotometrede okunup, konsantrasyonları hesaplanmıştır.

4.6. Uygunluk Analizleri

Adsorpsiyon çalışmalarında izoterm, kinetik ve diğer matematiksel modellere olan uygunluk analizleri en düşük kareler regresyonu metodu (R^2) (lineer) uygulanmıştır.

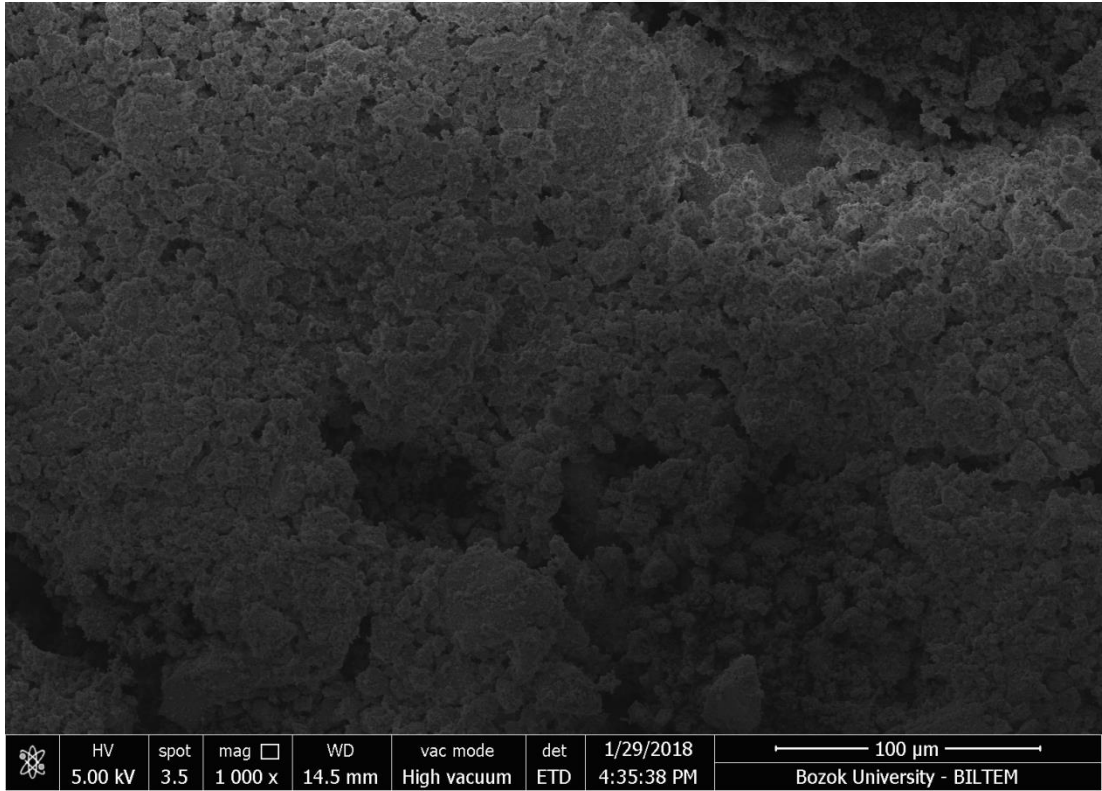
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

5.1. Karakterizasyon

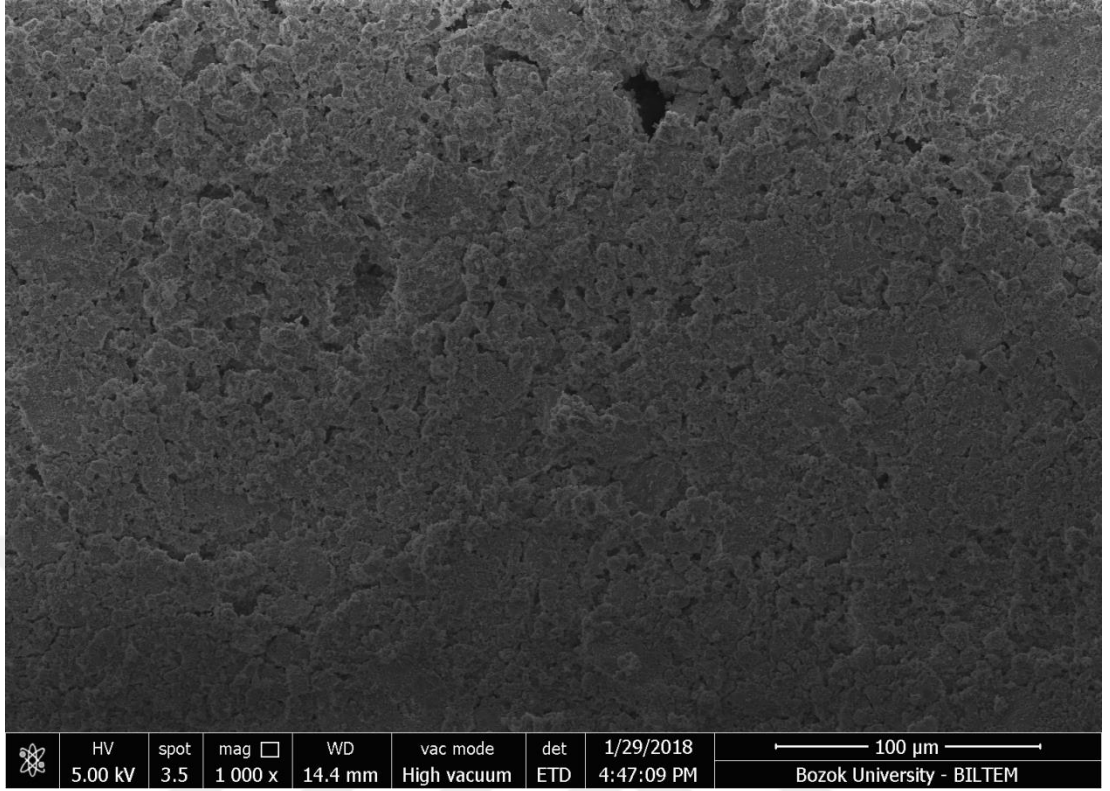
Adsorbanın yüzey morfolojisi SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizleri ile incelenmiştir. Adsorpsiyon öncesi ve sonrası elde edilen görüntülerde ince tanecikli atermite atığının yüzeyinde değişim görülmektedir. Bu durum methylene blue ve malachite green' nin atermite atığı ile adsorplandığını göstermektedir.

5.1.1. Taramalı Elektron Mikroskop Fotoğrafları (SEM)

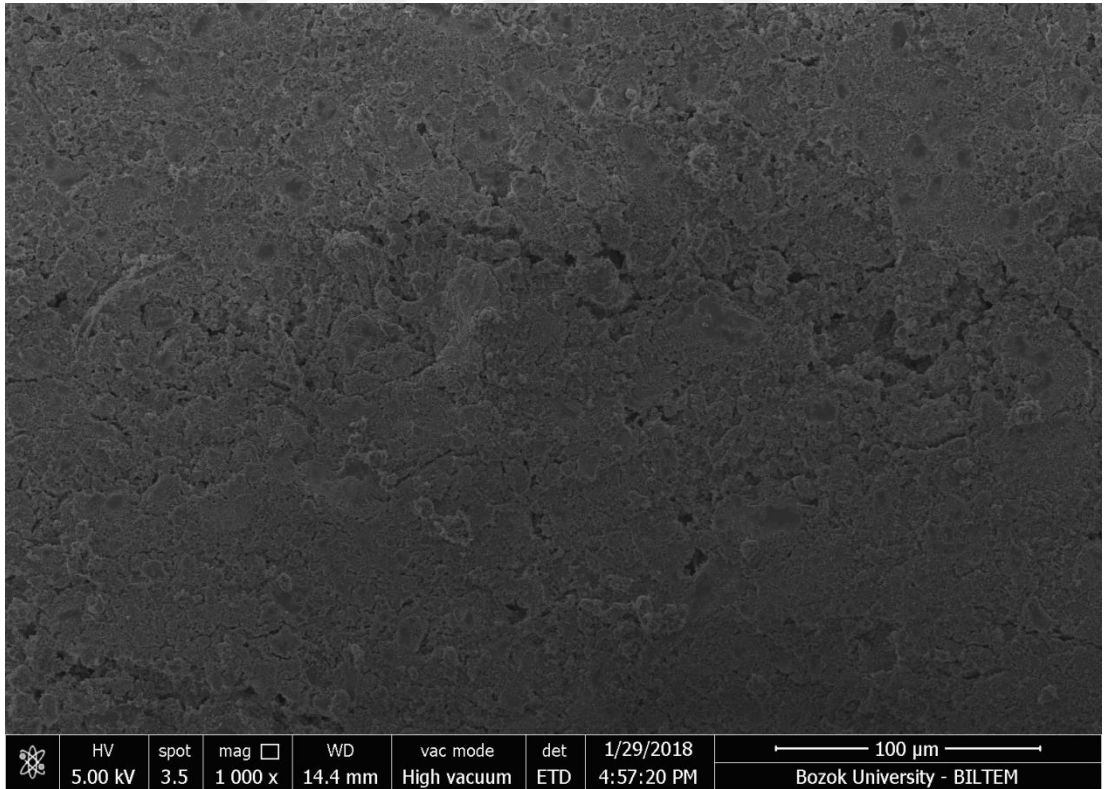
Atermite atığının yüzey morfolojisindeki değişiklikleri araştırmak için farklı yakınlıklarla yüzey görüntüsü taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Şekil 5.1' de atermite atığının adsorpsiyon öncesi görüntüsü, Şekil 5.2 ve 5.3' te ise atermite atığının adsorpsiyon sonrası görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5. 1. Atermite Atığının Adsorpsiyon Öncesi Görüntüsü



Şekil 5. 2. Atermit Atığı'nın Methylene Blue Adsorpsiyonu Sonrası Görüntüsü



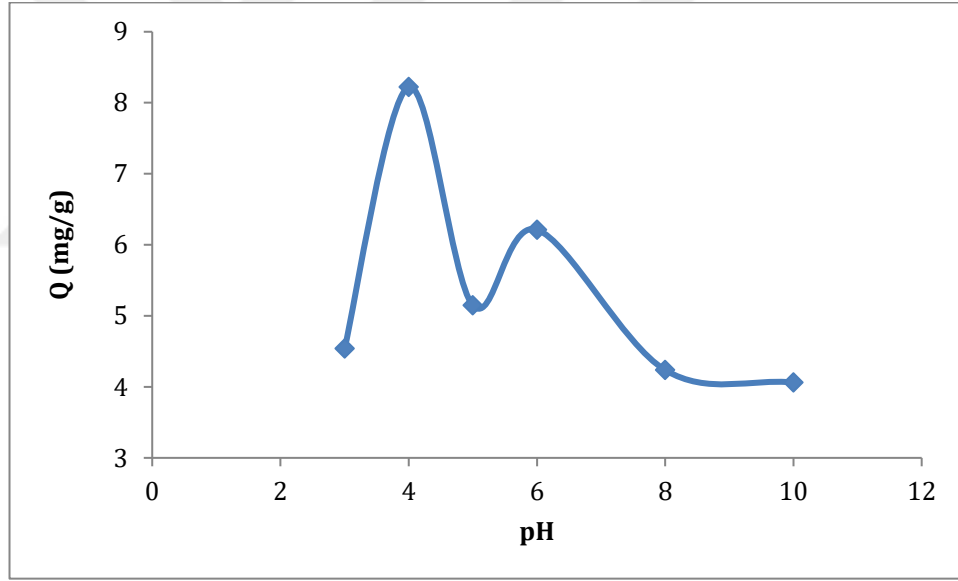
Şekil 5. 3. Atermit Atığı'nın Malachite Green Adsorpsiyonu Sonrası Görüntüsü

5.2. Adsorpsiyon Çalışmaları

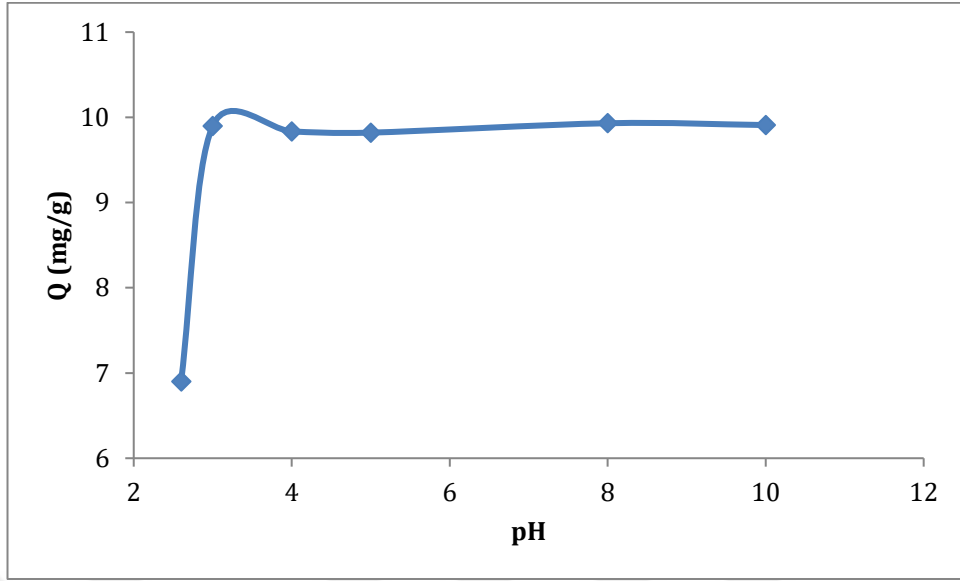
5.2.1. Adsorpsiyona pH Etkisi

Ortam pH' sı adsorpsiyonu etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Adsorpsiyona pH' ın etkisi araştırmak için diğer değerler sabit tutularak 2,6, 3, 4, 5, 8, 10 pH değerlerinde atermite atığı kullanılarak adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. 100 ppm boya konsantrasyonunda, oda sıcaklığında, 0,3 g atermite atığı ilave edilerek adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Atermite atığının methylene blue adsorpsiyonunda optimum pH 4 malachite green adsorpsiyonunda optimum pH 8 olarak bulunmuştur. Şekil 5.4' te atermite atığının methylene blue için pH etkisi verilmiştir. Şekil 5.5' te ise atermite atığının malachite green için pH etkisi verilmiştir.



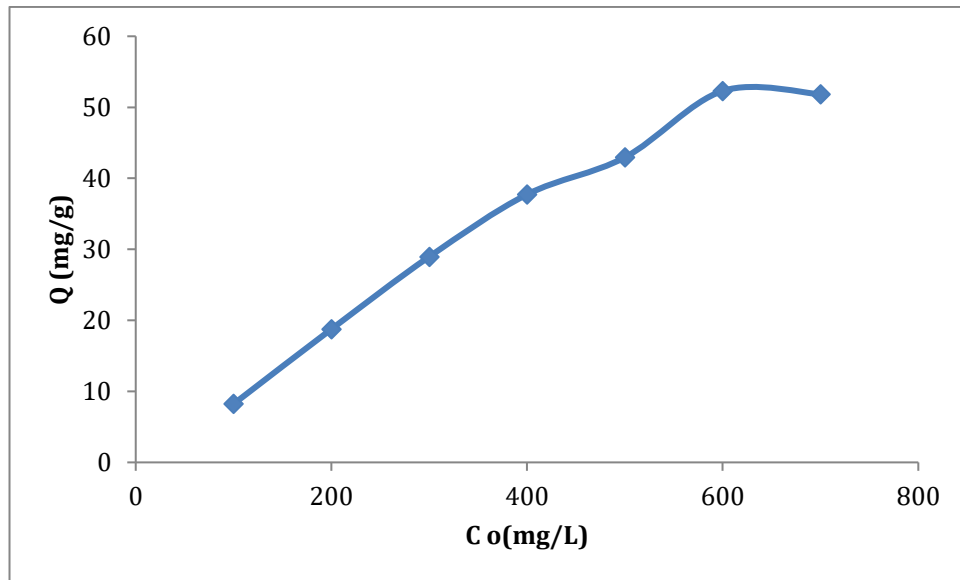
Şekil 5. 4. Atermite Atığının Methylene Blue için pH Etkisi



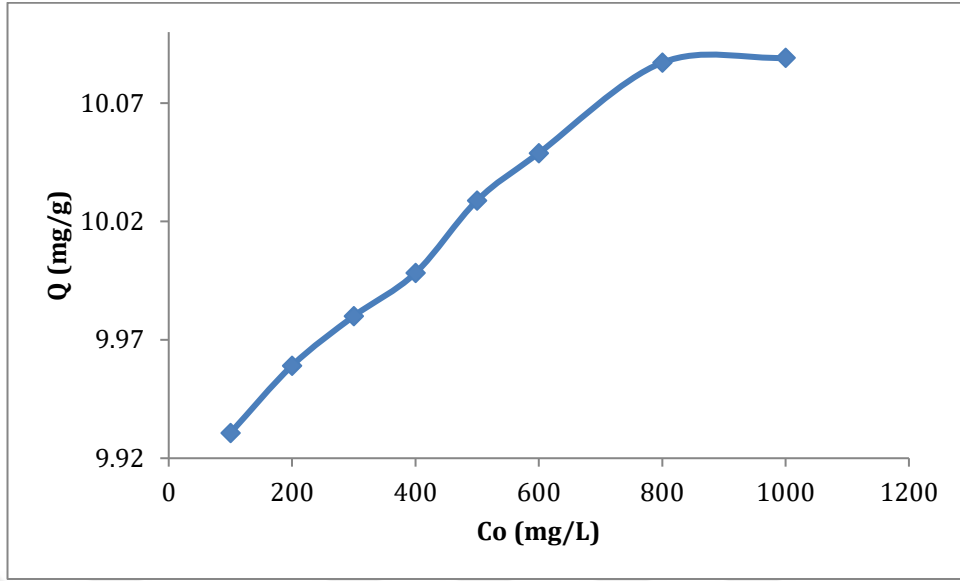
Şekil 5. 5. Atermit Atığının Malachite Green için pH Etkisi

5.2.2. Adsorpsiyona Başlangıç İyon Derişiminin Etkisi

Gerçekleşen adsorpsiyon çalışmaları sonucunda başlangıç iyon derişiminin etkisi methylene blue için şekil 5.6 malachite green için şekil 5.7 de verilmiştir. Elde edilen veriler sonucu başlangıç iyon derişiminin artmasıyla gerçekleşen adsorpsiyonun da artışı görülmektedir.



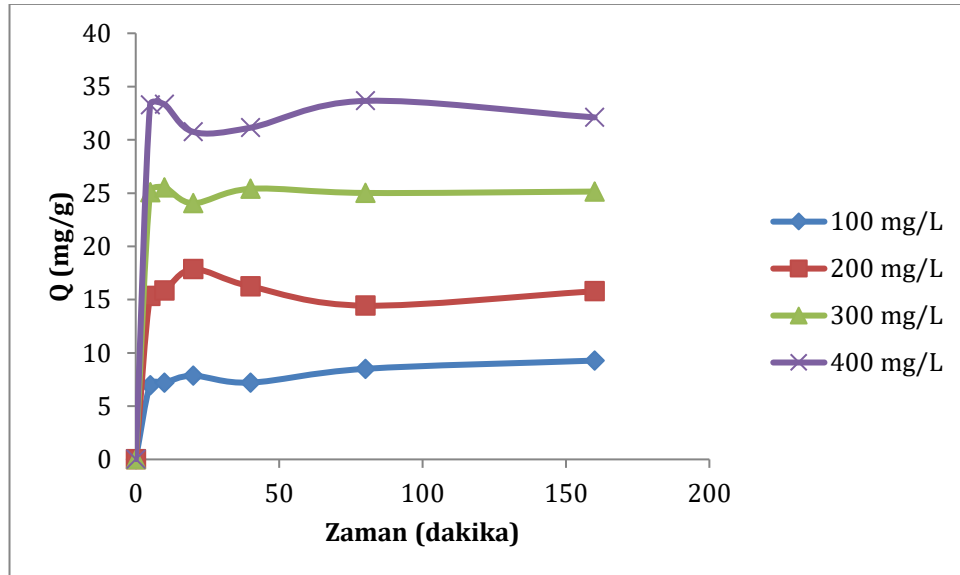
Şekil 5. 6. Methylene Blue Konsantrasyon Etkisi



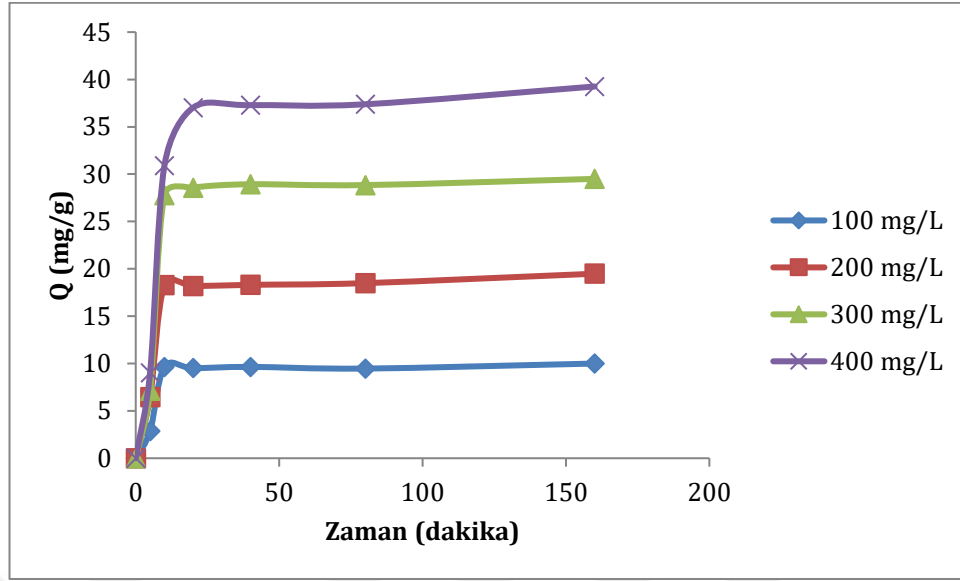
Şekil 5. 7. Malachite Green Konsantrasyon Etkisi

5.2.3. Adsorpsiyona Sürenin Etkisi

Yapılan kinetik çalışmalar sonucu elde edilen verilerin grafiğe aktırılması sonucu, methylene blue Şekil 5.8, malachite green Şekil 5.9 elde edilmiştir. Kinetik çalışmalarda methylene blue adsorpsiyonu pH 4, malachite green adsorpsiyonu pH 8 değerlerinde incelenmiştir.



Şekil 5. 8. Methylene Blue Zamanın Etkisi



Şekil 5. 9. Malachite Green Zamanın Etkisi

Methylene blue adsorpsiyonu yaklaşık 80 dakikada dengeye ulaşmıştır. Malachite green adsorpsiyonu ise yaklaşık 45 dakikada dengeye ulaşmıştır.

5.3. Adsorpsiyon İzotermi

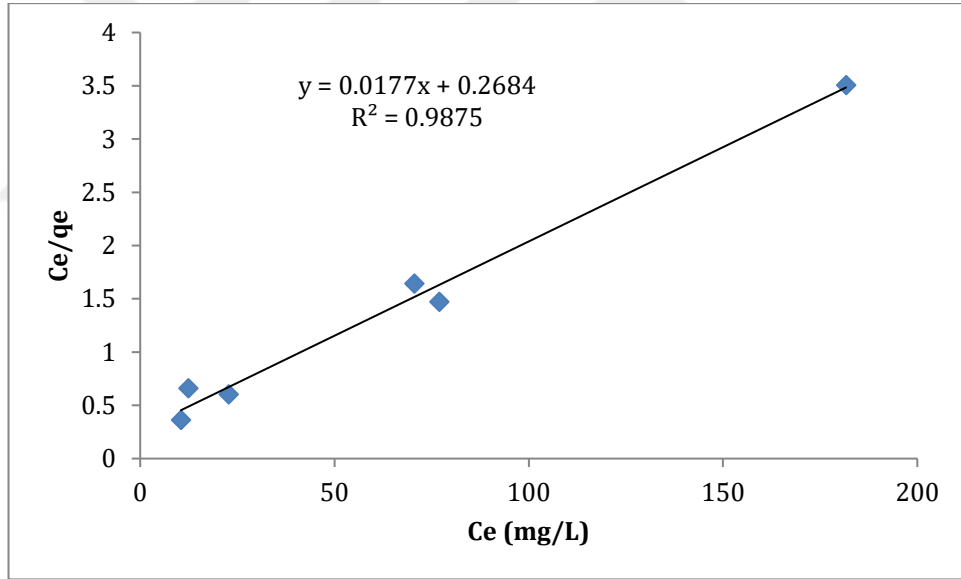
Atermit fabrikası atıkları kullanılarak methylene blue ve malachite green boyar maddelerinin gideriminde Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri denenmiştir. Atermit fabrikası atıklarının malachite green boyar maddesiyle yapılan adsorpsiyon deneylerinin sonuçlarının Langmuir izotermine daha iyi uyum sağladığı görülmüştür ($R^2=1$).

5.3.1. Langmuir İzotermi

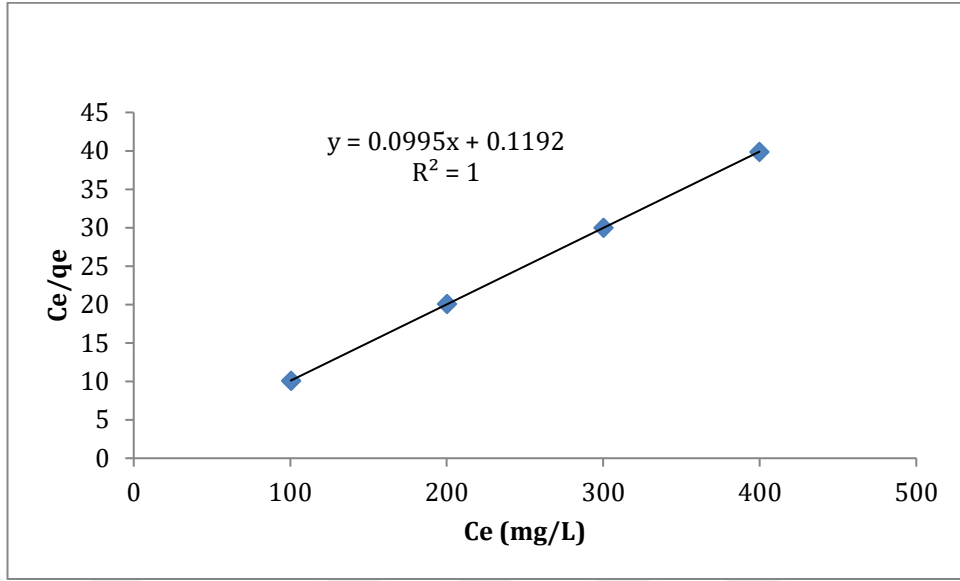
Şekil 5.10' da methylene blue, şekil 5.11' de malachite green için Langmuir izotermine grafiği, Tablo 5.1' de ise Langmuir izoterm katsayıları verilmiştir.

Tablo 5. 1. Langmuir İzoterm Katsayıları

Adsorban	Boyar Madde	$K_L(L/g)$	a_L	Qmax (mg/g)	R^2
Atermit Fabrikası Atığı	Methylene Blue	3,725	0,0659	56,525	0,9875
Atermit Fabrikası Atığı	Malachite Green	8,389	0,834	10,058	1



Şekil 5. 10. Methylene Blue için Langmuir İzotermi



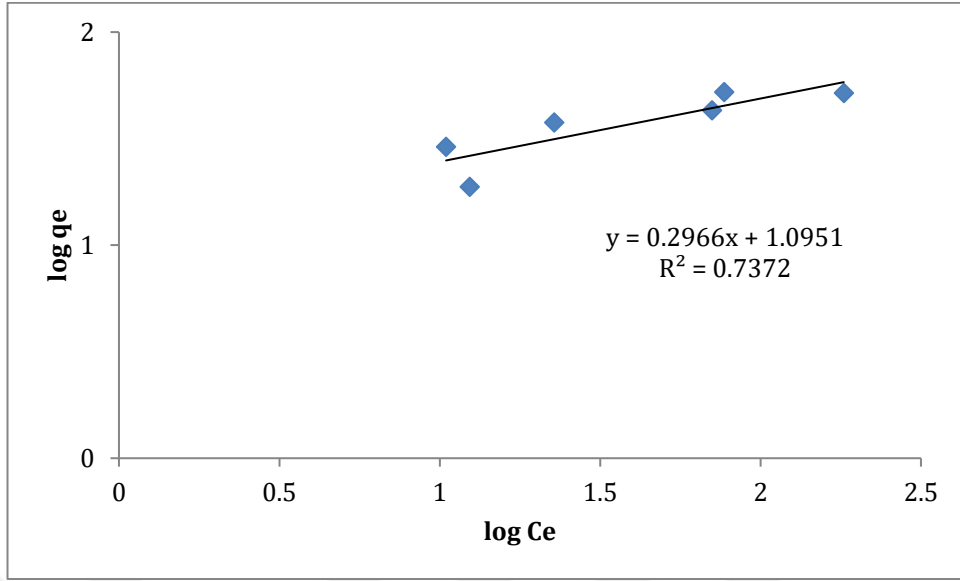
Şekil 5. 11. Malachite Green için Langmuir İzoterminin

5.3.2. Freundlich İzoterminin

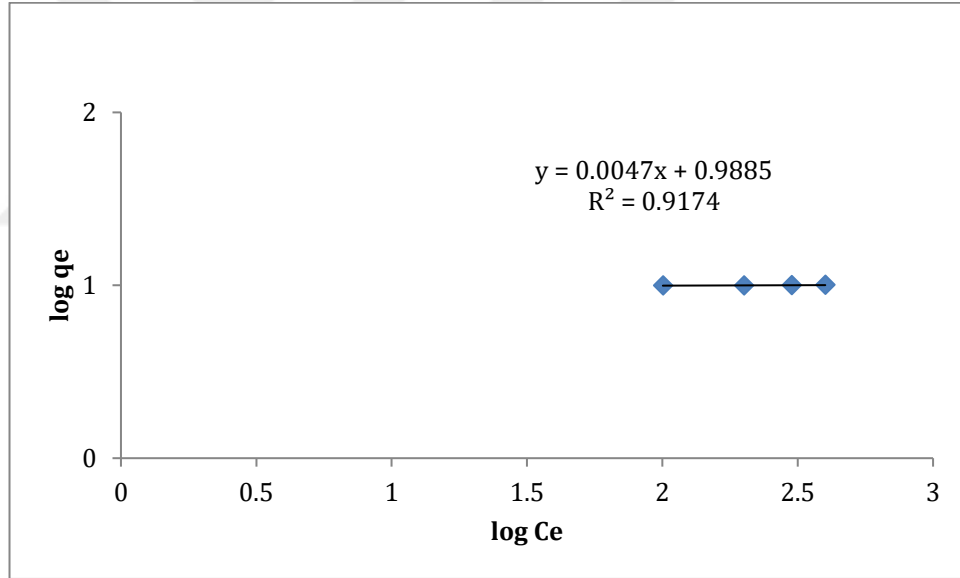
Tablo 5.2’de Freundlich izoterm katsayıları verilmiştir. Malachite green ve methylene blue boyar maddelerinin Freundlich izoterm modellerine olan uyumları karşılaştırıldığında malachite green’ in daha iyi uyum sağladığı görülmüştür ($R^2=0,9174$)

Tablo 5. 2. Freundlich İzoterm Katsayıları

Adsorban	Boyar Madde	n_F	K_F	R^2
Atermit Fabrikası Atığı	Methylene Blue	3,371	12,44801	0,7372
Atermit Fabrikası Atığı	Malachite Green	212,766	9,738	0,9174



Şekil 5. 12. Methylene Blue için Freundlich İzotermi



Şekil 5. 13. Malachite Green için Freundlich İzotermi

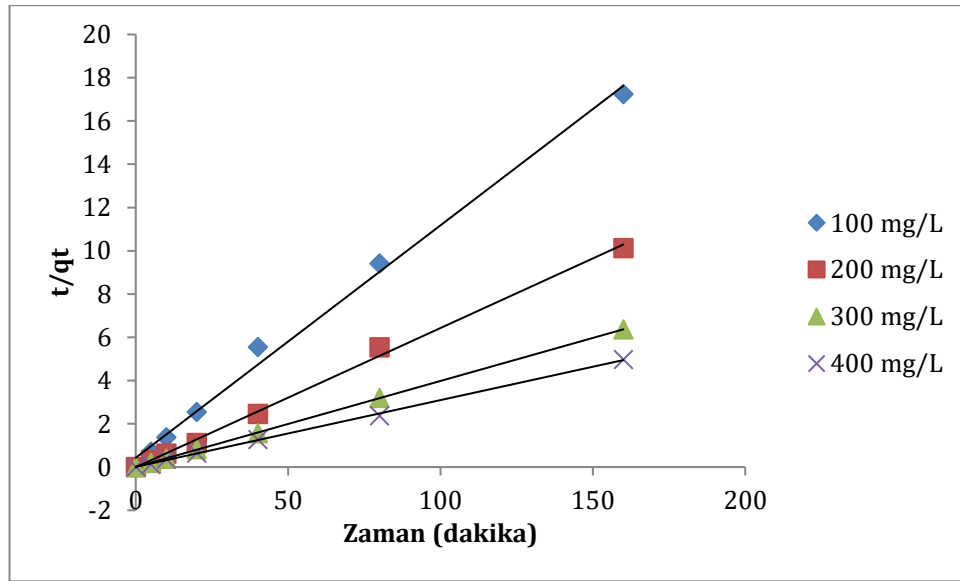
5.4. Adsorpsiyon Kinetiği

5.4.1. Methylene Blue Yalancı İkinci Dereceden Adsorpsiyon Kinetiğinin Değerlendirilmesi

Tablo 5.3' te methylene blue için yalancı ikinci dereceden hız katsayılarının değerleri verilirken, Şekil 5.14' te methylene blue için yalancı ikinci dereceden izoterm modeli verilmiştir. Her iki boyar maddenin de yalancı ikinci dereceden modele uyum sağladığı görülmüştür.

Tablo 5. 3. Methylene Blue için Yalancı İkinci Dereceden Hız Katsayılarının (k_2 , ad) (g/mg, dakika) Değerleri (pH=4)

Atermit Fabrikası Atığının Başlangıç Boya Konsantrasyonu (mg/L)	q_e	k_2,ad	R^2
100	9,302	0,5005	0,9947
200	15,527	2,837	0,9973
300	25,125	2,941	0,9999
400	32,362	1,668	0,999

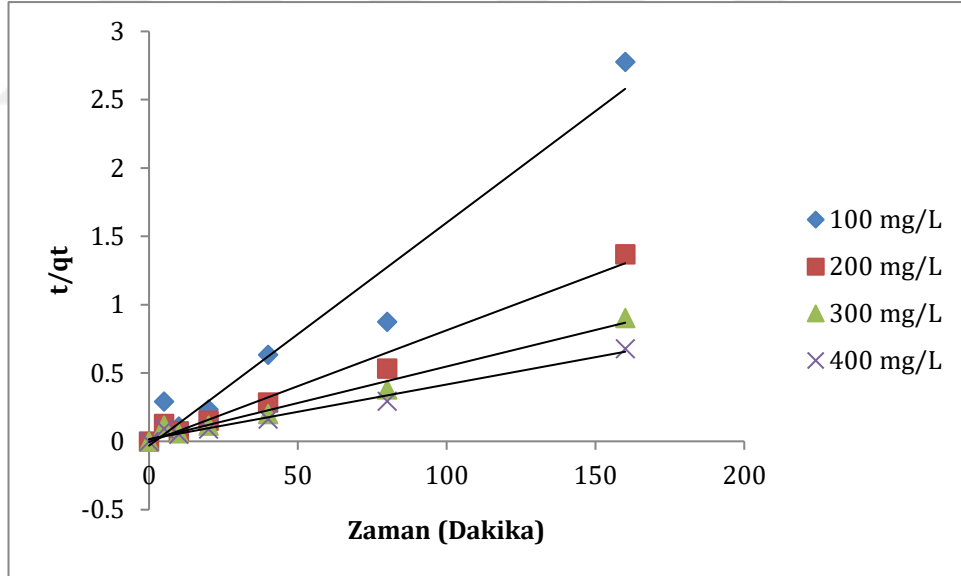


Şekil 5. 14. Methylene Blue için Yalancı İkinci Dereceden İzoterm Model

5.4.2. Malachite Green Yalancı İkinci Dereceden Adsorpsiyon Kinetiğinin Değerlendirilmesi

Tablo 5. 4. Malachite Green için Yalancı İkinci Dereceden Hız Katsayılarının (k_2 , ad) (g/mg, dakika) Değerleri (pH=8)

Atermit Fabrikası Atığının Başlangıç Boya Konsantrasyonu (mg/L)	q_e	k_2,ad	R^2
100	61,349	0,719	0,9529
200	121,951	1,281	0,9796
300	188,679	1,595	0,9796
400	250,00	2,012	0,9817



Şekil 5. 15. Malachite Green için Yalancı İkinci Dereceden İzoterm Model

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Bu çalışmada atermit fabrikası atıkları adsorban olarak kullanılarak iki farklı bazik boyar maddenin (methylene blue, malachite green) giderimi araştırılmıştır. Atermit fabrikası atığının karakterizasyonu için taramalı elektron mikroskopu ile görüntüsü alınmıştır.
2. Her iki boyar madde için pH' ın, zamanın ve konsantrasyonun etkileri incelenmiştir.
3. Langmuir ve Freundlich İzoterm Modelleri denenmiş atermit fabrikası atığının Langmuir İzotermine ($R^2=1$) daha iyi uyum sağladığı görülmüştür.
4. Kinetik çalışmalar yapılmış ve her iki boyar maddenin de atermit fabrikası atığına yalancı ikinci derece izoterm modelinin daha iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir.
5. Bütün sonuçlar göz önüne alındığında atermit fabrikası atığının her iki boyar maddeyi de giderdiği ve bazik boyar maddeler için maliyetsiz bir adsorban olduğu bulunmuştur.
6. Bu çalışma ileride yapılacak olan mastır ve doktora çalışmalarına ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

1. Öden, M.K., Renkli Atıksulardan Endüstriyel Atık Malzeme (Liç Atığı) Kullanılarak Adsorpsiyon Sisteminde Boya Giderimi, Doktora Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2015.
2. Gulnaz, O., Kaya, A., Dincer, S., The Reused of Dried Activated Sludge for Adsorption of Reactive Dye. *Journal of Hazardous Materials* 134:190-196, 2006.
3. Baylan, N., Bentonit ve Üzüm Çekirdeği Aktif Karbonunun Tekli ve Çoklu İyon Sistemlerindeki Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
4. Orbak, İ., Aktif Karbon ile Çevre Kirleticisi Bazı Unsurların Giderilmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
5. Karapınar, İ., Kargı F., Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi, *Turk J Engin Environ Sci*, 24: 161-169, 2000.
6. Ergül, M., Tekstil Atıksularının Laboratuvar ve Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktörler ile Arıtılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
7. Aygün, A., Yerli Doğal Hammaddelerden Aktif Karbon Üretimi ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
8. Kılıç, E., Tekstil Boyalarının Adsorpsiyonu İçin Çitosan-Zeolit Kompozitlerin Hazırlanması ve Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
9. Mckay, G., Design Models For Adsorption System In Wastewater Treatment. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 31: 717-772, 1981.
10. Mckay, G., Adsorption Of Dyestuffs From Aqueous Solutions With Activated Carbon I: Equilibrium And Batch Contact-Time Studies. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 32: 759-731, 1982.

11. Blum, D. J. W., Suffet, I. H., Duguet, J. P. Estimating The Activated Carbon Adsorption Of Organic Chemicals In Water. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol., 23:121-136, 1993.
12. Meshko, V., Markovska, L., Mincheva, M., Rodrigues, A.E., Adsorption Of Basic Dyes On Granular Activated Carbon And Natural Zeolite. Water Research, 35 (14): 3357-3366, 2001.
13. Dolaş, H., Zeytin Çekirdeğinde Pb (II) Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2004.
14. Kule, L., Elma ve Portakal Kabuğu Üzerine Malaşit Yeşilinin Sulu Çözeltiden Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.Y.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, 2014.
15. Nalçak, M., Doğal Kil ve Hindistan Cevizi Kabuğu ile Çözeltilerden AI (III) Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2012.
16. Bozkurt, B., Kahve Telvesiyle Atık Sulardan Ağır Metal Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
17. Özyay, G., Kabak Çekirdeği Kabuğu Kullanılarak Bomaplex Blue CR-L' nin Adsorpsiyonla Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2012.
18. Gürel. N., Anyonik ve Katyonik Yapılı Boyar Maddelerin Ananas Meyvesi Yaprağına Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2015.
19. Topçuoğlu. E., Boyar Maddelerin Çeşitli Adsorbanlarla Adsorpsiyonun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
20. Halıcı. Z., Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyon Yöntemiyle Fosfat Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
21. Yıldırım. Ö., Metilen Yeşilinin Sulu Çözeltiden Adsorpsiyon Yöntemi ile Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
22. Çiçekçi. A., Doğal Şeftali Çekirdeği ile Malahit Yeşilinin Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2019.
23. Yılmaz. E., Çörek Otu Küspesinden Hazırlanan Biyosorbent Yüzeyine Boyar Madde Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, B.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2019.

24. Noll, K.E., Gounaris, V., Hou, W., Adsorption Techonology For Air And Water Pollution Control. Lewis Publishers Inc, Michigan, 1992.
25. <http://www.kimyaevi.org> 09.11.2019 20:32.
26. Kobya, M., Su ve Atıksu Arıtımında Proses Kimyası, Yüksek Lisans Tezi, G.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
27. Dinçer, A. Sepiyolit ve Genleşmiş Perlit Üzerine Katyonik Poliakrilamid Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2007.
28. Başural, Y. Çeşitli Adsorbanlarla Fosfat Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 1996.
29. Bozkaya, O. Civa İyonlarının Çinko ve Nikel İyonları İçeren Sulu Ortamda 4-vinil Piridin Aşılınmış Poli (etilen tereftalat) Lifler ile Seçimli Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale 2010.
30. Yuana, H., Zhanga, J., Lua, Z., Mina, H., and Wuc, C. Studies on Biosorption Equilibrium and Kinetics of Cd²⁺ by Streptomyces sp. K33 and HL-12, Journal of Hazardous Materials, 164: 423–431, 2009.
31. Onyancha, D., Mavura, W., Ngila, J. C., Ongoma, P., and Chacha, J. Studies of Chromium Removal From Tannery Wastewaters by Algae Biosorbents, Spirogyra Condensata and Rhizoclonium Hieroglyphicum, Journal of Hazardous Materials, 158:605–614, 2008.
32. Sarıkaya, Y. Fizikokimya, Genişletilmiş 4. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 2003.
33. Üstün, N. Uçucu Küllerin Peletlenmesi ve Çinko (II), Bakır (I) ve Krom (III) Adsorpsiyonunda Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
34. Beler, B., Adsorption and Ion Exchange in Environmental Engineering, Environmental Sciences and Engineering Program, (dersnotları) Istanbul Technical University, Istanbul.
35. Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S., S., Dorris, K., L., The Removal of Heavy Metal from Aqueous Solutions by Sawdust Adsorption-Removal of Copper. Journal of Hazardous Materials 80, 33-42, 2005.
36. Koçer, O., Zeytin Posası (Pirina) Üzerine Malaşit Yeşili' nin Sulu Çözeltilerde Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, K.Y.A.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

37. Wang, S., Ariyanto, E., Competitive Adsorption Of Malachite Green And Pb+2 İons On Natural Zeolite. *Journal of Colloid and Interface Science* 314:25–31, 2007.
38. Baran, E., Tekli ve İkili Sistemde Zeolit Yüzeyine Malachite Green ve Rhodamine B' nin Adsorpsiyonunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012
39. Sencan, S., Düşük Maliyetli Adsorbentler ile Nikel İyonu Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
40. Özer, A., Mersin Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adsorpsiyon Kinetikleri Ders Notları, 2004.
41. Weber, W. J. *Physicochemical Processes: For Water Quality Control*, Wiley Interscience, NY. 199-255, 1972.
42. Gupta, N., Amritphale, S. S. ve Chandra, N. Removal of Lead From Aqueous Solution by Hybrid Precursor Prepared by Rice Hull, *Journal of Hazardous Materials*, 163:1194-1198, 2008.
43. Özçimen, D., Çeşitli Bitkisel Atıkların Karbonizasyon Yoluyla Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
44. Condon, J. B., *Surface Area and Porosity Determinations by Physisorption Measurements and Theory*, Elsevier, Netherlands, 2006.
45. Machida, M., Aikawa, M., and Tatsumoto, H. Prediction of Simultaneous Adsorption of Cu (II) and Pb (II) onto Activated Carbon by Conventional Langmuir Ttype Equations, *Journal of Hazardous Materials*, B120:271-275, 2005.
46. Yener, J., ve Aksu, Z. Atıksulardaki Fenol ve Klorofenollerin Aktifkarbon ve Kurutulmuş Aktif Çamura Adsorpsiyonu, *Engineering and Environmental Science*, 23:93-104, 1999.
47. Ho, Y. S., Mckay, G., Pseudo-Second Order Model For Sorption Processes. *Process Biochem.*, 34:451-465, 1999.
48. Turan, F., Keçi Boynuzundan Sıvı Şeker Eldesi ile Adsorpsiyon Kinetiği ve Mekanizması, Yüksek Lisans Tezi, EÜ, İzmir, 2017.
49. Ho, Ys., Wase, Daj., Forster, Cf., Kinetic Studies Of Competitive Heavy Metal Adsorption By Sphagnum Moss Peat. *Environmental Technol*, 17:71-77, 1996.

50. Benguella, B. And Benaissa, H., Cadmium Removal From Aqueous Solutions By Chitin: Kinetic And Equilibrium Studies. *Water Res.*, 36:2463-74,2002.
51. Tünay, O. Ve Kabdaşlı, I. *Fiziksel Kimya*, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, 1996.
52. Nollet, H., Roels, M., Lutgen, P., Van Der Meeren, P., Verstraete, W., Removal Of Pcb's From Wastewater Using Fly Ash, *Chemosphere*, 53:655-665, 2003.
53. Dakıky, M., Khamıs, M., Manassra, A., Mer'eb, M., Selective Adsorption Of Chromium (VI) In Industrial Wastewater Using Low-Cost Abundantly Available Adsorbents. *Advances In Environ. Res.*, 6:533-540, 2002.
54. Ganjian, E., Khorami, M., Sadeghi-Pouya, H., Application of Kraft and Acrylic Fibres to Replace Asbestos in Composite Cement Sheets, 11th International Organic Bonded Fiber Composites, 52-61, 2008.
55. Zollinger, H., *Color Chemistry Vch*, Weinheim, Germany, 1991.
56. Correia, V.M., Stephenson, T., Judd, S.J., Characterization Of Textile Wastewaters-A Review, *Environmental Technology*, 15 :917-929 1994.
57. Shreve, R.N., Brıng, J.A., *Chemical Process Industries*, Mcgraw-Hill Book Company, 1977.
58. Seventekin, N., *Boyar Madde Kimyasına Giriş*. E.Ü. Mühendislik Fakültesi Çoğaltma Yayın, Bornova, 1988.
59. Jain, S., Jayaram, R. V., Removal of Basic Dyes From Aqueous Solution By Low-Cost Adsorbent: Wood Apple Shell (*Feronia Acidissima*). *Desalination* 250:921-927, 2010.
60. Baghdadi. M., Soltani. B.A., Nourani. M., Malachite Green Removal From Aqueous Solutions Using Fibrous Cellulose Sulfate Prepared From Medical Cotton waste: Comprehensive Batch and Column Studies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 55:128–139, 2017.
61. Gupta. N., Kushwaha. A.K., Chattopadhyaya. M.C., Application of Potato (*Solanum tuberosum*) Plant Wastes for the Removal of Methylene Blue and Malachite Green Dye from Aqueous Solution. *Arabian Journal of Chemistry* 9:707–716, 2016.
62. Jayanthi. S., Eswar. N.K.R., Singh. S.A, Chatterjee. K., Madras. G., Soodd. A.K., Macro Porous Three-Dimensional Graphene Oxide Foams for Dye Adsorption and Antibacterial Applications. *RSC Advances*. 6:1231–1242, 2016.

63. Bouaziz. F., Koubaa. M., Kallel. F., Ghorbel. R.E., Chaabouni. SE., Adsorptive Removal of Malachite Green From Aqueous Solutions by Almondgum: Kinetic Study and Equilibrium Isotherms. *International Journal of Biological Macromolecules* 105: 56–65, 2017.
64. Gündüz. F., Bayrak. B., Biosorption of Malachite Green From an Aqueous Solution Using Pomegranate Peel: Equilibrium Modelling, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Journal of Molecular Liquids* 243:790–798, 2017.
65. Bhatti. H.N, Jabeen. A., Iqbal. M., Noreen. S., Naseem. Z., Adsorptive Behavior of Rice Bran-Based Composites for Malachite Green Dye: Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Journal of Molecular Liquids* 237:322–333, 2017.
66. Agarwala. S., Tyagi. I., Gupta. V.K., Mashhadi. S., Ghasemi.M., Kinetics and Thermodynamics of Malachite Green Dye Removal From Aqueous Phase Using Iron Nanoparticles Loaded on Ash. *Journal of Molecular Liquids* 223:1340–1347, 2016.
67. Sartape. A.S., Mandhare. A.M., Jadhav. V.V., Raut. P.D., Anuse A.M., Kolekar. S.S., Removal of Malachite Green Dye From Aqueous Solution With Adsorption Technique Using Limonia Acidissima (woodapple) Shell as Low Cost Adsorbent. *Arabian Journal of Chemistry* 10:3229–3238, 2017.
68. Zhou. Y., Min. Y., Qiao. H., Huang. Q., Wang. E., Ma.T., Improved Removal of Malachite Green From Aqueous Solution Using Chemically Modified Cellulose by Anhydride. *International Journal of Biological Macromolecules* 74:271–277, 2015.
69. Köylü. E., Gönen. F., Önalın. F, Asidik Boyarmadde İçeren Tekstil Endüstrisi Atıksularından Adsorpsiyon Yöntemiyle Renk Giderilmesi. *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering* 2:145 – 153, 2015.
70. Savcı. S., Kemiklioğlu E., Removal of Malachite Green A Cationic Dye From Waste Water via Adsorption on Fish Bones, *Fresenius Environmental Bulletin*. 4:3078-3084, 2017.
71. Uslu. A.B., Elbağlı. O.G., Şen. Y., Uzunoğlu. D., Özer. A., Acid Blue 121 Boyar Maddesinin Muz Kabuğuna Kesikli Sistemde Adsorpsiyonunun Araştırılması, *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering* 2: 293-302, 2015.
72. Erdoğan. F.O., Comparison Of Textile Dye Adsorption Properties Of Low-Cost Biowaste Adsorbents. *Journal of Textiles and Engineer* 24:107, 2017.

73. El Essawy. N.A, Ali. S.F., Farag. H.A., Konsowa. A.H., Elnouby. M., Hamad. H.A., Green Synthesis of Graphene From Recycled PET Bottle Wastes for Use in the Adsorption of Dyes in Aqueous Solution. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 145:57–68, 2017.
74. Gupta K., Khatri. O.P., Reduced Fraphene Oxide as an Effective Adsorbent for Removal of Malachite Green Dye: Plausible Adsorption Pathways. *Journal of Colloid and Interface Science* 501:11–21, 2017.
75. Amaral. C.N.R., Feiteira. F.N., Cruz. R.C., Cravo. V.O., Cassella. R.J., Pacheco W.F., Removal of Basic Violet 3 Dye From Aqueous Media Using a Steel Industry Residue as Solid Phase. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4:4184–4193, 2016.
76. Savcı. S., Uysal. M.M., Atık Kül Kullanılarak Methylene Blue ve Methyl Orange Adsorpsiyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 3:831-835, 2017.
77. Pathania. D., Sharma S., Singh P., Removal of Methylene Blue by Adsorption onto Activated Carbon Developed from Ficus Carica Bast. *Arabian Journal of Chemistry* 10:1445–1451, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında İzmir’ de doğan Serhat DÖNMEZ, ilk ve orta öğrenimini Özel Ar Okulu, lise öğrenimi Ali Fuat Başgil Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2011 yılında kazandığı Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümünü 2016 yılında başarıyla tamamlamıştır.

2016 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Dr. Öğr. Üyesi Serpil SAVCI danışmanlığında hazırladığı “Atermit Fabrikası Atıkları Kullanılarak Boyar Madde Giderimi” başlıklı teziyle 2020 yılında mezun olmuştur.

İletişim Bilgileri

Adres: Liman Mah. Gençlik Cad. Arzu Apt.

Samsun/İlkadım

Telefon: 0 (537) 550 85 29

E-posta: serhatdonmez93@gmail.com