

**ANTEP FISTIĞI İŞLEME ENDÜSTRİSİNDEN KAYNAKLANAN  
KATI ATIKLARIN BOYAR MADDE ADSORPSİYONUNDA  
KULLANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ZEYNEP KARAMAN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
ARALIK - 2017**

**ANTEP FISTIĞI İŞLEME ENDÜSTRİSİNDEN KAYNAKLANAN  
KATI ATIKLARIN BOYAR MADDE ADSORPSİYONUNDA  
KULLANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ZEYNEP KARAMAN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Mutlu YALVAÇ**

**İkinci Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Serpil SAVCI**

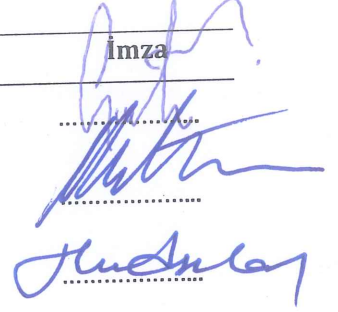
**MERSİN  
ARALIK - 2017**

## ONAY

Zeynep KARAMAN tarafından Yrd. Doç. Dr. Mutlu YALVAÇ danışmanlığında ve Yrd. Doç. Dr. Serpil SAVCI ikinci danışmanlığında hazırlanan "Antep Fıstığı İşleme Endüstrisinden Kaynaklanan Katı Atıkların Boyar Madde Adsorpsiyonunda Kullanım Potansiyelinin Araştırılması" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 15 Aralık 2017 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı
Başkan	Prof. Dr. Cengiz ÖZMETİN
Üye	Yrd. Doç. Dr. Mutlu YALVAÇ
Üye	Yrd. Doç. Dr. Hüdaverdi ARSLAN

İmza



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/02/2018 tarih ve 2018.09/362 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Ayla ÇELİK  
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

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

## ETİK BEYAN

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

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

## ETHICAL DECLARATION

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

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

15 Aralık 2017 / 15 December 2017

İmza / Signature



Öğrenci Adı ve Soyadı / Student Name and Surname

Jeyner KARAMAN

## ÖZET

### ANTEP FISTIĞI İŞLEME ENDÜSTRİSİNDEN KAYNAKLANAN KATI ATIKLARIN BOYAR MADDE ADSORPSİYONUNDA KULLANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada yaygın kullanılan tekstil boyalarından, Remazol Brilliant Blue R (RBBR), Reactive Red 45 (RR45), Acid Red 42 (AR42), Basic Red 18 (BR18)'in Antep fıstığı endüstrisi katı atığı (AFKA) kullanılarak adsorpsiyon yöntemiyle giderimi araştırılmıştır. Adsorpsiyon işlemine, pH, başlangıç boyar madde konsantrasyonu, adsorban miktarı etkisi araştırılmıştır. Yapılan optimizasyon sonucunda, RBBR, RR45 ve AR42 boyar maddeleri için AFKA'nın adsorpsiyon kapasitesinin pH 2'de, BR18 için ise adsorpsiyon kapasitesinin pH 4'de en yüksek olduğu tespit edilmiş bununla birlikte adsorpsiyon çözeltisinin orijinal pH'ı 6'ya yakın olduğundan BR18 pH 6'da çalışılmıştır. Başlangıç boyar madde optimizasyonunda RBBR için 300 mg/L'den itibaren, RR45 700 mg/L'den, AR42 için 1300 mg/L'den, BR18 için 1700 mg/L'den itibaren sistemin dengeye ulaştığı tespit edilmiştir. RBBR için 2,5 g/L AFKA kullanıldığında %74,78, 7,5 g AFKA kullanıldığında giderim yüzdesinin %91,075 ; RR45 için 2,5 g/L AFKA kullanıldığında %76,024, 6,5 g AFKA kullanıldığında giderim yüzdesinin %87,034; BR18 için 2,5 g/L AFKA kullanıldığında %93,964, 7,5g AFKA kullanıldığında %88,192; AR42 için 3,75g kullanıldığında %90,234, 5g AFKA kullanıldığında %87,444 olduğu belirlenmiştir. Kesikli deneylerden elde edilen sonuçlarla Langmuir ve Freundlich izoterm sabitleri için hesaplamalar yapılmıştır. RBBR, RR45, AR42 ve BR18 boyar maddelerinin AFKA üzerine adsorpsiyonunda adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 16,739 mg/g, 35,336 mg/g, 85,641 mg/g ve -127,764 mg/g olarak hesaplanmıştır. RBBR, RR45, AR42 ve BR18 boyar maddelerinin AFKA üzerine adsorpsiyonunun hızları yalancı ikinci dereceden hız denkleminde uyduğu görülmüştür. AFKA'nın yüzey morfolojik özelliklerin tanımlanmasında taramalı elektron mikroskobu (SEM, FEIQuanta 450 FEG) ve organik bileşiklerin tanımlanmasında Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılmıştır. AFKA'nın sulu çözeltilerden boyar madde gideriminde etkili, kolay elde edilebilir, bir adsorban olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda endüstriyel bir atık olan AFKA, reaktif, asidik, bazik boyar maddelerin gideriminde çevre dostu bir adsorban olarak kullanılabilmesi bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** RBBR, RR45, AR42, BR18, SEM, FTIR, Adsorpsiyon, Antep fıstığı endüstrisi katı atığı (AFKA), Langmuir, Freundlich.

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Mutlu YALVAÇ, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

**İkinci Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Serpil SAVCI, Bozok Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Yozgat.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE POTENTIAL USE IN DYE ADSORPTION OF SOLID WASTES FROM PISTACHIO INDUSTRY

In this study, the removal of Remazol Brilliant Blue R (RBBR), Reactive Red 45 (RR45), Acid Red 42 (AR42), and Basic Red 18 (BR18) was investigated by adsorption method using pistachio hull wastes (AFKA). The effects of various parameters such as pH, initial dye concentrations, adsorbent amount, mesh spacing optimization of adsorbent material were studied. As a result of the optimization, it was determined that the adsorption capacity of AFKA for RBBR, RR45 and AR42 was the highest at pH 2 and the adsorption capacity for BR18 was at pH 4. The adsorption solution was close to the original pH of 6 and BR18 pH 6. It has been determined that the system has stabilized in the initial stromal optimization from 300 mg/L for RBBR to 700 mg/L for RR45, 1300 mg/L for LR42 and 1700 mg/L for BR18. 74.78% when using 2.5 g/L AFKA for RBBR, 91.075% of the percentage of remission when 7,5 g AFKA was used; 76,024% when using 2,5 g/L AFKA for RR45, 87,034% of the percentage when using 6,5 g AFKA; For BR18, 93,964% when 2,5 g/L AFKA was used, 88,192% when 7,5 g AFKA was used; For AR42 it was determined to be 90,234% when using 3,75 g and 87,444% when using 5g AFKA. Calculations were made for the Langmuir and Freundlich isotherm constants with the results obtained from the intermittent experiments. Adsorption capacities of RBBR, RR45, AR42 and BR18 adsorbents on AFKA adsorption were calculated as 16,739 mg/g, 35,336 mg/g, 85,641 mg/g and -127,764 mg/g, respectively. The rates of adsorption of RBBR, RR45, AR42 and BR18 on AFKA were found to be pseudo second order to velocity equations. Scanning electron microscopy (SEM, FEIQuanta 450 FEG) was used to describe surface morphological features of AFKA and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy was used to describe organic compounds. AFKA has been found to be an effective, easily obtainable adsorbent in the removal of dyestuffs from aqueous solutions. At the same time, AFKA, an industrial waste, has been found to be an environmentally friendly adsorbent for the removal of reactive, acidic, basic stains.

**Keywords:** RBBR, RR45, AR42, BR18, SEM, FTIR, Adsorption, Pistachio hull waste (AFKA), Langmuir, Freundlich.

**Advisor:** Yrd. Doç. Dr. Mutlu YALVAÇ, Mersin University, Environmental Engineering Department, Mersin.

**Second Advisor:** Yrd. Doç. Dr. Serpil SAVCI, Bozok University, Biosystems Engineering Department, Yozgat.

## TEŞEKKÜR

Mersin Üniversitesi'nde Yüksek lisans öğrenim süresince gerek ders aşamasında gerekse uygulama aşamasında bana yardımcı olan, görüş, önerileri ve desteklerini esirgemeyen sevgili danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mutlu YALVAÇ ve eş danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Serpil SAVCI'ya çok teşekkür ederim. Bana akademik kariyerim haricinde yardımlarını esirgemeyen canım hocalarım iyiki varsınız ve iyiki sizlerle tanışma onuruna sahibim.

Ayrıca laboratuvar ortamında çalışırken bana destek olan bütün arkadaşlarıma ve hocalarıma çok teşekkür ederim.

Öğrenim hayatımda beni yalnız bırakmayan, maddi ve manevi olarak destekleyerek onure eden sevgili annem Sevim Karaman ve ablam Arzu Karaman'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez Mersin Üniversitesi BAP Birimi tarafından "2017-2-TP2-2526" nolu proje olarak desteklenmiştir.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	İ
ONAY	İİ
ETİK BEYAN	İİİ
ÖZET	İv
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	Vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>3</b>
2.1. Adsorpsiyon	3
2.1.1. Adsorpsiyon Mekanizması	3
2.1.2. Adsorpsiyon Türleri	3
2.1.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon	3
2.1.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon	4
2.1.2.3. İyonik Adsorpsiyon	4
2.2. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler	5
2.2.1. pH	5
2.2.2. Sıcaklık	5
2.2.2.3. Adsorbanın Özellikleri	5
2.2.2.4. Adsorbat ve Çözücü Özellikleri	6
2.2.2.5. Polarite	6
2.2.2.6. Adsorban Maddeler	6
2.2.3. Adsorpsiyon İzotermi	7
2.2.3.1. Langmuir İzoterm Modeli	8
2.2.3.2. Freundlich İzoterm Modeli	9
2.2.3.3. BET (Brunauer-Emmett-Teller) İzoterm Modeli	10
2.2.4. Adsorpsiyon Kinetiği	11
2.2.5. Adsorpsiyon Termodinamiği	12
2.2. Tarımsal Atıkların Boyar Madde Gideriminde Kullanılması	13
2.3. Tekstil Endüstrisi Atıksuları	15
2.4. Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Genel Özellikleri	17
2.4.1. Haşılama ve Haşıl Sökme	17
2.4.2. Yıkama	17
2.4.3. Ağartma	18
2.4.4. Mersevizasyon	18
2.4.5. Boyama	18
2.4.6. Apreleme (Bitim İşlemleri)	18
2.5. Boyar maddeler	18
2.5.1. Tekstil Boyar maddeleri	19
2.5.1.1. Boyar Maddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması	19
2.5.1.2. Boyar Maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması	20
2.5.2. Tekstil Endüstrisinden Oluşan Atıksuların Çevresel Riskleri	21
2.6. Tekstil Endüstrisinde Boyar Madde Giderim Teknikleri	21
2.6.1. Fiziksel Yöntemler	22
2.6.1.1. Adsorpsiyon	22
2.6.1.2. Membran Sistemleri	22



---

2.6.1.3. Koagülasyon-Flokülasyon	23
2.6.2. Kimyasal Yöntemler	23
2.6.2.1. Ozonlama	23
2.6.2.2. Kimyasal Oksidasyon	23
2.6.2.3. Kimyasal İndirgeme	24
2.6.2.4. Elektrokimyasal Yöntemler	24
2.6.2.5. Biyolojik Yöntemler	24
<b>3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b>	25
<b>4. MATERYAL ve METOT</b>	28
4.1. Materyal	28
4.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Maddeler	28
4.2. Metot	29
4.2.1. Adsorbanın Hazırlanışı	29
4.2.2. Boyar maddelerin Stok Çözeltisinin Hazırlanması	29
4.2.3. Boyar maddelerin Standart Eğrisinin Çıkarılması	29
4.2.4. Adsorpsiyon Deneyleri	30
4.2.4.1. Adsorpsiyona pH Etkisi	30
4.2.4.2. Adsorban Maddenin Tane Boyutu Optimizasyonu	30
4.2.4.3. Adsorban Madde Miktarı Optimizasyonu	30
4.2.4.4. Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Adsorpsiyon Üzerine Etkisi	31
<b>5. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	32
5.1. Karakterizasyon	32
5.1.1. Taramalı elektron Mikroskop Fotoğrafları (SEM)	32
5.1.2. Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR)	33
5.1.3. Elementel Analiz	34
5.2. Adsorpsiyon Çalışmaları	35
5.2.1. Adsorpsiyona pH'ın Etkisi	35
5.2.2. Adsorpsiyona Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi	36
5.2.3. Adsorban Miktarının Etkisi	37
5.2.4. Adsorpsiyona Sürenin Etkisi	38
5.3. Adsorpsiyon İzotermi	39
5.4. Kinetik Çalışmalar	44
5.4.1. Birinci Derece Kinetik Modeli	44
5.4.2. İkinci Derece Kinetik Model	45
5.4.3. Yalancı İkinci Derece Kinetik Model	47
5.4.4. Parçacık İçi Difüzyon (Weber-Morris) Modeli	50
<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER</b>	52
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	65

---

## TABLULAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonunun karşılaştırılması [18]	4
Tablo 2.2. Gözeneklerin genişliklerine (IUPAC) göre sınıflandırılması [25]	6
Tablo 2.3. $R_L$ (Dağılma) Sabiti Değerleri ve İzoterm Tipleri	9
Tablo 2.4. Boyar madde gideriminde adsorban olarak kullanılan tarımsal atıklar	14
Tablo 2.5. Tekstil Endüstrisi Proses Gurupları ve Atıksu Özellikleri [73]	16
Tablo 4.1. Boyar maddelerin kimyasal özellikleri [109-112]	28
Tablo 4.1.1. Deneyde kullanılan cihazlar ve sarf malzemeler	28
Tablo 5.1. AFKA'ya ait elementel analiz sonuçları	34
Tablo 5.2. Langmuir ve Freundlich İzoterm Sabitleri	42
Tablo 5.3. Çeşitli adsorbanların maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırması	43
Tablo 5.4. RBBR için Yalancı İkinci Derece Kinetik Model Hesaplamalar	47
Tablo 5.5. BR 18 İçin Yalancı İkinci Derece Kinetik Model Hesaplamalar	48
Tablo 5.6. AR42 İçin Yalancı İkinci Derece Kinetik Model Hesaplamalar	48
Tablo 5.7. RR45 İçin Yalancı İkinci Derece Kinetik Model Hesaplamalar	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Katılarda bulunan çeşitli gözenek tipleri	6
Şekil 4.2. Ham Antep fıstığı atığı	29
Şekil 4.3. Standart eğri çıkarmak için hazırlanan çözeltiler	30
Şekil 5.1. AFKA'nın boya yüksüz SEM görüntüsü (800x)	32
Şekil 5.2. AFKA'nın boya yüklü SEM görüntüsü (800x)	33
Şekil 5.3. AFKA'nın 450-4000 cm <sup>-1</sup> dalga sayılarında Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektrumu	34
Şekil 5.4. AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18'nin pH Etkisi (T=25°C; W=5 g; t=24 h; C <sub>i</sub> =50 mg/L)	35
Şekil 5.5. AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18'nin Adsorpsiyonuna Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi (W=5 g, t=24 h)	36
Şekil 5.6. AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18 boyar maddenin adsorpsiyonunda adsorban miktarının giderim yüzdesine olan etkisi	37
Şekil 5.7. AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18 boyar maddelerinin adsorpsiyonunda adsorban miktarının birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarına olan etkisi	38
Şekil 5.8. RBBR giderimine sürenin etkisi (W=5g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	38
Şekil 5.9. RR45 giderimine sürenin etkisi (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	39
Şekil 5.10. BR18 giderimine sürenin etkisi (W=5 g, pH=6, V=500 mL, T= 25 °C)	39
Şekil 5.11. AR42 giderimine sürenin etkisi (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	39
Şekil 5.12. RR45'in AFKA ile adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi	40
Şekil 5.13. BR18'in AFKA ile adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi	40
Şekil 5.14. RBBR'nin AFKA ile adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi	40
Şekil 5.15. AR42'in AFKA ile adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi	41
Şekil 5.16. RBBR'nin AFKA ile adsorpsiyonunda Freundlich İzotermi	41
Şekil 5.17. RR45'in AFKA ile adsorpsiyonunda Freundlich İzotermi	41
Şekil 5.18. BR18'in AFKA ile adsorpsiyonunda Freundlich İzotermi	42
Şekil 5.19. AR42'in AFKA ile adsorpsiyonunda Freundlich İzotermi	42
Şekil 5.20. RBBR Birinci derece hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	44
Şekil 5.21. BR18 Birinci derece hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	44
Şekil 5.22. AR42 Birinci derece hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	45
Şekil 5.23. RR45 Birinci derece hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	45
Şekil 5.24. RBBR İkinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	46
Şekil 5.25. BR18 İkinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	46
Şekil 5.26. AR42 İkinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	46
Şekil 5.27. RR45 İkinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	47
Şekil 5.28. RBBR Yalancı ikinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)	48
Şekil 5.29. BR18 Yalancı ikinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	48
Şekil 5.30. AR42 Yalancı ikinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)	49
Şekil 5.31. RR45 Yalancı ikinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)	50
Şekil 5.32. Parçacık İçi Difüzyon Etkisi (AFKA-RBBR)	50
Şekil 5.33. Parçacık İçi Difüzyon Etkisi (AFKA-BR18)	51
Şekil 5.34. Parçacık İçi Difüzyon Etkisi (AFKA-AR42)	51
Şekil 5.35. Parçacık İçi Difüzyon Etkisi (AFKA-RR45)	51
Şekil 6.1. pH'ın Etkisi (BR18)	52
Şekil 6.2. pH'ın Etkisi (RBBR)	52
Şekil 6.3. pH'ın Etkisi (RR45)	52
Şekil 6.4. pH'ın Etkisi (AR42)	53
Şekil 6.5. Adsorban madde miktarı optimizasyonu (RR45)	53
Şekil 6.6. Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi (BR18)	54
Şekil 6.7. Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi (RR45)	54
Şekil 6.8. Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi (AR42)	54



## KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
AFKA	Antep fıstığı endüstrisi katı atığı
$C_0$	Başlangıç boyar madde derişimi, mg/L
$C_{ads}$	Denge anında adsorplanan maddenin konsantrasyonu (mg/L)
$C_e$	Dengede adsorplanmadan çözültide kalan çözünen derişimi, mg/L
$W$	Adsorban madde miktarı (g)
$E_a$	Aktivasyon enerjisi, kcal/mol
$k_0$	Aktivasyon enerjisi sabiti
$k_1$	Birinci dereceden kinetik modeli hız sabiti, L/dk
$k_2$	İkinci dereceden kinetik modeli hız sabiti, g/mg.dk
$k_i$	Partikül içi difüzyon modeli sabiti, mg/g.dk <sup>0,5</sup>
$K_F$	Freundlich izotermi sabiti
$m$	Çözültideki AFKA kütlesi, g
$n$	Adsorpsiyon yoğunluğu
$R$	İdeal gaz sabiti
$R^2$	Korelasyon katsayısı
$T$	Sıcaklık (°C, K)
$t$	Zaman
$q_1$	Birinci dereceden kinetik modeli için t anında adsorplanan boyar madde miktarı (mg/g)
$q_2$	İkinci dereceden kinetik modeli için t anında adsorplanan boyar madde miktarı (mg/g)
$q_e$	Dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan boyar madde miktarı, (mg/g)
$q_s$	Yüzeyde tam bir tek tabaka oluşturmak için adsorplayıcının birim ağırlığında adsorplanan boyar madde miktarı, mg/g
$q_t$	t anında adsorplanan boyar madde miktarı (mg/g)
$\Delta H$	Standart Entalpi Değişimi
$\Delta G$	Serbest Enerji Entropi Değişimi
$\Delta S$	Entropi Değişimi
$a_L$	Adsorbatın adsorptivitesine bağlı olan sabit (L/g)
$K_L$	Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)
$q_{max}$	Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g).

<b>B</b>	Yüzeyle iç etkileşme enerjisini belirten bir sabit
<b><math>k_p</math></b>	Partiküller arası difüzyon hız sabiti ( $\text{mg g}^{-1} \text{dk}^{1/2}$ )
<b>V</b>	Çözelti hacmi (L)
<b>BET</b>	Brunauer-Emmett-Teller İzoterm Modeli
<b>FTIR</b>	Fourier Transformu Kızılötesi Spektroskopisi
<b>KOİ</b>	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)
<b>BOİ</b>	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>RBBR</b>	Remazol Birillant Blue R
<b>RR45</b>	Reactive Red 45
<b>AR42</b>	Acid Red 42
<b>BR18</b>	Bacid Red 18
<b>HCl</b>	Hidroklorik asit
<b>NaOH</b>	Sodyum hidroksit

---

## 1. GİRİŞ

Bütün dünyada teknolojik gelişmeler hızla ilerlemekte ve elde edilen ürünler yaşamımızda yerini almaktadır. Bu gelişim endüstrinin de artmasına ve yeni endüstri tesislerinin kurulmasına yol açmaktadır. Endüstri tesislerinden oluşan atıkların bertarafı ise bu hızlı gelişimin yanında yetersiz kalmaktadır. Bütün dünyada genel eğilim mümkün olduğunca atık üretmeyen tesislerin kurulması veya oluşan atıkların atık sınıfından çıkarılarak başka bir endüstrinin hammaddesi olması yönündedir. Tekstil endüstrisi ürünlerine talep artan nüfusun etkisiyle artmaktadır. Tekstil endüstrisinin en önemli atığı boyalı sulardır. Alıcı ortama verildiğinde ekolojik dengeyi bozmakta doğal suların kirlenmesine neden olmaktadır. Bu endüstriye ait sular genellikle kimyasal yöntemlerle arıtılmaktadır. Adsorpsiyon ise bu yöntemlerin başında gelmektedir. Gıda endüstrisi tekstilden daha yaygın bir endüstridir. Türkiye'nin içerisinde bulunduğu coğrafik yapı ve iklimsel özelliklerinden dolayı her bölgeye özel ürünlerin tarımı yapılmaktadır. Doğal olarak üretimi yapılan ürüne bağlı olarak yine aynı bölgelerde bu tarımsal ürünleri işleyen endüstriler yer almaktadır. Bölgeye özel ürünlerden biri de Antep fıstığıdır. Bu ürün en fazla tarımının yapıldığı bölgenin adıyla anılmaktadır. Özellikle güney bölgelerimizde Antep fıstığı tarımı yaygın olarak yapılmaktadır. Antep fıstığının işlenmesinden geriye kalan en önemli atık soyulan dış kabuktur. Bu çalışmada bir endüstriden kaynaklanan atıksuyun bir başka endüstriden kaynaklanan katı atıkla arıtımı araştırılmıştır.

Türkiye, İran ve ABD'den sonra Antep fıstığı üretiminde dünyada üçüncü sırayı almaktadır. Türkiye Antep fıstığının yer aldığı iki gen merkezinden birinin içerisinde bulunmaktadır. Güneydoğu Anadolu bölgesinde (Gaziantep, Şanlıurfa, Adıyaman, Kahramanmaraş ve Siirt) Antep fıstığı ağaçlarının %90'ı bulunmaktadır [1-2]. 2015 yılında ülkemizde Antep fıstığı üretimi 144 000 tondur [3]. Haziran-Eylül ayları arasında faaliyet gösteren Antep fıstığı işleme tesislerinde yaklaşık 48 000 ile 50 000 ton arasında katı atık oluşmaktadır. Bu atıklar araziye dökülerek terk edilmekte veya vahşi depolama yöntemlerine göre bertaraf edilmektedir.

Antep fıstığı (*Pistacia vera*), sakız ağacigillerden (Anacardiaceae), kabuklu bir meyvedir. Tahtamsı sert kabuğun üzeri sarı-kırmızı renkli, lifli, yumuşak bir kılıf ile kaplıdır. Bu kılıf sert kabuğa sıkı bir şekilde bağlıdır [4-6]. Antep fıstığı endüstrisinin %35-45 ile en büyük atığını bu kısım oluşturmaktadır [7-8]. Barreca ve ark. (2016) ve Grace ve ark. (2016) yapmış oldukları çalışmada Antep fıstığı dış kabuğunun gıda takviyesi olarak ve ilaç endüstrisinde kullanılabileceğini bulmuşlardır [6-8]. Sheibani ve ark. (2012) yapmış oldukları bir çalışmada AFKA'yı Thallium III'ün sulu çözeltiden giderilmesinde adsorban madde olarak kullanmışlar ve %96,5 verim elde etmişlerdir [9]. Bir başka çalışmada AFKA, sulu çözeltiden Direct blue 71'in gideriminde kullanılmış ve boya adsorpsiyonunda kullanılabilecek düşük maliyetli ve etkili bir

adsorban madde olduğu bildirilmiştir [10]. AKFA'nın etkin olarak kullanıldığı bir işlem bilinmemekle birlikte bu konuda yapılan çalışmalar son yıllarda artmıştır. Örnek olarak AKFA'nın güçlü antioksidan, antimikrobiyal ve antimutajenik etkiye sahip fenolik bileşikleri içerdiği kanıtlanmıştır [11]. Antep fıstığı katı atığının ekonomik bir ürüne çevrildiği bir çalışma henüz bulunmamaktadır.

Tekstil endüstrisi suyun en çok kullanıldığı endüstriler içerisinde yer almakta ve bu atıksular fazla miktarda boyar madde, BOİ, KOİ ve AKM içermektedir [12]. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin büyük bir kısmı atıksu arıtma tesislerinde işlem boyunca değişmeden kalmaktadır. Boyar maddeler çok az miktarda bile çözündüklerinde oluşan ürünler boyanın kendisinden daha toksik olabilmektedir [13]. Tekstil endüstrisinde kumaş boyama işlemi en temel basamaktır. Tekstil endüstrisi atıksuları yüksek miktarda askıda katı madde, renk ve çözünmüş organik maddeler içermektedir. Son zamanlarda tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasına sadece toksik özelliği değil bu özelliğin yanında renk ve bulanıklık gibi parametrelere bakılması önem arz etmektedir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 10'da Tekstil Sanayi Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartlarına göre renk parametresi 280-260 (Pt-Co) aralığında zorunlu kılınmıştır [14].

Adsorpsiyon, atıksu arıtımında kullanılan düşük maliyetli ve önemli bir fiziksel prosestir. Araştırmacılar, pirinç kabuğu külü, aktive edilmiş Hindistan cevizi kabuğu, kontrollü yanmış odun kömürü, uçucu kül, turba, odun, jüt lifleri gibi malzemelerin adsorban madde olarak kullanılabilirliklerini araştırmışlardır [15].

Bu çalışmada, Gaziantep'te bulunan Antep fıstığı üreten bir fabrikadan elde edilen AFKA'nın adsorban olarak kullanılmasıyla tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bazı boyar maddelerin ortamdan adsorpsiyon ile uzaklaştırılması araştırılmıştır. Boyar maddeler için izoterm ve kinetik modeller belirlenmiştir.



## **2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI**

### **2.1. Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon, iki faz arasındaki yüzey üzerinde veya ara yüzey üzerinde bazı bileşenlerin derişiminin arttığı bir mekanizmadır. Bu mekanizmada dört faz (sıvı-sıvı, sıvı-katı, gaz-sıvı, gaz-katı) oluşmaktadır. Adsorplanan faz "adsorbat veya adsorblanan madde" olarak tanımlanırken, Adsorplayıcı faz "adsorban veya adsorbent" olarak tanımlanmaktadır [16-17].

#### **2.1.1. Adsorpsiyon Mekanizması**

Adsorpsiyon, çözücüde çözünmüş çözünen maddenin katı yüzey ile temasıyla gerçekleşir. Katı yüzeyde yer alan atom veya molekül dengelenmemiş kuvvetlerin etkisi altındadır. Molekülü çeken kuvvetlerde içe doğru çeken dışa doğru çeken kuvvetten daha büyüktür. Bu yüzden molekülü içe doğru çeken kuvvet yüzeyi küçültmektedir. Çözücüde çözünen maddeler (gaz veya katı) katının yüzeyindeki atomların doymamış kuvvetlerinden dolayı katı yüzeyine çekilmektedir. Dengeye ulaşmamış yüzey kuvvetleri çözünen moleküller tarafından dengelenmektedir. Yani katı maddenin yüzey gerilimi gaz moleküllerinin adsorpsiyonu ile küçültülmüş olmaktadır. Bu işlem yüzey enerjisini düşürmektedir. Yüzey enerjisinin düşmesi kendiliğinden gerçekleşen bir olaydır. Sistemin serbest enerjisi düşmesi adsorpsiyon olayının kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir [18].

#### **2.1.2. Adsorpsiyon Türleri**

##### **2.1.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon**

Adsorbanlar ile katı yüzey arasındaki moleküller arası çekim kuvveti kendiliğinden gerçekleşiyorsa, adsorpsiyona fiziksel adsorpsiyon denmektedir. Fiziksel adsorpsiyonda adsorbe edilmiş moleküller ile katı yüzey arasındaki çekim kuvvetleri van der Waals kuvvetleridir. van der Waals kuvvetleri, tersinirdir ve zayıftır. Fiziksel adsorpsiyon geri kazanımı kolay, çok tabakalı ve aktivasyon enerjisi düşüktür (2-5 MJ/mol) [19-20].

### 2.1.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorplanan madde ile katı yüzey arasındaki fonksiyonel grupların etkileşimi ile oluşur. Kimyasal adsorpsiyon tek tabakalı ve tersinmezdir. Adsorplanan maddenin desorpsiyonunda bir değişim geçirdiği düşünülmektedir. Adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı kimyasal reaksiyon ısısı düzeyindedir ve aktivasyon enerjisi büyüktür (10-50 MJ/mol) [13]. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması Tablo 2.1.'de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonunun karşılaştırılması [18]

Parametre	Fiziksel Adsorpsiyon	Kimyasal Adsorpsiyon
Adsorban	Bütün katılar	Bazı katılar
Adsorbat	kritik sıcaklığın altındaki bütün gazlar	Kimyasal olarak reaktif Bazı gazlar
Adsorplayıcı ile adsorplanan arasındaki kuvvet	Yüzey yoğunlaşması	Yüzey tepkimesi
Adsorpsiyon Isısı	Düşük	Yüksek
Aktivasyon enerjisi	Düşük	Non-aktif : Düşük Aktifleşmiş: Yüksek
Hız	Sıcaklığa bağlı olarak hızlı veya yavaş olabilir.	Hızlı ve difüzyonla denetimli
Yüzey örtme	Tek tabakalı veya çok tabakalı	Tek tabakalı
Tersinirlik	Yüksek oranda tersinir	Sıcaklıkla tersinmez
Önemi	gözenek boyutu ve yüzey alanı tayini	Aktif merkez alan tayini Yüzey reaksiyon Kinetiklerinin tanımlanması

### 2.1.2.3. İyonik Adsorpsiyon

Çözeltilerden bir iyonun, katı parçacığa tutturulmuş benzer şekilde yüklü bir iyon ile değiştirildiği, tersinir ve kimyasal bir işlemdir. İyonik adsorpsiyon , renklerin uzaklaştırılması için kullanılan, çok verimli bir işlemdir. Boyaların giderilmesi için iyon değişimi kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır [21-23].

## 2.2.2. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler

### 2.2.2.1. pH

Adsorpsiyonun gerçekleştiği çözeltinin pH'sı adsorpsiyonu etkilemektedir. pH'ın asidik ya da bazik olması adsorbanın yüzey yükünü değiştirdiğinden dolayı adsorpsiyon kapasitesi pH'a bağlı olarak değişir [24-26].

### 2.2.2.2. Sıcaklık

Adsorplama reaksiyonları genellikle ekzotermik reaksiyonlar olduğundan, sıcaklığın düşmesiyle adsorplama derecesi artar.

Adsorplama hızının sıcaklığa bağlılığı, aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) ile ifade edilir. Adsorpsiyon tipi, Arrhenius eşitliğine göre aktivasyon enerjisi ile belirlenmektedir. Bununla birlikte enerji parametreleri ( $\Delta E_a$ ,  $\Delta H^\circ$  ve  $\Delta S^\circ$ ), su ve atıksu arıtma sistemlerinde adsorplama işlemine etki eden ve göz önüne alınması gereken önemli parametrelerdir. Bu parametreler aşağıdaki bağlantılarla belirlenir [24-26].

Standart Entalpi Değişimi ( $\Delta H^\circ$ );

$$\log\left(\frac{k_1}{k_2}\right) = \left(\frac{-\Delta H^\circ}{R}\right) \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 \cdot T_2}\right) \text{ bağıntısıyla,} \quad (1)$$

Serbest Enerji Değişim ( $\Delta G^\circ$ );

$$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln k, \quad (2)$$

Entropi Değişimi ( $\Delta S^\circ$ );

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ \text{ bağıntısıyla bulunur.} \quad (3)$$

### 2.2.2.3. Adsorbanın Özellikleri

Katıların iç kısmında ve yüzeyinde bulunan kanal, oyuk, çatlak ve boşluklara gözenek denilmektedir. Özgül gözenek hacmi; katının birim gramajında var olan gözeneklerin toplam hacmine denir. Özgül yüzey alanı ise; gözeneklerin sahip olduğu duvarların toplam yüzeyine denmektedir. Adsorpsiyon mekanizması adsorbanın yüzey alanına, kimyasal yapısına ve ne gibi işlemlere maruz kaldığına bağlıdır. Adsorban ne kadar gözenekli ve tanecikli yüzeylere sahipse adsorplama kapasitesi o kadar fazladır [24-26].

#### 2.2.2.4. Adsorbat ve Çözücü Özellikleri

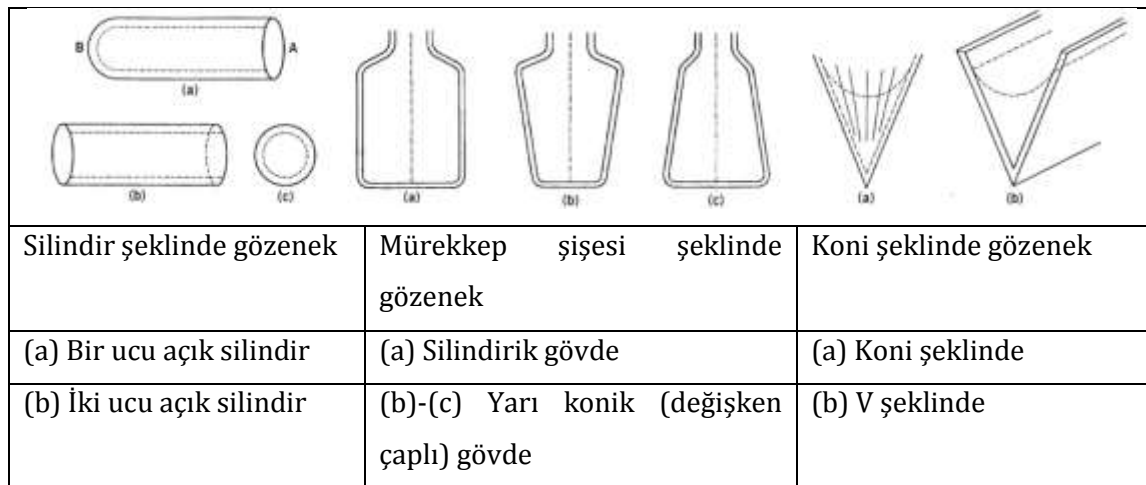
Çözültiden herhangi bir maddeyi adsorplama işleminde, çözünen maddenin çözünürlüğü adsorplama dengesini yüksek miktarda etkilemektedir. Çözünmüş maddenin adsorplama işleminde adsorplama kapasitesi ile çözünürlük birbiriyle ters orantılıdır. Çözünürlüğü arttırsak adsorpsiyon kapasitesi zayıflarken, çözücü-çözünen bağı ters orantıya bağlı olarak kuvvetlenir. Suda çözünelebilen yapılarından dolayı inorganik bileşikler daha az adsorplanır, suda çözünemeyen maddeler daha çok adsorplanacağı için daha çok tercih edilir [24-26].

#### 2.2.2.5. Polarite

Adsorpsiyonda polaritenin etkisi incelenirken, genel olarak polar olan çözünen daha polar olan adsorbantı seçmektedir. Buna bağlı olarak polar olmayan bir çözücünden polar maddeler daha iyi adsorplanmaktadır [24-26].

#### 2.2.2.6. Adsorban Maddeler

Atıksu arıtıma işlemlerinde adsorpsiyon mekanizmaları için farklı kimyasal maddeler uygulanmaktadır. Gözenekli katıların adsorplama kapasitesi yüksektir. Gözeneklerin yapıları; silindir, şişe, koni veya 'V' şeklinde olabilmektedir. Katılarda bulunan çeşitli gözenek tipleri Şekil 2.1.'de verilmektedir [24-25].



**Şekil 2.1.** Katılarda bulunan çeşitli gözenek tipleri

Gözenekler ortalama genişliklerine göre guruplara ayrılırlar. Gözenek genişliklerine göre uluslararası guruplandırılması (The International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) yapılmıştır ve Tablo 2.2.'de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Gözeneklerin genişliklerine (IUPAC) göre sınıflandırılması [25]

Gözenek Tipi	Genişlik
Mikro gözenek	< 2 nm
Mezo gözenek	~ 2-50 nm
Makro gözenek	> 50 nm

Küçük gözenekli yapıdaki katıların etkileşim potansiyeli daha yüksektir. Çünkü küçük gözenekli yapıların duvarları daha yakındır ve adsorplanan madde mikro gözeneklerde daha fazla birikir.

Makro gözenekler adsorpsiyonda çok fazla kullanılmamakla birlikte, uçucu bileşiklerin ve gazların adsorpsiyonunda mikro gözenekler tercih edilirken, mezo gözenekler ise sıvı moleküllerin adsorpsiyonu kullanılmaktadır [25-26].

Endüstride farklı olarak kullanılan çok sayıda adsorban bulunmaktadır. Genel olarak adsorbanlar, yapay ve doğal adsorban olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal adsorplayıcılar maliyeti düşük maddelerdir.

### 2.2.3. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi adsorpsiyon mekanizmasının anlaşılmasında önemli bir parametredir. Adsorpsiyon prosesini daha etkili ve az maliyetli olması için birçok araştırmacı ucuz ve tekrardan kullanılabilir adsorban kullanmaktadır [27].

Adsorpsiyon adsorplanan madde miktarına, çözelti derişimine ve ortamın sıcaklığına bağlıdır. Adsorbanın yüzeyinde biriken madde konsantrasyonuna ve çözeltinin içinde kalan madde derişimi arasında bir denge olana kadar bu süreç devam etmektedir. Oluşan bu dengeye adsorpsiyon izotermi olarak belirtilmektedir. Jaeger ve Erdös tarafından belirlenen genel bir denklem örnek alınarak birden fazla izoterm denklemleri geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan izotermier Freundlich ve Langmuir denklemleridir.

Bu izotermiere ek olarak BET izotermi, Langmuir izoterminin birden fazla tabakaya uygulanmış biçimidir [28]. Bu izotermier genel olarak kullanılan izotermierdir ve bunlara ilave olarak farklı örneklerde yer almaktadır :

**Temkin:** Adsorpsiyon ısısındaki doğrusal olarak düşen sistemlerdir.

**Dubin-Radushkevich:** Adsorpsiyon eğrisinin adsorbanın gözenekli yapısına bağlı olduğu sistemlerdir.

**Toth:** Heterojen mekanizmalar için geliştirilmiştir.

**Sips:** Molekülün Langmuir ve Freundlich modellerinin birlikte içinde bulundurduğu durumlardır.

**Redlich-Peterson:** Langmuir ve Freundlich izoterm denklemlerinin birleştirilmiş şeklidir [29].

### 2.2.3.1. Langmuir İzoterm Modeli

Langmuir izoterm modeline göre adsorban yüzey enerjisi her yerde aynıdır. Adsorlayıcı yüzeyde bulunan aktif merkezler tarafından atom veya moleküller tutunur ve meydana gelen film mono molekülerdir [29].

Langmuir izotermi aşağıdaki varsayımları içermektedir:

- Adsorpsiyon tek tabakalıdır ve yüzeyi homojendir.
- Adsorplanan maddeler yüzey üstünde hareketsizdir.
- Adsorplanmış moleküller arasında herhangi bir etkileşim yoktur. Bu yüzden adsorpsiyon hızına, birim yüzeyde adsorplanmış madde miktarının bir etkisi bulunmamaktadır.
- Adsorpsiyon prosesinde adsorplanmış maddeler aynı yapıya sahiptir ve aynı mekanizmaya göre oluşur.
- Yüzeyde adsorplanmış madde miktarına bağlı olarak desorpsiyon hızı değişiklik göstermektedir.

Tek tabaka Langmuir İzoterm denklemi aşağıda verilmiştir [30]:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \left(\frac{a_L}{K_L}\right) C_e \quad (4)$$

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

$C_e$ : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L),

$a_L$ : Langmuir sabiti (L/mg),

$K_L$ : Adsorbatın adsorptivitesine bağlı olan sabit (L/g).

Langmuir modelinde bulunan bu model  $a_L$ 'nin ve  $q_e$ 'nin bir fonksiyonu olarak değişiklik gösteren heterojen yüzey enerjileri için geçerlidir.

$$q_e = \frac{q_{\max} a_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (5)$$

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (6)$$

Burada;

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

$C_e$ : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L),

$a_L$ : Langmuir sabiti (L/mg),

$K_L$ : Adsorbatın adsorptivitesine bağlı olan sabit (L/g),

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

$C_e/q_e$  değerinin,  $C_e$  değerine karşı çizilen grafiğinin doğrunun eğimi  $a_L/K_L$  sabitinin verirken kesim noktası  $1/K_L$  sabitinin değerini vermektedir. Adsorpsiyonda doğru sonuç olduğunu kanıtlamak için boyutsuz olan  $R_L$  (dağılma) sabiti Denklem 7'den hesaplanır.  $R_L$  (dağılma) sabitinin 0 ile 1 arasında değerler alması gerekmektedir [31-32]. Tablo 2.3.'te  $R_L$  değerleri için izoterm tipleri verilmiştir:

$$R_L = \frac{1}{1+a_L \cdot C_0} \quad (7)$$

$a_L$  : Langmuir sabiti (L/mg)

$C_0$ : Başlangıç çözünen derişimi (mg/L)

**Tablo 2.3.**  $R_L$  (Dağılma) Sabiti Değerleri ve İzoterm Tipleri

$R_L$	İzoterm Tipleri
$R_L > 1$	Uygun olmamaktadır
$R_L = 1$	Lineerdir
$0 < R_L < 1$	Uygundur
$R_L = 0$	Tersinmezdir

### 2.2.3.2. Freundlich İzoterm Modeli

Freundlich tarafından 1907'de geliştirilen Freundlich izotermi genellikle sıvı çözültülerden herhangi bir maddenin adsorpsiyonu için kullanılmakta ve ayrıca az miktarda olsa da gazların adsorpsiyonu için de kullanılmaktadır [33]. Bu izoterm, fiziksel olarak heterojen yüzeyde oluşur ve tersinirdir. Heterojen yüzeyde adsorpsiyon ısısı eşit dağılmamaktadır ve çok tabakalı sistemlerde kullanılmaktadır. Bu gibi durumlar için Freundlich Denklemi 8'de geliştirilmiştir:

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (8)$$

$C_e$  : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L),

$q_e$  : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g),

$K_F$  : Freundlich izotermi sabiti,

$n$  : Adsorpsiyon yoğunluğu.

Yukarıdaki denklemin her iki tarafının da logaritması alınarak lineer olarak meydana gelen aşağıdaki denklem bulunmuştur.

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \log C_e \cdot q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (9)$$

$C_e$  : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L),

$q_e$  : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g),

$K_F$  : Freundlich izotermi sabiti,

$n$  : Adsorpsiyonun yoğunluğu.

Yukarıdaki denklemde eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak lineer duruma getirilmesiyle aşağıdaki denklem oluşturulmuştur.

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \log C_e \quad (10)$$

$\log q_e$ ' nin  $\log C_e$  ' ye karşı grafiği çizildiğinde  $K_F$  ve  $n$  değerleri bulunur. Grafikten oluşturulan doğrunun y eksenini kestiği noktası  $\log K_F$ ' yi ve eğimi  $1/n$  değerini göstermektedir [34].

Bu eşitlikte  $K_F$  ve  $n$  sabitleri, adsorban, adsorbat ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Adsorpsiyonun elverişli olması için  $n > 1$  olmalıdır [30].

### 2.2.3.3. BET (Brunauer-Emmett-Teller) İzoterm Modeli

Brunauer, Emmett ve Teller'in buldukları BET izotermi, Langmuir izoterm modeline göre kullanışlı bir modeldir. BET izoterm modeli, adsorbatın yüzeyde birden fazla tabaka oluşturduğu için Langmuir izoterminin her bir tabakaya uygulanmış şeklidir. BET izotermi için denklem eşitliği 11' de verilmiştir:

$$q_e = \frac{B \cdot C_e \cdot q_{\max}}{(C_s - C_e) + (B+1) \cdot (C_e/C_s)} \quad (11)$$

Burada;

$C_s$ : Çözünen doygunluk derişimi (mg/L),

$B$ : Yüzeyle iç etkileşme enerjisini belirten bir sabit,

$C_e$  : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L),

$q_e$  : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g),

$q_{\max}$  : Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g) [29-32].



#### 2.2.4. Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon kinetiği adsorpsiyon dengesinin oluşmasında gereken süreyi belirler. Bir çözeltide gerçekleşen adsorpsiyon mekanizmasında adsorplanan maddenin adsorbanın adsorplanması sırasında 4 temel basamak oluşmaktadır [35-37].

1. Adsorplanan madde (gaz yada sıvı fazda), adsorbanı çevreleyen bir film tabakası sınırına doğru difüze olur (bulk solution transport). Adsorpsiyon düzeneğinde karıştırma işlemi olduğu için bu basamak genellikle ihmal edilir.
2. Film tabakasına doğru ilerleyen adsorplanan madde bulunduğu durgun bölümden geçerek adsorbanın gözeneklerine doğru girerler [film mass transfer/boundary layer diffusion (sınır tabaka difüzyonu)].
3. Gözenek boşluklarında hareket eden adsorban daha sonra parçacık içi difüzyon ile adsorpsiyonun meydana geleceği yüzey kısmına ilerler [intraparticle diffusion (parçacık içi difüzyon)].
4. Son aşama olarak adsorban madde adsorbanın gözenek yüzeyine tutunmaktadır (sorpsiyon).

Adsorpsiyon kinetikleri, Lagergren tarafından ön görülen yalancı birinci dereceden kinetik model (Pseudo-first order kinetic model), Ho tarafından ön görülen yalancı ikinci dereceden kinetik model (Pseudosecond order kinetic model) ve Weber-Morris' in geliştirdiği kütle transfer mekanizması için partikül içi difüzyon (Intra-particle diffusion model) eşitliği modelleridir.

Lagergren' in yalancı birinci dereceden kinetik modeli (Pseudo-first order kinetic model), adsorpsiyon hızının adsorban yüzeyindeki gözenek miktarıyla doğru orantılı olduğunu belirtmektedir. Bu verilere dayanarak adsorpsiyon kapasitesi ile temas süresi arasındaki ilişkiyi veren denklem 12'de verilmiştir.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t$$
$$\log \frac{(q_e - q_t)}{q_e} = - \frac{k_1 \cdot t}{2.303} \quad (12)$$

Burada;

$q_e$  : Denge durumundaki madde miktarını ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$q_t$  : t anındaki adsorpsiyon kapasitesini ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$k_1$  : Yalancı birinci dereceden hız sabitini ( $\text{dk}^{-1}$ ) göstermektedir.

Bu denklemden yola çıkarak  $\ln(q_d - q_t)$  değerleri  $t$ 'ye karşı grafiği çizildiğinde eğimi  $-k_1$  ve kesim noktası  $\ln q_d$  olan doğru denklemini vermektedir. Grafiğin doğrusallığını ifade eden  $R^2$  değerinin ise 1'e yakın olması gerekmektedir.

Ho'nun yalancı ikinci dereceden kinetik modeli (Pseudosecond order kinetic model) ise hem kolay olması hem de deney sonuçlarına uygunluğu nedeniyle daha çok tercih edilen bir modeldir. Yalancı ikinci dereceden kinetik model denklemi 13' de verilmiştir.

$$\left(\frac{t}{q_t}\right) = \left(\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2}\right) + \left(\frac{t}{q_2}\right) \quad (13)$$

Burada;

$k_2$  : Yalancı ikinci dereceden denge hız sabitini ( $dk^{-1}$ )

$q_t$  :  $t$  anındaki adsorpsiyon kapasitesini ( $mg\ g^{-1}$ )

$q_e$  : Maksimum adsorpsiyon kapasitesini ( $mg\ g^{-1}$ ) göstermektedir.

Weber-Morris difüzyon (Intra-particle diffusion model) eşitliği;

$$q_t = (k_p \cdot t^{1/2}) + C \quad (14)$$

Burada;

$q_t$  :  $t$  anındaki adsorpsiyon kapasitesi ( $mg\ g^{-1}$ )

$k_p$  : Partiküller arası difüzyon hız sabitidir ( $mg\ g^{-1}\ dk^{1/2}$ ).

C: Adsorban ile adsorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren bir sabittir.

DeneySEL verilerden yararlanılarak hesaplanan  $q_t$  değerlerinin  $t^{1/2}$  ye karşı çizilen grafiğin lineer olması, partiküller arası difüzyonun adsorpsiyon prosesi içinde gerçekleştiğini göstermektedir. Buna dayanarak doğrunun orijinden geçmesi ise difüzyonun hız belirleyici bir basamak olmuştur. Doğrunun orijinden geçmemesi durumu difüzyonun tabakalar halinde gerçekleştiğinin ve yalnız başına hız belirleyen bir basamak olmadığının göstergesidir [35-36].

## 2.2.5. Adsorpsiyon Termodinamiği

Adsorpsiyonda meydana gelen serbest enerji değişimi, entalpi değişimi ve entropi değişimi denge sabiti ile bulunmaktadır. Adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşmesi için  $\Delta H$  ve  $\Delta G$ 'nin ekzotermik (negatif) olması gerekmektedir [38-40].

Aşağıdaki eşitliklerde bu termodinamik parametreler belirtilmiştir [41].

$$\Delta G = -R \cdot T \cdot \ln K_c \quad (15)$$

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

Burada,

$\Delta G$ : Serbest enerji değişimi, Gibbs serbest enerjisi (kJ/mol)

$\Delta H$ : Entalpi değişimi (kJ/mol)

$\Delta S$  : Entropi değişimi (kJ/mol K)

T: Mutlak sıcaklık (Kelvin)

$\Delta H$  ve  $\Delta S$  sırasıyla,  $\ln K_c$ 'ye karşı  $1/T$ 'nin grafiğinin eğiminden ve kesim noktasından hesaplanır.

Adsorpsiyon denge sabiti,

$$K_c = C_{ads} / C_e \quad (16)$$

şeklinde ifade edilir [42-45].

Burada,

$K_c$ : Denge sabiti

$C_{ads}$ : Denge anında adsorplanan maddenin konsantrasyonu (mg/l),

$C_e$ : Denge anında çözelti ortamında kalan maddenin konsantrasyonudur (mg/l).

## 2.2. Tarımsal Atıkların Boyar Madde Gideriminde Kullanılması

Tarımsal ürünlerden elde edilen atıklar, öğütme, ayıklama ve kurutma gibi işlemlerden önce oluşurlar. Bu atıklar daha çok sap, saman, kabuk, çekirdek gibi atıklardır. Tarım yan ürünü olan bu atıklar biyokütle olarak değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Tarım yan ürünü olan kabukların çoğu yakılmakta ve atık madde olarak kül oluşmaktadır. Oluşan kül hem insan sağlığını hem çevreyi hem de hava kirliliğine neden olup olumsuz yönde etkilemektedir. Bu gibi atıkların endüstride farklı alanlarda değerlendirilmesi ekonomik katkı sağlamasının yanı sıra çevre kirliliğini azaltarak, katı atık yönetimini kolaylaştıracak ve atıksu arıtımı için bir avantaj olacaktır.

Endüstride çok farklı organik maddeler kullanılmaktadır. Toksik etki gösteren, biyolojik olarak parçalanabilirliği düşük organiklerin arıtımında adsorpsiyon prosesi genel olarak kullanılmaktadır. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler yüksek oranda KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) ve düşük oranda BOİ'ye (biyokimyasal oksijen ihtiyacına) sahiptirler. Bu nedenlerden dolayı adsorpsiyon metodu en geniş kullanım alanına sahiptir. Ayrıca atığın atıkla giderim prensibine dayanarak, pilot ölçekli uygulanabilirliği fazla olduğu için daha çok adsorpsiyon deneylerinde kullanılmaktadır [46].

Özacar ve Şengil (2005) tekstil atıksuların da bulunan metal kompleks boyaların gideriminde tarım atıklarının kullanımı amaçlamışlardır. Adsorban partekül boyutu, pH, adsorban dozu, temas süresi ve başlangıç boya konsantrasyonlarının çam talaşıyla metal kompleks boyalarının adsorpsiyonu üzerindeki etkileri incelenmişlerdir. Metal kompleks boyaların gideriminde asidik pH'ın etkili olduğu görülmüştür. Temas süresi 120 dakikadır. Deneysel olarak hesaplanan izoterm verileri Freundlich, Langmuir ve Temkin denklemleri

kullanılarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre Langmuir izotermine daha uygun olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon kapasiteleri 280,3 mg/g ve 398,8 mg/g' dır. Sonuçlara göre çam talaşının boyar madde adsorpsiyonu için aktif karbona göre ucuz ve daha kullanışlı bir malzeme olduğunu belirtilmiştir [47].

Metil Orange (MO), Metilen Mavisi (MB), Rodamin B (RB), Kongo Kırmızısı (CR), Metil Violet (MV) ve Amido siyahı 10B (AB) ile 30°C'de 10-120 mg/L derişiminde hazırlanan çözeltilerden, muz ve portakal kabuklarına boyar maddelerin adsorpsiyonu için denge ve kinetik çalışmaları yapılmıştır. Muz kabuklarıyla yapılan adsorpsiyon çalışmalarda, birim adsorban başına adsorplanan madde miktarları sırasıyla 17,2 (MO), 15,9 (MB), 13,2 (RB), 11,2 (CR), 7,9 (MV) ve 7,9 (AB) mg/g bulunurken portakal kabukları ile yapılan çalışmada 15,8 (MO), 13,9 (MB), 9,1 (RB), 7,9 (CR), 6,1 (MV) ve -3,8 (AB) mg/g bulunmuştur. Muz kabukları kullanılarak yapılan çalışmada Freundlich izotermi, Langmuir izotermine göre daha uygun olduğu görülmüş ve portakal kabukları için bunun tam tersi gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, atık muz kabukları ve portakal kabuklarının, çözeltilerden boyaların uzaklaştırılması için uygun bir materyal olduğu gözlemlenmiştir [48].

Pirinç kabuğu bir tarımsal ürün olarak çok miktarda bulunan ve düşük maliyetli bir adsorban olarak boyalar ve atıksu akıntılarında ağır metal giderimi için kullanılmıştır [49-53].

Yine yapılan bir çalışmada sitrik asitle aktive edilmiş çam kozalakları kullanarak Basic Blue 3 boyar maddesinin adsorpsiyonunda temas süresi, başlangıç pH'sı ve başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. İkinci derece kinetik modeline göre istatistiksel analiz yapılmıştır. İncelenen parametreler içinde en etkin olanları, temas süresi ve başlangıç boya konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. Boya giderim veriminin maksimum olduğu an, BB3 konsantrasyonunun minimum, alıkonma süresinin maksimum ve başlangıç pH'sının 7.5 olduğu anlarda elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda yalancı ikinci derece kinetik modele uygun olduğu bulunmuştur [54].

Tablo 2.4.'de boyar madde gideriminde adsorban olarak kullanılan tarımsal atıklar yer almaktadır.

**Tablo 2.4.** Boyar madde gideriminde adsorban olarak kullanılan tarımsal atıklar

Adsorbanın türü	Adsorbatın türü	Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)	Referans
Çam kozalağı	Metilen mavisi	109,9	[55]
Asitle modifiye çam kozalağı	Kongo Kırmızısı	40,2	[56]

Ham çam kozalağı	Kongo Kırmızısı	32,6	[56]
İşlenmiş pamuk	Acid blue 25	589	[57]
Muz kabuğu	Direct red 28 (Kongo kırmızısı)	12,8	[58]
Muz kabuğu	Acid Blue 121	141	[59]
Portakal posası	Direct red 23	10,72	[60]
Asidik hidrolize uğratılmış portakal kabuğu	Remazol Black-B (RBB)ve Methylene Blue (MB)	84,4 ve 105,6	[20]
Anodonta(kuğu midyesi) kabuğu	Reactive green 12	0,436	[61]
Ayçiçeği sapı	Direct red 28 (Kongo kırmızısı)	37,78	[62]
Soya küspesi	Direct red 80	178,57	[60]
Metal hidroksit çamuru	Reactive red 120	48,31	[63]
Badem kabuğu	Direct red 80	22,422	[64]
Toz aktif çamur	Direct yellow 12	98	[65]
Biogaz atık çamuru	Direct red 12B	3,46	[66]
Krom içeren deri sanayi atığı	Reactive red X6BN Sandos	48	[67]
Pirinç kabuğu	Direct red 28	171	[68]
Palmiye yağı tesisi atık külü	Disperse blue	49,5	[69]

Günümüzde adsorban olarak, adsorpsiyon kapasitesi yüksek, ucuz ve çevre dostu materyaller tercih edilmektedir. Bu fikirden yola çıkarak araştırmacılar farklı adsorbanlar denemişlerdir. Bunlar; buğday kabuğu, çam kozalağı, muz kabuğu, elma posası, patates kabuğu, portakal kabuğu, limon kabuğu, pirinç kabuğu külü, palmiye yağı tesisi atık külü, soya küspesi işlenmiş kabuk gibi atık maddeleri alarak adsorban olarak kullanmışlar ve adsorplama kapasitelerine bakıldığında verimli sonuçlar elde edilmiştir [55-71].

### 2.3. Tekstil Endüstrisi Atıksuları

Tekstil endüstrisinde oluşan atıksuların kaynağında, doğal liflerin yıkanması, ağartılması ve boyanması işlemleridir. Tekstil endüstrisinde, ham maddenin işlenmesi kısmından üretim aşamasına kadar çok fazla miktarda su kullanılmaktadır. Buna ek olarak,

fiziksel ve kimyasal işlemlerden dolayı kirlilik yükü değişkenlik göstermekte ve fazla miktarda atıksu oluşmaktadır.

Tekstil endüstrisinden kaynaklı atıksularda başlıca problemleri arasında yüksek oranda boyar madde, işleme sırasında NaOH'dan dolayı yüksek pH, yüksek BOİ (biyokimyasal oksijen ihtiyacı) ve KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), makine yağları, sülfidler gibi sektöre göre değişkenlik gösteren kirletici parametreler yer almaktadır [72]. Tekstil endüstrisi proses gurupları ve atıksu özellikleri Talo 2.5.'de verilmiştir.

Tekstil atıksularındaki değişkenliği kontrol altına almak için Amerika Çevre Koruma Örgütünün (EPA) teknolojileri belirlemek amacıyla yedi guruba ayırmıştır:

- a) Ham Yün Yıkama
- b) İplik ve Kumaş İmalatı
- c) Yün Apre İşlemLeri
- d) Dokunmuş Kumaş Apre İşlemLeri
- e) Örme Kumaş Apre İşlemLeri
- f) Halı İmalatı
- g) Elyaf ve İplik Boyama ve Apre İşlemLer

**Tablo 2.5.** Tekstil Endüstrisi Proses Gurupları ve Atıksu Özellikleri [73].

Parametreler	Kategoriler						
	a	b	c	d	e	f	g
BOİ <sub>5</sub> /KOİ	0,2	0,29	0,35	0,54	0,35	0,3	0,31
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	6 000	300	350	650	350	300	250
TKM (mg/L)	8 000	130	200	300	300	120	75
KOİ (mg/L)	30 000	1 040	1 000	1 200	1 000	1 000	800
Yağ ve gres (mg/L)	5 500	-	-	14	53	-	-
Toplam Krom (mg/L)	0,05	4	0,014	0,04	0,05	0,42	0,27
Fenol (mg/L)	1,5	0,5	-	0,04	0,24	0,13	0,12
Sülfid (mg/L)	0,2	0,1	8,0	3,0	0,2	0,14	0,09
Renk (ADMI)	2 000	1 000	-	325	400	600	600
pH	8,0	7,0	10	10	8,0	8,0	11
Sıcaklık (°C)	28	62	21	37	39	20	38
Su Kullanımı (L su/kg ürün)	36	33	13	113	150	69	150

## **2.4. Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Genel Özellikleri**

### **2.4.1. Haşılama ve Haşıl Sökme**

Haşılama; iplikler dokunurken, mukavet kazandırmak ve mekanik etkilerden korumak için yapılır. Bu işlem sırasında kullanılan maddeler; makro molekülü, film oluşturan ve liflere yapışan, tutunma yeteneği olan doğal veya yapay maddelerdir. Tekstil işlemlerinde en fazla meydana gelen atık, iplik atığı, lif havı ve bu süreçte kullanılan nişasta bazlı haşıllardır. Atıksularda bulunan en büyük kirletici gurubu bu maddelerden oluşmaktadır. Bu proste oluşun atıksuların hacmi düşük olmakla birlikte; yüksek seviyelerde kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve askıda katı madde (AKM) içermektedir.

Haşıl sökme işlemi; pamuk ipliklerinin, nişasta, selüloz vb. haşıl maddeleri kullanılmasıyla ortamda bulunan kimyasal maddeleri gideriminde uygulanmaktadır. Bu işlem meydana gelen atıksuyun kirliliği yüzey aktif maddeler (enzimler, asidik veya alkali maddeler) gibi kimyasal maddelerden oluşmaktadır. Bu proste biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve TÇK yükünün oluştuğu ana prostedir [74-75].

### **2.4.2. Yıkama**

Pamuk yıkama prosesinde; pamuktan yağ, vaks ve selüloz olmayan diğer bileşenleri sıcak alkali, sabun çözeltileri ve yıkama solventleriyle ayırmaktadır. Bu işlem sırasında atık kimyasallar sonucu toksik madde miktarı yüksek atıksu oluşmaktadır. Oluşun bu atıksuyun pH'ı (10-11), KOİ ve AKM'si oldukça yüksektir.

Yün yıkama prosesinde; yünün yıkanması çok fazla miktarda kirlilik yükü oluşturmaktadır. Ham yünün ağırlıkça %30-70'i, katı madde, yün yağı ve dışkıdan oluşmaktadır. Biyolojik arıtmadan önce meydana gelen yağın arıtılması atıksu arıtma verimi açısından gereklidir [75].

### **2.4.3. Ağartma**

Ağartma prosesinde, pamuk ve diğer materyallerin doğal sarımsı renginin oluşmamasını önlemek açısından, hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit vb. maddeler ile oksidasyon işlemi uygulanmaktadır. Ağartma prosesinde ayrıca, hipoklorit asit, sülfürik asit, sodyum bisülfid, kostik soda, yüzey aktif maddeler ve şelatlaştırıcı maddeler gibi yardımcı kimyasal maddeler de kullanılmaktadır. Bu proste oluşun atıksular düşük miktarda BOİ ve genelde yüksek miktarda AKM içermektedir [74].

#### **2.4.4. Merserizasyon**

Merserizasyon işlemi dokumanın boyayı iyi tutması ve parlaklığını arttırması için uygulanır. Dokuma işleminde kullanılan %25 sodyum hidroksit atıksuyun pH'sını yükseltir. Sodyum hidroksit yerine pamuk mumu da kullanılmaktadır. Bu prosesten oluşan atıksular yüksek oranda sodyum hidroksit, doğal yağ ve pamuk mumu içerirken, düşük miktarda BOİ<sub>5</sub> ve AKM içerir [75].

#### **2.4.5. Boyama**

Tekstil endüstrisinde dokumaya renk vermek açısından en çok sentetik boyalar kullanılır. Boyama prosesinde oluşan atıksular, genellikle renk ve AKM'si yüksektir, orta derecede BOİ değerleri oluşmaktadır [75].

#### **2.4.6. Bitim İşlemleri (Apreleme)**

Bitim işlemleri, istenilen özellikleri dokumaya son şeklinin verildiği aşamadır. Üretilen tekstil materyalini mikrobiyolojik bozunmadan korumak için, organik ve inorganik kökenli sentetik biyositler (halojenli difenil alkanlar veya eterler) kullanılmaktadır. Bundan dolayı apreleme prosesinden gelen atıksular değişiklik göstermektedir [76].

### **2.5. Boyar Maddeler**

Dünyada yüz binin üzerinde sentetik ticari boya türü bulunmaktadır ve yılda yaklaşık 700 000 ton boyar madde üretilmiş yapıldığı tahmin edilmektedir [77].

Boyar maddeler 400 nm-700 nm arasında görünür ışığı absorbe edebilen ve ışığı absorbe etme özelliği renkli görünmelerini sağlar. Değişik yapıda olmaları ve çok farklı alanda kullanılmaları açısından bu moleküllerin çeşitli gurupları yer almaktadır. Boyar maddeler iki temel grupta incelenirler;

- İnorganik Boyar Maddeler
- Organik Boyar Maddeler

Her renk veren madde boyar madde özelliği göstermez. Genellikle boyar maddeler cismin yüzeyiyle kimyasal yada fizikokimyasal olarak birleşmektedir. Bileşiğin rengi, molekülün yapısında bulundurduğu doymamış karakterdeki nitrozo (-N=O), nitro (-NO<sub>2</sub>), karbonil (-C=O), azo (-N=N-) gurupları ile zayıf bazik yada zayıf asidik biçimde bulunan hidroksil (-OH), amino (-NH<sub>2</sub>) gurupların bulunmasından kaynaklanmaktadır.



Genelde tüm hidrokarbonlar renksizdirler. Hidrokarbonlar kromofor gibi doymamış gruplara bağlandıklarında renkli görünüm kazanırlar. Kromofor grubuna bağlı olan aromatik halkalı bileşiklere "kromojen" denilmektedir [78].

### 2.5.1. Tekstil Boyar Maddeleri

Tekstil işlemlerinde oluşan atıksular genelde 10-20 mg/L konsantrasyonlarda boyar madde içermektedir [79] ve renkli atıksulardır. Tekstil boyar maddeleri keten, pamuklu, yün ve ipek gibi doğal kumaşların renklendirilmesinde kullanılırken, polimad, viskon, rayon, poliakrilik elyafların renklendirilmesi işlemlerinde de kullanılır. Boyar maddeler sınıflandırılırken kimyasal yapısı, çözünürlüğü, boyama özellikleri ve kullanıldıkları alana göre çeşitli karakteristik özelliklerine göre sınıflandırılırlar.

#### 2.5.1.1. Boyar Maddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması

**Azo boyar maddeleri;** Organik boyar maddelerin en önemli sınıfında yer alırlar. Büyük bir kısmı suda çözünür. Tüm boyama yöntemlerinde kullanılır, yalnızca küp ve kükürt boyar maddeleri ile yapılan boyamalar bu kısımda yer almamaktadır. Yapısında kromofor olan azo (-N=N-) gurubu ile ifade edilirler. Azo boyar maddeleri, birçok boyar maddenin temelini oluşturmaktadır (~%70-80) [20,80].

**Nitro ve nitrozo boyar maddeler;** Nitro ve nitrozo boyar maddeleri grubu, adında da geçtiği gibi kimyasal yapılarında nitro veya nitrozo grubu ile birlikte elektrodonör (-OH-, -NR<sub>2</sub>-) gurubu barındırır. Nitrozo bileşikler tek başına boyar madde özelliği taşımazlar. Ağır metal tuzları ile birleştiklerinde bu yapılar boyar madde formuna dönüşürler. Yün, ipek ve kağıt boyanmasında kullanılırlar [20,80].

**Polimetin boyar maddeler;** Konjuge karbon atomları zinciri içeren ve bir amonyum grubu ile biten kromofor grubudur. Buna ek olarak; bir azot, kükürt ya da oksijen atomu içermektedirler. Polimetin boyar maddelerinin kullanımı sınırlıdır, çünkü ışık haslıkları zayıftır. En önemli kullanım alanı, fotoğrafçılıktır [20,80].

**Arilmetin boyar maddeler;** Formülleri genellikle X, -CH=, -N= ya da Ar-X=Ar şeklindedir. Bu grup boyar maddelerin elektrofil özellikleri nedeniyle çok sayıda karakteristik reaksiyonları vardır. Yüksek ışık haslıklarında akrilik elyafı boyamada kullanılırlar [20,80].

**Aminoketon ve hidrosiketon boyar maddeler;** Bu iki grup birbirine çok benzemekler beraber kromofor grup olarak karbonil, oksokrom grup olarak da amino veya substitue amino grubu ya da hidrosil grubu içermektedirler. Hidrosiketon doğal birtakım boyar maddeleri

barındıran mordan boarmaddeleridir. Aminoketon boyar maddeler, küp ve dispers boyar maddeleri içerir [20,80].

**Kinolin boyar maddeler;** 2-4 metilkinolin, türevleri ftalik anhidrit ve benzeri maddelerle yoğunlaşmasıyla elde edilir. Solvent ve bazik boyar maddelerde sarı ve kırmızı renk verirler. Sülfone edildiklerinde önemli asit boyar maddeleri oluştururlar [20,80].

**Ksanten boyar maddeler;** Ksantenin amino, aminohidroksi ve hidroksi grubundandır. Genelde ksanten bazik boyar maddeler olup, renkleri gözle görünür derecede saf, parlak ve çözeltileri güçlü floresans özelliği gösterir [20,80].

### 2.5.1.2. Boyar Maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması

Suda çözünen boyar maddeler ve suda çözünmeyen boyar maddeler olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Boyar maddelerin suda çözünen kısmı; anyonik boyar maddeler, katyonik boyar maddeler ve noniyonik boyar maddelerdir.

**Anyonik boyar maddeler;** suda kolaylıkla çözünürler ve çözüldüklerinde suya negatif yüklü iyon veren boyar maddelerdir. Asit boyar maddeler, direkt boyar maddeler, metal kompleks boyar maddeleri, reaktif boyar maddeleri olarak alt gruplara ayrılır.

Asit boyar maddeleri formüle edilirken  $Bm-SO_3^- Na^+$  (Bm: boyar madde renkli olan kısım) şeklinde verilmektedir. Molekül birden fazla,  $-COOH$  karboksilik asit grubu,  $-SO_3H$  sülfonik asit gurubu bulundurmaktadır. Anyonik boyar maddeler ipek, yün, poliamid, katyonik modifiye akrilonitril elyafı ile deri, kağıt ve besin maddelerinin renklendirilmesinde kullanılmaktadır [80].

Selüloz fiberlerini renklendirmek için kullanılan boyar maddeler reaktif boyar maddelerdir. Reaktif boyar maddeler, yapılarında bir veya iki kovalent bağ oluşturabilen yapılar bulundurmaktadır. Boyar maddeye renk veren kısım kloroform kısmıdır ve boyar maddeyi reaktif gruba bağlayan kısım ise  $-NH_2$ ,  $-CO$  ve  $-SO_2$  gibi gruplardır. Deşarj edilen ortamlarda kolayca biyolojik indirgenmeye uğramadıklarından dolayı reaktif boyar maddeler tekstil atıksularının problemli kısımlarıdır [81]. Reaktif boyar maddelerde genel olarak bütün renk serisi bulunmakla birlikte renkleri oldukça parlaktır [82-86].

**Katyonik boyar maddeler;** suda kolaylıkla çözünür ve suya pozitif yüklü iyon verirler. Pozitif yüklü sınıf olarak N ve S atomu içermektedirler. En fazla poliakrilonitril, az sayıda yün ve pamuk elyafın boyanmasında kullanılırlar.

**Uygulama öncesi kimyasal reaksiyon gerektiren boyar maddeler;** suda çözünemezler, uygun ön işlemlerle ipliğe bağlanacak şekle getirilirler. Küp boyar maddeleri, kükürt boyar maddeleri olarak iki alt sınıfa ayrılırlar.

**Özel renklendirici sınıflar;** kendilerine özgü olan boyama mekanizmaları bulunan boyar maddelerdir. Dispers boyar maddeler, solvent boyar maddeler ve pigment boyar maddeler olarak sınıflandırılmaktadırlar.

## 2.5.2. Tekstil Endüstrisinden Oluşan Atıksuların Çevresel Riskleri

Tekstil endüstrisinde bazı kimyasal maddeler ve yüksek miktarda su kullanılarak, yüksek miktarlarda atıksu oluşmaktadır. En fazla kimyasal madde boyama, ağartma, baskı ve bitirme (apreleme) işlemleri içerisinde kullanılmaktadır. Bu proseslerde kullanılan kimyasal maddeler, organik bileşikler ve polimerlerden, inorganik bileşikler ve elementlerden oluşmaktadır [13].

Organik bileşiklerin, septik koşulların ve koku probleminin oluşmasını engellemek için suyun yeniden kullanılabilmesi için ortamdan uzaklaştırılması lazımdır. İnorganik maddeler ise, yüksek miktarda çözünmüş tuz içerdiğinden dolayı su kullanımını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, çözünmeyen tuzlar, çökerek tabanda çökelti oluşturmakta, akımı engellemekte ve canlı yaşamını etkilemektedir. Çözünmüş inorganik tuzların yüksek derişimlerde varolması korozif etkiye neden olmaktadır. Çinko, bakır, krom gibi metaller su canlıları üzerine toksik etki yaptıklarından dolayı atıksu deşarj olmadan önce bu metallerden arındırılması gerekmektedir. Boyalardan meydana gelen renk estetik açıdan rahatsız edici olabileceği gibi boyamada kullanılan fenoller atıksuda tat ve koku oluşturmaktadır [87].

Renkli olan bu atıksuların alıcı ortama verilmesi ile sadece estetik açıdan önemli değildir; deşarj edilen ortamdaki canlıların varlığını olumsuz yönde etkileyecek şekilde ışık geçirgenliğini de (penetrasyonunu) engellemektedir. Bundan dolayı ekosistem için olumsuz sonuçlar oluşturabilmektedir [88-90].

Bununla birlikte, renklenmiş atıksuların direk olarak alıcı ortamına deşarj edilmesi, kontrollü olmayan anaerobik koşullarda toksik-karsinogenik aromatik aminleri meydana getirmektedir [91].

Sudaki canlıların etkilenmesi ve toprağın verimliliğini etkilemesi bakımından renkli atıksuların doğaya olumsuz etkileri vardır. Boyar maddelerin sindirimle vücuda alınması, acı verici, mide bulantısı, kusma ve ishale neden olabilmektedir [92].

## 2.6. Tekstil Endüstrisinde Boyar Madde Giderim Teknikleri

Tekstil endüstrisi atıksularında renk giderilmesinde birden fazla fizikokimyasal ve biyolojik prosesler uygulanmaktadır. Bu işlemler incelendiğinde, biyolojik yöntemler kimyasal ve fiziksel yöntemlere göre ekonomik ve çevre dostu bir yöntem olması nedeni ile avantajlıdır.

Genellikle bu yöntemlerde birden fazla temel sürecin uygulanması gerekmektedir. Proseslerin uygunluğu, atıksu özelliklerindeki değişime, arazi gereksinimi, tesis ve işletme masraflarına karşın istenilen çıkış suyu parametresinin sağlanması gibi konulara dikkat edilmelidir [75].

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında en fazla kullanılan yöntemler;

#### ***Fiziksel Arıtım Yöntemleri***

- a. Adsorpsiyon
- b. Membranla ayırma
- c. Koagülasyon- flokülasyon

#### ***Kimyasal Arıtım Yöntemleri***

- a. Ozonlama
- b. Kimyasal oksidasyon
- c. Kimyasal indirgeme
- d. Elektrokimyasal yöntem

#### ***Biyolojik Arıtım Yöntemleri***

- a. Aerobik yöntem (aktif çamur prosesi)
- b. Anaerobik yöntem

Ancak son yıllarda aerobik ve anaerobik yöntemlere ek olarak biyodegradasyon, biyoakümülyasyon, biyosorpsiyon gibi yeni teknikler de kullanılmaya başlanmıştır [20].

### **2.6.1. Fiziksel Yöntemler**

#### **2.6.1.1. Adsorpsiyon**

Tekstil endüstrisi atıksuların da renk gideriminde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Adsorpsiyon, kendiliğinden gerçekleşir ve adsorplanacak maddenin yüzeye birikimi ve konsantre olmasını içeren bir süreçtir. Aktif karbon en çok kullanılan yüksek verimli adsorbanlardır. Fakat aktif karbon pahalı ve rejenerasyonu zor olduğundan tercih edilmemektedir. Bu nedenle son yıllardaki çalışmalar uçucu kül, odun talaşı, fıstık kabuğu posası, portakal kabuğu gibi ucuz ve bulunması kolay tarımsal atıklar adsorban olarak kullanılmaya başlamıştır.

#### **2.6.1.2. Membran Sistemleri**

Ticari amaçla kullanılan membran sistemleri renk gideriminde; ultrafiltrasyon, ters osmoz ve elektrodializdir. Membran filtrasyonun avantajı, arıtma sonrası çıkış suyun yeniden kullanımı ve bazı boyar maddelerin geri kazanımıdır [93]. Membran sistemlerin üstünlüğü;

sıcaklığa, aniden oluşan kimyasal etkilere ve mikrobiyal aktiviteye karşı direnç göstermesidir [94]. Membran sistemlerin dezavantajı ise membranlarda biriken maddenin nasıl uzaklaştırılması gerektiği konusunda problemler ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden renk gideriminde tek başına kullanılamamaktadır [93].

### **2.6.1.3. Koagülasyon-Flokülasyon**

Bu proste uzun yıllardır, inorganik koagülantlar (kireç, magnezyum ve demir tuzları vb.) boyar maddelerin koagülasyonu amacıyla kullanılmaktadır. Ancak boyar maddelerin yapılarında meydana gelen farklılıklar, boyar maddelerin kimyasallarla giderimini zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı organik polimerler daha fazla kullanılmaktadır. Organik polimerler inorganiklere göre renk giderim verimi daha iyi ve çamur oluşumu daha az olmasına rağmen renk giderimini tam anlamıyla sağlayamamaktadır. Katyonik boyar maddeler kimyasal yapılarından dolayı zayıf koagüle olmaktadır. Asit, direkt, mordan ve reaktif boyar maddeler ise koagüle olmakta fakat oluşan floklanma az miktarda olmakta, ortama flokülant eklenmesiyle çökeltme verimini artıramamaktadır. Bundan dolayı boyar maddelerin gideriminde koagülasyon ve flokülasyon yöntemi uygun olmamaktadır [94].

### **2.6.2. Kimyasal Yöntemler**

#### **2.6.2.1. Ozonlama**

Ozonlama tekstil atıksularında renk gideriminde oldukça iyi bir yöntemdir. Ancak çok pahalı bir yöntemdir. Tekstil endüstrisinde çok fazla miktarda su çıktığından dolayı, sistemin işletme maliyetini yükseltmektedir. Ozonlama tek başına renk gideriminde başarılı değildir. Bu işlemden sonra boyar maddeler farklı yan ürünlere dönüşmekte ve canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir. Ozonlamanın dezavantajı ise yarı ömrünün (20 dakika) kısa oluşu ve yüksek maliyetli olmasıdır [95].

#### **2.6.2.2. Kimyasal Oksidasyon**

Kimyasal oksidasyon için, klor, klordioksit ve hidrojen peroksit kimyasalları kullanılmaktadır. Bu yöntemle rengin tamamı giderilememektedir ve ortamda oluşan bazı klorlu bileşiklerin alıcı su ortamlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Klordioksit, reaktif, direkt, dispers ve anyonik metalik boyar maddelerin gideriminde etkilidir. Hidrojen peroksit normalde yetersiz olmasına rağmen, asidik ortamda demir(II) ile fenton reaktifini oluşturmakta, burada

hidroksil radikalleri oluşmaktadır ve bu radikaller boyar maddelerin renk giderimini arttırmaktadır. Fenton prosesi hem çözünür hem de çözünmeyen boyar maddelerin rengini gidermekte iyi bir yöntemdir ancak maliyeti yüksektir.

### **2.6.2.3. Kimyasal İndirgeme**

Kimyasal indirgeme, tekstil endüstrisi atıksularının renginin gideriminde genellikle ön arıtımda kullanılan yöntemlerden biridir. Yaygın olarak kullanılan kimyasallar sodyum hiposüfit, sodyum borhidrit, sodyum formaldehit sülfoksalat ve kalay(II) klorürdür.

### **2.6.2.4. Elektrokimyasal Yöntemler**

Elektrokimyasal yöntemler, bir demir veya alüminyum elektrot kullanılmasıyla alüminyum ya da demir bileşiklerinin floklayıcı bileşiklerin oluşturması esasına dayanır. Oluşan floklar kendiliğinden çökebileceği gibi, ortama inorganik madde ekleyerek daha verimli sonuçlar elde edilebilir. Bu yöntem, tekstil endüstrisi atıksularından, KOİ, AKM, toplam organik karbon, ağır metaller ve rengin giderilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metodun dezavantajı ise tehlikeli bileşiklerin oluşmasıdır. Naumczyk ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada tekstil atıksularını elektrokimyasal arıtımında ortamda kloro organik bileşik derişiminin fazla miktarda olduğunu bulmuşlardır ve yüksek akım verdiklerinde renk giderimde azalmaya neden olduğunu gözlemlemişlerdir [96].

### **2.6.2.5. Biyolojik Yöntemler**

Boyar maddelerin organik yapıda bulunması ve karmaşık olması biyolojik parçalanımlarını zorlaştırmaktadır ve renk gideriminde yetersiz kalmaktadır. Boyar maddenin toksik olmasından dolayı renginin giderilmesinde mikroorganizmalara etki edeceği için biyolojik proseslere uygun bir yöntem değildir [97]. Kullanılan biyolojik sistemlere örnek olarak; döner biofilm reaktörler, aerobik aktif çamur, aerobik-anaerobik ardışık kesikli yada sürekli akış reaktörler, aerobik-anaerobik reaktörler, anaerobik kesikli reaktörler verilebilir [98].

### 3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tekstil ürünlerinin büyük bölümü tüketici beğenisini arttırmak için boyanmaktadır. Ancak proses sonunda ortaya çıkan atıksular, alıcı ortamlara verildiğinde, doğal sulara karışmakta hem halk hem de çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle suların çeşitli arıtma işlemlerinden geçirilip alıcı ortamlara verilmesi gerekmektedir. Atık sulardan boyar maddelerin giderimi için çok sayıda fiziko-kimyasal işlem uygulanmaktadır. Fakat bu işlemler pahalı olduğu gibi ikincil kirliliğe sebep olmaktadır. Bundan dolayı etkili, maliyeti düşük ve çevre dostu alternatif yöntemlerin bulunması gereklidir. İçeriğinde farklı kimyasal maddeler bulunmasından dolayı tekstil atıksularının arıtılması yüksek maliyetli ve zordur. Farklı tipte kullanılan boyar maddeler boyanacak olan tekstil ürünlerinin özelliğine bağlıdır. Reaktif, dispers, asidik, bazik, azo, pigment, reaktif olarak sınıflandırılan bu maddeler kimyasal yapıları farklıdır. Bu yapısal farklılık boyar maddelerin giderimini daha zor hale getirmekte ve farklı arıtma yöntemlerinin aynı zamanda uygulanmasında zorunluluk oluşturmaktadır.

Endüstriyel atıksuların arıtımında, renkli ve renksiz organik kirleticilerin uygun adsorban kullanılarak giderilmesinde adsorpsiyon işlemi önemli bir uygulamadır. Konsantre atıksulardan kimyasal atıkların giderilmesinde aktif karbon ve reçineler en iyi adsorban olarak kullanılmasına rağmen en önemli dezavantajı pahalı ve geri yıkama ihtiyacının olmasıdır. Bunun üzerine araştırmacılar daha ekonomik adsorbanlarla da çalışmalar yapmıştır [99-103].

Yapılan bir çalışmada; Metilen mavisinin (MB) sulu çözeltilerden AFKA ile çıkarılması için yeni bir adsorban olarak kullanmışlardır. Deney koşulları; çözelti pH'sı (2-10), AFKA dozu (0,5-3 g/L), MB konsantrasyonu (100-400 mg/L), temas süresi (1-70 dk) ve çözelti sıcaklığıdır (20-50°C). Deneysel verilere uygun model olan Langmuir izoterminden hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi sırayla 20 ve 50°C arasındaki sıcaklıklarda 389 ile 602 mg/g olarak hesaplanmıştır. MB'nin hazırlanan AFKA üzerine adsorbe edilmesinin kendiliğinden gerçekleşen, fiziksel ve adsorbanın test edilen boya moleküllerinin adsorpsiyonu için yüksek afiniteye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, bir tarımsal atık maddesi olan AFKA'nın endüstriyel atıksularda renk giderimi için uygulanabilir ve umut verici bir adsorban olduğu sonucuna varılmıştır [104].

Maliyeti düşük ve etkin bir biyosorbent olan AFKA, Cr(VI)'nin atıksudan adsorplanması için de araştırılmıştır. Deney koşulları; çözelti pH'sı (2-8), AFKA miktarı (0,5-8 g/L), Cr(VI) konsantrasyonu (50-200 mg/L), sıcaklık (5-50°C) ve temas süresi (1-60 dk) olarak belirlenmiş ve sulu çözeltilerden Cr(VI)'nin adsorpsiyonu çalışılmıştır. Sonuç olarak; 5 g/L adsorban (AFKA) dozunda 60 dakika dengelenmeden sonra 50-200 mg/L Cr(VI) içeren çözeltilerden, pH 2'de %99'un üzerinde krom adsorbe ettiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçların yalancı ikinci dereceden ve Langmuir modeline uygun olduğu görülmüştür. Langmuir adsorpsiyon kapasitesi

116,3 mg/g olduğu belirlenmiştir. AFKA ile endüstriyel atıksularda bulunan Cr(VI) adsorpsiyonu için uygun ve basit bir işlem olduğu belirtilmiştir [105].

Bazrafshan ve ark. Antep fıstığı gövde atığından (*Pistachia Vera L.*) hazırlanan aktif karbonun Reaktif Red 198 (RR 198) boyasının sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için etkili bir çözüm olduğu ön görmüşlerdir. Bu işlemde Antep fıstığı gövde atıkları 110°C'de 2 saat kurutulup öğütüldükten sonra 60-200 mesh elekten elenerek toz haline gelen adsorbandan 250 g alınmıştır. Elde edilen adsorban, 110 g ZnCl<sub>2</sub> ile 110 g saf sudan oluşan bir karışım içinde gece boyunca bekletildikten sonra tekrar saf suda yıkanan adsorban 350°C de kalsine edilmiştir. 100 mL stok boya çözeltisi kullanılarak çözeltinin pH'ı 1N hidroklorik asit (HCl) ve 1N sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak ayarlanmıştır. Deney koşulları; çözelti pH'sı (2-12), adsorban miktarı (0,1-5 g), temas süresi (20-270 dk) ve RR 198 boya konsantrasyonu (20-200 mg/L) olarak seçilmiştir. Sonuç olarak pH 2'de, 80 mg/L RR 198'in sulu çözeltisinden % 95'lik bir verimle boya adsorbe edilmiştir. Langmuir ( $R^2 = 0,9289$ ) izoterm modelinin Freundlich ( $R^2 = 0,8839$ ) izoterm modelinden daha uygun olduğu bulunmuştur [106].

Birçok atık materyalinin, sudan ve atık sudan farklı kirleticilerin giderilmesinde adsorban olarak kullanımları araştırılmıştır. Siyanür endüstriyel atıklar vasıtasıyla çevreye salınan çok toksik bir birleşiktir. Yapılan bu çalışmada, AFKA, sentetik bir atıksudan siyanürün uzaklaştırılması için adsorban olarak kullanılmıştır. En önemli parametrelerin (pH, adsorban miktarı, siyanür konsantrasyonu ve temas süresi) seçimi başlangıçta atıksudan adsorplanan siyanür yüzdesine dayanarak değerlendirilmiştir. Optimum pH 10'da, 60 dakikalık temas süresinden sonra, 100 mg/L siyanür içeren sudan %99'dan fazla siyanür giderimi sağlanmıştır. Kinetik çalışması, AFKA'nın siyanür iyonlarının adsorpsiyonunda yalancı-ikinci dereceden hız reaksiyonuna uyduğunu göstermiştir. Langmuir modelinin 156,2 mg/g maksimum adsorpsiyon kapasitesine ulaşmış deneysel verilere en uygun olduğunu görülmüştür. Deneysel değerlendirmede, AFKA'nın az miktarda adsorbanın yüksek konsantrasyonda siyanür iyonlarını (200 mg/L'ye kadar) adsorplama kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Siyanidin AFKA adsorpsiyonunun maksimum kapasitesi 156,2 mg/g olarak belirlenmiş; bu da diğer adsorbanlar tarafından siyanür iyonu adsorpsiyonu için literatürde belirtilen maksimum değerden çok daha yüksektir. Bu nedenle AFKA, etkin, düşük maliyetli ve siyanür içeren sulu çözeltilerin gideriminde adsorbe edici bir materyal olduğunu açıkça ortaya koymuştur [107].

Talyum kationunun sulu solüsyonlardan uzaklaştırılması için adsorban olarak AFKA kullanılarak incelenmiştir. Çözelti pH'sı, temas süresi ve adsorban miktarı gibi değişkenlerin etkisi araştırılmış ve bunlar faktöriyel bir tasarım yöntemi kullanılarak optimize edilmiştir. Adsorpsiyonun içeriğini değişkenlere bağlamak için bir model geliştirilmiştir. Bu model, farklı koşullardaki adsorpsiyon derecesinin tahmin etmelerini sağlamıştır. Tepkime yüzeyleri, farklı değişkenlerin adsorpsiyon içeriğine etkilerini göstermek için kullanılmıştır. Varyans analizi,



modelin uygunluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. %95'lik güven seviyesinde uygunluk göstermiştir. Hesaplanan veriler ve deneysel veriler arasındaki korelasyon katsayısı, modelin iyi bir performans gösterdiğini göstermiştir. Optimum koşullar altında %96,5'lik maksimum adsorpsiyon verimi sağlanmıştır. Sulu çözeltilerde talyum iyonlarının, AFKA adsorpsiyonunda, Freundlich ( $R^2 = 0,9997$ ) izoterminin Langmuir ( $R^2 = 0,9995$ ) izoterminden daha uygun olduğu belirlenmiştir [108].

Literatür taramalarında daha çok Antep fıstığının sert kabuk (pistachio shell waste) kısmı ile çalışmalar yer almaktayken yukarıda belirtilen literatür taramalarından görüldüğü gibi AFKA (pistachio hull waste) ile yapılan çalışmalar çok azdır.

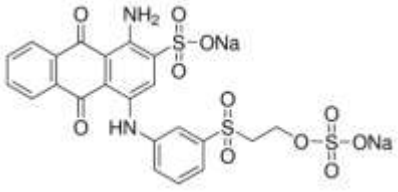
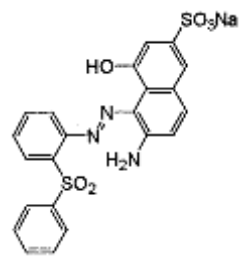
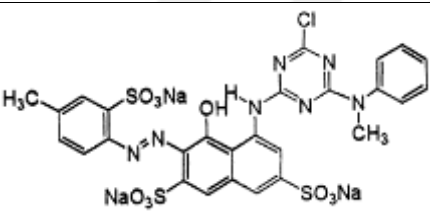
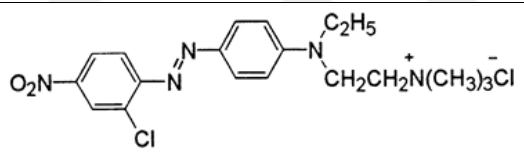


## 4. MATERYAL ve METOT

### 4.1. Materyal

Çalışmada kullanılan AFKA Ağustos 2016 tarihinde Nizip'te bulunan bir tesisten temin edilmiştir (Şekil 4.2). Yapılan çalışmada dört ayrı boyar madde kullanılmıştır. Bu boyar maddelerin kimyasal özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Boyar maddelerin kimyasal özellikleri [109-112]

Remazol Birillant Blue R	Acid Red 42
 <p>Molekül Formülü : <math>C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3</math> Molekül Ağırlığı : 626,54 Dalga boyu (<math>\lambda_{max}</math>) = 582 nm</p>	 <p>Molekül Formülü : <math>C_{27}H_{19}ClN_7Na_3O_{10}S_3</math> Molekül Ağırlığı : 802,10 Dalga boyu (<math>\lambda_{max}</math>) = 510 nm</p>
Reactive Red 45	Basic Red 18
 <p>Molekül Formülü : <math>C_{27}H_{19}ClN_7Na_3O_{10}S_3</math> Molekül Ağırlığı : 802,10 Dalga boyu (<math>\lambda_{max}</math>) = 505 nm</p>	 <p>Molekül Formülü : <math>C_{27}H_{19}ClN_7Na_3O_{10}S_3</math> Molekül Ağırlığı : 802,10 Dalga boyu (<math>\lambda_{max}</math>) = 484 nm</p>

#### 4.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Maddeler

**Tablo 4.1.1.** Deneyde kullanılan cihazlar ve sarf malzemeler

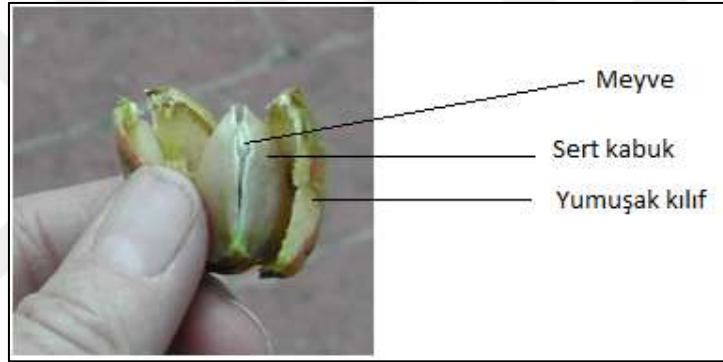
ADI	MARKASI	BULUNDUĞU YER
Hassas terazi	Uhaus Corp Adventure	Mersin Üniversitesi
Manyetik karıştırıcı	Edmünd Bühler GmbH	Mersin Üniversitesi
pH metre	Probecond HQ40D	Mersin Üniversitesi
Etüv	Heraeus Marka T-12 Model	Mersin Üniversitesi

Isıtmalı çalkalayıcı	Ika-werke RT5 Power	Mersin Üniversitesi
Santrifüj cihazı	Hettich Micro 22 R	Mersin Üniversitesi
Spektrofotometre	UV-Vis spektrofotometre T 90	Mersin Üniversitesi
RBBR, RR45, AR42, BR18	Sigma Aldrich	Mersin Üniversitesi
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaOH	Merck	Mersin Üniversitesi

## 4.2. Metot

### 4.2.1. Adsorbanın Hazırlanışı

Tesisten alınan örnekler çalışma boyunca +4°C'de buz dolabında saklanmıştır. AFKA çeşme suyunda ve saf sudan yıkandıktan sonra 80°C'de etüvde 2 gün kurutulmuştur (Şekil 4.2). Ardından 20-35-50 ve 70 meshlik eleklerden geçirilmiştir.



Şekil 4.2. Ham Antep fıstığı atığı

### 4.2.2. Boyar Maddelerin Stok Çözeltisinin Hazırlanması

Antep fıstığı işleme endüstrisinden kaynaklanan katı atıkların adsorpsiyonunda kullanılacak olan boyar maddelerden [Remazol Birillant Blue R(RBBR), Reactive Red 45(RR 45), Acid Red 42(AR 42) , Bacid Red 18(BR 18)] belirli konsantrasyonlarda stok çözeltiler hazırlanmıştır.

### 4.2.3. Boyar Maddelerin Standart Eğrisinin Çıkarılması

Kullanılan boyaların maksimum absorbans gösterdiği dalga boyunda [RBBR ( $\lambda_{\max}$  = 582 nm), BR18 ( $\lambda_{\max}$  = 484 nm), AR42 ( $\lambda_{\max}$  = 510 nm), RR45 ( $\lambda_{\max}$  = 505 nm)], belirli konsantrasyonlarda stok çözeltiler hazırlanıp spektrofotometre kullanılarak belirlenen dalga boyunda absorbansları okunarak kalibrasyon eğrisi çizilmiştir (Şekil 4.3.).



**Şekil 4.3.** Standart eğri çıkarmak için hazırlanan çözeltiler

#### **4.2.4. Adsorpsiyon Deneyleri**

##### **4.2.4.1. Adsorpsiyona pH Etkisi**

Deneyde her bir boyanın en uygun pH değerini bulmak için, 1000 mL'lik erlenlere 500 mL olacak şekilde 50 mg/L'lik boya çözeltisi (RBBR, RR45, AR42 ve BR18) koyulmuştur. Çözeltilerin pH'ları 2,4,6,8 ve 10 olacak şekilde ayarlanmıştır. pH'ları ayarlamak için 0,1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH çözeltileri kullanılmıştır. Her bir erlene 5g AFKA ilave edilmiştir ve ağzuları kapatılarak çarkalayıcıda 24 h çarkalanmıştır. Bütün deneysel çalışmalar oda sıcaklığında (25°C) gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sonunda çözeltiler santrifüjlenerek (6000 rpm, 5 dk), duru fazın spektrofotometrede okunmasıyla konsantrasyonları hesaplanmıştır.

##### **4.2.4.2. Adsorban Maddenin Tane Boyutu Optimizasyonu**

Yapılan bu deneyde 50 mg/L'lik stok çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözeltilerden 500 mL alınarak 1000 mL'lik 5 erlene eklenmiştir. Belirlenen en uygun pH'da stok çözeltilere 20-35-50 ve 70 mesh AFKA'dan 5 g eklenmiştir. Bütün deneysel çalışmalar oda sıcaklığında (25°C) gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sonunda çözeltiler santrifüjlenerek (6000 rpm, 5 dk), duru fazın spektrofotometrede okunmasıyla konsantrasyonları hesaplanmıştır.

##### **4.2.4.3. Adsorban Madde Miktarı Optimizasyonu**

Adsorban madde miktarı optimizasyonunda 50 mg/L'lik stok çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözeltilerden 500 mL alınarak 1000 mL'lik erlenlere eklenmiştir. Belirlenen en uygun pH'da stok çözeltilere 2,5 g, 3,75 g, 5 g, 6,25 g, 7,50 g AFKA ilave edilmiştir. Bütün deneysel çalışmalar oda sıcaklığında (25°C) gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sonunda çözeltiler

santrifüjlenerek (6000 rpm, 5 dk), duru fazın spektrofotometrede okunmasıyla konsantrasyonları hesaplanmıştır.

#### **4.2.4.4. Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Adsorpsiyon Üzerine Etkisi**

Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi deneylerinde 25,50,75,100 mg/L'lik stok boya çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan boya çözeltilerinden 500 mL alınarak 1000 mL'lik erlenlere eklenmiştir. Belirlenen en uygun pH'da ve en uygun mesh aralığında AFKA eklenmiştir. Bütün deneysel çalışmalar oda sıcaklığında (25°C) gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sonunda çözeltiler santrifüjlenerek (6000 rpm, 5 dk), duru fazın spektrofotometrede okunmasıyla konsantrasyonları hesaplanmıştır.



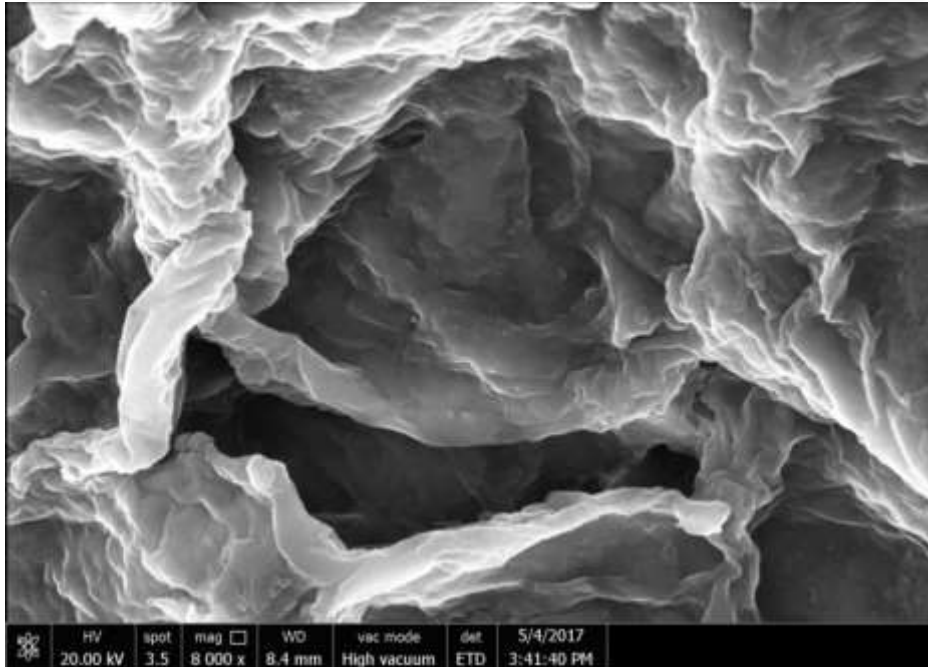
## 5. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 5.1. Karakterizasyon

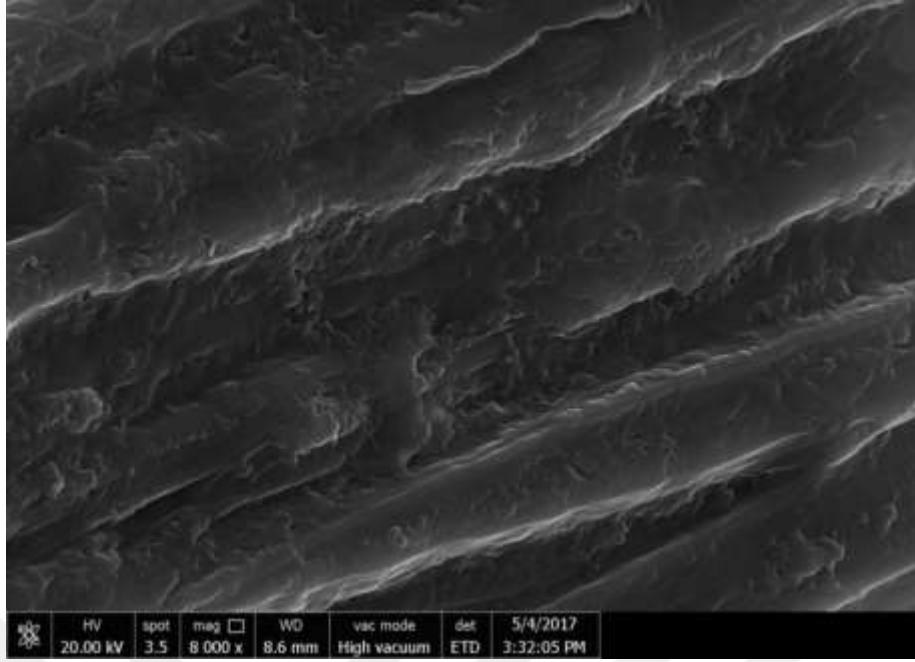
Hazırlanan adsorbanın elementel analizi, yüzey morfolojisi SEM (taramalı elektron mikroskopu) analizleri ve fonksiyonel grupları FTIR (Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre) analizleri ile gerçekleştirilmiştir.

#### 5.1.1. Taramalı Elektron Mikroskop Fotoğrafları (SEM)

Adsorbanın yüzey morfolojisindeki değişimleri araştırmak için adsorbanın farklı büyütmelelerdeki yüzey görüntüleri taramalı elektron mikroskopu ile incelenmiş ve görüntüleri Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'de verilmiştir. AFKA'nın yüzey yapısının gözenekli olduğu görülmektedir. AR42 ve BR 18'in adsorpsiyonundan sonra SEM görüntüleri incelendiğinde önemli değişimler gözlemlendiği tespit edilmiştir ve adsorplama kapasitesi en yüksek olan BR18 ile yüklü AFKA'nın SEM görüntüsü Şekil 5.2.'de verilmiştir. Çünkü gözenekli yapı kısmen boya molekülleri ile kaplanmıştır. Benzer sonuçlar, Annadurai ve arkadaşlarının (2002) muz ve portakal kabuklarını adsorban olarak kullanarak, MB, MO, RB, CR, MV ve AB gideriminde yaptıkları çalışmada da görülmüştür [48].



Şekil 5.1. AFKA'nın boya yüksüz SEM görüntüsü (800x)



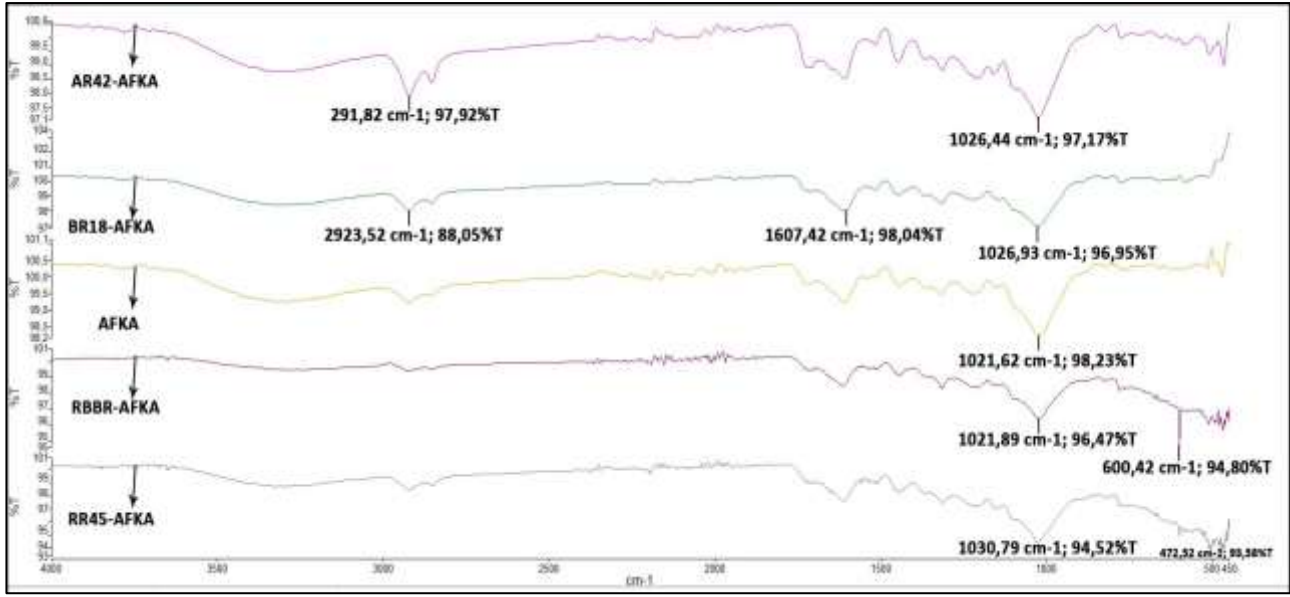
Şekil 5.2. AFKA'nın boya yüklü SEM görüntüsü (8000x)

### 5.1.2. Fourier Dönüştürümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR)

FTIR Spektrum cihazı organik bileşiklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. FTIR ile belirlenmek istenen örneğin makromolekülleri fonksiyonel gruplarının titreşimlerinden kaynaklanan yapısal, kompozisyonel ve fonksiyonel bilgilerine vermektedir. Bu spektroskopik teknik, boyama, işaretleme vb. maddelerin kullanılması yönünde uzun örnek hazırlama işlemlerine ihtiyaç duyulmadan, örneğe zarar vermeden daha hızlı, hassas ve etkin sonuçların ucuz olarak elde edilmesi diğer tekniklere göre avantajlı olduğunun göstergesidir. Dezavantaj olarak FTIR spektroskopisinin suyun kızılötesi dalgaboyunda kuvvetli bir sinyal vererek FTIR spektrumunda baskın olmasıdır. Bu nedenle biyolojik sistemlerde bazı bantları maskeleymektedir [114].

Biglari ve arkadaşları (2016) AFKA ile Sulu Çözeltilerden Direkt Mavi 71 boyar maddesinin giderimini çalışmışlardır. Denge, Kinetik ve Termodinamik Çalışmalarında; AFKA'nın FTIR spektrumu sonuçlarında; maksimum adsorpsiyon gösterdiği dalga sayıları ve ilgili atanan gruplar test edildikten sonra adsorbanın yüzeyinde hidroksil, karboksilik, fenolik ve amino grupları (-OH, -CH, C = O ve -CO grupları) bulunduğunu açıklamışlardır [115].

RBBR, AR42, BR18 ve RR45 yüklü ve yüksüz AFKA spektrumları Şekil 5.3.'de verilmiştir. Boyar madde yüklü AFKA spektrumu incelendiğinde farklı sayılarda maksimum adsorpsiyon gösterdiği görülmektedir ve maksimum adsorpsiyon gösterdiği bu kaymalar [ AR42-AFKA ( $1026,44 \text{ cm}^{-1}$ ), BR18-AFKA ( $1026,93 \text{ cm}^{-1}$ ), RBBR-AFKA ( $600,42 \text{ cm}^{-1}$ ), RR45 ( $472,52 \text{ cm}^{-1}$ ) ] boyar maddelerin AFKA tarafından adsorplandığını göstermektedir.



Şekil 5.3. AFKA'nın 450-4000 cm<sup>-1</sup> dalga sayılarında Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektrumu

### 5.1.3. Elementel Analiz

AFKA'nın elementel analizi için örnekler çözünür hale getirilmiştir. Bu işlem için her bir numune 0,5 g hassas terazide tartılarak alınmıştır. 1 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve 4 mL kral suyu (1 mL HCl ve 3 mL HNO<sub>3</sub>) çözeltisi alınan numunelere ilave edilerek mikro dalga tüplerine konulmuştur ve CEM MARS\_X\_press 5 mikrodalga çözme sisteminde çözünme işlemi gerçekleştirilmiştir. ICP-MS analizleri için uygulanan bu ön işlem, örneklerin uygun asit karışımları ile yüksek güçte mikrodalga enerjisi kullanılmasıyla gerçekleşir. Bu işlem yaklaşık 30 dakikada tamamlanmaktadır ve çok sayıda numunenin analize hazırlanması için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ağzı kapalı kaplar kullanıldığı için asitin buharlaşma sorunu önlenmiş olur ve yüksek basınçta çalıştığı için az miktarda reaktifle çalışılabilir. Numuneler çözünür hale geldikten sonra ultra distile su ile 50 mL'ye seyreltilmiş ve etiketlenerek ICP-MS cihazında analizi yapılmak üzere buzdolabında muhafaza edilmiştir. Analiz sonucunda AFKA'ya ait elementel analiz sonuçları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. AFKA'ya ait elementel analiz sonuçları

File:	B (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Al (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Ti (ppm)	V (ppb)	
AFKA	17,55	3265,00	1029,50	94,68	565,30	16845,00	13988,75	44,54	100,00	
AFKA-1	14,81	2690,00	1016,50	72,93	550,30	16255,00	13868,75	38,28	100,00	
File:	Cr (ppb)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Co (ppb)	Ni (ppm)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	As (ppb)	Cd (ppb)	Pb (ppb)
AFKA	100,00	21,90	166,25	249,30	3,12	14200,00	11433,00	100,00	100,00	1330,00
AFKA-1	100,00	18,41	142,50	265,55	3,48	14905,00	11648,00	100,00	100,00	1268,00

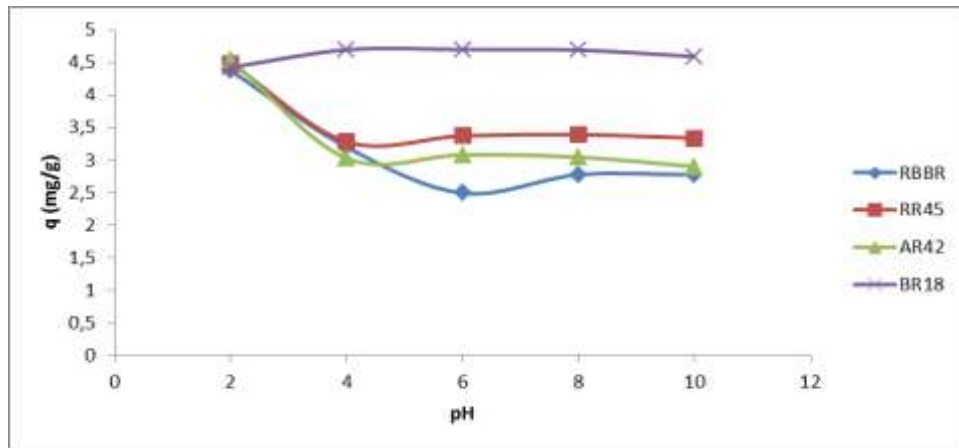


## 5.2. Adsorpsiyon Çalışmaları

Adsorpsiyona etki eden faktörlerin optimizasyonu için yapılan çalışmalar aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir.

### 5.2.1. Adsorpsiyona pH'ın Etkisi

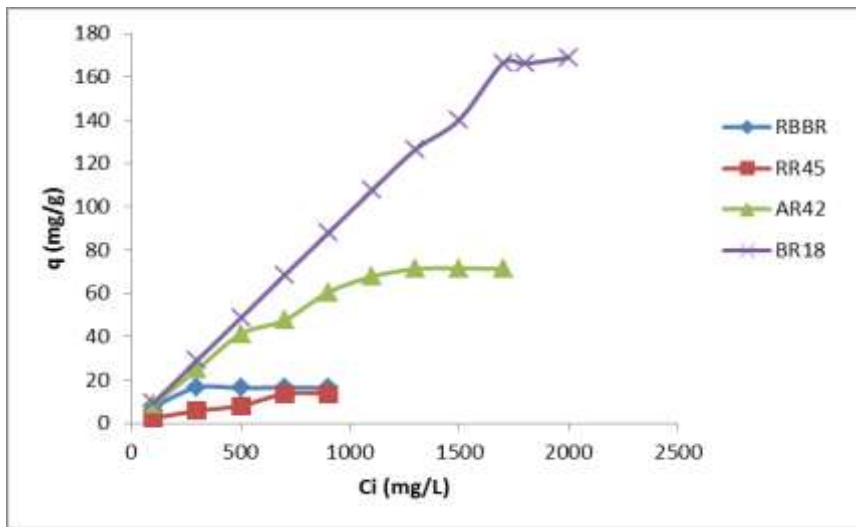
Çalışmada RBBR, RR45, BR 18 ve AR42 boyar maddelerin AFKA üzerine pH etkisi araştırılmıştır. Hem adsorpsiyon yüzeyini hem de adsorban türünü etkileyen önemli parametrelerden birisi pH etkisinin anlaşılmasıdır. Adsorpsiyona pH'ın etkisini araştırmak için diğer değişkenler sabit tutularak 2, 4, 6, 8, 10 aralığında değişik pH değerlerinde AFKA kullanılarak adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. 50 mg/L boya konsantrasyonunda, 25°C sıcaklıkta, 5 g adsorban ilave edilerek, 24 h süren adsorpsiyon çalışmaları sonunda elde edilen değerler Şekil 5.4'de verilmiştir. RBBR, RR45 ve AR42 boyar maddeleri için AFKA'nın adsorpsiyon kapasitesi pH 2'de en yüksek olduğu tespit edilmiştir. RBBR, RR45 ve AR42 için pH 2'nin, BR18 için de adsorpsiyon kapasitesinin en yüksek olduğu değer 4 olarak bulunduğu görülmüş fakat bununla birlikte adsorpsiyon çözeltisinin orijinal pH'ı 6'ya yakın olduğundan BR18 pH 6'da çalışılmıştır ve bulgular Şekil 5.4.'de verilmiştir. Benzer sonuçlar Elkady (2011) ve arkadaşlarının yaptıkları yumurta kabuklarıyla Reactive red'in giderimi üzerindeki çalışmada adsorpsiyon kapasitesini 46.9 mg/g olarak bulmuşlardır. Çalışmada pH 1'de en iyi giderim veriminin elde edildiğini belirtmişlerdir [113]. Palamthodi ve Lele (2016) su kabağı kabuklarını adsorban olarak kullanarak Reactive Red 195-A ve Reactive blue 222 boyar maddelerinin giderimini araştırmışlar ve en iyi giderimin pH 2'de gerçekleştiğini ifade etmişlerdir [116].



Şekil 5.4. AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18'nin pH Etkisi (T=25°C; W=5 g; t=24 h; C<sub>i</sub>=50 mg/L)

### 5.2.2. Adsorpsiyona Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi

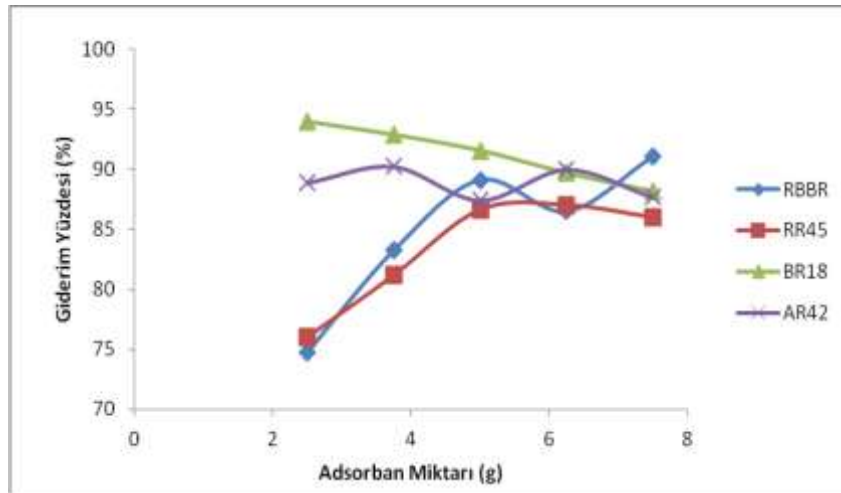
AFKA üzerine RBBR, RR45, BR18 ve AR42 boyar maddelerin adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini incelemek için farklı derişimlerde bir önceki basamakta optimize edilen ortam pH'sına göre çalışmalar yapıldı. Elde edilen deneysel veriler birim adsorban başına adsorplanan madde miktarına karşı başlangıç konsantrasyonunun etkisi Şekil 5.5'de gösterilmiştir. RBBR ve RR45 boyar maddeleri için 100-900 mg/L konsantrasyonlarda çalışılmıştır. RBBR için 300 mg/L'den itibaren sistemin dengeye ulaştığı tespit edilmiştir. RR45 boyar maddesi için 700 mg/L'den itibaren denge durumu gözlenmiştir. AR42 boyar maddesi için 100-1700 mg/L boyar madde konsantrasyon aralığında çalışılmış ve sistemin 1300 mg/L konsantrasyondan itibaren dengeye ulaştığı görülmüştür. BR18 boyar maddesi için ise 100-2000 mg/L aralığında çalışılmış ve sistemin 1700 mg/L konsantrasyondan itibaren dengeye ulaştığı tespit edilmiştir. Deniz ve Saygıdeğer (2011) yaptıkları çalışmalarda Basic Red 46 azo boyasının Prenses ağaç yaprağı (*Paulownia tomentosa* Steud.) ile sulu solüsyonlarda adsorpsiyonu zamanla artmış ve yaklaşık 70 dakikada doygunluğa ulaşmıştır. Başlangıçta, BR 46'nın biyolojik adsorpsiyonu hızlı ve dengeye ulaşınca kadar yavaş yavaş azalmıştır. Zamanla boya giderilmesinde meydana gelen azalma, boya moleküllerinin biyosorbent parçacıklarının etrafında birikmesine bağlı olabilir olduğunu vurgulamışlardır. Deniz ve Saygıdeğer (2011) yaptıkları bir başka çalışmada Basic Red 46 boyasının sulu çözeltiden çam ağacı yaprakları ile giderilmesinde başlangıç boya konsantrasyonun 200-1000 mg/L aralığında araştırmışlardır. Başlangıç boya konsantrasyonun artmasıyla birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı 18,58'den 68,80 mg/g yükselmiştir. Bunun nedeninin kütle transferi sırasında itici bir güçten kaynaklandığını belirtmişlerdir [117].



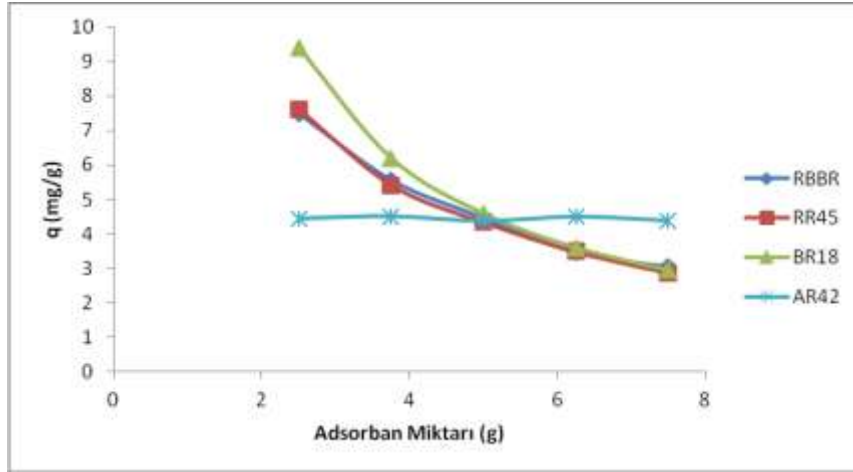
Şekil 5.5. AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18'nin Adsorpsiyonuna Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi (W=5 g, t=24 h)

### 5.2.3. Adsorban Miktarının Etkisi

AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18 boyar maddelerinin adsorpsiyonunda adsorban miktarının etkisini araştırmak için 2,50; 3,75; 5,00; 6,25 ve 7,50 g AFKA kullanılmış. Elde edilen deneysel verler sonucunda RBBR için adsorban dozu 2,5 g'dan 7,5 g'a yükseldiğinde giderim yüzdesinin % 74,78'den % 91,075'e; RR45 için 2,5 g'dan 6,25 g'a yükseldiğinde giderim yüzdesinin %76,024'ten %87,034'de yükseldiği gözlemlenmiştir. BR18 için 2,5 g'dan 7,5 g'a yükseldiğinde giderim yüzdesinin %93,964'den %88,192'ye düştüğü; AR42 için 3,75 g'dan 5 g'a yükseldiğinde giderim yüzdesinin %90,234'ten %87,444'de düştüğü belirlenmiştir. BR18 ve AR42 boyar maddesiyle aynı özellikte olan Rective Yellow 4 (RY4) için benzer çalışma Boujaady ve ark. tarafından yapılmıştır. Boujaady ve arkadaşlarının (2011) yapmış oldukları sentetik kalsiyum fosfat üzerine RY4'ün adsorpsiyonunda 0,05-0,4 g arasında adsorban kullanılmış ve 0,2 g adsorban kullanıldığında % 89'a ulaşırken daha sonra önemli bir değişim göstermediği belirlenmiştir. Benzer sonuçlar, Ertaş ve arkadaşlarının (2010) pamuk tozu, pamuk sapı ve pamuk atığını adsorban olarak kullanarak metilen mavisinin giderimi çalışmasında da görülmüştür. Adsorban dozu 0,25 gramdan 1,5 grama yükseldiğinde giderim yüzdesinin %35,08, %48,36'dan %35,08'e; %68,03'ten %85,41 ve %91,47'ten %83,93'e düştüğü görülmüştür. AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18 boyar maddelerinin adsorpsiyonunda adsorban miktarının giderim yüzdesine olan etkisi Şekil 5.6. ve AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18 boyar maddelerinin adsorpsiyonunda adsorban miktarının birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarına olan etkisi Şekil 5.7.'de verilmiştir.



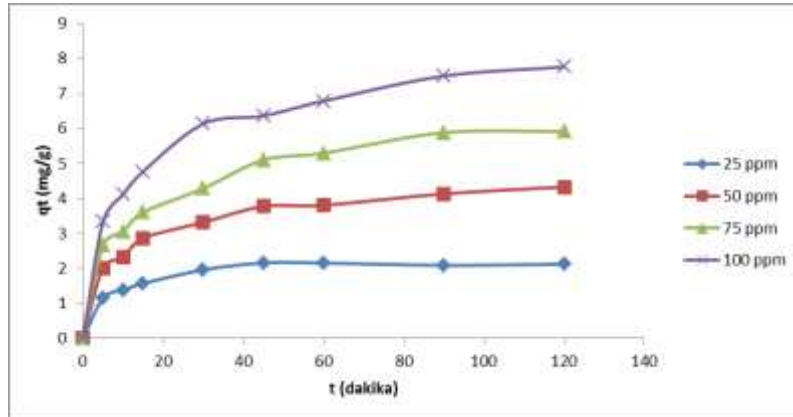
**Şekil 5.6.** AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18 boyar maddelerinin adsorpsiyonunda adsorban miktarının giderim yüzdesine olan etkisi



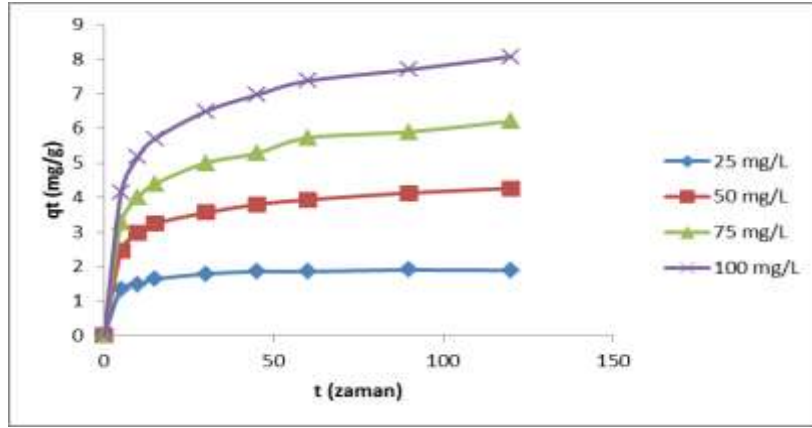
**Şekil 5.7.** AFKA üzerine RBBR, RR45, AR42, BR18 boyar maddelerinin adsorpsiyonunda adsorban miktarının birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarına olan etkisi

#### 5.2.4. Adsorpsiyona Sürenin Etkisi

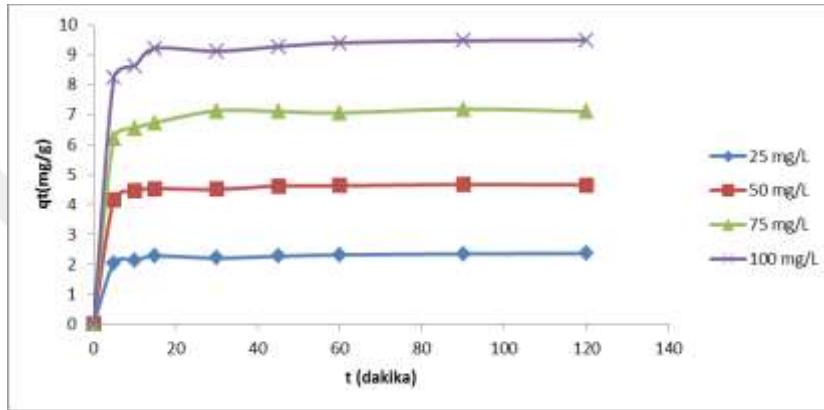
Bu çalışmada devam eden adsorpsiyon deneylerinde 25, 50, 75 ve 100 mg/L başlangıç konsantrasyonlarında, her bir boyanın 120 dakikalık temas süresi sonunda AFKA tarafından adsorplandığı görülmüştür. RBBR için 45 dk, RR45 için 30 dk, BR18 için 15 dk ve AR42 için 10 dk'dan sonra birim adsorban başına adsorplanan madde miktarının dengeye ulaştığı görülmüştür ve her bir boyar madde için adsorpsiyona sürenin etkisi Şekil 5.8., Şekil 5.9., Şekil 5.10. Şekil 5.11.'de verilmiştir.



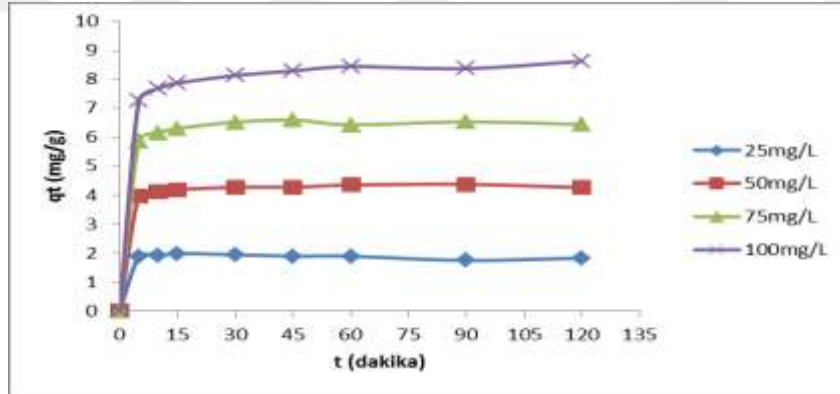
**Şekil 5.8.** RBBR giderimine sürenin etkisi (W=5g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)



Şekil 5.9. RR45 giderimine sürenin etkisi (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)



Şekil 5.10. BR18 giderimine sürenin etkisi (W=5 g, pH=6, V=500 mL, T= 25 °C)

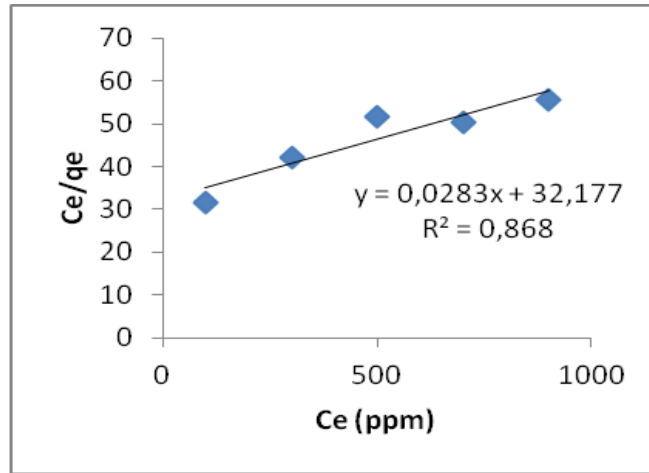


Şekil 5.11. AR42 giderimine sürenin etkisi (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25 °C)

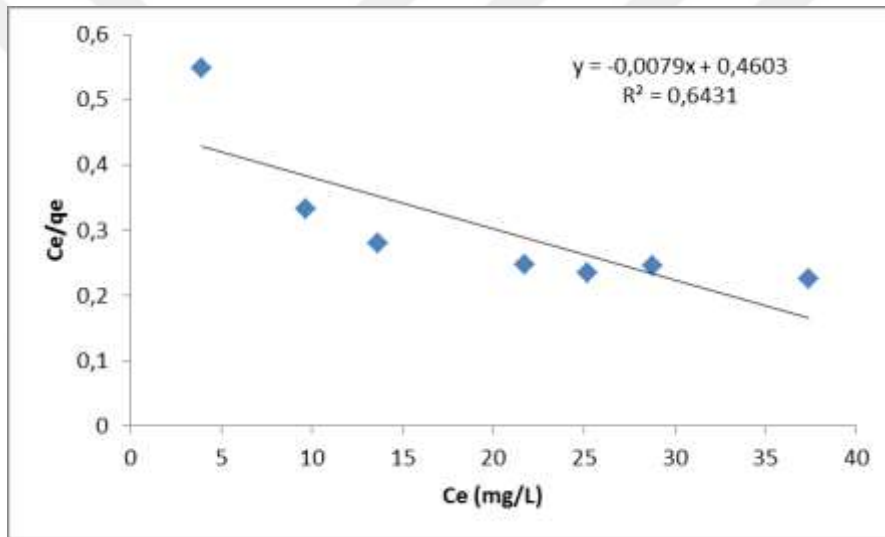
### 5.3. Adsorpsiyon İzotermeleri

RBBR, RR45, AR42 ve BR18 AFKA sistemleri için Langmuir ve Freundlich İzoterm modelleri uygulanmıştır. Denge anında elde edilen verilerin  $C_e/q_e$ 'ye karşı  $C_e$  grafiği çizilerek hesaplanmasından Langmuir İzoterm modeli elde edilmiştir. Log  $q_e$ 'ye karşı log  $C_e$  grafiği çizilerek hesaplamalardan Freundlich İzotermi elde edilmiştir. Mevcut veriler ile boyar maddelerin izoterm katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan Langmuir ve Freundlich

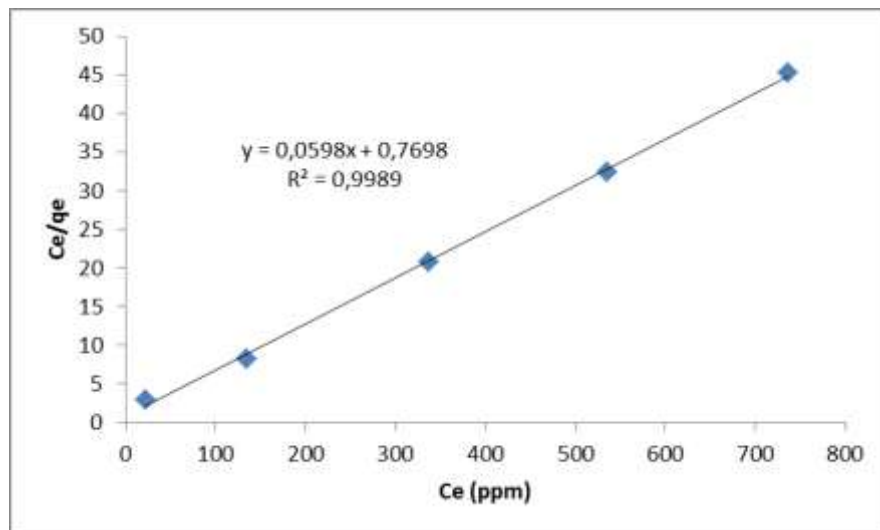
İzotermlerine ait grafikleri Şekil 5.12., 5.13., 5.14., 5.15., 5.16., 5.17., 5.18. ve 5.19.'da, hesaplanan katsayılar Tablo 5.2. ve 5.3.'de verilmiştir.



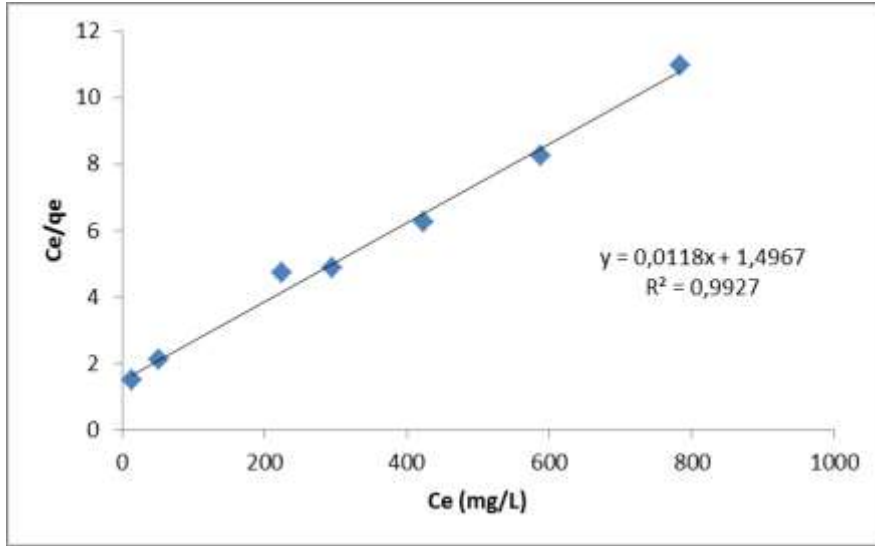
Şekil 5.12. RR45'in AFKA ile adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi



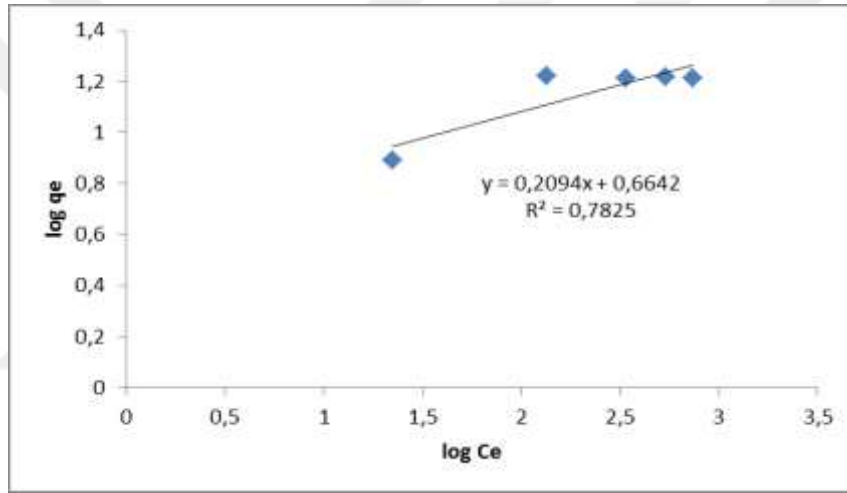
Şekil 5.13. BR18'in AFKA ile adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi



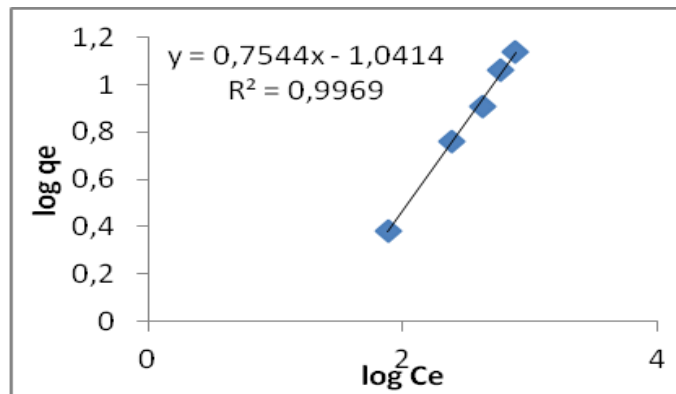
Şekil 5.14. RBBR'nin AFKA ile adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi



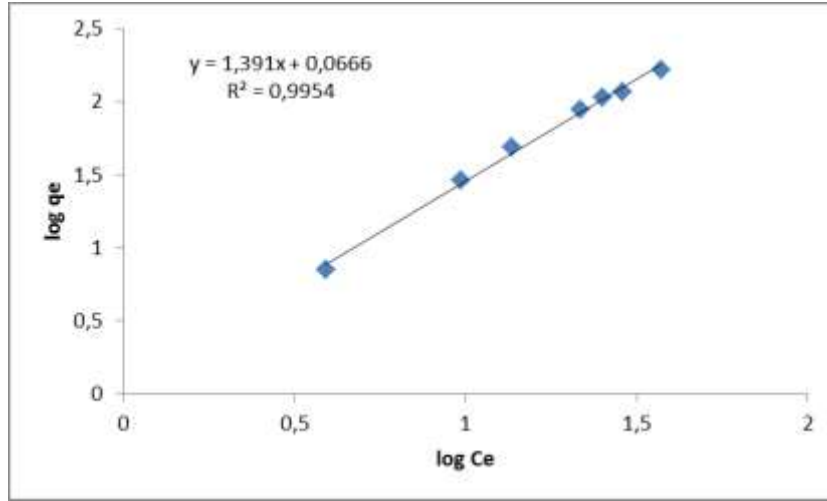
Şekil 5.15. AR42'in AFKA ile adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi



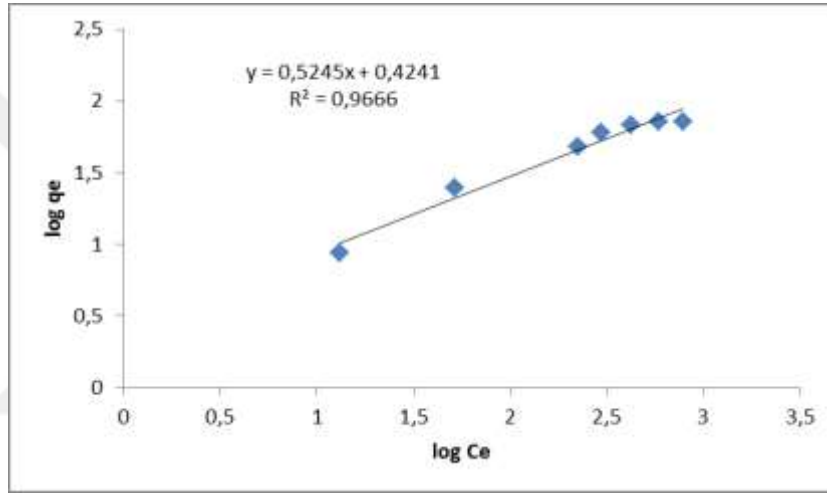
Şekil 5.16. RBBR'nin AFKA ile adsorpsiyonunda Freundlich İzotermi



Şekil 5.17. RR45'in AFKA ile adsorpsiyonunda Freundlich İzotermi



Şekil 5.18. BR18'in AFKA ile adsorpsiyonunda Freundlich İzotermi



Şekil 5.19. AR42'in AFKA ile adsorpsiyonunda Freundlich İzotermi

Tablo 5.2. Langmuir ve Freundlich İzoterm Sabitleri

İzoterm Sabitleri	BR18	AR42	RR45	RBBR
Langmuir				
$q_{max}$ (mg/g)	-	85,641	35,336	16,739
$K_L$ (L/mg)	0,4603	0,668	0,031	1,299
$R^2$	0,6431	0,9927	0,868	0,9989
Freundlich				
$K_f$ (L/g)	1,054	2,655	0,0909	4,615
$n$	0,718	1,906	1,325	4,775
$R^2$	0,9954	0,966	0,9969	0,7825

RBBR, RR45, AR42 ve BR18 boyar maddelerinin AFKA üzerine adsorpsiyonunda adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 16,739 mg/g, 35,336 mg/g, 85,641 mg/g ve -127,764 mg/g



olarak hesaplanmıştır. BR18 için maximum adsorpsiyon kapasitesi negatif bulunmuştur. Benzer çalışma Robinson ve arkadaşlarının (2002) boyar madde karışımlarının buğday samanını adsorban olarak kullandıkları çalışmada da görülmüştür. Robinson ve ark. (2002) adsorpsiyon kapasitesini -3.78 mg/g olarak tespit etmişlerdir [125].

Yapılan çalışmada AR42 ve RBBR'nin Langmuir izotermine daha iyi uyum sağladıkları görülmüştür.

RBBR, RR45, AR42 ve BR18 boyar maddelerinin AFKA üzerine adsorpsiyonunda BR18 ve RR45'in Freundlich izoterm modeline daha iyi uyum sağladıkları tespit edilmiştir. Çeşitli adsorbanların maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırması Tablo 5.3'de verilmiştir.

**Tablo 5.3.** Çeşitli adsorbanların maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırması

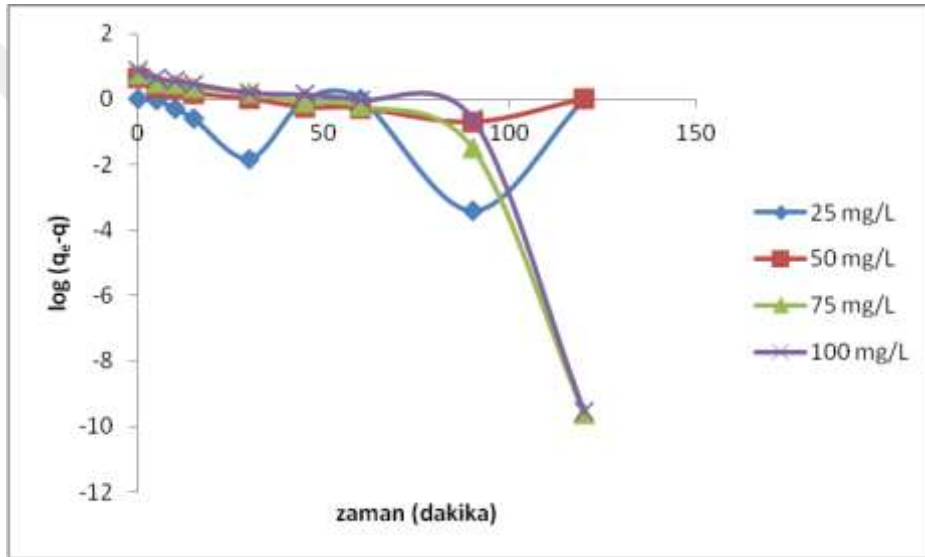
Adsorban	Dye	$q_{max}$ (mg/g)	Referans
Endüstriyel çamaşırhane atıksuyundan elde edilen çamurdan üretilen aktif karbon	RBBR	33,47	[118]
Demir grafit nanokomposit (Fe@G-N)	Acid Red 88	16,9	[119]
	Direct orange 26	14,5	
Pirinç kabuğu	Acid blue 74	14,36	[120]
Pikan cevizi ( <i>Caryaillinoensis</i> ) zarı	Acid blue 25	10,8	[121]
Scenedesmus quadricauda	RBBR	45,70	[122]
Aktifleştirilmiş ceviz kabuğu	RBBR	149,25	[123]
Pinang yaprağından elde edilen aktif karbon	RBBR	9,72	[124]
		9,81	
		10,04	
Buğday samanı	Boyar madde karışımı	-3,78	[125]
	AFKA	RBBR	16,739
AFKA	BR18	-127,764	Bu çalışma
AFKA	AR42	85,641	Bu çalışma
AFKA	RR45	35,336	Bu çalışma

## 5.4. Kinetik Çalışmalar

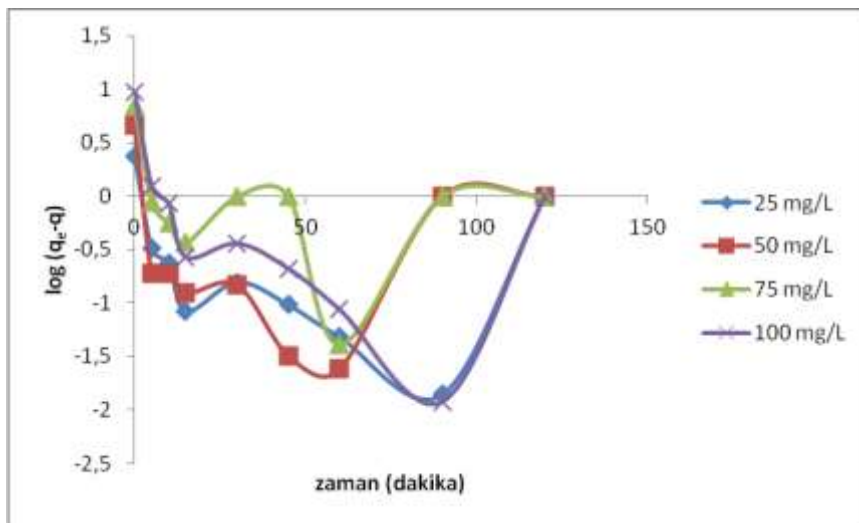
Birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden ve ikinci dereceden hız kinetiği modelleri bir adsorpsiyon sisteminin kinetiği hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada da birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden ve ikinci dereceden hız kinetiği modelleri uygulanmış ve sonuçların her bir boyar madde için yalancı ikinci dereceden hız modeline daha fazla uyduğu tespit edilmiştir.

### 5.4.1. Birinci Derece Kinetik Modeli

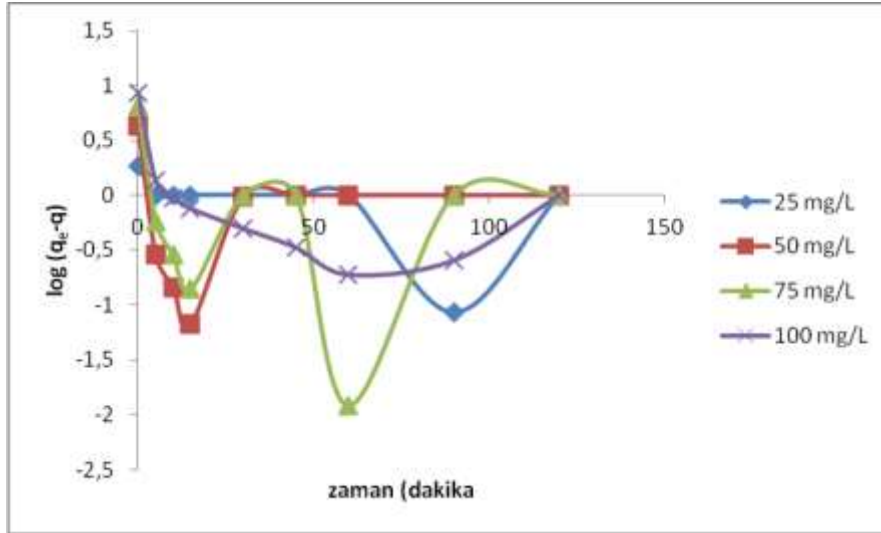
Birinci dereceden hız etkisinin saptanması için  $\log (q_e - q_t)$  değerlerinin zamana karşı grafikleri çizilmiştir. Boyalar için Birinci Derece Kinetik Modeli Şekil 5.20., 5.21. ve 5.22.'de verilmiştir.



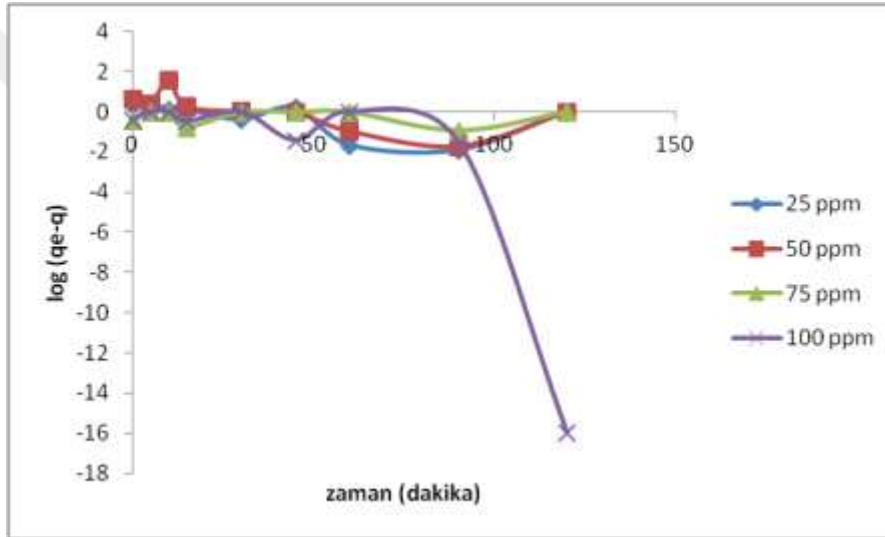
Şekil 5.20. RBBR Birinci derece hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)



Şekil 5.21. BR18 Birinci derece hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)



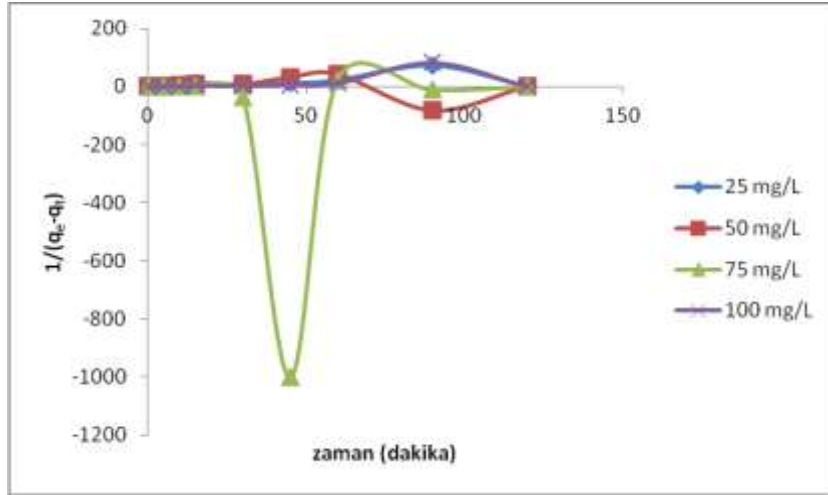
Şekil 5.22. AR42 Birinci derece hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)



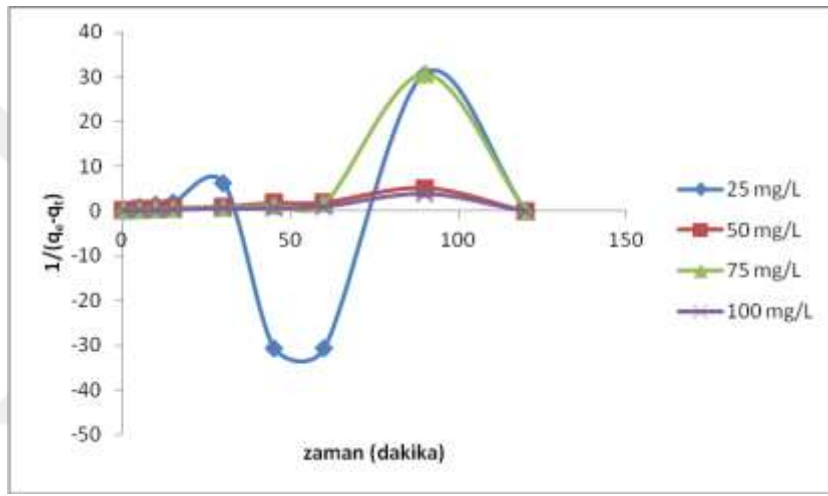
Şekil 5.23. RR45 Birinci derece hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)

#### 5.4.2. İkinci Derece Kinetik Model

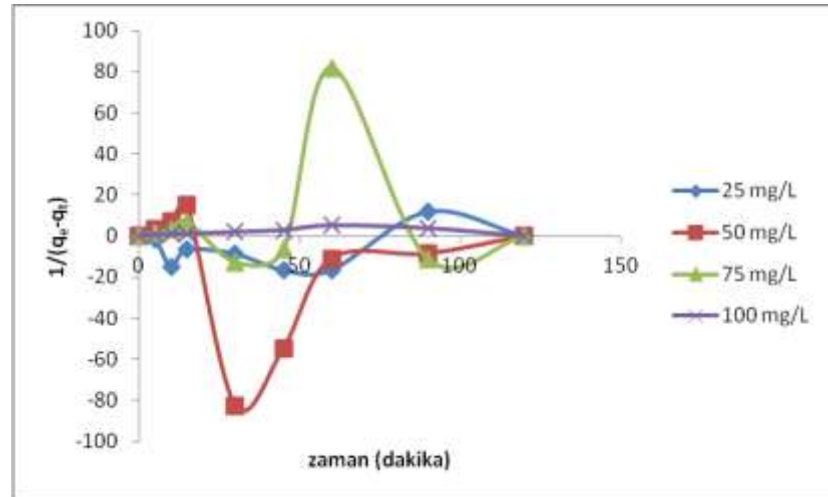
Boyar maddelerin AFKA üzerine adsorpsiyonunda ikinci derece kinetik modele uygunluğunu araştırmak için 25-100 mg/L başlangıç konsantrasyon aralığında,  $1/(q_e - q_t)$ 'nin t (zaman)'ye karşı grafiği çizilmiştir ve ikinci derece kinetik modele uymadığı Şekil 5.24., 5.25., 5.26. ve 5.27.'de verilmiştir.



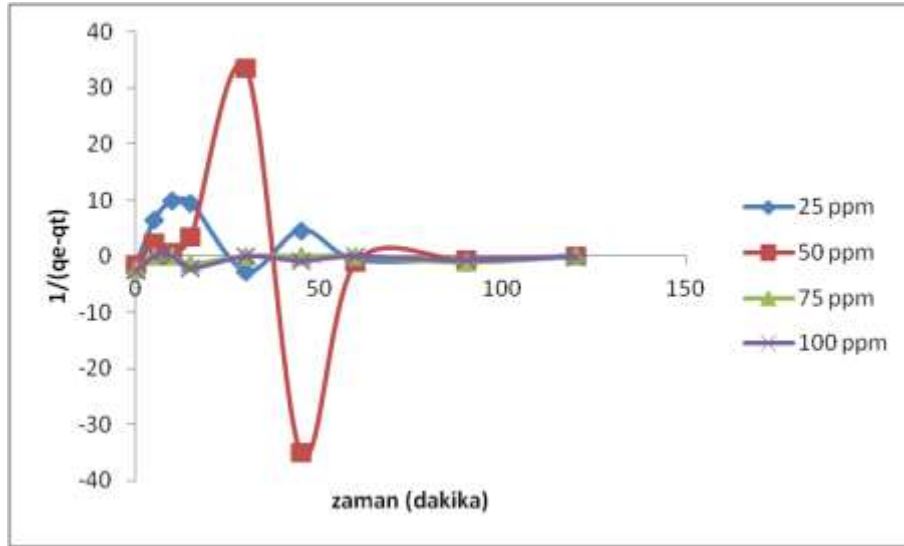
Şekil 5.24. RBBR İkinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T=25°C)



Şekil 5.25. BR18 İkinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)



Şekil 5.26. AR42 İkinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)



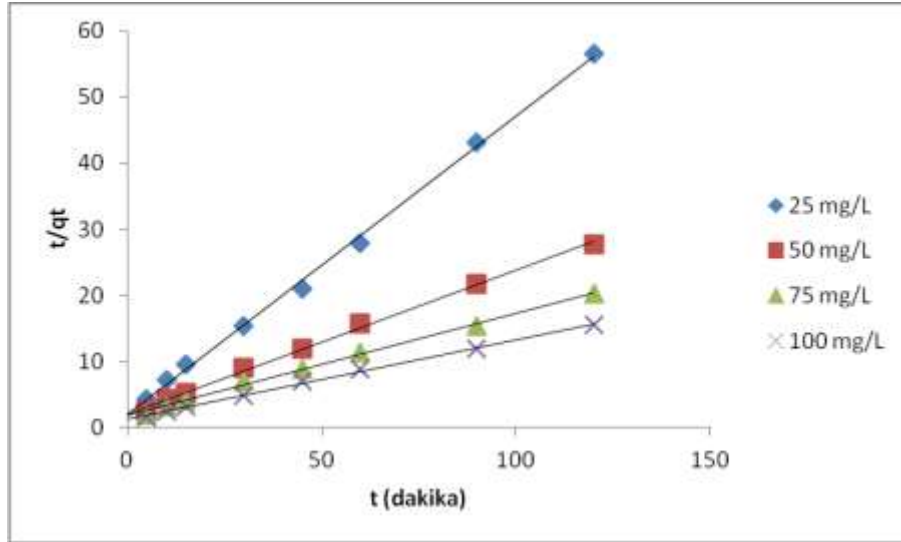
Şekil 5.27. RR45 İkinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)

#### 5.4.3. Yalancı İkinci Derece Kinetik Model

Deneylerden elde edilen veriler ile  $t/q_t$ 'nin  $t$ 'ye karşı grafiğin çizilmesiyle deneysel ve teorik ikinci derece hız kat sayıları hesaplanmıştır (Tablo 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7). Hesaplamalar sonucunda regresyon katsayılarının 1'e çok yakın olması bu kinetik modelin, boyar maddelerin AFKA üzerine adsorpsiyonunun en uygun olduğunu göstermektedir ve grafikler Şekil 5.28, 5.29, 5.30 ve 5.31 gösterilmektedir.

Tablo 5.4. RBBR için Yalancı İkinci Derece Kinetik Model Hesaplamalar

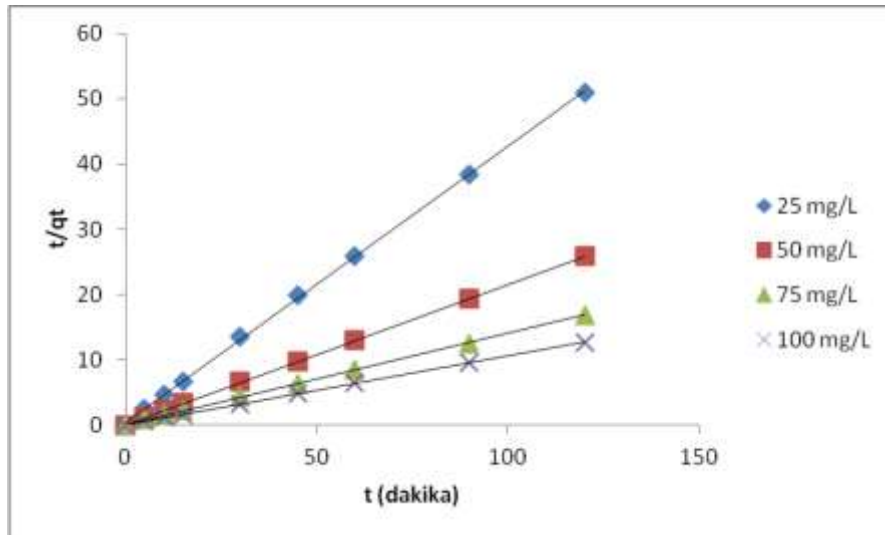
Başlangıç boya konsantrasyonu (mg/L)	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> ) (deneysel)	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> ) (hesaplanan)	$k_2$ (g mg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
25	2,118	2,220	0,2029	0,9979
50	4,325	4,591	0,0474	0,9977
75	5,913	6,464	0,0239	0,9964
100	7,762	8,333	0,0144	0,9971



Şekil 5.28. RBBR Yalancı ikinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)

Tablo 5.5. BR 18 İçin Yalancı İkinci Derece Kinetik Model Hesaplamalar

Başlangıç boya konsantrasyonu (mg/L)	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> ) (deneysel)	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> ) (hesaplanan)	$k_2$ (g mg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
25	2,184	2,366	0,393	0,9997
50	4,6755	4,668	0,426	0,9999
75	7,1426	7,163	0,261	0,9999
100	9,3375	9,532	0,135	0,9999

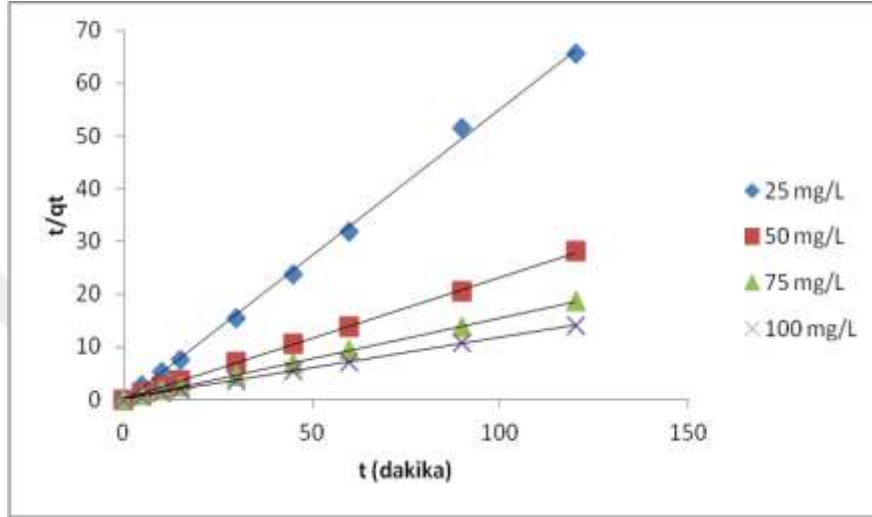


Şekil 5.29. BR18 Yalancı ikinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)

Tablo 5.6. AR42 İçin Yalancı İkinci Derece Kinetik Model Hesaplamalar

Başlangıç boya	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> )	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> )	$k_2$ (g mg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
----------------	-----------------------------	-----------------------------	---	----------------

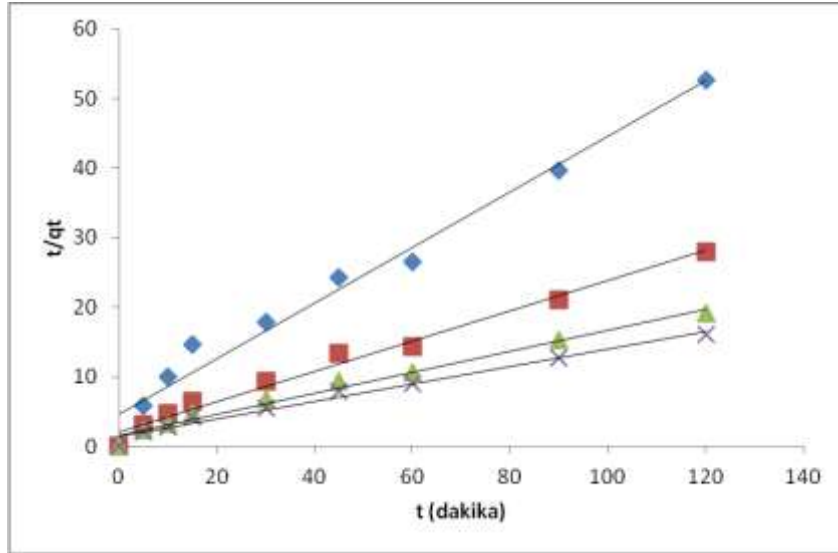
konsantrasyonu (mg/L)	(deneysel)	(hesaplanan)		
25	2,1997	1,976	0,476	0,9983
50	4,6026	4,310	1,264	0,9997
75	7,0117	6,489	0,938	0,9998
100	8,6926	8,605	0,099	0,9996



Şekil 5.30. AR42 Yalancı ikinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)

Tablo 5.7. RR45 İçin Yalancı İkinci Derece Kinetik Model Hesaplamalar

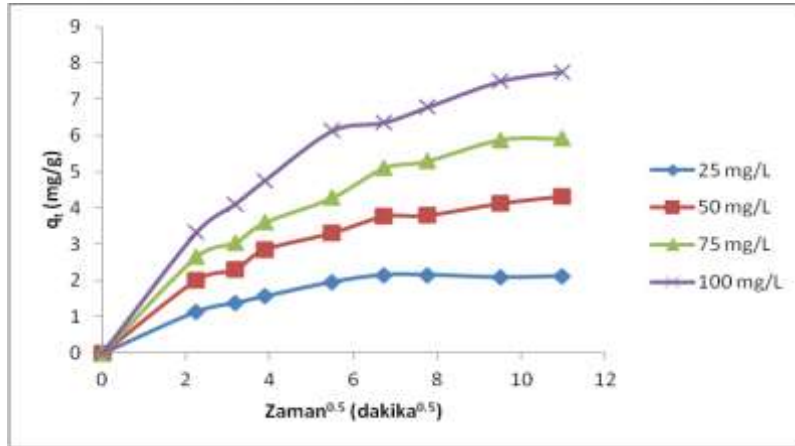
Başlangıç boya konsantrasyonu (mg/L)	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> ) (deneysel)	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> ) (hesaplanan)	$k_2$ (g mg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	$R^2$
25	2,184	2,281	0,185	0,9778
50	4,6755	4,532	0,473	0,9854
75	7,1426	6,785	0,938	0,9851
100	9,6013	9,039	0,099	0,9832



Şekil 5.31. RR45 Yalancı ikinci dereceden hız grafiği (W=5 g, pH=2, V=500 mL, T= 25°C)

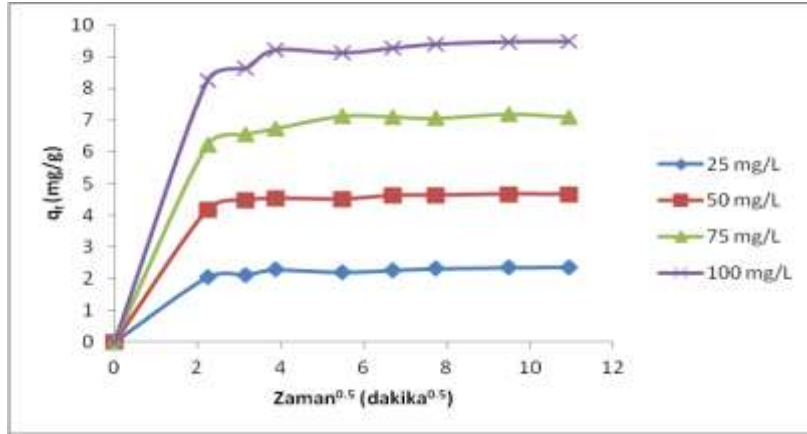
#### 5.4.4. Parçacık İçi Difüzyon (Weber-Morris) Modeli

Parçacık içi difüzyon (Weber-Morris) modeli  $q_t$ 'nin  $\sqrt{t}$ 'ye karşı grafiği çizilerek elde edilmiştir. Boyar maddelerin AFKA tarafından adsorpsiyonunda başlangıç boyar madde derişimi arttıkça parçacık içi difüzyon hız katsayısının da arttığı bulunmuştur.

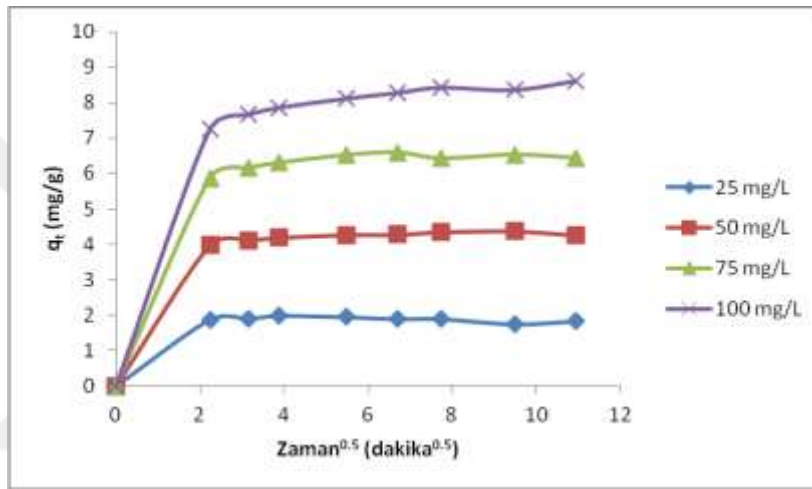


Şekil 5.32. Parçacık İçi Difüzyon Etkisi (AFKA-RBBR)

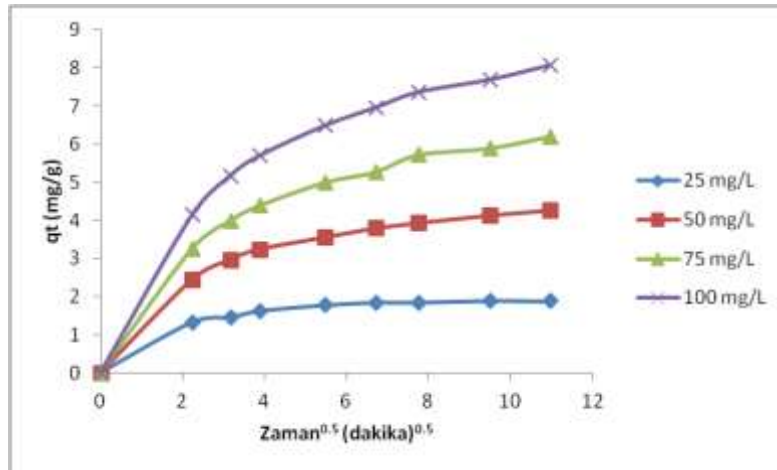




Şekil 5.33. Parçacık İçi Difüzyon Etkisi (AFKA-BR18)



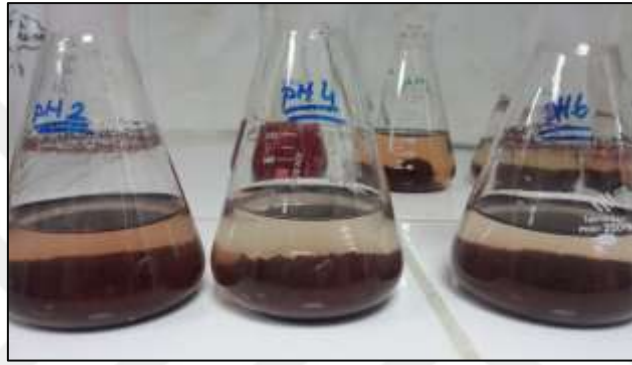
Şekil 5.34. Parçacık İçi Difüzyon Etkisi (AFKA-AR42)



Şekil 5.35. Parçacık İçi Difüzyon Etkisi (AFKA-RR45)

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

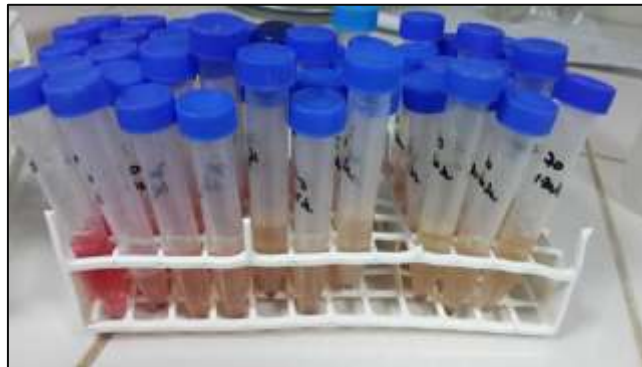
1. AFKA'nın AR42, BR18, RBBR ve RR45 boyar maddelerini adsorplama kapasiteleri incelenmiş olup, AFKA'nın düşük maliyetli ve etkili bir adsorban olduğu belirlenmiştir.
2. Çalışmada pH'nın etkisi araştırılmıştır. RBBR, RR45 ve AR42 boyar maddeleri için AFKA'nın adsorpsiyon kapasitesi pH 2'de en yüksek olduğu tespit edilmiştir. RBBR, RR45 ve AR42 için pH 2'nin, BR18 için de adsorpsiyon kapasitesinin pH 4'de en fazla olduğu tespit edilmiş bununla birlikte adsorpsiyon çözeltisinin orijinal pH'ı 6'ya yakın olduğundan BR18 pH 6'da çalışılmıştır. Çözeltilere ait çalışmalar Şekil 6.1., 6.2., 6.3. ve 6.4.'de verilmiştir.



Şekil 6.1. pH'nın Etkisi (BR18)



Şekil 6.2. pH'nın Etkisi (RBBR)



Şekil 6.3. pH'nın Etkisi (RR45)



**Şekil 6.4.** pH'ın Etkisi (AR42)

3. RBBR için adsorban dozu 2,5 g'dan 7,5 g'a yükseldiğinde giderim yüzdesinin % 74,78'den % 91,075'e; RR45 için 2,5 g'dan 6,25 g'a yükseldiğinde giderim yüzdesinin %76,024'ten %87,034'de yükseldiği gözlemlenmiştir. BR18 için 2,5 g'dan 7,5 g'a yükseldiğinde giderim yüzdesinin %93,964'den %88,192'ye düştüğü; AR42 için 3,75 g'dan 5 g'a yükseldiğinde giderim yüzdesinin %90,234'ten %87,444'de düştüğü belirlenmiştir. Sonuçlara örnek olarak adsorban madde miktarı optimizasyonu (BR18) Şekil 6.5.'da verilmiştir.

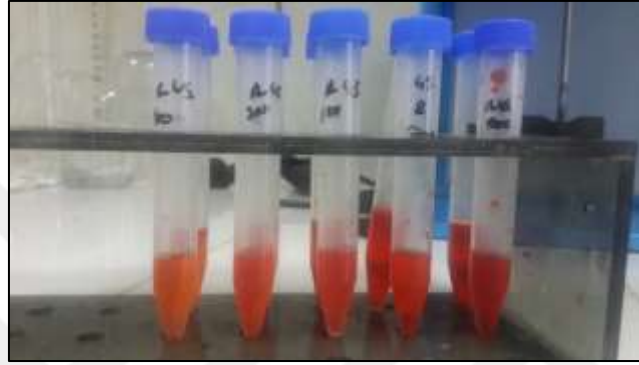


**Şekil 6.5.** Adsorban madde miktarı optimizasyonu (BR18)

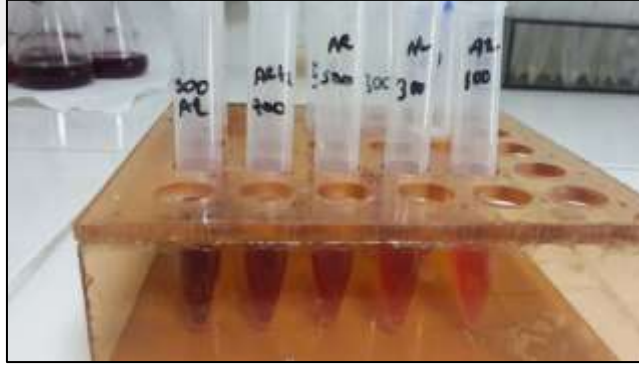
4. Başlangıç boyar madde optimizasyonunda RBBR için 300 mg/L'den itibaren, RR45 700 mg/L'den, AR42 için 1300 mg/L'den, BR18 için 1700 mg/L'den itibaren sistemin dengeye ulaştığı tespit edilmiştir. Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi Şekil 6.6., 6.7., 6.8. ve 6.9.'de verilmiştir.



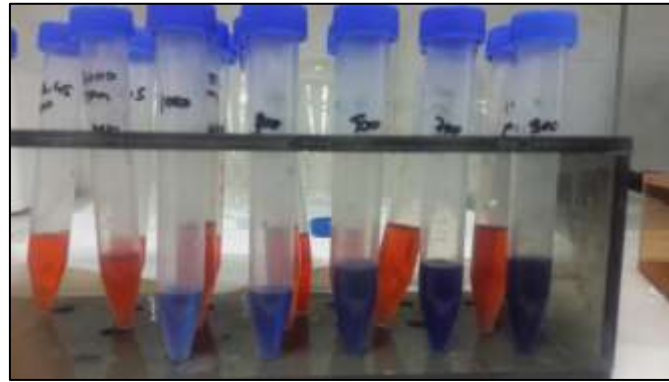
Şekil 6.6. Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi (BR18)



Şekil 6.7. Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi (RR45)



Şekil 6.8. Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi (AR42)



Şekil 6.9. Başlangıç boya konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi (RBRR)

5. Çalışmada Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri denenmiş, RBBR, RR45 ve AR42 boyar maddelerinin AFKA üzerine adsorpsiyonunda adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 16,739 mg/g, 35,336 mg/g ve 85,641 mg/g olarak hesaplanmıştır. BR18 ve RR45 boyar maddelerinin AFKA üzerine adsorpsiyonunda izoterm modelinin Freundlich izoterm modeline; RBBR ve AR42 ise Langmuir izoterm modeline uygun olduğu görülmüştür.
6. RBBR, RR45, AR42 ve BR18 boyar maddelerinin AFKA üzerine adsorpsiyonunun hızları yalancı ikinci dereceden hız denkleminde uyduğu görülmüştür.

Tezin aşağıda belirtilen öneriler kapsamında geliştirilmesi mümkün olabileceği düşünülmektedir:

- i. Farklı türde boyar maddeler kullanılabilir.
- ii. Farklı sıcaklıkların etkileri araştırılabilir.
- iii. Farklı karıştırma hızları denenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1]. 2011 Yılı Antep fıstığı Raporu (2012). T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı, Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [2]. Ertürk, Y.E., Geçer, M.K., Gülsoy, E., Yalçın, S. (2015). Antepfıstığı Üretimi ve Pazarlaması. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech. 5(2), 43-62.
- [3]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK).2015.  
[http://tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT\\_ID=0&KITAP\\_ID=208](http://tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT_ID=0&KITAP_ID=208) (16.10.2016).
- [4]. Tekin, H., Arpacı, S., Atlı, H. S., Açar, İ., Karadağ, S., Yükçeken, Y. ve Yaman, A. (2001). Antepfıstığı Yetiştiriciliği. Antepfıstığı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. Gaziantep. 13, 132 s.
- [5]. Antep fıstığı yetiştiriciliği (2010). Milli Eğitim Bakanlığı. Ankara.
- [6]. Grace, M.H., Debora, Esposito, Michael, A. Timmers, Jia Xiong, Gad Yousef, Slavko Komarnytsky, Mary Ann Lila. (2016). Chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory properties of pistachio hull extracts. Food Chemistry, 210, 85–95.
- [7]. Açıklın, K., Karaca, F., Bolat, E. (2012). Pyrolysis of pistachio shell: Effects of pyrolysis conditions and analysis of products. Fuel, 95, 169–177.
- [8]. Barreca, D., Laganà, G., Leuzzi U., Smeriglio A., Trombetta D., Bellocco E. (2016). Evaluation of the nutraceutical, antioxidant and cytoprotective properties of ripe pistachio (*Pistacia vera* L., variety Bronte) hulls. Food Chemistry, 196, 493– 502.
- [9]. Zare-Khormizi, M. (2012). Application of Factorial Design for Adsorption of Thallium(III) Ion from Aqueous Solutions by Pistachio Hull. Indian Journal of Chemical Technology, 19(1), 48-51.
- [10]. Biglari, H., Javan, N., Khosravi, R., Zarei, A. (2016). Direct Blue 71 Removal from Aqueous Solutions by Adsorption on Pistachio Hull Waste: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. Iranian Journal of Health Sciences, 4(2), 55-70.
- [11]. Rafiee, Z., Barzegar, M., Sahari, M.A., Maherani, B. (2017). Nanoliposomal carriers for improvement the bioavailability of high – valued phenolic compounds of pistachio green hull extract. Food Chemistry, 220, 115–122.
- [12]. Kocaer, F.O., Alkan, U. (2002). Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1.
- [13]. Savcı,S. (2005). Blue 41 Boyar maddesinin Canlı ve İnaktif Sucul Bitki *Myriophyllum Spicatum* Tarafından Adsorplanabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [14]. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 25687, 16.10.2016.

- [15]. Adegoke, K.A., Bello, O.S. (2015). Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents, 12, 8-24.
- [16]. Mittal, A., Kurup (Krishnan), L., Gupta, V. K. (2005). Use of waste materials-Bottom Ash and De-Oiled Soya, as potential adsorbents for the removal of Amaranth from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, B117, 171–178.
- [17]. Intra deo mall, Srivastaga, V.C., Agarwal, N. K., Mishara, I. V. (2005). Adsorptive Removal of Malachite Green Dye From Aqueous Solution By Bagasse Fly Ash and Activated Carbon Kinetic Study And Equilibrium Isotherm Analyses. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*.
- [18]. Özer, A. (2004). Mersin Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adsorpsiyon Kinetikleri Ders Notları.
- [19]. Akkaya, G. (2012). Sulu Çözeltiden Bazı Boyar madde ve Ağır Metallerin Adsorpsiyonu için Çeşitli Bitkisel Atıklardan Yeni Tür Biyosorplayıcılar Hazırlanması ve Karakterize Edilmesi, Doktora Tezi, Diyarbakır.
- [20]. Demirbaş, C. (2013). Kurutulmuş ve Asidik Hidrolize Uğratılmış Portakal Posalarının Anyonik ve Katyonik Boyar maddelerin Adsorpsiyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [21]. Liu, C.H., Wu, J.S., Chiu, H.C., Suen, S.Y., Chu, K.H. (2007). Removal of anionic reactive dyes from water using anion exchange membranes as adsorbents. *Water Res.* 41, 1491–1500.
- [22]. Raghu, S., Ahmed Basha, C. (2007). Chemical or electrochemical techniques, followed by ion exchange, for recycle of textile dye wastewater. *J. Hazard. Mater.* 149, 324–330.
- [23]. Wu, J.S., Liu, C.H., Chu, K.H., Suen, S.Y. (2008). Removal of cationic dye methylviolet 2B from water by cation exchange membranes. *J. Membr. Sci.* 309, 239–245
- [24]. Greg, S.J., Sing, K.S.W. (1982). *Adsorption. Surface Area and Porosity*. 2 nd ed. Academic Press, London.
- [25]. Gürten. İ. I. (2008). Çay atığından adsorban üretimi ve üretilen adsorbanın adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi. Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- [26]. Dubinin, M.M., Gregg, S.J., Sing, K.S.W., Stoeckli, H.F. (1979). *In Characterisation of Porous Solids*. Society of Chemical Industry.
- [27]. Ho, Y.S., McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochem.*, 34, 451- 465.
- [28]. Sawyer, C.N., Mccarty P.L. (1978). *Chemistry For Environmental Engineering*. McGraw Hill Inc. Singapore, 519s.

- [29]. Filiz, E. (2007). Doğal Kaynaklardan Elde Edilen Adsorbanlarla Sularda Ağır Metal Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [30]. McKay, G. (1996). Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters, CRC Press, USA.
- [31]. Aksu, Z., Yener, J. (2001). A Comparative Adsorption/Biosorption Study Of Mono-Chlorinated Phenols Onto Various Sorbents. Waste Management, 21, 695-702.
- [32]. Başbüyük, M., Forster, C.F. (1997). An Examination Of The Treatability Of A Simulated Textile Wastewater Containing Maxilon Red BL-N. Process Biochemistry, 32(6):523-527.
- [33]. Benefield, L.D., Judkins, J.F., Weand B.L. (1982). Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- [34]. Chiou, M.S., Ya-Li, H. (2002). Equilibrium and Kinetic Modeling of Adsorption of Reactive Dye on Cross-Linked Chitosan Beads. Journal of Hazardous Materials, B93:233-248.
- [35]. Metcalf, L., Eddy H.P. (2003). Waste Water Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill, New York, USA, 1819p.
- [36]. Tosun, İ. (2009). Alünit-Potasyum Klorür Karışımı Termal Bozunma Ürünün Sulu Çözeltilerden Boya ve Fosfat Gideriminde Kullanılabilirliği. Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [37]. Kocabaş, B. (2015). Yumurta Kabuğu-Kitosan Modifiye Ürünü Kullanılarak Atıksulardan Brilliant Blue R Boyar maddesinin Adsorpsiyon Yöntemi İle Gideriminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- [38]. Tünay, O., Kabdaşlı. (1996). I. Fiziksel Kimya, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, 168s.
- [39]. Nollet, H., Roels, M., Lutgen, P., Van der Meeren, P., Verstraete, W. (2003). Removal Of PCBs From Wastewater Using Fly Ash. Chemosphere, 53, 655-665.
- [40]. Dakiky, M., Khamis, M., Manassra, A., Mereb, M. (2002). Selective Adsorption Of Chromium(VI) In Industrial Wastewater Using Low-Cost Abundantly Available Adsorbents. Advances in Environ. Res., 6, 533-540.
- [41]. Acemioğlu, B., Alma, M.H. (2001). Equilibrium studies on adsorption of Cu (II) from aqueous solution onto cellulose. Journal of Colloid and Interface Science, 243, 81-84.
- [42]. Acemioğlu, B. (2004). Adsorption of congo red from aqueous solution onto calcium-rich fly ash. Journal of Colloid and Interface Science, 274, 371-379.
- [43]. Acemioğlu, B. (2004). Removal of Fe (II) ions from aqueous solution by calabrian pine bark wastes. Bioresource Technology, 93, 99-102.



- [44]. Acemioğlu, B., Alma, M.H. (2004). Removal of Cu (II) from Aqueous Solution by Calabrian Pine Bark Wastes. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13, 585-590.
- [45]. Acemioğlu, B., Alma, M.H., Bilir, M.H., Sakalar, N. (2010). Adsorption of Basic Red 2 onto Peanut Shell. Batch and Column Studies. *Asian Journal of Chemistry*, 22, 5649-5662.
- [46]. Özdemir, U., Al, G. (2012). Çevre Korunmasında Atığın Atıkla Giderilmesi Prensipleri, 1, 4.
- [47]. Özacar, M., Şengil, İ.A. (2005). Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust, *Bioresour. Technol.*, 96(7), 791-795.
- [48]. Annadurai G., Juang R.-S., Lee D.-J. (2002). Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 92, 263-274.
- [49]. Chandrasekhar S., Pramada P.N. (2006). Rice husk ash as an adsorbent for methylene blue-effect of ashing temperature, *Adsorption*, 12, 27-43.
- [50]. Marshall, W.E., Champagne, E.T., Evans, W.J. (1993). Use of Rice Milling by Products (Hulls and Bran) to Remove Metal Ions from Aqueous Solution. *J. Environ. Sci. Health*, 28, 1977-1982.
- [51]. Roy, D., Greencaw, P.N., Shane, B.S. (1993). Adsorption of Heavy Metals by Green Algae and Ground Rice Hulls. *J. Environ. Sci., Health*, 28, 37-50.
- [52]. Nawar, S.S., Dona, H.S. (1989). Removal of Dyes from Effluents Using Low-cost Agricultural By-products. *The Science of the Total Environment*, 79, 271-279.
- [53]. Suemitsu, R., Venishi, R., Akashi, I., Nakona, M. (1986). The Use of Dye-stuff Treated Rice for Removal of Heavy Metals from Waste Water. *Journal of Applied Polymer Science*, 31, 75-85.
- [54]. Tanyıldızı, M.Ş., Altundoğan, H.S. (2017). Sitrik Asitle Modifiye Edilmiş Çam Kozalağıyla Katyonik Boya Giderimi. *Fırat Üniv. Fen BilimLeri Dergisi*, 29(1), 1-8.
- [55]. Sen, T.K., Afroze, S., Ang, H.M. (2011). Equilibrium, kinetics and mechanism of removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pine cone biomass of *Pinus radiata*. *Water Air Soil Pollut*, 218, 499-515.
- [56]. Dawood S, Sen, T.K. (2013). Removal of anionic dye Congo red from aqueous solution by raw pine and acid-treated pine cone powder as adsorbent: Equilibrium, thermodynamic, kinetics, mechanism and process design. *Water Research*, 46, 1933-1946.
- [57]. Bouzaida, I., Rammah M.B. (2002). Adsorption of acid dyes on treated cotton in a continuous system. *Material Science and Engineering*, 21, 151-155.
- [58]. Annadurai, G., Juang, R.S., Lee D.J. (2002). Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 92, 263-274.
- [59]. Uslu, A.B., Elbağlı, O.G. , Yakup Şenc, Y. , Uzunoğlu, D. , Özere, A. (2011). Acid Blue 121 Boyar maddesinin Muz Kabuğuna Kesikli Sistemde Adsorpsiyonunun Araştırılması. Mersin Üniversitesi, Mersin.

- [60]. Arami M., Limaee N.Y., Mahmoodi N.M., Tabrizi N.S. (2006). Equilibrium and kinetics studies for the adsorption of direct and acid dyes from aqueous solution by soy meal hull. *Journal of Hazardous Materials*, 135, 171–179.
- [61]. Figueiredo, S.A., Boaventura, R.A., Loureiro, J.M. (2000). Color removal with natural adsorbents: modeling, simulation and experimental. *Separation and Purification Technology*, 20, 129–141.
- [62]. Sun, G., Xu, X. (1997). Sunflower stalk as adsorbents for color removal from textile wastewater. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 36, 808–812.
- [63]. Netpradit, S., Thiravetyan, P., Towprayoon, S. (2003). Application of 'waste' metal hydroxide sludge for adsorption of azo reactive dyes. *Water Research*, 37, 763–772.
- [64]. Doulati Ardejani, F., Badii, K., Limaee, N.Y., Shafaei, S.Z., Mirhabibi, A.R. (2008). Adsorption of Direct Red 80 dye from aqueous solution onto almond shells: effect of pH, initial concentration and shell type. *Journal of Hazardous Materials*, 151, 730–737.
- [65]. Kargi F., Ozmihci S. (2004). Biosorption performance of powdered activated sludge for removal of different dyestuffs, *Enzyme and Microbial Technology*, 35, 267–271.
- [66]. Namasivayam, C., Yamuna, R.T. (1995). Adsorption of direct red 12B by biogas residual slurry equilibrium and rate processes. *Environmental Pollution*, 89, 1–7.
- [67]. Oliveira, L.C.A., Goncalves, M., Oliveira, D.Q.L., Guerreiro M.C., Guilherme L.R.G., Dallago R.M. (2007). Solid waste from leather industry as adsorbent of organic dyes in aqueous medium. *Journal of Hazardous Materials*, 141, 344–347.
- [68]. Chou K.S., Tsai J.C., Lo C.T. (2001). The adsorption of Congo red and vacuum pump oil by rice hull ash. *Bioresource Technology*, 78, 217–219.
- [69]. Hasnain Isa, M., Siew Lang, L., Asaari, F.A.H., Aziz, H.A., Azam RamLi, N., Dhas, J.P.A. (2007). Low cost removal of disperse dyes from aqueous solution using palm ash. *Dyes and Pigments*, 74, 446–453.
- [70]. Şencan, A. (2011). Fındık Kabuğu ve Fındık Kabuğundan Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Aktif Karbonun Kurşun(II) Sorpsiyon Potansiyelinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- [71]. Salman, J. M., V. O. Njoku, and B. H. Hameed. (2011). Adsorption of pesticides from aqueous solution onto banana stalk activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 41–4.
- [72]. Kestioğlu, K., Yalılı, M., (2006). Yüksek KOİ İçerikli Tekstil Atık Sularının Kimyasal Çökeltim ve Adsorpsiyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliği. *Ekoloji*, 59, 27–31.
- [73]. Correia, V.M., Stephenson, T., Judd, S.J. (1994). Characterization of Textile Wastewaters—a review. *Environmental Technology*, 15, 917–929.
- [74]. Işık, M., Sponza, D. (2001). Tekstil Atıksularının Oluşumu, Karakterizasyonu ve Arıtım Yöntemleri. IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Bodrum.

- [75]. <http://www.csb.gov.tr/db/cygm/editorodosya/artesopyonelkitabi.pdf>(21.10.2017).
- [76]. Kocaer, F.O., Alkan, U. (2002). Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,7(1).
- [77]. Deniz, F., Karaman, S. (2014). Pinus brutia Ten. (Kızılcım) Kozalak ve Yaprak Biyomasının Boya Biyosorpsiyon/Desorpsiyon Potansiyeli. KSÜ Doğa Bil. Derg., 17(3).
- [78]. Zollinger, H., 1991. Color Chemistry VCH, Weinheim, Germany, 496s.
- [79]. O'Neill, C., Lopez, A., Esteves, S., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., Wilcox, S. (2000). Azo-dye degradation in an anaerobic-aerobic treatment system operating on simulated textile effluent. Applied Microbiology Biotechnology, 53, 249-254.
- [80]. Başer, İ., İnanıcı, Y. (1990). Boyar madde Kimyası, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları No:482, İstanbul, 214s.
- [81]. Al-Degs, Y., Khraisheh, M.A.M., Allen, S.J, Ahmad, M.N. (2000). Effect of Carbon Surface Chemistry on the Removal of Reactive Dyes From Textile Effluent. Water Research, 34 (3), 927-935.
- [82]. Özcan, Y. (1978). Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 460.
- [83]. Aksu, Z., Tezer, S. (2005). Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. Process Biochemistry, 40, 1347-1361.
- [84]. Fu, L.Y., Wen, X., Xu, L., Qian, Y. (2001). Removal of copper-phthalocyanine dye from wastewater by acclimated sludge under anaerobic or aerobic conditions. Process Biochemistry, 37, 151-1156.
- [85]. Eren, Z. (2002). Tekstil boyar maddesi içeren sulu ortamdan renk giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [86]. Öztürk, M. (2004). Pamuklu örme kumaşların reaktif boyalarla boyanması", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [87]. <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/9207/1/2330.pdf>(21.10.2017).
- [88]. Choi, Y.S., Cho, J.H. (1996). Color Removal From Dye Wastewater Using Vermiculite. Environmental Technology, 17, 1169-1180.
- [89]. Asfour, H.M., Nassar, M.M., Fadali, O.A., El-Geundi, M.S. (1985). Color Removal From Textile Effluents Using Hardwood Sawdust as an Adsorbent. J. Chem. Tech. Biotechnol., 35, 28-35.
- [90]. Daniş, Ü., Gürses, A., Canpolat, N. (1998). Removal of Some Azo Dyes From Wastewater Using PAC as Adsorbent. 1st International Workshop on Environmental Quality And Environmental Engineering In The Middle East Region, 559-569.
- [91]. Kapdan, I.K., Kargı, F., Mc Mullan, G., Marchant, R. (2000). Decolorization of Textile Dye-stuffs by a Mixed Bacterial Consortium. Biotechnology Letters, 22(14), 1179-1181.

- [92]. Gül, R. (1989). Adsorpsiyon Olayı İle Katyon Değişirme Kapasitesi (KDK) Arasındaki İlişki, IV. Ulusal Kil Sempozyumu , 195-202, Sivas.
- [93]. Cing, S. (2001). Tekstil Boyalarının Renginin Giderilminde Mikroorganizma Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [94]. Chuah, T.G., Jumariah, A., Azni, I., Katayon, S., Thomas Choong S.Y. (2005). Rice husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: an overview. *Desalination*, 175, 305–316.
- [95]. Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment Technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- [96]. Naumczyk, J., Szyprkiewicz, L., Zilio-Grandi, F. (1996). Electrochemical treatment of textile wastewaters, *Water Science and Technology*, 40, 425-433.
- [97]. Kuo, W.G. (1992). Decolorizing Dye Wastewater With Fentons Reagent. *Water Res.* 26(7), 881-886.
- [98]. Banat, I. M., Nigam, P., Singh, D., Marchant, R. (1996). Microbial Decolorization of Textile-Dye-Containing Effluents. A Review, *Biosource Technology*, 58(3), 217-227.
- [99]. Mittal, A., Kurup (Krishnan), L., Gupta, V. K., 2005. Use of waste materials-Bottom Ash and De-Oiled Soya, as potential adsorbents for the removal of Amaranth from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, B117:171–178.
- [100]. Intra deo mall, Srivastaga, V.C., Agarwal, N. K., Mishara, I. V. (2005). Adsorptive Removal of Malachite Green Dye From Aqueous Solution By Bagasse Fly Ash and Activated Carbon Kinetic Study And Equilibrium Isotherm Analyses. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*.
- [101]. Kumar, K. V., Sivanesan, S., Ramamurthi, V. (2005). Adsorption of malachite green onto *Pithophora* sp., a fresh water algae: Equilibrium and kinetic modelling. *Process Biochemistry*, 40, 2865-2872.
- [102]. Baek, M. H., Ijagbemi, C. O., Se-Jin, O., Dong-Su, K. 2010. Removal of Malachite Green from aqueous solution using degreased coffee bean. *Journal of Hazardous Materials*, 176, 820-828.
- [103]. Ho, YS. 2006. Isotherms for the sorption of lead onto peat: comparison of linear and non-linear methods. *Polish Journal of Environmental Study*, 15, 81–6.
- [104]. Moussavi, G., Khosravi, R. (2011). The removal of cationic dyes from aqueous solutions by adsorption onto pistachio hull waste. *Chem. Eng. Res. Des.*, 89, 2182–2189.
- [105]. Moussavi, G., Barikbin, B. (2010). Biosorption of chromium(VI) from industrial wastewater onto pistachio hull waste biomass. *Chem. Eng. J.* 162, 893–900.
- [106]. Bazrafshan, E., Mostafapour, FK., Mahvi, AH. (2014). Decolorization of reactive red 198 by adsorption onto ZnCl<sub>2</sub> activated pistachio hull wastes. *Int J Env Health Eng* 3(7),38-45.

- [107]. Moussavi, G., Khosravi, R. (2010). Removal of cyanide from wastewater by adsorption onto pistachio hull wastes: Parametric experiments, kinetics and equilibrium analysis. *J. Hazard. Mater.*, 183, 724-730.
- [108]. Ali, S., Meysam, Z.K. (2012). Application of factorial design for adsorption of thallium(III) ion from aqueous solutions by pistachio hull. *Indian Journal of Chemical Technology (IJCT)*, 19(1), 48-51.
- [109]. Sigma- Aldrich (09 Aralık 2016).  
<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/r8001?lang=en&region=TR>.
- [110]. dye|World dye variety (09 Aralık 2016). <http://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-red-45.html>.
- [111]. dye|World dye variety (09 Aralık 2016). <http://www.worlddyevariety.com/basic-dyes/basic-red-18.html>.
- [112]. dye|World dye variety (09 Aralık 2016). <http://www.worlddyevariety.com/acid-dyes/acid-red-42.html>.
- [113]. Elkady, M.F., İbrahim, A.M., Abd El-Latif, M.M. (2011). Assessment of the adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic for the potential removal of reactivated dye using egg shell biocomposite beads. *Desalination*, 412-423.
- [114]. FTIR (31.10.2017),  
[http://www.acikders.org.tr/pluginfile.AFKA/1108/mod\\_resource/content/0/konu11.pdf](http://www.acikders.org.tr/pluginfile.AFKA/1108/mod_resource/content/0/konu11.pdf).
- [115]. Biglari, H., Javan, N., Khosravi, R., Zarei, A. (2016). Direct Blue 71 Removal from Aqueous Solutions by Adsorption on Pistachio Hull Waste: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Iranian Journal of Health Sciences*, 4(2), 55-70.
- [116]. Palamthodi, S., Lele, S.S. (2016). Optimization and evaluation of reactive dye adsorption on bottle gourd peel. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4299-4309.
- [117]. Deniz, F., Saygideger, S.D. (2011). Basic Red 46 boyasının sulu çözeltiden çam ağacı yaprakları ile giderilmesi, 170,67-74.
- [118]. Silva, T.L., Ronix, A., Pezoti, O., Souza, L.S., Leandro, P.K.T., Bedin, K.C., Beltrame, K.K., Cazetta, A.L., Almeida, V.C. (2016). Mesoporous activated carbon from industrial laundry sewage sludge: Adsorption studies of reactive dye Remazol Brilliant Blue R. *Chemical Engineering Journal*, 467-476.
- [119]. Konicki, W., Hełminiak, A., Arabczyk, W., Mijowska, E. (2017). Removal of anionic dyes using magnetic Fe@graphitecore-shell nanocomposite as an adsorbent from aqueous solutions, *Journal of Colloid and Interface Science*, p. 155-164.
- [120]. Lakshmi, U.R., Srivastava, V.C., Mall, I.D., Lataye, D.H. (2009). Rice huskash as an effective adsorbent: evaluation of adsorptive characteristics for Indigo Carmine dye, *J. Environ. Manage*, p. 710-720.

- [121]. Hernández-Montoya, V., Mendoza-Castillo, D.I., Bonilla-Petriciolet, A., MontesMorán, M.A., Pérez-Cruz, M.A. (2011). Role of the pericarp of *Carya illinoensis* as biosorbent and as precursor of activated carbon for the removal of lead and acid blue 25 in aqueous solutions, *J. Anal. Appl. Pyroly.*, p. 143-151.
- [122]. Ergene, A., Ada, K., Tan, S., Katircioğlu, H. (2009). Removal of Remazol Brilliant Blue R dye from aqueous solutions by adsorption onto immobilized *Scenedesmus quadricauda*: Equilibrium and kinetic modeling studies. *Desalination*, 249, 1308-1314.
- [123]. Zhong, ZY., Yanga, Q., Li, XM., Luo, K., Liua, Y., Zeng, GM. (2012). Preparation of peanut hull-based activated carbon by microwave-induced phosphoric acid activation and its application in Remazol Brilliant Blue R adsorption. *Industrial Crops and Products*, 37, 178-185.
- [124]. Azmier Ahmad, M., Ahmad, N., Solomon Bello, O. (2015). Adsorption Kinetic Studies for the Removal of Synthetic Dye Using Durian Seed Activated Carbon", *Journal of Dispersion Science and Technology*, 36, 670-684.
- [125]. Robinson T., Chandran, B., Nigam P. (2002). Removal of Dyes From A Synthetic Textile Dye Effluent By Biosorption on Apple Pomace and Wheat Straw, *Water Research* 36, 2824-2830.

## ÖZGEÇMİŞ

ZEYNEP KARAMAN



Adres: Güneykent Aşıkveysel Cad. No:10 Kat:2/3

33240 Toroslar-Mersin

E-Posta: [zeynep.karaman@hotmail.com](mailto:zeynep.karaman@hotmail.com)

GSM: 0553 611 29 39

### Kişisel Bilgiler

Uyruğu: T.C.  
Doğum Yeri: Amasya  
Doğum Tarihi: 23/08/1986  
Medeni Durum: Bekar  
Sürücü Belgesi: B sürücü belgesi

### Eğitim

2015-2017 Mersin Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü / Mühendislik Fakültesi  
Çevre Mühendisliği Bölümü / Yüksek Lisans  
2012-2015 Mersin Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi  
Çevre Mühendisliği  
2011-2012 Niğde Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi  
Çevre Mühendisliği  
2007-2009 Süleyman Demirel Üniversitesi/ Senirkent Meslek Yüksek Okulu  
Bilgisayar Teknolojisi ve Programlama  
2000-2003 Cemile Hamdi Oğun Lisesi  
Fen Bilimleri

### Deneyim

Greentech Arıtma, Çevre Mühendisi (2017)  
Aren Teknoloji, Proje Yöneticisi, Web Sitesi ön yüz tasarımı (2010-2011)  
Arhan Bilgi Teknolojisi, Web Sitesi ön yüz tasarımı, veri tabanı, veri girişi , Freelance (2011-2015)

### Staj

Staj, Mersin Anadolu Cam Sanayi Cam Ambalaj

(Temmuz 2014-Ağustos 2014)

Staj, Mersin Su ve Kanalizasyon İdaresi (MESKİ) Genel Müdürlüğü/Merkez Su Analiz Laboratuvarı

(Haziran 2013-Temmuz 2013)

Staj, Isparta- Senirkent Tapu Sicil Müdürlüğü

(Haziran 2009-Eylül 2009)

### Sertifikalar

Çevre Görevlisi

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü - 18.10.2015-20.10.2015

Bilgisayar Destekli 2 Boyutlu Çizim - AutoCAD

Mezitli Halk Eğitim Merkezi - 06.2017

LPG Otogaz İstasyonları Sorumlu Müdür Eğitimi (3 Gün)

Çevre Mühendisleri Odası Mersin İl Temsilciliği- 05.08.2016-07.08.2016

Veri Tabanı Uzmanı

İşkur Umem Projesi - 25.07.2013-25.02.2014 (8 Saat)

İç Tetkikçi Sertifikası

CPA Danışmanlık - 14.04.2012-16.04.2012(8 Saat)

Bilgisayar İşletmenlik sertifikası

Özel - 02.2008

### Projeler

Toprakta Bazı Pestisitlerin Kalıntı Analizinde Çevre Dostu  $scCO_2$  ve QuEChERS Ekstraksiyon Metodlarının Kullanılması ve Derişimlerinin Karşılaştırmalı Olarak Belirlenmesi - 3001 Tubitak Projesi

Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Organik Atıklarının Vermikompost Üretiminde kullanılması- AP5 - Güdümlü Altyapı Projesi

Antep Fıstığı İşleme Endüstrisinden Kaynaklanan Katı Atıkların Boyar madde Adsorpsiyonunda Kullanım Potansiyelinin Araştırılması, BAP Projesi.

### Yayınlar

Savcı,S.,Karaman,Z.,Yalvaç,M.2017.Reactive Red 45'in Antep Fıstığı Katı Atığı Üzerine Etkili Gideriminin Araştırılması.ULAKBİM.ÇukurovaÜniversitesi,Adana.Baskıda



Savcı S., Yalvaç M., Karaman Z., 2017. Remazol of Remazol Brilliant Blue R (RBBR) from Aqueous Solution Using Natural Adsorbent (Pistachio Hull). I. International Scientific and Vocational Studies Congress. 5-8 October 2017. Ürgüp/Nevşehir.

Yalvaç M., Savcı S., Karaman Z., 2017. Kinetic Studies of Remazol Brillent Blue R Biosorption Onto Pistachio Hull: Ecologycal Engineering Approach. Ecology 2017 11-13 May 2017, Erciyes University, Kayseri, Turkey.

Yalvaç, M., Karaman, Z., Savcı, S., Işık, Z., 2017. Solid Waste Characterization of Mersin University Ciftlikköy Campus. XIII. Congress of Ecology and Environment with International Participation. UKECEK 2017. 12-15 September 2017. Edirne, Turkey.

Yalvaç, M., Işık, Z., Karaman Z., Savcı,S., 2017. Investigation of Vermicompost Production Conditions From Solid Waste of Wood Processing Industrial. XIII. Congress of Ecology and Environment with International Participation. UKECEK 2017. 12-15 September 2017. Edirne, Turkey.

CERTIFICA OF ATTENDANCE - İnternational Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16), Kilis 7 Aralık University, Kilis/Turkey (19-20 Mart 2016)

#### Yabancı Dil Bilgisi

İngilizce : Orta derece

#### Bilgisayar Bilgileri

Ofis ProgramLarı: Microsoft Office; Word, Excel, Powerpoint

Grafik ProgramLarı: Adobe Photoshop, Illustrator, CorelDraw

Çizim ProgramLarı: AutoCAD

#### Referanslar

Nurten Şenzek (Arhan Bilgi Teknolojileri)

Niğde ÜNİVERSİTESİ - Bilgi İşlem Uzmanı

Tel : 0507 750 0363

Greentech Arıtma

Mersin Teknopark- Fatma Sadioğlu Kalaycı-Halil Kalaycı

Tel: 0505 348 3724

Yrd.Doç.Dr. Mutlu YALVAÇ

MERSİN ÜNİVERSİTESİ - Yardımcı Doçent

Tel : 0506 504 1170

Yrd.Doç.Dr. Hüdaverdi Arslan

MERSİN ÜNİVERSİTESİ - Yardımcı Doçent

Tel : 0533 639 2464

Nidem Turan (Mey)

Mey - Kalite Kontrol Sorumlusu

Tel : 0531 886 8833

Zehra KORKMAZ

TMMOB ÇEVRE MÜHENDİSLERİ ODASI- Mersin İl Temsilcisi

Tel : 0542 220 4422

