

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇEVRE DOSTU VE DÜŞÜK MALİYETLİ ADSORBENT  
KULLANILARAK ATIKSULARDAN BOYA GİDERİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ESMA NUR CESUR ÖZCAN**

**DENİZLİ, 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ÇEVRE DOSTU VE DÜŞÜK MALİYETLİ ADSORBENT  
KULLANILARAK ATIKSULARDAN BOYA GİDERİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ESMA NUR CESUR ÖZCAN**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Esmâ Nur CESUR ÖZCAN** tarafından hazırlanan “Çevre Dostu ve Düşük Maliyetli Adsorbent Kullanılarak Atıksulardan Boya Giderimi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 23.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

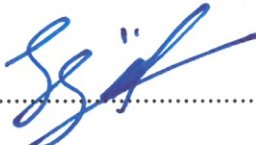
Jüri Üyeleri

İmza

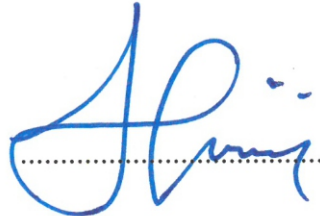
Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Levent GÜREL  
Pamukkale Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ  
Pamukkale Üniversitesi

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi İlknur ŞENTÜRK  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

  
.....  
  
.....  
  
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
10/09/2019 tarih ve 36/27 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**ESMA NUR CESUR ÖZCAN**



## ÖZET

**ÇEVRE DOSTU VE DÜŞÜK MALİYETLİ ADSORBENT  
KULLANILARAK ATIKSULARDAN BOYA GİDERİMİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ESMA NUR CESUR ÖZCAN  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI:DR. ÖĞR. ÜYESİ LEVENT GÜREL)**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

Bu tez çalışması, bir doğal atık olan ayçekirdeği kabuğunun RB 221 (*Reactive Blue 221*) ve Red X-5GN (*Basic Red 14*) boyalarının atıksudan gideriminde potansiyel bir adsorbent olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, adsorpsiyona etki eden pH, başlangıç boya derişimi, adsorbent miktarı ve temas süresi gibi faktörlerin adsorpsiyon kapasitesi ve boya verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalarda Red X-5GN için %92'lik optimum verime pH 4'de, 1 g/100 mL adsorbent dozajında ve 44 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda, RB 221 için ise yine %92'lik optimum verime pH 2'de, 0,4 g/100 mL adsorbent dozajında ve 43 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda ulaşılmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasiteleri incelendiği takdirde ise Red X-5GN boyasında 27,40 mg/g, RB221 boyasında ise 30,58 mg/g değerleri elde edilmiştir. Renk giderim çalışmaları sonucunda elde edilen deneysel verilerin hem Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine hem de yalancı birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden ve partikül içi difüzyon kinetik modellerine uygunluğu değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde Red X-5GN için en uygun izotermin Freundlich olduğu ( $R^2=0,996$ ) ve verilerin yalancı ikinci derece reaksiyon modeline ( $R^2=0,999$ ) uyduğu tespit edilmiştir. RB 221 için ise uygun izoterm modeli Langmuir modeli ( $R^2=0,986$ ) olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu boya için en uygun kinetik model yine yalancı ikinci derece reaksiyon modelidir ( $R^2=0,994$ ). Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, çevre dostu ve ucuz bir adsorbent olan ham ayçekirdeği kabuğu tozunun renk giderim çalışmalarında yüksek giderim verimleri ile kullanılabileceği anlaşılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Atık su, Atık Materyal, Boya Giderimi, Adsorpsiyon

## **ABSTRACT**

### **REMOVAL OF DYE FROM WASTEWATERS USING ECO-FRIENDLY AND LOW COST ADSORBENT**

**MSC THESIS**

**ESMA NUR CESUR ÖZCAN**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:ASSİST. PROF. DR. LEVENT GÜREL)**

**DENİZLİ, AUGUST 2019**

The aim of this thesis is to investigate the usability of sunflower seed husk as a potential adsorbent for RB 221 (Reactive Blue 221) and Red X-5GN (Basic Red 14) removal from wastewater. For this purpose, the effects of factors such as pH, initial dye concentration, adsorbent amount and contact time on adsorption capacity and dye yield were investigated. In these studies, optimum yield of 92% was obtained for Red X-5GN at pH 4, 1 g/100 mL adsorbent dosage and 44 mg/L initial dye concentration, optimum yield of 92% for RB 221 was obtained at pH 2, 0.4 g/100 mL adsorbent dosage and 43 mg/L initial dye concentration. The maximum adsorption capacities for Red X-5GN and RB 221 dyes were found to be 27,40 and 30,58 mg/g, respectively. The suitability of experimental data obtained from color removal studies to both Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm models as well as pseudo first order, pseudo second order and intraparticle diffusion kinetics models were evaluated. The most suitable isotherm model for Red X-5GN was Freundlich ( $R^2=0,996$ ). The experimental data were best fitted to pseudo second order reaction model ( $R^2=0,999$ ). The suitable isotherm model for RB 221 was determined to be Langmuir model ( $R^2=0,986$ ). Furthermore, the most appropriate kinetic model for this dye was once again pseudo second order reaction model ( $R^2=0,994$ ). According to the results obtained in this study, it was understood that raw sunflower seed powder an environmentally friendly and cheap adsorbent could be used in color removal studies with high removal efficiencies.

**KEYWORDS:** Wastewater, Waste Material, Dye Removal, Adsorption

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET.....                                                                | i   |
| ABSTRACT .....                                                           | ii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                        | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                       | vi  |
| TABLO LİSTESİ .....                                                      | ix  |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                                     | x   |
| ÖNSÖZ.....                                                               | xi  |
| 1. GİRİŞ.....                                                            | 1   |
| 2. GENEL BİLGİLER .....                                                  | 3   |
| 2.1    Tekstil Endüstrisi.....                                           | 3   |
| 2.1.1    Tekstil Boyama Atık Suları .....                                | 3   |
| 2.2    Boya ve Boyar Madde .....                                         | 4   |
| 2.2.1    Boyaların Sınıflandırılması.....                                | 4   |
| 2.2.2    Boyar Maddelerin Sınıflandırılması .....                        | 5   |
| Bazık (Katyonik) boyar maddeler .....                                    | 7   |
| Asidik (anyonik) boyar maddeler.....                                     | 8   |
| Direkt boyar maddeler.....                                               | 8   |
| Reaktif boyar maddeler .....                                             | 8   |
| 2.3    Tekstil Endüstrisinde Boya Gideriminde Kullanılan Yöntemler ..... | 10  |
| 2.3.1    Kimyasal Yöntemler .....                                        | 12  |
| İleri Oksidasyon prosesi .....                                           | 13  |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Fe (+2) tuzları (Fenton ayırıcı) .....    | 14  |
| Ozonlama .....                                                           | 14  |
| Fotokimyasal Yöntem .....                                                | 14  |
| Sodyum Hipoklorit (NaOCl).....                                           | 15  |
| Cucurbituril İle Arıtım .....                                            | 15  |
| Elektrokimyasal Yöntem.....                                              | 15  |
| Koagülasyon ve Flokülasyon .....                                         | 16  |
| 2.3.2    Biyolojik Yöntemler .....                                       | 18  |
| Bakteriyel Biyolojik Bozunma.....                                        | 18  |
| Fungal biyolojik bozunma.....                                            | 18  |
| Alg ile Biyolojik Bozunma .....                                          | 18  |
| 2.3.3    Fiziksel Yöntemler.....                                         | 21  |
| Adsorpsiyon .....                                                        | 21  |
| Biyosorpsiyon .....                                                      | 21  |
| Aktif karbon .....                                                       | 22  |
| Turba .....                                                              | 22  |
| Odun talaşı .....                                                        | 22  |
| Uçucu kül ve kömür .....                                                 | 23  |
| Silika jel .....                                                         | 23  |
| Diğer materyaller .....                                                  | 23  |
| Membran Filtrasyon .....                                                 | 23  |

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| İyon Değişimi.....                                                           | 24        |
| Radyasyon .....                                                              | 24        |
| Elektrokinetik Koagülasyon.....                                              | 24        |
| 2.4 Adsorpsiyon.....                                                         | 26        |
| 2.4.1 Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler.....                                  | 27        |
| Adsorbentın Yüzey Alanı.....                                                 | 27        |
| Adsorbentın Yapısı.....                                                      | 27        |
| Adsorbatın Yapısı.....                                                       | 28        |
| Çözelti pH'ı.....                                                            | 28        |
| Sıcaklık 28                                                                  |           |
| Adsorbatın Başlangıç Derişimi .....                                          | 28        |
| Adsorbentın Dozu .....                                                       | 29        |
| 2.4.2 Adsorpsiyon Dengesi Ve İzotermiler.....                                | 29        |
| Langmuir İzotermi .....                                                      | 29        |
| Freundlich İzotermi .....                                                    | 31        |
| Temkin İzoterm Modeli .....                                                  | 31        |
| 2.4.3 Adsorpsiyon Kinetiği.....                                              | 32        |
| Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model.....                                 | 32        |
| Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model .....                                 | 33        |
| Partikül İçi Difüzyon Modeli .....                                           | 33        |
| 2.5 Adsorpsiyon İle Renk Giderimi Üzerine Yapılan Literatür Çalışmaları..... | 34        |
| <b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>                                            | <b>36</b> |
| 3.1 Materyal.....                                                            | 36        |
| 3.1.1 Kullanılan Boyar Maddeler .....                                        | 36        |
| 3.1.2 Kullanılan Adsorbent ve Özellikleri .....                              | 37        |
| 3.2 Deneysel Çalışmalar .....                                                | 38        |
| 3.2.1 Kullanılan Alet ve Teçhizatlar .....                                   | 38        |
| 3.2.2 Adsorbente Uygulanan Ön İşlem:.....                                    | 40        |
| 3.2.3 Boya Çözeltilerinin Hazırlanması.....                                  | 41        |
| 3.2.4 Deneylerin Yapılışı .....                                              | 41        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>                                         | <b>43</b> |
| 4.1 Red X-5GN İçin Dalga Boyu Taraması ve Kalibrasyon Grafiği .....          | 43        |
| 4.2 RB 221 İçin Dalga Boyu Taraması ve Kalibrasyon Grafiği.....              | 44        |
| 4.3 Red X-5GN.....                                                           | 45        |
| 4.3.1 Adsorpsiyona pH'ın Etkisi.....                                         | 45        |
| 4.3.2 Adsorpsiyona Adsorbent Dozajının Etkisi .....                          | 47        |
| 4.3.3 Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi (48 mg/L).....                     | 51        |
| 4.3.4 Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi (97 mg/L).....                     | 53        |
| 4.3.5 Adsorpsiyona Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi.....              | 56        |
| 4.4 Red X-5GN İçin İzoterm Model Uygulamaları .....                          | 59        |
| 4.4.1 Langmuir İzoterm Uygulaması .....                                      | 59        |
| 4.4.2 Freundlich İzoterm Uygulaması .....                                    | 60        |
| 4.4.3 Temkin İzoterm Uygulaması .....                                        | 60        |
| 4.5 Red X-5GN İçin Kinetik Model Uygulamaları (48 mg/L).....                 | 62        |
| 4.5.1 Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model .....                          | 62        |
| 4.5.2 Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model .....                           | 63        |
| 4.5.3 Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model .....               | 64        |
| 4.6 Red X-5GN İçin Kinetik Model Uygulamaları (97 mg/L).....                 | 65        |
| 4.6.1 Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model .....                          | 65        |
| 4.6.2 Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model .....                           | 65        |



|           |                                                              |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.6.3     | Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model .....     | 66        |
| 4.7       | RB 221.....                                                  | 68        |
| 4.7.1     | Adsorpsiyona pH'ın Etkisi.....                               | 68        |
| 4.7.2     | Adsorpsiyona Adsorbent Dozajının Etkisi .....                | 70        |
| 4.7.3     | Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi (43 mg/L).....           | 73        |
| 4.7.4     | Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi (82 mg/L).....           | 76        |
| 4.7.5     | Adsorpsiyona Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi.....    | 78        |
| 4.8       | RB (Reactive Blue) 221 İçin İzoterm Model Uygulamaları ..... | 81        |
| 4.8.1     | Langmuir İzoterm Uygulaması .....                            | 81        |
| 4.8.2     | Freundlich İzoterm Uygulaması .....                          | 81        |
| 4.8.3     | Temkin İzoterm Uygulaması .....                              | 82        |
| 4.9       | RB 221 İçin Kinetik Model Uygulamaları (43 mg/L).....        | 84        |
| 4.9.1     | Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model .....                | 84        |
| 4.9.2     | Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model .....                 | 85        |
| 4.9.3     | Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model .....     | 85        |
| 4.10      | RB 221 İçin Kinetik Model Uygulamaları (82 mg/L).....        | 86        |
| 4.10.1    | Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model .....                | 86        |
| 4.10.2    | Yalancı ikinci Dereceden Kinetik Model .....                 | 86        |
| 4.10.3    | Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model .....     | 87        |
| <b>5.</b> | <b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                               | <b>89</b> |
| <b>6.</b> | <b>KAYNAKLAR.....</b>                                        | <b>91</b> |
| <b>7.</b> | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                         | <b>98</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Geleneksel atık su arıtma sistemi.....                                                                                                        | 12 |
| Şekil 3.1: Red X-5GN.....                                                                                                                                | 36 |
| Şekil 3.2: RB 221.....                                                                                                                                   | 37 |
| Şekil 3.3: Deneylerde Kullanılan Çekirdek Kabukları.....                                                                                                 | 37 |
| Şekil 3.4: Santrifüj Cihazı (b) Çalkalayıcı İnkübatör (c) pH Metre (d) Manyetik Karıştırıcı (e) Hassas Terazî (f) Spektrofotometre .....                 | 38 |
| Şekil 3.5: (a) Ayçekirdeği kabuklarının yıkanarak kurutulmak üzere alüminyum folyoya serilmesi (b) Ayçekirdeği kabuklarının etüvde kurutulması.....      | 40 |
| Şekil 3.6: (a) Ayçekirdeği kabuklarının elenmesinde kullanılan elekler (b) Öğütülmüş ve elenmiş ayçekirdeği kabuklarının boyutlarına göre ayrılması..... | 41 |
| Şekil 4.1: Dalga Boyu Taraması (Red X-5GN).....                                                                                                          | 43 |
| Şekil 4.2: Kalibrasyon Eğrisi (Red X-5GN) .....                                                                                                          | 43 |
| Şekil 4.3: Dalga Boyu Taraması (RB 221).....                                                                                                             | 44 |
| Şekil 4.4: Kalibrasyon Grafiği (RB 221).....                                                                                                             | 44 |
| Şekil 4.5: Adsorpsiyona pH'ın etkisi deneyi.....                                                                                                         | 45 |
| Şekil 4.6: Uygulanan pH'a göre Red X-5GN için elde edilen verim grafiği                                                                                  | 46 |
| Şekil 4.7: Uygulanan pH'a göre Red X-5GN için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....                                                       | 46 |
| Şekil 4.8: Uygulanan pH'a göre Red X-5GN için elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....                                                        | 47 |
| Şekil 4.9: Adsorpsiyona adsorbent dozajının etkisi deneyi.....                                                                                           | 48 |
| Şekil 4.10: Uygulanan adsorbent dozajına göre Red X-5GN için elde edilen verim grafiği.....                                                              | 49 |
| Şekil 4.11: Uygulanan adsorbent dozajına göre Red X-5GN için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....                                        | 49 |
| Şekil 4.12: Uygulanan adsorbent dozajına göre Red X-5GN için elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....                                         | 50 |
| Şekil 4.13: Adsorpsiyona temas süresinin etkisi deneyi (48 mg/L) .....                                                                                   | 51 |
| Şekil 4.14: Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (48 mg/L) için elde edilen verim grafiği.....                                                        | 52 |
| Şekil 4.15: Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (48 mg/L) için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....                                  | 52 |
| Şekil 4.16: Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (48 mg/L) için elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....                                   | 53 |
| Şekil 4.17: Adsorpsiyona temas süresinin etkisi deneyi (97 mg/L).....                                                                                    | 54 |
| Şekil 4.18: Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (97 mg/L) için elde edilen verim grafiği.....                                                        | 55 |
| Şekil 4.19: Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (97 mg/L) için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....                                  | 55 |
| Şekil 4.20: Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (97 mg/L) için elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....                                   | 56 |

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.21: Adsorpsiyona başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi deneyi                                                        | 57 |
| Şekil 4.22: Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre Red X-5GN için elde edilen verim grafiği.....                       | 57 |
| Şekil 4.23: Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre Red X-5GN için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği..... | 58 |
| Şekil 4.24: Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre Red X-5GN için elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....  | 58 |
| Şekil 4.25: Red X-5GN için Langmuir İzoterm Grafiği.....                                                                       | 59 |
| Şekil 4.26: Red X-5GN için Freundlich İzoterm Grafiği.....                                                                     | 60 |
| Şekil 4.27: Red X-5GN için Temkin İzoterm Grafiği.....                                                                         | 60 |
| Şekil 4.28: RL'nin başlangıç boya konsantrasyonu ile değişimi.....                                                             | 61 |
| Şekil 4.29: Red X-5GN için Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model Grafiği.....                                                | 63 |
| Şekil 4.30: Red X-5GN için Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model Grafiği.....                                                 | 63 |
| Şekil 4.31: Red X-5GN için Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model Grafiği.....                                     | 64 |
| Şekil 4.32: Red X-5GN için Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model Grafiği .....                                               | 65 |
| Şekil 4.33: Red X-5GN için 2. Yalancı Dereceden Kinetik Model Grafiği .                                                        | 66 |
| Şekil 4.34: Red X-5GN için Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model Grafiği.....                                     | 66 |
| Şekil 4.35: Adsorpsiyona pH'nin etkisi deneyi.....                                                                             | 68 |
| Şekil 4.36: Uygulanan pH'a göre RB 221 için elde edilen verim grafiği.....                                                     | 69 |
| Şekil 4.37: Uygulanan pH'a göre RB 221 için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....                               | 69 |
| Şekil 4.38: Uygulanan pH'a göre RB 221 için elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....                                | 70 |
| Şekil 4.39: Adsorpsiyona adsorbent dozajının etkisi deneyi.....                                                                | 71 |
| Şekil 4.40: Uygulanan adsorbent dozajına göre RB 221 için elde edilen verim grafiği.....                                       | 71 |
| Şekil 4.41: Uygulanan adsorbent dozajına göre RB 221 için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....                 | 72 |
| Şekil 4.42: Uygulanan adsorbent dozajına göre RB 221 için elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....                  | 72 |
| Şekil 4.43: Adsorpsiyona temas süresinin etkisi deneyi.....                                                                    | 74 |
| Şekil 4.44: RB 221 (43 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen verim grafiği.....                                 | 74 |
| Şekil 4.45: RB 221 (43 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....           | 75 |
| Şekil 4.46: RB 221 (43 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....            | 75 |
| Şekil 4.47: Adsorpsiyona temas süresinin etkisi deneyi.....                                                                    | 76 |
| Şekil 4.48: RB 221 (82 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen verim grafiği.....                                 | 77 |
| Şekil 4.49: RB 221 (82 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....           | 77 |
| Şekil 4.50: RB 221 (82 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen adsorbent tutma kapasitesi grafiği.....            | 78 |

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.51: Adsorpsiyona başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi deneyi...                                                   | 79 |
| Şekil 4.52: Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre RB 221 için elde edilen verim grafiği.....                        | 79 |
| Şekil 4.53: Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre RB 221 için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği.....  | 80 |
| Şekil 4.54: Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre RB 221 için elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği..... | 80 |
| Şekil 4.55: RB 221 için Langmuir İzoterm Grafiği.....                                                                        | 81 |
| Şekil 4.56: RB 221 için Freundlich İzoterm Grafiği .....                                                                     | 82 |
| Şekil 4.57: RB 221 için Temkin İzoterm Grafiği.....                                                                          | 82 |
| Şekil 4.58: RL'nin başlangıç boya konsantrasyonu ile değişimi.....                                                           | 83 |
| Şekil 4.59: RB (Reactive Blue) 221 için Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model Grafiği.....                                 | 84 |
| Şekil 4.60: RB (Reactive Blue) 221 için Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model Grafiği.....                                  | 85 |
| Şekil 4.61: RB 221 için Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model Grafiği.....                                      | 85 |
| Şekil 4.62: RB 221 için Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model Grafiği                                                      | 86 |
| Şekil 4.63: RB 221 için Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model Grafiği...                                                    | 87 |
| Şekil 4.64: RB 221 için Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model Grafiği.....                                      | 87 |

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1: Kimyasalların Başlıca Uygulama Oranları Arasındaki Yüzdesel Dağılımı (Shore, 2002).....           | 5  |
| Tablo 2.2: Çözünürlüklerine göre boyar maddelerin sınıflandırılması (Bahar, 2011).....                       | 6  |
| Tablo 2.3: Tekstil boyalarının uygulama metoduna göre sınıflandırılması (Bahar, 2011).....                   | 7  |
| Tablo 2.4: Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların karakteristik özellikleri (EPA, 1997).....             | 9  |
| Tablo 2.5: İleri Oksidasyon Prosesinde Kullanılan Önemli Oksitleyici Maddeler (Karimifard, 2018) .....       | 13 |
| Tablo 2.6: Kimyasal giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018).....           | 16 |
| Tablo 2.7: Biyolojik renk giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018) .....    | 19 |
| Tablo 2.8: Fiziksel renk giderim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018) ..... | 25 |
| Tablo 3.1: Red X-5GN ve RB 221 boyalarına ait özellikler.....                                                | 36 |
| Tablo 4.1: Red X-5GN Deneyi İzoterm Sabitleri .....                                                          | 62 |
| Tablo 4.2: Red X-5GN Kinetik Model Sabitleri.....                                                            | 64 |
| Tablo 4.3: Red X-5GN Kinetik Model Sabitleri (97 mg/L).....                                                  | 67 |
| Tablo 4.4: RB 221 Deneyi İzoterm Sabitleri .....                                                             | 84 |
| Tablo 4.5: RB 221 Deneyi Kinetik Model Sabitleri (43 mg/L) .....                                             | 88 |
| Tablo 4.6: RB 221 Deneyi Kinetik Model Sabitleri (82 mg/L) .....                                             | 88 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                                   |                                                                                             |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>a</b>                          | : Temkin denkleminin karakteristik sabiti                                                   |
| <b>AÇK</b>                        | : Ayçekirdeği Kabuğu                                                                        |
| <b>b</b>                          | : Temkin denkleminin karakteristik sabiti                                                   |
| <b>C</b>                          | : Adsorbent ile adsorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren bir sabit |
| <b>Ce</b>                         | : İyonun sıvı fazdaki denge konsantrasyonu (mg/L)                                           |
| <b>Cl</b>                         | : Klor                                                                                      |
| <b>CO<sub>2</sub></b>             | : Karbondioksit                                                                             |
| <b>Fe</b>                         | : Demir                                                                                     |
| <b>H<sub>2</sub>O</b>             | : Su                                                                                        |
| <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | : Hidrojen Peroksit                                                                         |
| <b>HNO<sub>3</sub></b>            | : Nitrik Asit                                                                               |
| <b>k<sub>1</sub></b>              | : Hız sabiti (dk <sup>-1</sup> )                                                            |
| <b>k<sub>2</sub></b>              | : Hız sabiti (g/(mg.dk))                                                                    |
| <b>K<sub>F</sub></b>              | : Adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi                                                        |
| <b>k<sub>i</sub></b>              | : Partikül içi difüzyon hız sabiti (mg/(g.dk <sup>0,5</sup> )),                             |
| <b>K<sub>L</sub></b>              | : Doygunluk sabiti (Langmuir sabiti) (mg/L)                                                 |
| <b>N</b>                          | : Azot                                                                                      |
| <b>NaOH</b>                       | : Sodyum Hidroksit                                                                          |
| <b>nm</b>                         | : Nanometre                                                                                 |
| <b>OH</b>                         | : Hidroksit                                                                                 |
| <b>q</b>                          | : İyonun katı faz konsantrasyonu (mg /g adsorbent)                                          |
| <b>q<sub>e</sub></b>              | : Denge anında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)                    |
| <b>q<sub>max</sub></b>            | : İyonun katı fazdaki max. konsantrasyonu (mg /g adsorbent)                                 |
| <b>q<sub>t</sub></b>              | : Herhangi bir anda adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)               |
| <b>R</b>                          | : Gaz sabiti(J/mol K)                                                                       |
| <b>RB 221</b>                     | : Reactive Blue 221                                                                         |
| <b>rpm</b>                        | : devir/dakika                                                                              |
| <b>S</b>                          | : Kükürt                                                                                    |
| <b>T</b>                          | : Sıcaklık (K)                                                                              |
| <b>t</b>                          | : Temas süresi                                                                              |

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanması sürecinde başından sonuna kadar her türlü konuda teknik bilgi ve desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Dr. Öğretim Üyesi Levent GÜREL'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında başta Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof Dr. Osman Nuri Ağdağ olmak üzere her türlü laboratuvar imkanını sağlayan Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ve bütün bölüm hocalarımıza teşekkür ederim.

Ayrıca bu zorlu süreçte desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen her zaman yanımda olan değerli eşim Ahmet Can ÖZCAN'a ve değerli aileme teşekkür ederim.

## 1. GİRİŞ

Su, tarihin bütün dönemlerinde insanlar ve diğer canlılar için büyük bir öneme sahip olmuştur. Özellikle sanayi devriminden itibaren hem nüfus artışı hem de endüstriyelleşme ile beraber su kullanımı da doğru orantılı olarak artış göstermiştir. Bu artış, doğanın tolere edebileceğinin çok üzerinde bir atıksuyun meydana gelmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu atıksuların alıcı ortama veya kanalizasyon sistemine herhangi bir önlem alınmadan deşarj edilmesi sonucu ekolojik denge bozulmaktadır. Bu atıksuların karıştığı su kaynakları insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlara sebebiyet vermektedir. Tüm bu zararları en aza indirmek, insan ve çevre sağlığını korumak için bu tür atıksuların alıcı ortama veya kanalizasyon sistemine deşarjından önce mutlaka arıtılması gerekmektedir.

Dünyada ve ülkemizde su kullanımının en çok olduğu endüstrilerden biri tekstil endüstrisidir. Bu durumda tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksuların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi, arıtım teknolojilerinin araştırılması ve bu atıksuların arıtıldıktan sonra yeniden kullanımı ile ilgili çalışmaların yapılması oldukça önem arz etmektedir. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan en büyük kirliliğe sebep olan madde boyalardır.

Boyalar, tekstil, deri, kâğıt, baskı ve kozmetik gibi endüstrilerin atık sularında açığa çıkan renkli organik bileşiklerdir. Tekstil sektörü tek başına çeşitli kumaşların boyanması için üretilen toplam boyaların yaklaşık %60'ını tüketmektedir, ancak bu amaçla kullanılan boyaların %10-15'i atık madde olarak ortaya çıkmaktadır. Tekstil endüstrisinin her bir prosesinde kullanılan boya miktarları değişkenlik göstermekle beraber en çok boyanın kullanıldığı proses boyama prosesidir. Her bir proseste kullanım sonrası deşarj edilen boya yüzdeleri şöyledir: yakıt doldurma %2, kömürleştirme %2, kumaşı parlatma (merserize etme) %4, diğerleri %10, baskı %13, haşıl sökme %21, nötrale etme %33, ovma %52, ıslak terbiye %58, ağartma %62, boyama %85 (Katheresan ve diğ., 2018).



Boyalardan kaynaklanan su kirliliği son on yılda en ciddi çevresel problemlerden biri haline gelmiştir. Çeşitli endüstriyel kaynaklar sonucunda boyalar önemli ölçüde su sistemlerine karışmaktadır. Çok sayıda boyanın toksik olduğu bilinmektedir. Bu boyaların ortamda çok düşük konsantrasyonlardaki varlığı bile insanlar ve canlı türleri için zararlı olabilmektedir. Bu boyaların su ortamına boşaltılması, suda istenmeyen renge sebep olmasından, güneş ışığının nüfuzunu azaltmasından, içme ve diğer kullanımlar için sakıncalı olmasından dolayı çevre üzerinde uzun süreli olumsuz etkilere sahiptir. Bu olumsuz etkilerinden dolayı atıksulardan boya giderimi, son yıllarda çözümlenmesi gereken en önemli çevre kirliliği problemlerinin başında gelmektedir.

Tekstil atıksuyundan boya gideriminde birçok farklı arıtım yöntemleri uygulanmaktadır. Sulu çözeltiden boyanın giderilmesi için koagülasyon, flokülasyon, iyon değişimi, membran filtrasyon ve ileri oksidasyon prosesi gibi birçok fizikokimyasal metot kullanılabilir. Uzun çalışma süresi, yüksek çamur oluşumu, düşük verim, yüksek maliyet ve bazı durumlar bu metotların kullanılmasını zorlaştırmakta ve pahalı hale getirmektedir (Gupta, 2009). Diğer proseslerle karşılaştırıldığında biyoteknolojik yaklaşımlar boyanın atıksudan giderilmesinde ekonomik alternatiflerdendir. Bu bağlamda, biyosorpsiyon, özellikle de ekonomik ve çevresel bakış açısından önemli avantajlara sahip olmasından dolayı, boya içeren atıkların renk giderimi için büyüyen bir alternatif teknik olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle biyosorbent olarak tarımsal kaynaklı ürünler ve biyolojik atıklar kullanıldığında biyosorpsiyonun etkili ve ucuz bir proses olduğu kanıtlanmıştır. Bu konudaki literatür çalışmalarına bakıldığında Kaktüs meyvesi kabuğu, kitosan, talaş, *Posidonia oceanica*'nın yaprakları, şeker pancarı posası, modifiye ceviz kabuğu, *Pyracantha coccinea* meyveleri, pirinç kabuğu külü, yumurta kabuğu, mango tohumu çekirdek tozu ve jackfruit yaprak tozu gibi çeşitli potansiyel biyosorbentler ile çalışılmıştır (Gbemelulowa, 2015).

Bu tez kapsamında ise RB 221 ve RED X-5GN boyalarını içeren atıksulardan ham ayçekirdeği kabuğu tozu kullanılarak adsorpsiyon yöntemiyle rengin giderim verimindeki değişim farklı pH, adsorbent dozajları, başlangıç boya konsantrasyonları ve temas sürelerinde incelenmiştir.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1 Tekstil Endüstrisi**

Tekstil, Latince bir kavram olan ‘texere’ kelimesinden türetilmiştir. Örmeye ya da dokuma anlamına gelmektedir. Tekstil liflerini, ürünlerini yarı mamullerini ve bunlardan elde edilen ürünlerini içermektedir. İnsanların kültürel düzeylerinin farklılaşması ve çevre şartları ile giyime olan ihtiyaç artmış, yeni tekstil teknikleri ortaya çıkmıştır. Giysinin kültürel işlevi, boyar maddelerin dokuma ve örme işlemi öncesi ve sonrasında kullanılması ile daha da ileri gitmiştir (Halis, 2016). Kısaca tekstil, doğal ve yapay liflerin ilk başta ipliğe ardından dokuma işlemine tabi tutularak kumaş, halı, gibi son ürünlerin oluşumunu içeren prosesler bütünüdür (Bozkan, 2012).

#### **2.1.1 Tekstil Boyama Atık Suları**

Hem hacmi hem de bileşimi dikkate alındığında, tüm sanayi sektörleri arasında en fazla kirletici madde içeren atık sular tekstil endüstrisi tarafından üretilmektedir (Reid, 1996).

Tekstil endüstrisinde atık sular birçok prosesten kaynaklanmaktadır. Tekstil endüstrisinin ıslak işleme prosesinde üretilen atık suyun ana kaynakları, doğal liflerin yıkanması, ağartılması, boyama ve terbiye adımlarıdır. Kullanılan çok çeşitli liflere, boyalara, yardımcı proseslere ve son ürünlere bakıldığında bu prosesler geleneksel atık su arıtma tesisinde uygun şekilde arıtılmayan büyük kimyasal karışım ve çeşitlilikte atık sular üretir (Vandevivere ve diğ., 1998). Bu atık sular, kimyasal risklerinin yanı sıra estetik olmayan görüntüleri sebebiyle de giderilmesi gereken nitelikte atık sulardır. Sonuç olarak bu tür tekstil atık sularının çok küçük miktarları bile önemli kirletici kaynak durumunda olup alıcı ortama verilmesi toksik ve kanserojen etkiye sahip olduğu için canlıların ve çevrenin olumsuz etkilenmesine sebep olur.

## **2.2 Boya ve Boyar Madde**

Boya; çeşitli malzeme yüzeylerine, korunma, süslenme ve aydınlatma amaçları ile sürülerek sert ve ince bir tabaka oluşturan, ana maddeleri organik, metalik veya plastik esaslı pigment, bağlayıcı ve incelticilerden meydana gelmiş, renkli bir sıvı bileşimidir (Yüce, 2016). Bir tekstil malzemesinin kalıcı olarak renklendirilmesine boyama, renklendiren maddelere ise boyar madde denir.

### **2.2.1 Boyaların Sınıflandırılması**

Boya molekülleri bir kromajen, yani görünür ışığı emen ve boyayı liflerin içine bağlayan bir aromatik yapıdan oluşur. Yaklaşık 12 sınıf kromojenik grup vardır, bunlardan yaygın olanı üretilen tüm tekstil boya maddelerinin %60-70 ini oluşturan azo tipidir (Carliell ve diğ., 1995). Boyaların ikinci bir sınıflandırması tekstillere uygulama şekillerine dayanmakta ve asit, reaktif, metal kompleksi, dispers, mordan, direkt, baz ve kükürt boyalar olarak ayrılmaktadır.

Boyaların uluslararası sınıflandırılması 1924'te "Society Of Dyers and Colourist" tarafından bulunan colour index'tir (renk indeksi). Boyalar kimyasal özelliklerine veya uygulama metoduna göre bir CI numarası altında sınıflandırılır. Tablo 2.1'de her kimyasal sınıfın ana uygulama aralıkları arasındaki yüzde dağılımı gösterilmektedir.

**Tablo 2.1:** Kimyasalların Başlıca Uygulama Oranları Arasındaki Yüzdesel Dağılımı (Shore, 2002)

| Kimyasal Sınıf                | Uygulama arasındaki dağılım (%) |       |        |         |        |         |         |         |     |
|-------------------------------|---------------------------------|-------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|-----|
|                               | Asidik                          | Bazık | Direkt | Dispers | Mordan | Pigment | Reaktif | Solvent | Vat |
| <b>Metaliza edilmemiş azo</b> | 20                              | 5     | 30     | 12      | 12     | 6       | 10      | 5       |     |
| <b>Metal kompleksli azo</b>   | 65                              |       | 10     |         |        |         | 12      | 13      |     |
| <b>Tiyazol</b>                |                                 | 5     | 95     |         |        |         |         |         |     |
| <b>Stilben</b>                |                                 |       | 98     |         |        |         |         | 2       |     |
| <b>Antrakinon</b>             | 15                              | 2     |        | 25      | 3      | 4       | 6       | 9       | 36  |
| <b>İndigoid</b>               | 2                               |       |        |         |        | 17      |         |         | 81  |
| <b>Kinoftalon</b>             | 30                              | 20    |        | 40      |        |         |         | 10      |     |
| <b>Aminoketan</b>             | 11                              |       |        | 40      | 8      |         | 3       | 8       | 30  |
| <b>Ftalosiyanin</b>           | 14                              | 4     | 8      |         | 4      | 9       | 43      | 15      | 3   |
| <b>Formazan</b>               | 70                              |       |        |         |        |         | 30      |         |     |
| <b>Metin</b>                  |                                 | 71    |        | 23      |        | 1       |         | 5       |     |
| <b>Nitro</b>                  | 31                              | 2     |        | 48      | 2      | 5       |         | 12      |     |
| <b>Triarilmetan</b>           | 35                              | 22    | 1      | 1       | 24     | 5       |         | 12      |     |
| <b>Ksanten</b>                | 33                              | 16    |        |         | 9      | 2       | 2       | 38      |     |
| <b>Akridin</b>                |                                 | 92    |        | 4       |        |         |         | 4       |     |
| <b>Azin</b>                   | 39                              | 39    |        |         |        | 3       |         | 19      |     |
| <b>Oksazin</b>                |                                 | 22    | 17     | 2       | 40     | 9       | 10      |         |     |
| <b>Tiyazin</b>                |                                 | 55    |        |         | 10     |         |         | 10      | 25  |

### 2.2.2 Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Boyar maddeler renk, ticari isim, kimyasal yapı, kullanım amacı, uygulama yöntemi gibi çok çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır (Bahar, 2011). Çözünürlükleri göz önüne alındığında boyar maddeler suda çözünen ve çözünmeyen olarak iki kategoriye ayrılır. Çözünürlüklerine göre boyar maddelerin sınıflandırılması Tablo 2.2’de görülmektedir.

**Tablo 2.2:** Çözünürlüklerine göre boyar maddelerin sınıflandırılması (Bahar, 2011)

|                                        | <b>Boya Türü</b>            | <b>Yapısı ve Kullanım Alanları</b>                                                                                 |
|----------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Suda çözünebilen boyar maddeler</b> | Anyonik                     | Sülfonik ve karboksilik asitlerin sodyum tuzlarını içerir                                                          |
|                                        | Katyonik                    | Bazik grup asitlerle tuz oluşturmuş halde bulunurlar.                                                              |
|                                        | Zwitter iyon karakterli     | Hem asidik hem de bazik gruplar içerir. Boyama sırasında bazik veya nötral durumlarda anyonik boya gibi davranır   |
| <b>Suda çözünmeyen boyar maddeler</b>  | Substratta çözünen          | Sentetik elyafların boyanmasında kullanılır                                                                        |
|                                        | Organik çözücülerde çözünen | Vaks ve petrol ürünlerinin boyanmasında kullanılır.                                                                |
|                                        | Geçici çözünürlüğü olan     | Elyafa uygulanır.                                                                                                  |
|                                        | Polikondensasyon            | Başka moleküller ile bileşik yaparak daha büyük moleküller oluşturan boya maddeleridir. Elyaf boyamada kullanılır. |
|                                        | Elyaf içinde oluşturulan    | İki ayrı bileşenin elyafa meydana gelen bir reaksiyon sonucu oluşturduğu boyalardır.                               |
|                                        | Pigment                     | Süspansiyonlar halinde kuruyan yağ ve reçinelerle birlikte uygulanır.                                              |

Boyar maddeyi kullananlar boyar maddenin kimyasal özelliğine değil, elyafı hangi yöntemle boyadığıyla ilgilenmektedirler. Bu yüzden boyama özelliğine göre sınıflandırma yapılmakta olup bu sınıflandırma Tablo 2.3’de verilmiştir.

**Tablo 2.3:** Tekstil boyalarının uygulama metoduna göre sınıflandırılması (Bahar, 2011)

| Sınıf          | Uygulama                                            | Uygulama Metodu ve Özellikleri                                                                                                    | Kimyasal Sınıfı                                  |
|----------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Bazik</b>   | Naylon, polyester                                   | Elyafın anyonik gruplarına bağlanarak tuz oluşturur                                                                               | Siyanin, azo, azin, ksanten, oksazin, antrakinon |
| <b>Asidik</b>  | Naylon, yün, ipek, akrilik                          | Boyama, asidik banyolarda boya ile elyafın bağ oluşturmasıyla gerçekleşir.                                                        | Azo, antrokinon, ksanten, nitro                  |
| <b>Direkt</b>  | Pamuk, viskon, rayon, yün, suni ipek                | Ön işlem yapılmaksızın boyadan elyafa direk çekilir.                                                                              | Azo, fitalosiyanin, oksazin                      |
| <b>Kükürt</b>  | Pamuk, naylon, suni ipek                            | Çözünür hale geldikten sonra sodyum sülfür ile elyafa aktarılır.                                                                  | Birçok yapı                                      |
| <b>Naftol</b>  | Pamuk, suni ipek, selüloz, asetat, polyester, keten | Önce elyafa emdirilir ve daha sonra ikinci bileşenle tepkimeye sokularak suda çözünmeyen boya elde edilir.                        | Azo                                              |
| <b>Dispers</b> | Polyester, poliamit, naylon asetat, akrilik         | Boyama işlemi dispersiyon ortamından boyanın elyaf üzerine difüzyon yolu ile çekilmesi ve elyaf içinde çözünmesi ile gerçekleşir. | Azo, antrokinon, nitro                           |
| <b>Reaktif</b> | Pamuk, yün, ipek, naylon                            | Boyama boyadaki reaktif grubun elyafı kovalent bağ oluşturması ile gerçekleşir.                                                   | Azo, antrokinon, fitalosiyanin                   |
| <b>Pigment</b> | Tüm elyaf çeşitleri                                 | Boya kimyasal bağ olmaksızın elyaf yüzeyine bağlanır.                                                                             | Azo, dioksazin, antrokinon                       |
| <b>Vat</b>     | Pamuk, suni ipek, yün                               | Suda sodyum hidrojen sülfat ile indirgenerek çözündürülen boyadır. Ardından elyaf üzerine çektirilir ve tekrar oksitlenir.        | Antrokinon, indigo                               |

### **Bazik (Katyonik) boyar maddeler**

Organik bazların hidroklorürleri şeklindedir. Katyonik grubu renkli kısımda bulundurulur. Pozitif yük taşıyıcılar N veya S atomudur. En belirgin özellikleri parlak olmaları ve renk şiddetidir. Öncelikli olarak poliakrilonitril, kısmen de yün ve pamuk elyafın boyanmasında kullanılır. Boyar madde katyonu elyafın anyonik gruplarıyla tuz meydana getirir (Uçar, 2009). Günümüzde reaktif boyar maddelerle pamuk üzerinde

daha etkili renkler elde edildiğinden dolayı bazik boyar maddeler pamuk boyama işleminde önemini yitirmiştir. (Bahar, 2011)

### **Asidik (anyonik) boyar maddeler**

Sülfonik asitlerin ve nitrofenollerin sodyum tuzları olup, hayvansal liflere özellikle yün ve ipeğe uygulanır. Bitkisel liflere uygulanmaz. Elyaf ile ilişkileri iyonik bağ şeklindedir (Uçar, 2009). Genellikle 60-80 derecede düşük pH veya nötr pH'da uygulanır. Asidik boyar maddelerin çoğu organik asitlerin tuzlarıdır ve anyonik boyar maddeler grubuna dahildir (Bahar, 2011).

### **Direkt boyar maddeler**

Direkt boyar maddeler kimyasal yapılarına göre dis, mono veya poliazo bileşiklerinden oluşur. Yapıları sülfonik asit veya karboksili asitlerin sodyum tuzlarıdır. Bu boyar maddeler suda çözünür gruptadır ve selülozik elyafı, nötral veya bazik ortamda bir elektrolit yardımıyla kaynama sıcaklığında boyar. Direkt boyar maddeler önceden bir işlem uygulanmadan (mordanlama), boyar madde çözeltisinde yün veya selüloza direk olarak geçer (Kabay Erkal, 2002).

### **Reaktif boyar maddeler**

Reaktif boyar maddeler selülozik elyaf, yün, ipek ve poliamit boyamada sıklıkla kullanılır. Bu boyanın yıkamaya karşı yüksek dayanıklılığı olup, renkleri de parlaktır (Bahar, 2011).

Reaktif boyaların arıtımı üzerine birçok araştırma yapılmaktadır. Tekstil atıksularının renginin giderilmesi üzerine yapılan araştırmalar üç nedenden dolayı reaktif boyalara odaklanmıştır. İlk olarak, reaktif boyalar artan bir Pazar payının şu anda boyalar için toplam pazarın yaklaşık %20-30 unu temsil etmektedir. Çünkü bunlar dünya lif tüketiminin yaklaşık yarısını oluşturan pamukları boyamak için kullanılmaktadır. İkincisi, uygulanan reaktif boyaların genellikle yaklaşık %30 u olan

büyük bir bölümü alkali boya banyosundaki boya hidrolizi nedeniyle atık haline gelir ve boyahane atıksuları yaklaşık olarak 0,6-0,8 g/L boya içerir. Üçüncüsü, sorpsiyon ve aerobik biyobozunmaya dayanan geleneksel atıksu arıtma tesisleri, renkli sulara ve genel şikayetlere yol açan reaktif ve diğer anyonik çözünür boyalar için düşük bir arıtma etkisine sahiptir. Genel olarak tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin karakteristik özelliği Tablo 2.4’te verilmiştir (Vandevivere ve diğ., 1998).

**Tablo 2.4:** Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların karakteristik özellikleri (EPA, 1997)

| <b>Boya Sınıfı</b> | <b>Tanımı</b>                                                               | <b>Metodu</b>                                          | <b>Uygulanacağı Elyaf Tipi</b>               | <b>Fikasyon (%)</b> | <b>Oluşturduğu Kirleticiler</b>                                                                                                                        |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Asit</b>        | Suda çözünebilir anyonik bileşikler                                         | Boya banyosu, Yuvarlak tekneler, sürekli boyama (halı) | Yün, naylon                                  | 80-93               | Renk, organik asitler, fikse edilmeyen boya artıkları                                                                                                  |
| <b>Baz</b>         | Suda çözünebilir, çok parlak boyalar                                        | Boya banyosu, yuvarlak tekneler                        | Akrilik, bazı polyesterler                   | 97-98               | N/A                                                                                                                                                    |
| <b>Direkt</b>      | Suda çözünebilir, anyonik bileşikler, selülozik elyafa direkt uygulanabilir | Boya banyosu, yuvarlak tekneler, sürekli boyama        | Pamuk, rayon (suni ipek), diğer selülozikler | 70-95               | Renk, tuz, fikse edilmeyen boya artıkları, Katyonik fikasyon kimyasalları, yüzey aktif maddeler, köpük kırıcılar, apreleme kimyasalları, seyrelticiler |



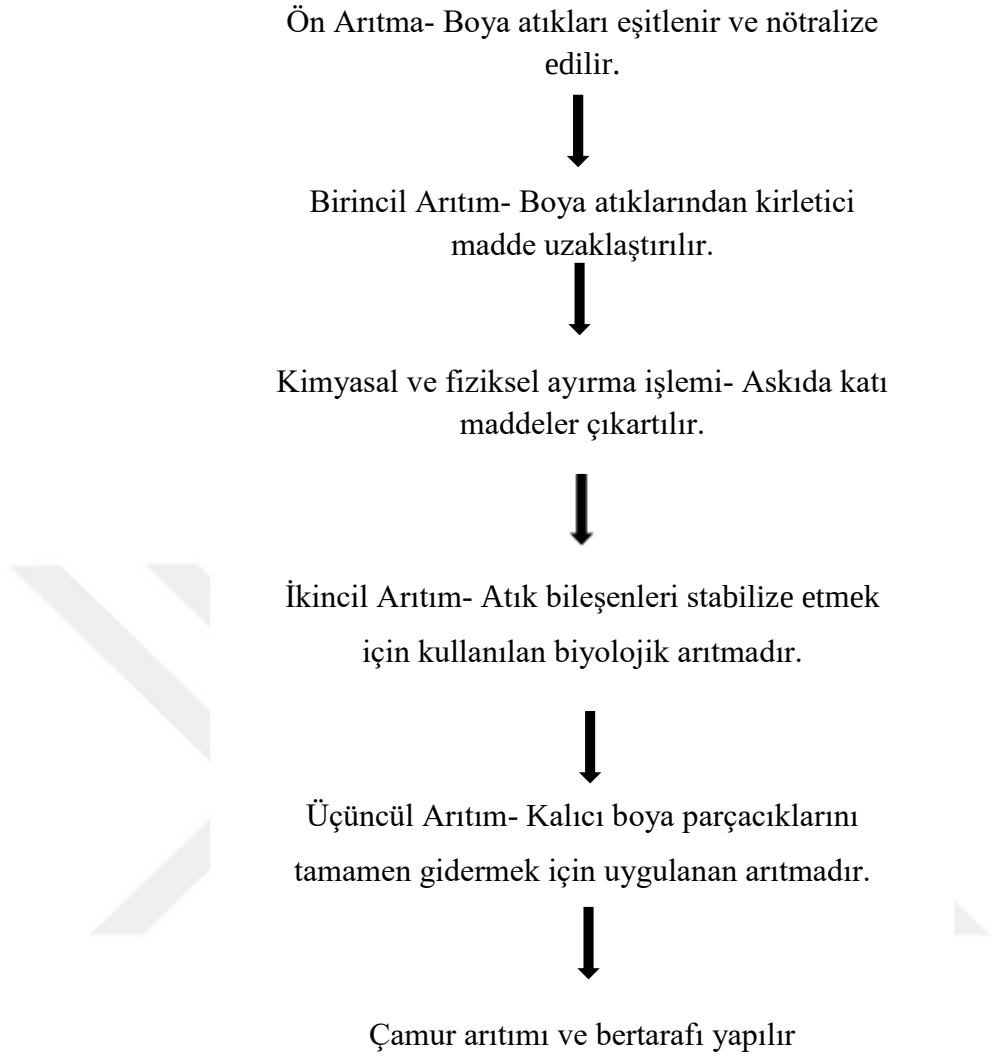
**Tablo 2.4** Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların karakteristik özellikleri (EPA, 1997) (devamı)

|                |                                                                  |                                                                              |                                      |       |                                                                                                                                    |
|----------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dispers</b> | Suda çözünmez                                                    | Boya banyosu (yüksek ısıda sürekli boyama)                                   | Polyester, azetat, diğer sentetikler | 80-92 | Renk, organik asitler, taşıyıcılar, fosfitler, ağartıcılar, parlaklaştırıcılar, seyrelticiler                                      |
| <b>Reaktif</b> | Suda çözünebilir anyonik bileşiklerdir. En geniş boya sınıfıdır. | Boya banyosu, yuvarlak tekneler, fular soğuk besleme yöntemi, sürekli boyama | Pamuk, diğer selülozikler, yün       | 60-90 | Renk, tuz, alkalinite, fikse edilmeyen boya artıkları, yüzey aktif maddeler, köpük kırıcılar, apreleme kimyasalları, seyrelticiler |
| <b>Vat</b>     | En eski boyalar, kimyasal olarak daha kompleks, suda çözünmezler | Boya banyosu, bobinde yıkama, sürekli yıkama                                 | Pamuk, diğer selülozikler            | 80-95 | Renk, alkalinite, oksidan maddeler, indirgen maddeler                                                                              |

### 2.3 Tekstil Endüstrisinde Boya Gideriminde Kullanılan Yöntemler

Endüstriyel olarak 10.000 ‘in üzerinde farklı boya ve pigmentin kullanıldığı ve dünya genelinde her yıl yaklaşık 0,7 milyon ton boya üretildiği tahmin edilmektedir

(Ogugbue ve Sawidis, 2011). Tekstil endüstrisinde baskı ve boya sanayileşme sürecinin gelişmesiyle birlikte her yıl yüksek miktarlarda atık su üretilmekte ve çevreye bol miktarda boya verilmektedir. Bu boya ve boyar maddeler toksik ve kanserojen etkiye sahip olduğu için hayatımızda en önemli yaşam kaynaklarından biri olan su kaynaklarını önemli ölçüde kirletmektedir. Bu atık sular çoğu zaman gerekli arıtıma tabi tutulmadan alıcı ortama verildiği takdirde sadece insan yaşamını değil sucul ortamda yaşayan canlılara ve ekosisteme zarar vermektedir. Bu bağlamda boyama endüstrisinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri atık sulardan renk giderimidir. 90'lı yılların sonlarında, renk giderim yöntemleri, renk ile ilgili deşarj limitlerinin olmaması nedeniyle yalnızca dengeleme ve çökeltme gibi ön atık su arıtma proseslerini içeriyordu. İzin verilebilir renk deşarj standartları yayınlandıktan sonra renk bozundurucu filtre yatakları ve aktif çamur prosesleri gibi daha etkili renk giderim yöntemleri geliştirilerek iyileştirmeler yapılmıştır. Daha sonra Şekil 2.1'de gösterilen renkli atıksu arıtımı için bir sistem ortaya çıkmıştır. Geleneksel renk giderim yöntemi olarak bilinen bu sistem yüksek işletme ve bakım maliyeti sebebiyle ilgili endüstriler tarafından bir süre kullanıldıktan sonra kullanımı durmuştur. Günümüzde boya atığının geri kazanılıp, tekrar kullanılması için ideal renk giderim yöntemini bulmak amacıyla çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Mevcut renk giderim yöntemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerden oluşan üç kategoriye ayrılabilir. Son 30 yılda birçok renk giderim yöntemi araştırılmış olmasına rağmen, yöntemlerin çoğunluğunun getirdiği sınırlamalar nedeniyle ilgili endüstriler tarafından günümüzde yalnızca birkaç tanesi gerçekten uygulanmaktadır (Katherasan ve diğ., 2018).



**Şekil 2.1:** Geleneksel atık su arıtma sistemi (Katherasan ve diğ., 2018)

### **2.3.1 Kimyasal Yöntemler**

Tekstil atık sularının kimyasal yöntemlerle arıtımı en çok kullanılan arıtım yöntemi haline gelmiştir. Bunun en önemli nedeni ise atık su kalitesindeki değişikliklerin kullanılan kimyasalda ve kimyasalın miktarında değişiklik yapılarak tolere edilebilmesidir.

## İleri Oksidasyon prosesi

İleri oksidasyon prosesi, organik bileşiklerin oksitlenmesi için güçlü bileşikler, özel olarak hidroksil radikalleri sağlayan ve kullanan prosedürler olarak tanımlanabilir. İleri oksidasyon prosesi ilk olarak 80'lerin sonlarında Graze ve Kang tarafından bulunmuştur ve zamanla artan kullanım oranı ile çevre alanındaki birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Birkaç önemli oksitleyici maddenin oksitleyici potansiyeli Tablo 2.5’de sunulmaktadır.

**Tablo 2.5:** İleri Oksidasyon Prosesinde Kullanılan Önemli Oksitleyici Maddeler (Karimifard, 2018)

| Oksitleyici Ajanlar | Oksidasyon Potansiyeli (V) | Oksijene Göre Oksidasyon Potansiyeli |
|---------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Florin              | 2,87                       | 2,33                                 |
| Hidroksil Radikali  | 2,8                        | 2,27                                 |
| Ozon                | 2,07                       | 1,68                                 |
| Peroksidisülfat     | 2,05                       | 1,67                                 |
| Hidrojen peroksit   | 1,77                       | 1,44                                 |
| Hipoklorit          | 1,63                       | 1,32                                 |
| Permanganat         | 1,51                       | 1,23                                 |
| Klorin              | 1,36                       | 1,10                                 |
| Oksijen             | 1,23                       | 1,00                                 |

Tipik oksitleyici maddeler arasında  $\text{OH}^\cdot$ , en yüksek oksitleyici potansiyellerden birine sahiptir. Basit üretim, elektrofilik davranış, doğada bol olması, seçicilik, yüksek reaktivite ve kısa kullanım ömrü ile birlikte bu yüksek oksidasyon potansiyeli,  $\text{OH}^\cdot$ 'yi ileri oksidasyon prosesi için favori oksitleyici ajan haline getirir (Karimifard, 2018).

Hidrojen peroksitin ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) bazı yollarla örneğin ultra mor ışıkla aktive edilmesi gerekir. Birçok kimyasal renk giderim metodu hidrojen peroksitin ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) aktif olma şekline bağlı olarak değişir. Kimyasal oksidasyon boya moleküllerinin aromatik halka bölünmesiyle sonuçlanan oksidasyon ile boya içeren atık sudaki boyayı uzaklaştırır (Slokar, 1998).

### **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Fe (+2) tuzları (Fenton ayırıcı)**

Fenton prosesi, hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ve demir (II) (Fe<sup>+2</sup>) tuzları karışımının direk olarak atık suya ilave edilmesiyle oluşur. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Fe<sup>+2</sup> sistemine sıklıkla fenton ayırıcı denir. OH<sup>-</sup> radikallerinin demir koagülasyonu ve fenton ön oksidasyonu olmak üzere iki farklı fonksiyonu bulunmaktadır. Oksidasyon adımında oluşan demir (III) tuzları koagülasyon ve sedimentasyonla diğer kirleticilerin giderimini de sağlamaktadır. Bu yüzden fenton prosesi çift arıtım etkisine sahiptir. Bu proses işletiminin kolay olması, sistemin basitliği ve geniş sıcaklık aralıklarında uygulanabilir olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Gökkuş ve Çiner, 2010).

### **Ozonlama**

Ozon oksijenin üç atomlu bir allotropudur (Eren ve Anış, 2016). Ozon kullanımı ilk olarak 1970'lerin başında ortaya çıkmış ve klor, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile karşılaştırıldığında yüksek kararsızlığı nedeniyle çok iyi bir oksitleyici ajandır. Ozonlama ile çevreye deşarja uygun renk ve düşük kimyasal oksijen ihtiyacına sahip atıksu verilir. Ozonlamada kurulum ve işletme maliyeti yüksektir (Xu ve Lebrun, 1999).

### **Fotokimyasal Yöntem**

Bu yöntem ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> varlığında UV işlemiyle renk molekülleri CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya indirgenir. Bozunmaya yüksek konsantrasyonlarda hidroksil radikallerinin üretilmesi neden olur. Renk Giderim hızı UV radyasyonunun yoğunluğuna, boya yapısına, pH'a ve boya banyosunun kompozisyonuna bağlıdır. Boya içeren atıksuların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organik maddelerin önemli derecede azalmasıdır (Kocaer ve Alkan, 2002).

## **Sodyum Hipoklorit (NaOCl)**

Bu yöntemle boya molekülünün amino grubuna  $Cl^-$  tarafından saldırılır. Bu yöntem dispers boyalar için uygun değildir.  $Cl^-$  konsantrasyonundaki artışla birlikte renk gideriminde de artış görülür. Sodyum hipokloritle renk giderimi direkt ve asit boyalarda etkili olmaktadır. Ancak son yıllarda klor kullanılmasının alıcı ortama verdiği zarardan dolayı boyar madde gideriminde klor kullanılması azaltılmıştır (Slokar ve Marechal, 1998).

## **Cucurbituril İle Arıtım**

Cucurbituril, glikoluril ve formaldehitin halkalı bir polimeridir. Şekli *Cucurbitaceae* bitki sınıfının bir üyesi olan balkabağına benzediği için böyle adlandırılmaktadır. Çalışmalara bakıldığında bileşiğin çeşitli boyalar için etkili bir sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Boya yapısı farketmeksizin renk gideriminde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Tüm bu avantajlarının yanında diğer birçok kimyasal prosese göre yüksek maliyeti büyük bir dezavantajdır (Boyar madde içeren atıksu arıtma tesislerinin işletilmesine yönelik el kitabı, Ankara, 2013).

## **Elektrokimyasal Yöntem**

Elektrokimyasal işlemlerin temeli, elektrolitik etki yaratarak oksidasyon, indirgeme, koagülasyon veya flokülasyon gibi atık su arıtma işlemlerini yürütmek için elektrotları kullanmaktır (Christie, 2007). Bu arıtım türü birçok elektrokimyasal olmayan arıtmıdan daha etkilidir. Bu elektrotlar, küçük cihazların, küçük kapalı alanların, kolay işletilebilir ve yönetilebilir, çözünmüş katıların ve oksijen ihtiyacının yüksek oranda çıkarılmasının ve iyi ağartma etkisinin avantajlarına sahiptir. Bununla birlikte, çökeltme, elektrot malzemesinin tüketimi ve işletme maliyeti çok yüksektir (Hauser, 2011).

## Koagülasyon ve Flokülasyon

Flok oluşumuna sebep olan bir reaktifi, askıda katılarla birleştirerek ve yavaş çöken katıların hızlı çökmesini sağlayan kimyasalın ilavesini içeren bir yöntemdir (Dinç, 2011). Bahsedilen kimyasal giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.6’da verilmiştir.

**Tablo 2.6:** Kimyasal giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018)

| Yöntem                   | Açıklama                                                                                                   | Avantajları                                                                                                                                             | Dezavantajları                                                                                                                         |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İleri Oksidasyon Prosesi | Boya parçacıklarını gidermek için aynı anda çoklu oksidasyon işlemi yapılır.                               | Toksik maddeleri ortadan kaldırabilir. Alışılmadık koşullarda boyayı giderebilir. İyi bir boya giderme yöntemidir.                                      | Yaygındır. Esnek değildir. İstenmeyen yan ürünlerin üretimi. pH bağımlı.                                                               |
| Elektrokimyasal yıkım    | Elektro-pıhtılaşma veya çözünmeyen anotlar boya moleküllerini yemek için kullanılır.                       | Kimyasallar tüketilmez ve çamur birikmesi olmaz. Oldukça uygun çözünür ve çözünmez boya çıkarma yöntemi.                                                | Ek tehlikeli madde üretimi. Yüksek elektrik maliyeti. Yüksek akış hızları nedeniyle diğer yöntemlere göre daha az etkili boya çıkarma. |
| Fenton reaksiyonu        | Boya parçacıklarını atık sudan çıkarmak için Fenton’ın reaktifi (katalizör ve hidrojen peroksit karışımı). | Çözünür ve çözünmeyen boyalar için oldukça uygun boya giderme yöntemi. Sudaki tüm toksinleri giderir. Katı içeriği olan atık su boyaları için uygundur. | Dispers ve vat boyalarını çıkaramaz. Yüksek demir çamuru üretimi. Uzun reaksiyon süresi. Sadece düşük pH’da çalışır.                   |

**Tablo 2.6:** Kimyasal giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018) (devamı)

|                      |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                     |                                                                                                                              |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oksidasyon           | Boya atıklarının arıtılmasında kullanılan oksitleyici ajanlar. Ajanlar, kompleks boya moleküllerini karbondioksit ve suya parçalamaktadır. Katalizör kullanımı işlemi daha da artırabilir. | Boyaları tamamen bozabilir. Yaygın kimyasal boya temizleme yöntemi. Kısa reaksiyon süresi. Basit uygulama.          | Masraflı. Hidrojen peroksit ajanını aktive etmek zor. pH bağımlı. Verimli bir şekilde çıkarılması için katalizör gerektirir. |
| Ozonlama             | Oksijenden üretilen ozon, boya parçacıklarını gidermek için kullanılır.                                                                                                                    | Gaz halinde kullanılabilir. Atık su hacmini arttırmaz. Etkili boya giderme yöntemi. Çamur oluşumu yok. Hızlı tepki. | Sadece 20 dakika boyunca aşırı kısa bir yarı ömre sahiptir. Yüksek fiyat. Toksik yan ürünler üretir. Kararsız yöntem.        |
| Fotokimyasal         | Fenton reaksiyonu, boya moleküllerini atık sudan çıkarmak için ultraviyole ışıkla birleştirildi.                                                                                           | Etkili boya giderme yöntemi. Kötü koku oluşmaz. Çamur üretimi yok.                                                  | Yaygın. Çok fazla yan ürün oluşturur                                                                                         |
| Ultraviyole ışınlama | Boya partiküllerinin atık sularda ayrıştırılması için UV ışığının kullanılması.                                                                                                            | Tehlikeli kimyasal madde gerekli. Çamur üretimi yok. Kötü kokuları zayıflatır.                                      | Enerji tüketimi. Yüksek fiyat. Sınırlı arıtım süreleri.                                                                      |



### **2.3.2 Biyolojik Yöntemler**

Biyolojik renk giderim teknikleri boyaların mikrobiyal biyolojik dönüşümüne dayanmaktadır. Boyalar kararlı ve uzun ömürlü renklendiriciler olarak tasarlandıklarından genellikle biyolojik olarak çözünmesi zordur. Bununla birlikte birçok araştırma saf ve karışık bakteri, mantar ve alg kültürleri ile boyaların kısmi veya tam biyolojik bozunmasının gerçekleştiğini göstermiştir (Zee, 2002).

#### **Bakteriyel Biyolojik Bozunma**

Boyanın biyolojik olarak bozunabilirliğinin genel olarak değerlendirilmesi için boyaların kimyasal yapılarının göz önüne alınması gerekir. Bakteriyel boya biyodönüşümü üzerine yapılan araştırmalar en çok azo boyalar üzerine yapılmıştır (Fewson, 1988).

#### **Fungal biyolojik bozunma**

Lignin bozundurucu ve beyaz çürük mantarlar çok çeşitli aromatikleri bozabilir. Bu özellik temel olarak lignin peroksidaz, mangan peroksidaz ve lakkaz gibi lignolitik enzimlerinin nispeten spesifik olmayan aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Boyaların beyaz çürük mantarlar tarafından bozulması ilk olarak 1983'te yayınlanmıştır ve birçok araştırma makalesinin konusu olmuştur. Tüm kimyasal olarak farklı gruplardan bütün boyalar mantar oksidasyonuna eğilimlidir. Ancak mantar türleri arasında katalizör güçleri ve boya seçiciliği bakımından büyük farklılıklar vardır. Boya yapısı ile mantarın boyayı biyolojik olarak bozundurma arasında açık bir ilişki bulunamamıştır (McMullan, 2001).

#### **Alg ile Biyolojik Bozunma**

Birçok azo boyanın yosun tarafından bozundurulduğu birkaç çalışmada bildirilmiştir. Alglerin sülfonlanmış olanlarının bile birkaç aromatik amini parçaladığı görülmüştür. Atık su arıtma sistemlerinde özellikle stabilizasyon havuzlarında

alglerin, azo boyaların ve aromatik aminlerin sudan uzaklaştırılmasında katkısı olduğu tespit edilmiştir (Zee, 2002). Çeşitli biyolojik renk giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.7’de verilmiştir.

**Tablo 2.7:** Biyolojik renk giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018)

| <b>Yöntem</b>                                     | <b>Açıklama</b>                                                                             | <b>Avantajları</b>                                                              | <b>Dezavantajları</b>                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mikrobiyal biyokütle tarafından adsorpsiyon       | Organik molekülü organizmaların karışımı, boya moleküllerini emecek şekilde tasarlanmıştır. | Seçilen boyalar, mikrobiyal biyokütleyle karşı istisnai bir afiniteye sahiptir. | Tüm boyalar için etkili bir yöntem değildir.                                                                                                                                              |
| Alg bozulması                                     | Alg kendi kendine büyümek için boya partikülünü kullanır.                                   | Boyaları tüketebilir. Ucuz. Kolayca değerlendirilebilir. Çevre dostu süreç.     | Kararsız sistem.                                                                                                                                                                          |
| Aerobik-anaerobik kombinasyon (geleneksel yöntem) | Hazırlanan çamur, karmaşık boya moleküllerini parçalamaktadır.                              | Çeşitli boya türlerini oldukça renklendirmek mümkün. Ucuz. Köpük oluşumu yok.   | Tüm boya parçacıklarını tamamen ortadan kaldırmaz. Yan ürünler olarak metan ve hidrojen sülfür oluşumu. Esnek olmayan yöntem Geniş arazi alanı gerektirir. Çamur üretir. Uzun zaman alır. |

**Tablo 2.7** Biyolojik renk giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018) (devamı)

|                                           |                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Enzim bozulması                           | Ekstrakte edilmiş enzim, boya moleküllerini parçalamak için kullanılır.                        | Ucuz. Yüksek verim. Toksik olmayan. Enzimler kullanarak boyaları bozma özelliğine sahiptir. Yeniden kullanılabilir. | Güvenilmez miktarda enzim üretimi                                                                                                          |
| Mantar kültürleri                         | Mantar, boya moleküllerini yıkar ve kendi gelişimleri için onları tüketir.                     | Aynı anda çeşitli boya tiplerini ortadan kaldırabilir. Esnek yöntem.                                                | Uzun büyüme aşaması. Büyümek için azotla sınırlı bir alana ihtiyaç var. Tam boya sökümü için büyük reaktörler gerektirir. Kararsız sistem. |
| Karışık bakteri gibi mikrobiyal kültürler | Boya partiküllerini gidermek için kimyasallar veya diğer bakterilerle karıştırılan bakteriler. | Hızlı sayılan boya atık suyunun renklendirilmesinde maksimum 30 saat sürer.                                         | Sınırlı sayıda boyaya etkilidir. Yüksek maliyet nedeniyle büyük ölçekli uygulama tercih edilir.                                            |
| Saf ve karışık kültür                     | Boyayı gidermek için gerekli kimyasallarla alg, bakteri veya mantar karışımları.               | Yeniden kullanılabilir. Yalnızca azo boyasının çıkarılması için uygundur.                                           | Renksiz toksik yan ürünler. Çamur üretir. Arıtım sonrası geleneksel yöntem gerektirir.                                                     |

### **2.3.3 Fiziksel Yöntemler**

Fiziksel renk giderim yöntemleri genellikle kütle transfer mekanizması tarafından yaygın olarak gerçekleştirilen basit yöntemlerdir. Geleneksel fiziksel renk giderim yöntemleri adsorpsiyon, koagülasyon ve flokülasyon, iyon değişimi, nano filtrasyon, membran filtrasyon, ters ozmozdur. Üç yöntem arasında (fiziksel, kimyasal, biyolojik) fiziksel boya giderim yöntemleri en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu fiziksel yöntemler basitliği ve verimliliği için seçilir (Katherasan ve diğ, 2018).

#### **Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon prosesi, boya gibi çözünmüş organik kirleticilerin endüstriyel atıksudan uzaklaştırılmasında en etkili yöntemlerden biri olarak kullanılır. Adsorpsiyon, fiziksel veya kimyasal bağ yoluyla ekler oluşturmak için katı bir adsorbentin yüzeyine çok bileşenli bir sıvı (gaz veya sıvı) karışımının eklendiği bir yüzey olgusudur. Katı yüzeyi sağlayan madde adsorbent olarak adlandırılırken, sıvı fazdan çıkartılan materyal adsorbat olarak bilinir (Seow ve Lim, 2016).

#### **Biyosorpsiyon**

Biyosorpsiyon, sulu çözeltiden canlı olmayan biyokütleyle bağlanma işlemi olarak tanımlanır. Biyolojik kökenli materyaller kullanılarak çeşitli kirleticilerin giderimini sağlayan biyosorpsiyon atık su arıtımında iyi bir yöntemdir (Divriklioğlu, 2015). Bu yöntemle atık sulardan boyar madde, ağır metal, pestisit vb. kirleticiler uzaklaştırılabilmektedir.

## **Aktif karbon**

Renk gideriminde en yaygın kullanılan yöntemdir (Nasser, 1991). Özellikle, atık sulardan çok çeşitli boyaların çıkarılması için aktif karbonlar üzerine adsorpsiyonun etkinliği, onu diğer pahalı arıtma seçeneklerine ideal bir alternatif haline getirmiştir. Dispers, direkt, vat, pigment ve reaktif boyaların düşük miktarlarının ve katyonik, mordan ve asidik boyaların gideriminde çok etkilidir. Giderim verimi kullanılan karbon tipine ve atık suyun özelliklerine bağlıdır. Her ne kadar rejenerasyon ve yeniden kullanım ile performansta bir azalma gözlemlense ve renk giderimindeki yetersizlik tahmin edilemez hale gelse de renk giderim oranları, büyük miktarda karbon kullanılarak iyileştirilebilir. Diğer birçok renk giderim yönteminde olduğu gibi aktif karbon sadece belirli bir atık sistemi için çok uygundur. Aktif karbon pahalı olmakla beraber karbonun ayrıca tekrar aktif hale getirilmesi gerekir. Yeniden aktifleştirme kullanılan sorbentin %10-15 kaybına neden olur (Robinson ve diğ., 2001)

## **Turba**

Turbanın hücresel yapısı onun adsorbent olarak ideal bir seçim olmasını sağlar. Geçiş metallerini ve boya içeren polar organik bileşiklerini adsorbe etme kabiliyetine sahiptir. Yaygın olarak bulunabileceği İrlanda ve İngiltere gibi ülkelerde uygun bir Adsorbent olarak görülür. Aktif karbonun aksine aktivasyon gerektirmez ve çok daha düşük maliyetlidir (Poots ve McKay, 1976)

## **Odun talaşı**

Asidik boyalar için iyi bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olmasına rağmen sertlikleri nedeniyle diğer sorbentler kadar iyi değildir (Nigam ve diğ., 2000) ve daha uzun temas süresi gerekir (Poots ve McKay, 1976)

### **Uçucu kül ve kömür**

Yüksek bir uçucu kül konsantrasyonu, adsorbsiyon için mevcut yüzey alanını arttırdığından dolayı karışımın oranı adsorpsiyonunu artırır. Bu giderim uçucu kül/kömür oranının 1:1 olduğu aktifleştirilmiş karbon ile sağlanır (Gupta ve diğ., 1990).

### **Silika jel**

Bazık boyaları gidermek için etkili bir malzeme olmasına rağmen partiküllü yapısı sebebiyle hava kirliliği gibi yan etkilerinden dolayı ticari olarak kullanılması uygun değildir (Robinson ve diğ., 2001).

### **Diğer materyaller**

Doğal kil, mısır koçanı, pirinç kabukları vb. gibi substratların renk giderimi için kullanılması, bu substratların genel olarak yaygın ve ucuz olması sebebi ile avantajlıdır. Aktif karbonla karşılaştırıldığında renk giderimi için ekonomik olarak daha caziptir ve bu malzemeler ucuz olmasından dolayı rejenerasyona gerek olmaz (Robinson ve diğ., 2001).

### **Memran Filtrasyon**

Bu yöntem, rengi atıktan sürekli ayırma özelliğine sahiptir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında sıcaklığa, kimyasal ortama ve mikrobiyal saldırıya karşı dayanıklılık gibi rakipsiz bazı özelliklere sahiptir. Bu filtrasyon metodu eğer suda düşük konsantrasyonda boya var ise tekstilde suyun geri dönüşümü için uygundur (Robinson ve diğ., 2001).

## **İyon Değişimi**

Bu yöntem iyon değıştiricilerin çeşitli boyaları gideremediğı görüşü nedeniyle boya içeren atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılmamıştır (Slokar ve Marechal, 1998). Atık su değışim bölgesi doaygunluğa ulaşmcaaya kadar iyon değışim reçinesi üzerinden geçirilir. Hem katyonik hem de anyonik boyalar bu yolla atık sudan uzaklaştırılır. Maliyeti çok büyük bir dezavantajdır. Organik çözücüler pahalı olmakla birlikte iyon değıştirme yöntemi dispers boyalar için çok etkili değildir (Mishra ve Tripathy, 1993).

## **Radyasyon**

Organik maddelerin etkin bir şekilde radyasyon ile parçalanması için yeterli miktarda çözünmüş oksijen gerekir. Çözünmüş oksijen çok hızlı bir şekilde tüketildiğinden dolayı yeterli ve sabit olarak tedarik edilmesi gereklidir. Dolayısıyla bu prosesin maliyete etkisi vardır (Hosono ve diğ., 1993).

## **Elektrokinetik Koagülasyon**

Bu yöntem ekonomik olarak uygulanabilir bir renk giderim yöntemidir. Direkt boyaların atık sulardan mükemmel bir şekilde giderilmesini sağlayan demir sülfat ve demir klorür içerir. Ancak, asidik boyalarda düşük verim ve yüksek oranda demir sülfat ve demir klorür maliyeti yüzünden yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir. Optimum koagülant konsantrasyonu çözeltideki boyanın statik yüklenmesine bağlı olup, koagülasyonun bir parçası olarak oluşan çamurun giderilmesinde etkilidir. Fazla miktarda çamur üretimi meydana geldiğinden dolayı yüksek bertaraf maliyetine neden olur (Mishra ve Tripathy, 1993). Yukarıda bahsedilen fiziksel renk giderim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.8’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.8:** Fiziksel renk giderim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018)

| Yöntem                     | Açıklama                                                                                                                                                              | Avantajları                                                                           | Dezavantajları                                                                                                                                                    |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adsorpsiyon                | Adsorbentler, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip materyallerden boya moleküllerine adsorbe olmuşlardır.                                                            | Çok çeşitli boyalar için mükemmel temizleme yöntemi. Yeniden üretilebilir adsorbent.  | Adsorbentler pahalı olabilir.                                                                                                                                     |
| Koagülasyon ve Flokülasyon | Boya partiküllerinin birarada toplandığı boya atık suyuna pıhtılaşma / topaklanma uyarıcı maddeler eklenir. Kümeler daha sonra filtreleme yoluyla uzaklaştırılabilir. | Ucuz. Sağlam yöntem Sadece dispers, sülfür ve tekne boyası atık suları için uygundur. | Büyük miktarda konsantre çamur oluşumu. Asit, azo, bazik ve reaktif boya atıkları için uygun değildir. Özel kimyasallar nedeniyle bazen geniş. pH bağımlı sistem. |
| İyon değişimi              | Boya atık suyundan iyonların durağan bir katı yüzeye bağlı benzer iyonlarla değiştiği tersinir bir kimyasal işlem.                                                    | Yenilenebilir. İyi boya giderme yöntemi. Yüksek kalitede su üretir.                   | Sınırlı sayıda boyaya etkili.                                                                                                                                     |
| Işınlama                   | Radyasyon, boya moleküllerini boya atık suyundan uzaklaştırmak için kullanılır.                                                                                       | Laboratuvar ölçeğinde etkilidir.                                                      | Çok miktarda çözünmüş oksijen gerekir. Yaygın.                                                                                                                    |
| Membran filtrasyonu        | Boya atık suyu, boya parçacıklarını temiz sudan ayıran bir zardan geçirilir.                                                                                          | Su geri kazanımı ve tekrar kullanımı için etkili.                                     | Pahalı ilk yatırım. Kolay membran tıkanması. Konsantre çamur üretir. Boya sökümü için uygun değildir.                                                             |



**Tablo 2.8** Fiziksel renk giderim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (Katherasan ve diğ, 2018) (devamı)

|                                     |                                                                                                                               |                                                                                                                                  |                                                                                                                                               |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nano filtrasyon ve Ultra filtrasyon | Boya atık suları, boya parçacıklarını temiz sudan ayıran ince gözenekli bir zardan geçirilir.                                 | Her türlü boyayı giderebilir.                                                                                                    | Yüksek fiyat. Yüksek enerji tüketimi Membran gözenekleri, boya molekülleri tarafından sürekli tıkanır. Yüksek basınç gerektirir. Kısa ömürlü. |
| Ters osmoz                          | Suyun, bir tarafta kirletici maddeler, diğerinde su bırakarak son derece ince bir zardan geçirildiği basınçla çalışan sistem. | Ortak su geri dönüşüm yöntemi. Çeşitli boyaların renklendirilmesi ve tuzunun giderilmesi için etkilidir. Temiz ve saf su üretir. | Masraflı. Yüksek basınç gerektirir.                                                                                                           |

## 2.4 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon gaz-katı veya sıvı-katı ara yüzü gibi iki faz ara yüzeyinde maddelerin biriktiği bir kütle transfer işlemidir. Adsorbe edilen maddeye ‘adsorbat’ ve adsorbe edici maddeye ‘adsorbent’ denir. Adsorbat ve adsorbentlerin özellikleri oldukça spesifiktir ve bileşenlerine bağlıdır. Katı yüzey ile adsorbe edilmiş moleküller arasındaki etkileşim fiziksel bir yapıya sahipse ‘fiziksel adsorpsiyon’ denir. Çekim etkileşimleri Van der Waals kuvvetleridir ve bu kuvvetler zayıf oldukları için tersinirdir. Diğer bir yandan adsorbe edilmiş moleküller ile katı yüzey arasındaki çekim kuvvetleri kimyasal bağlanmadan dolayı ise adsorpsiyon işlemi ‘kimyasal adsorpsiyon’ olarak adlandırılır. Fiziksel adsorpsiyonun aksine kimyasal adsorpsiyon tek tabaka halinde meydana gelir ve katı yüzey üzerindeki kimyasal olarak emilen maddeler daha zor giderilir. Uygun koşullar altında her iki işlem aynı anda veya alternatif olarak gerçekleşebilir. Fiziksel adsorpsiyon ekzotermiktir. Katı-sıvı bir

sistemde adsorpsiyon, çözeltilen maddelerin uzaklaştırılması ve katı yüzeyde birikmesiyle sonuçlanır. Çözeltide kalan çözünmüş madde, katı fazda adsorbe edilmesiyle dinamik bir dengeye ulaşır. Hem adsorbat sıcaklığının hem de konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak bir adsorbent tarafından alınabilen adsorbat miktarı sabit sıcaklıkta genel denkleme göre bir adsorpsiyon izotermi ile tarif edilebilir (De Gisi ve diğ, 2016).

#### **2.4.1 Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler**

Adsorpsiyonun etkinliğine ve verimine etki eden birçok faktör vardır. Bu faktörler: Adsorbentin yüzey alanı, adsorbentin ve adsorbatın yapısı, çözeltinin pH ı, ortam sıcaklığı, adsorpsiyon süresi, adsorbatın başlangıç derişimi ve adsorbent miktarıdır.

##### **Adsorbentin Yüzey Alanı**

Adsorpsiyon işleminin yüzeyde gerçekleşen bir olay olması sebebiyle adsorpsiyon işleminde önemli faktörlerdendir. Adsorpsiyon miktarı adsorbentin parçacık boyutu küçüldükçe ve gözenekli yapısı çoğaldıkça artmaktadır.

##### **Adsorbentin Yapısı**

Adsorpsiyonun kapasitesi ve adsorpsiyonun hızı üzerinde, adsorbentin fizikokimyasal yapısı büyük rol oynar. Adsorbentin bazik, asidik ya da nötr olması adsorpsiyonu belirleyen etkenlerin başında gelir. Özellikle fonksiyonel grupların türü adsorbatı yüzeye bağlayan kuvvetlerin etkisini belirlemektedir.

## **Adsorbatın Yapısı**

Çözelti ortamında adsorbatın çözünürlüğü azaldıkça adsorpsiyon miktarı artar. Çözünürlük arttıkça adsorbe olan bileşenin adsorbentin yapısına tutunması daha da zor olmaktadır.

## **Çözelti pH'ı**

Adsorpsiyon işleminde, işlemin meydana geldiği çözeltinin pH'ı adsorbentin yüzey yükünü, iyonlaşma derecesini etkilemesi ve adsorplanan maddede yeni türlerin oluşması sebebiyle adsorpsiyonu etkileyen parametrelerin başında gelir. Endüstride kullanılan çeşitli boyaların çoğu anyonik boya olup, çözelti ortamında pH azaldıkça boyanın tutulması artmaktadır. Çözeltinin pH'ını değiştirebileceği için adsorbentin kendi pH değeri de önemlidir.

## **Sıcaklık**

Sıcaklık adsorpsiyon işleminin endotermik veya ekzotermik olduğunu gösteren önemli bir faktördür. Eğer sıcaklık artışı ile beraber adsorpsiyon kapasitesi artıyor ise işlem endotermiktir. Aksine sıcaklık artışıyla adsorpsiyon kapasitesi azalıyor ise işlem ekzotermiktir.

## **Adsorbatın Başlangıç Derişimi**

Adsorpsiyon işleminde düşük adsorbat derişiminde yüzeyde tutunmaya uygun boş yerler vardır. Adsorbat derişimi arttıkça bu boşluklar dolacak ve buna bağlı olarak adsorpsiyonun etkinliği azalacaktır. Başlangıç adsorbat derişimindeki artış adsorpsiyon hızının artmasına sebep olabilir. Bunun nedeni, yüksek derişimin kütle transferi için itici bir güç oluşturmasıdır.

## **Adsorbentin Dozu**

Genellikle artan adsorbent dozu ile birlikte adsorpsiyon yüzdesi de artmaktadır. Yapılacak çalışmalarda farklı adsorbent dozlarının adsorpsiyona etkisi incelenerek kirlilik giderimine ekonomik bir bakış açısı getirilebilir (Akköz 2018).

### **2.4.2 Adsorpsiyon Dengesi Ve İzoterm**

Adsorpsiyon dengesi adsorbent üzerine adsorbe edilen çözünen miktarının, desorbe edilen miktara eşit olması durumunda kurulur. Bu noktada denge çözeltisi konsantrasyonu sabit kalır. Katı faz konsantrasyonunun sıvı faz konsantrasyonuna karşı grafiksel olarak çizilmesi ile denge adsorpsiyon izoterminin görülmesi mümkündür (Allen ve diğ. 2003). Bir adsorpsiyon işleminin uygun tasarımı elde etmek için adsorpsiyon dengesi verileri gereklidir. Adsorpsiyon dengesi, adsorpsiyon izotermi adı verilen matematiksel formül ile gösterilir. Sıvı faz adsorpsiyon dengesini göstermek için çeşitli adsorpsiyon modelleri mevcut olup, en yaygın kullanılan modeller Langmuir, Freundlich ve Temkin modelleridir (Putro ve diğ, 2017).

#### **Langmuir İzotermi**

Langmuir izoterm teorisi homojen bir adsorbent yüzeyinde tek katmanlı adsorbat kapsama alanını varsaymaktadır. Grafik olarak bir plato şekli Langmuir izotermini karakterize eder. Bu denge noktasında adsorpsiyonun daha fazla oluşmadığı bir doyma noktasına ulaşılır. Adsorbent içindeki belli bir homojen bölgede sorpsiyon işleminin gerçekleştiği varsayılmaktadır. Bir boya molekülü bir alanı işgal ettiğinde o bölgede başka bir adsorpsiyon işlemi gerçekleşemez (Putro ve diğ, 2017).

Langmuir izoterm modelini geliştirmek için üç varsayım yapılmıştır:

- Adsorpsiyon enerjisi, yüzey homojenliği nedeniyle tüm adsorpsiyon bölgelerinde sabittir.
- Adsorpsiyon adsorbent yüzeyindeki belirli alanlarda oluşur.
- Adsorpsiyon enerjisi tüm bölgelerde aynı olup, her aktif adsorpsiyon bölgesi sadece bir adsorbat molekülünü barındırmaktadır.

Bu varsayımları ve kinetik prensibi uygulayarak Langmuir Denklemi Eşitlik 2.1 ile ifade edilir:

$$q_e = q_{max} \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1 ayrıca doğrusallaştırılmış şekilde Eşitlik 2.2 olarak ta yazılabilir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{K_L q_{max}} \quad (2.2)$$

Bu formüllerde;

$q_e$ : İyonun katı faz konsantrasyonu( mg /g adsorbent)

$q_{max}$ : İyonun katı fazdaki max. Konsantrasyonu (mg /g adsorbent)

$C_e$ : İyonun sıvı fazdaki denge konsantrasyonu(mg/L)

$K_L$ : Doygunluk sabiti (Langmuir sabiti) (L/mg)

$C_e/q_e$ 'ye karşı  $C_e$  grafiğe geçirildiğinde elde edilen grafikten  $q_{max}$  ve  $K_L$  bulunur.

Ayrıca Langmuir izoterm sabiti kullanılarak giderim prosesinin adsorpsiyon tipi tespit edilebilir. Bunun için  $R_L$  ayırma faktörü belirlenmelidir. Ayırma faktörü Eşitlik 2.3'te verilmektedir.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (2.3)$$

Burada ayırma faktörünün değerleri izoterm tipleri hakkında bilgi vermekte olup, bunlar tersinmez ( $R_L=0$ ), uygun, olumlu ( $0 < R_L < 1$ ), uygun olmayan ( $R_L > 1$ ) ve lineer ( $R_L=1$ ) şeklindedir.

### Freundlich İzotermi

Adsorpsiyon deneysel verilerini ilişkilendirmek için yaygın olarak kullanılan diğer bir model Freundlich İzotermidir. Freundlich izoterm modeli sulu sistemde deneysel adsorpsiyon verilerini temsil etmek için en yaygın şekilde kullanılan ampirik bir denklemdir. Freundlich Denklemi aşağıdaki gibidir:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.4)$$

Burada  $n$ , adsorbentin heterojenliğini temsil ederken  $K_F$  adsorbentin adsorpsiyon kapasitesini gösterir. Denklem şu şekilde de gösterilebilir;

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.5)$$

$\log q_e$  ile  $\log C_e$  ye göre,  $1/n$ 'lik bir eğim ve  $\log K_F$ 'nin kesişmesiyle düz bir çizgi elde edilir.  $n$ 'nin değeri 1 ile 10 arasında olduğunda olumlu bir adsorpsiyon gerçekleşir.  $1/n < 1$  ise adsorbat molekülü ile adsorbent arasındaki güçlü etkileşim manasına gelir (Putro ve diğ, 2017).

### Temkin İzoterm Modeli

Temkin izotermi, asidik çözeltilerde platin elektrotlar üzerinde hidrojen gazının adsorpsiyonunu tarif etmek, başka bir deyişle kimyasal sorpsiyon sistemi için geliştirilmiştir (Putro ve diğ, 2017). Ayrıca Temkin ve Pyzhev bazı adsorbat/adsorbat etkileşimlerinin adsorpsiyon izotermi üzerindeki etkilerini göz önüne almış ve bunun sonucunda tabakadaki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısının, yüzeyin kaplanmasıyla doğrusal olarak azalacağını belirtmişlerdir (Allen ve diğ, 2003). Temkin izoterm modelinin matematiksel olarak gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(K_T C_e) \quad (2.6)$$

Burada,  $b_T$  ve  $K_T$  Temkin denkleminin karakteristik sabitleri,  $R$  gaz sabiti (J/mol K),  $T$  sıcaklık (K),  $C_e$  Denge konsantrasyonu (mg/L)'dur.  $q_e$  değerleri,  $\ln$

$C_e$ 'ye karşı grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrudan  $b_T$  ve  $K_T$  sabitleri bulunur.  $B=RT/b_T$  şeklinde ifade edilebilir.

### 2.4.3 Adsorpsiyon Kinetiği

Belirli bir bileşiğin adsorpsiyonu için, sorpsiyon kinetiğini tahmin edebilme yeteneği bir adsorpsiyon sisteminin doğru tasarımı için çok önemlidir. Bu nedenle birçok adsorpsiyon kinetik sistemi için birçok sorpsiyon kinetik modeli geliştirilmiş ve test edilmiştir. Mevcut adsorpsiyon kinetiği modelleri ara yüzey kinetiği, dar alan çekirdek kavramı ve partikül içi yüzey difüzyon teorisi gibi bazı temel yaklaşımlara göre geliştirilmiştir. Mevcut kinetik modeller arasında yalancı birinci dereceden kinetik model, yalancı ikinci dereceden kinetik model sorpsiyon verilerini ilişkilendirmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kinetik adsorpsiyon çalışmalarında adsorbent tarafından adsorbe edilen çözünenin miktarı zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Adsorpsiyonun kinetik profili sayesinde adsorpsiyon işlemini kontrol eden adsorpsiyon mekanizmasının türü elde edilebilir.

#### Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model

Yalancı birinci dereceden kinetik model, ilk olarak Lagergren (1898) tarafından önerilmiştir. Bu model ara yüzey kinetiğinin temel yaklaşımına göre geliştirilmiş olup, denklemin diferansiyel formu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2,303} \quad (2.7)$$

Burada,  $q_e$  denge anında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g),  $q_t$  herhangi bir anda adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g),  $k_1$  hız sabiti ( $dk^{-1}$ ),  $t$  temas süresidir. Hız sabiti  $k_1$ ,  $\log (q_e - q_t)$ 'nin  $t$ 'ye karşı çizilen grafiğin eğiminden hesaplanır. Teorik  $q_e$  değeri ise grafiğin kesişim noktasından hesaplanır.

### Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model

Yalancı ikinci dereceden kinetik model Blanchard ve ark. (1984) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2.8)$$

Ardından bu denklem Ho (1995) tarafından lineer formatta yeniden düzenlenmiştir ve şu şekildedir:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{k_2 q_e^2} \quad (2.9)$$

Burada  $q_e$  denge anında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g),  $q_t$  herhangi bir anda adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g),  $k_2$  hız sabitidir (g/(mg.dk)). Başlangıç adsorpsiyon hızı ise  $h = k_2 q_e^2$  dir. Hız sabiti  $k_2$  ve teorik  $q_e$  değerleri sırasıyla  $t/q_t$  'nin  $t$ 'ye karşı çizilen grafiğinin kesişim ve eğiminden hesaplanır.

### Partikül İçi Difüzyon Modeli

Partikül içi difüzyon modeli Weber ve Morris (1963) tarafından geliştirilmiştir. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$q_t = k_i . t^{1/2} + C \quad (2.10)$$

Buradaki partikül içi difüzyon hız sabiti (mg/(g.dk<sup>0,5</sup>)), C adsorbent ile adsorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren bir sabittir. Hız sabiti  $k_i$ ,  $q_t$ 'nin  $t^{1/2}$ 'ye karşı çizilen grafiğin eğiminden hesaplanır. C ise kesişim değerine eşittir.

Deneylerden elde edilen veriler grafikler yardımıyla değerlendirilerek adsorpsiyona en uygun izoterm ve adsorpsiyon hızının derecesi bulunur.



## 2.5 Adsorpsiyon İle Renk Giderimi Üzerine Yapılan Literatür Çalışmaları

V.K Garg ve ark. (2004) tarafından, malahit yeşili boyasının işlem görmüş talaş kullanılarak adsorpsiyon yöntemiyle giderimi araştırılmıştır. Talaşa, formaldehit ve sülfirik asit ile ön işlem yapılmış, sülfirik asitle ön işleme tabi tutulan talaşın formaldehite göre daha fazla renk giderdiği tespit edilmiştir. Araştırmada optimum koşulların adsorbent dozu için 0,4 g/100ml, pH için 6-9 aralığı ve sıcaklık için de 26 derece civarında olduğu tespit edilmiş olup %99,8 oranında giderim verimine ulaşılmıştır.

Zarezadeh M. ve ark. (2014) tarafından, “Basic Blue 41” boyasının nano gözenekli silika kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada optimum koşulların temas süresi için 60 dakika, boya konsantrasyonu için 50 mg/L, pH için 7, sıcaklık için 25 derece olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada %99 oranında giderim verimine ulaşılmıştır.

Manju, Narsi R. Bishnoi (2016) tarafından Metilen Blue boyasının immobilize edilmiş pirinç kabuğu kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada optimum koşulların adsorbent dozajı için %1, boya konsantrasyonu için 300 mg/L, pH için 7, temas süresi için 2 gün ve sıcaklık için 30 derece olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmada %88 oranında giderim verimine ulaşılmıştır.

Engade K., Gupra S.G. (2007) tarafından, Rathiline Scarlet Red boyasının ölü mikrobiyal *Saccharomyces cerevisiae* kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada optimum koşulların temas süresi için 30 dakika ve sıcaklık için 25 derece olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada %84 oranında giderim verimine ulaşılmıştır.

N.F. Ali, R.S.R. El – Mohamedy (2012) tarafından, Acid Red 27 boyasının izole edilmiş mikrobiyal *Plouritus ostreatus* kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada optimum koşulların temas süresi için 9 gün, boya konsantrasyonu için 0,04 g/L, sıcaklık için 25 derece ve pH için 4-5 arasında olduğu tespit edilmiştir. Deneyde %85 oranında giderim verimine ulaşılmıştır.

Aksu Z.Ü, Tezer S. (2005) tarafından, Remazol Black B boyasının kurutulmuş yeşil alg *Chlorella vulgaris* kullanılarak alg bozunumu yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada optimum koşulların sıcaklık için 35 derece, pH için 2, başlangıç boya konsantrasyonu için 800 mg/L, temas süresi için en az 24 saat olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada %85,2 oranında giderim verimine ulaşılmıştır.

G. Vijayaraghavan, S. Shanthakumar (2015) tarafından, Direkt Blue 2 boyasının *Sargassum sp.* kullanılarak alg bozunumu yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada optimum koşulların koagülant dozajı için 40 mg/L, kalsiyum dozajı için 6 mg/L, başlangıç boya konsantrasyonu için 200 mg/L ve pH için 4 olduğu tespit edilmiştir. Bu deneyde %86,1 giderim verimine ulaşılmıştır.

S. Venkata Mohan ve ark. (2005) tarafından, Acid Black 10 BX boyasının serbest ve immobilize yaban turbu peroksidazı kullanılarak enzim bozunumu yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada temas süresi için 0-90 dakika arasında, boya konsantrasyonu için 5-40 mg/L, enzim konsantrasyonu için 0,735-4,41 birim/mL, hidrojen peroksit konsantrasyonu için 0,1-0,8 µL/L ve pH için 2-9 aralıklarında deneyler yapılmış ve maksimum verim %87 olarak belirlenmiştir.

Mohammed A. Hassaan ve ark. (2017) tarafından Direkt Blue 86 boyasının ozon ve UV kombinasyonu kullanılarak ileri oksidasyon prosesi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada optimum koşulların başlangıç boya konsantrasyonu için 100 ppm, pH için 11, temas süresi için 35 dk olduğu tespit edilmiştir. Bu deneyde %98 giderim verimine ulaşılmıştır.

S. Sadri Moghaddam ve ark. (2010) tarafından Acid Red 119 boyasının Demir Klorürlü çamur kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Araştırmada koagülant dozajı için 236,68 mg/L, başlangıç boya konsantrasyonu için 65,91 mg/L ve pH için 3,5 olduğu tespit edilmiştir. Bu deneyde %96,53 oranında giderim verimine ulaşılmıştır.

### 3. MATERİYAL VE METOT

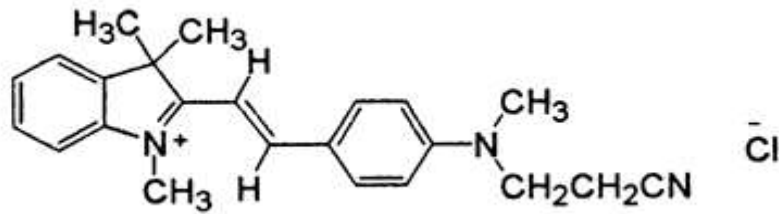
#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Kullanılan Boyar Maddeler

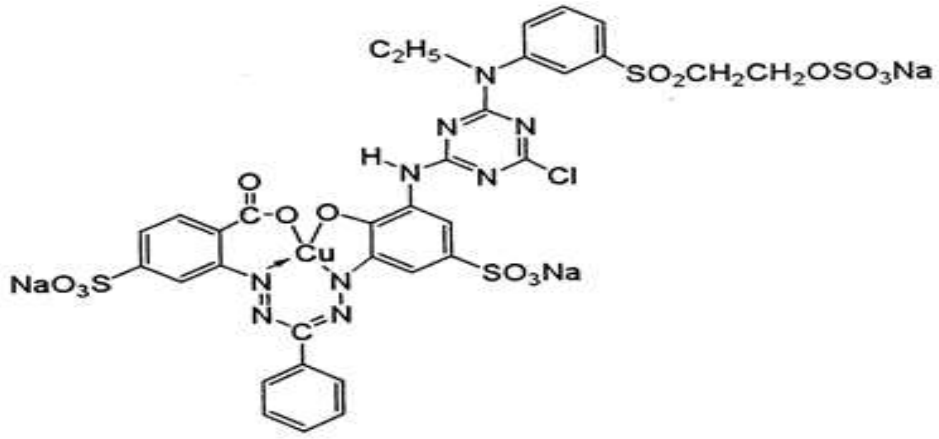
Bu çalışmada, renk verici boyar madde olarak bazik boya olan Basic Red 14 (Red X-5GN) ve reaktif bir boya olan Reactive Blue 221 (RB 221) kullanılmıştır. Bu boyalar Alfa Kimya'dan temin edilmiştir. Red X-5GN ve RB 221'e ait özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir. Red X-5GN ve RB 221'e ait açık formüller ise sırasıyla Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. Boya çözeltilerinin hazırlanmasında ultra saf su, pH ayarlamalarında ise seyreltik nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) ve sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) kullanılmıştır.

**Tablo 3.1:** Red X-5GN ve RB 221 boyalarına ait özellikler

| Boyar Madde | Boya türü | Molekül Formülü                                                              | Molekül Ağırlığı (g/mol) | CAS Numarası          | Kaynak            |
|-------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|
| Red X-5GN   | Bazik     | $\text{C}_{23}\text{H}_{26}\text{ClN}_3$                                     | 379.93                   | 12217-48-0            | Basic Red 14      |
| RB 221      | Reaktif   | $\text{C}_{33}\text{H}_{24}\text{ClCuN}_9\text{Na}_3\text{O}_{15}\text{S}_4$ | 1082,83                  | 93051-41-3/89933-65-3 | Reactive Blue 221 |



**Şekil 3.1:** Red X-5GN



Şekil 3.2: RB 221

### 3.1.2 Kullanılan Adsorbent ve Özellikleri

Ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) önde gelen yağ çekirdeği bitkilerinden biridir. Yağ, tipik olarak ayçiçeği tohumlarına büyük basınç uygulanarak elde edilir. Tohumlardan yağ çıkarımında, %30 oranında ayçiçeği çekirdeği kabuğu atık olarak oluşur. Genellikle bu atıklar çöplüklerde bertaraf edilmesine karşın daha değerli ürünlere dönüştürülmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Kullanılan ayçekirdeği kabukları Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Deneylerde Kullanılan Çekirdek Kabukları

## 3.2 Deneysel Çalışmalar

### 3.2.1 Kullanılan Alet ve Teçhizatlar

Deneylerde Adsorbent olarak 125-500 $\mu$ m boyutundaki AÇK tozu, bir adet öğütücü, 250 ml'lik cam erlenler, pH metre (WTW inoLab 7110), hassas terazi (AND HR 250 AZ), analiz eleği (JEOTEST), manyetik karıştırıcı (ARE Heating Magnetic Stirrer) adsorpsiyon deneyleri için bir adet karıştırma hızı, süresi ve sıcaklık parametresi dijital olarak ayarlanabilen çalkalayıcılı inkübatör ( Lab Companion SI-300R), karıştırma işleminden sonra numuneleri adsorbentten ayırmak için karıştırma hızı ve süresi dijital olarak ayarlanabilen santrifüj (Hettich Zentrifugen Universal 320) kullanılmıştır. Deney sonrası numunelerin absorbans değerleri spektrofotometrede (Hach-Lange DR500) okunmuştur (Şekil 3.4).



(a)



(b)

**Şekil 3.4: (a) Santrifüj Cihazı (b) Çalkalayıcılı İnkübatör (c) pH Metre (d) Manyetik Karıştırıcı (e) Hassas Terazi (f) Spektrofotometre**



(c)



(d)



(e)



(f)

**Şekil 3.4: (a) Santrifüj Cihazı (b) Çalkalayıcı İnkübatör (c) pH Metre (d) Manyetik Karıştırıcı (e) Hassas Terazî (f) Spektrofotometre (devamı)**



### 3.2.2 Adsorbente Uygulanan Ön İşlem:

Denizli'deki yerel marketlerden temin edilen ayçiçeği çekirdekleri ayıklandı ve biriktirildi. Biriktirilen ayçekirdeği kabukları (AÇK) 5 L'lik pet şişede çeşme suyuyla yıkandı. Yıkanan AÇK ultra saf su ile tekrardan yıkandı. AÇK serildi ve etüve konularak 40 derecede 2 gün boyunca kurutuldu (Şekil 3.5).



(a)



(b)

**Şekil 3.5: (a)** Ayçekirdeği kabuklarının yıkanarak kurutulmak üzere alüminyum folyoya serilmesi **(b)** Ayçekirdeği kabuklarının etüvde kurutulması

İki gün sonunda etüvden çıkarılan AÇK öğütücü yardımıyla toz haline getirildi. Toz haline getirilen AÇK farklı boyutlardaki eleklerden geçirilerek 45-125 ve 125-500 µm boyutlarında AÇK tozu elde edildi. Elde edilen AÇK tozu boyutlarına göre farklı beherlere alınarak etüve yerleştirildi. 40 derecede 2 gün boyunca kurutuldu. Etüvden çıkarılan beherler parafilm ile kapatılarak deneylerde kullanılmak üzere desikatöre yerleştirildi (Şekil 3.6).



(a)



(b)

**Şekil 3.6:** (a) Ayçekirdeği kabuklarının elenmesinde kullanılan elekler (b) Öğütülmüş ve elenmiş ayçekirdeği kabuklarının boyutlarına göre ayrılması

### 3.2.3 Boya Çözeltilerinin Hazırlanması

Öncelikle hassas terazi çalıştırıldı ve kalibrasyonu yapıldı. Tartım kabının darası alınarak toz Red X-5GN boyasından 1 gram tartıldı. Tartılan toz boya 1 Litrelik balon jojeye aktarıldı. Ultra saf su ile 1 litreye tamamlanarak 1000 mg/L'lik Red X-5GN stok çözeltisi hazırlandı. Aynı işlemler RB 221 boyası için tekrarlanarak 1000 mg/L'lik RB 221 stok çözeltisi hazırlandı.

### 3.2.4 Deneylerin Yapılışı

Red X-5GN ve RB 221 boya çözeltileri belli oranlarda seyreltildikten sonra adsorbent (AÇK) ile yapılan deneylerde kullanılmıştır. Deneyler 100 mL Red X-5GN ve RB 221 boya çözeltisi içeren 250 mL'lik erlenler içerisinde gerçekleştirilmiştir. Belirli miktarda adsorbent ile 100 mL hacminde Red X-5GN ve RB 221 içeren çözelti bu erlenlere ilave edilerek süspansiyonlar farklı test periyotları için bir çalkalayıcı inkübatör içinde 25 °C'de ve 150 rpm hızında karıştırılmıştır. Uygun karıştırma ve arıtım süresinden sonra, süspansiyonlar 8 dakika süre ile 5000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Biyokütleden ayrılan solüsyonlardaki boya konsantrasyonları, Hach-Lange DR500 marka spektrofotometre cihazı ile analiz edilmiştir. Bu deneysel işleyiş



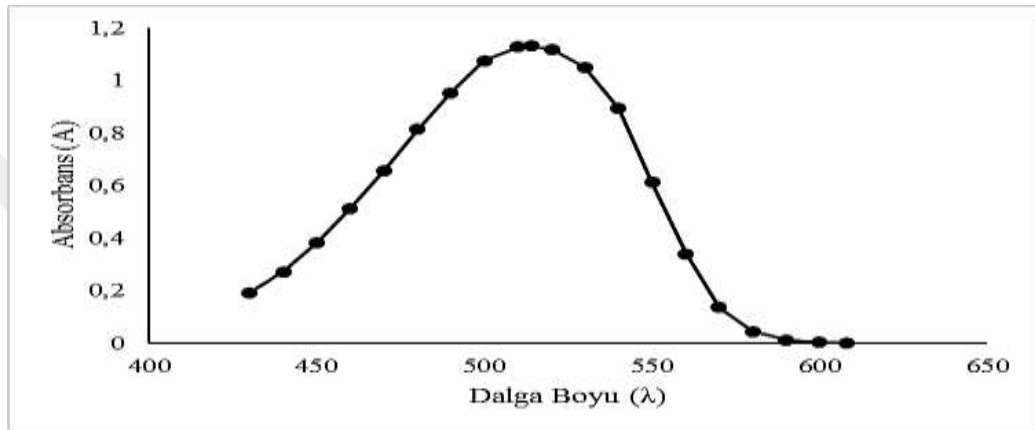
kapsamında pH, adsorbent dozajı, temas süresi ve başlangıç boya konsantrasyonu çalışmaları yürütülmüştür. Başlangıç boya konsantrasyonunun etkisinin incelendiği çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak izoterm çalışmaları yürütülmüş olup, temas süresi çalışmalarından elde edilen veriler kinetik modellerle yapılan değerlendirmelerde kullanılmıştır.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

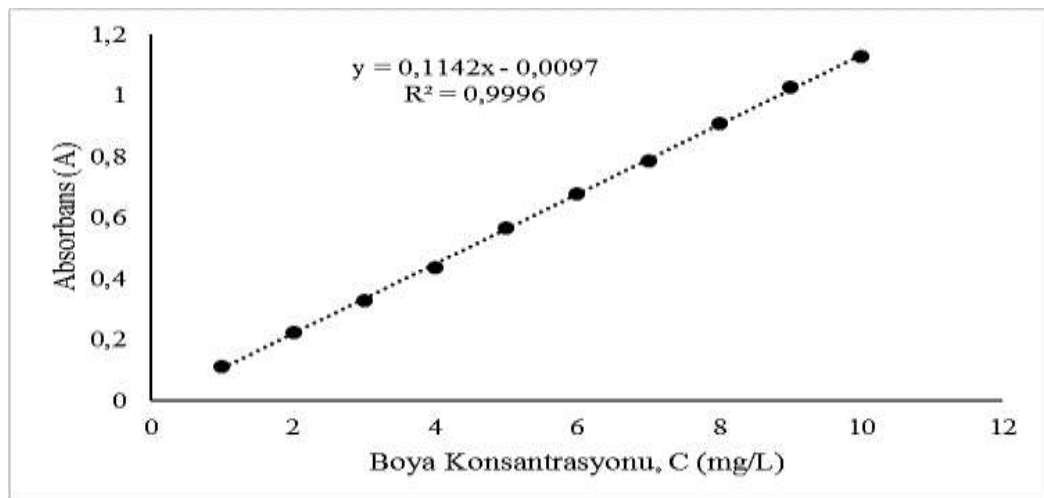
### 4.1 Red X-5GN İçin Dalga Boyu Taraması ve Kalibrasyon Grafiği

1000 mg/L'lik stok boya çözeltisinden gerekli seyreltme yapılarak elde edilen çözelti ile Şekil 4.1'de görüldüğü üzere dalga boyu olarak absorbansın pik yaptığı değer olan 514 nm belirlenmiştir.



Şekil 4.1: Dalga Boyu Taraması (Red X-5GN)

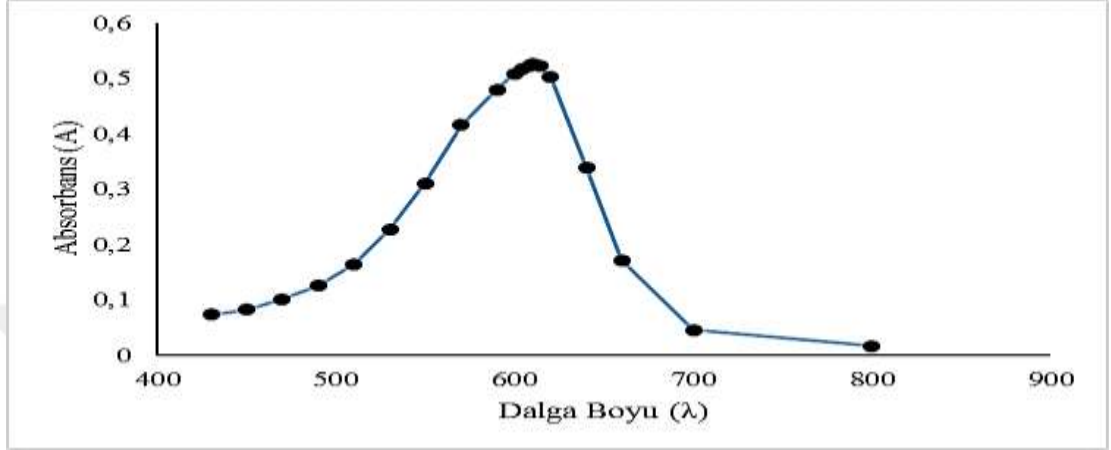
Dalga boyu belirlendikten sonra uygun seyreltmeler gerçekleştirilerek 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 mg/L'lik çözeltiler elde edilmiş ve ardından hazırlanan bu numunelerin spektrofotometre cihazında 514 nm'de absorbans değeri ölçülmüştür. Elde edilen kalibrasyon grafiği Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Kalibrasyon Eğrisi (Red X-5GN)

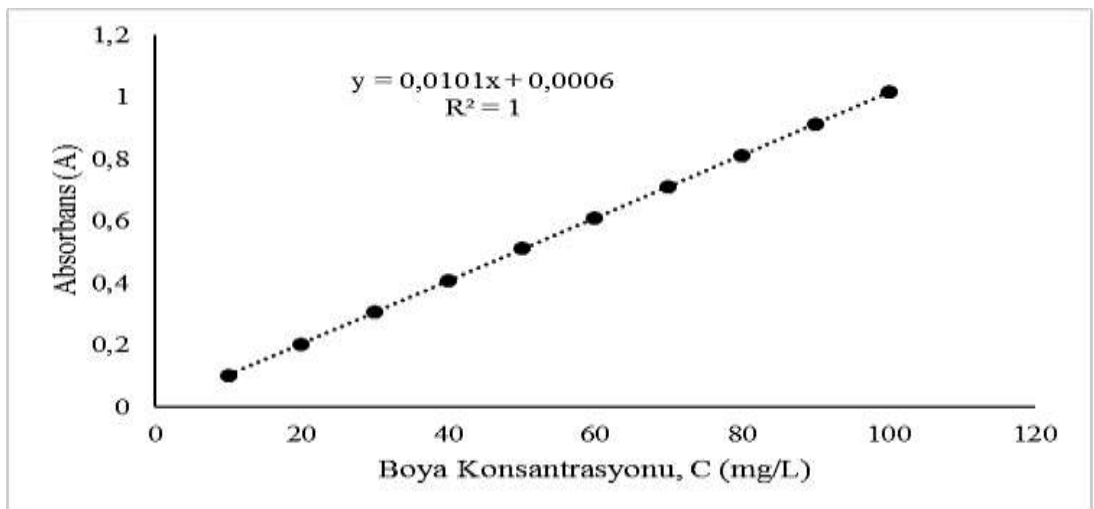
#### 4.2 RB 221 İçin Dalga Boyu Taraması ve Kalibrasyon Grafiği

1000 mg/L'lik stok boya çözeltisinden uygun seyreltme gerçekleştirilerek Şekil 4.3'te görüldüğü üzere dalga boyu olarak absorbansın pik yaptığı değer olan 610 nm belirlenmiştir.



Şekil 4.2: Dalga Boyu Taraması (RB 221)

Dalga boyu belirlendikten sonra uygun seyreltme işlemleri gerçekleştirilmiş ve hazırlanan 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 mg/L'lik çözeltilerin spektrofotometre cihazında 610 nm'de absorbans değeri ölçülmüş ve oluşturulan kalibrasyon grafiği Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Kalibrasyon Grafiği (RB 221)

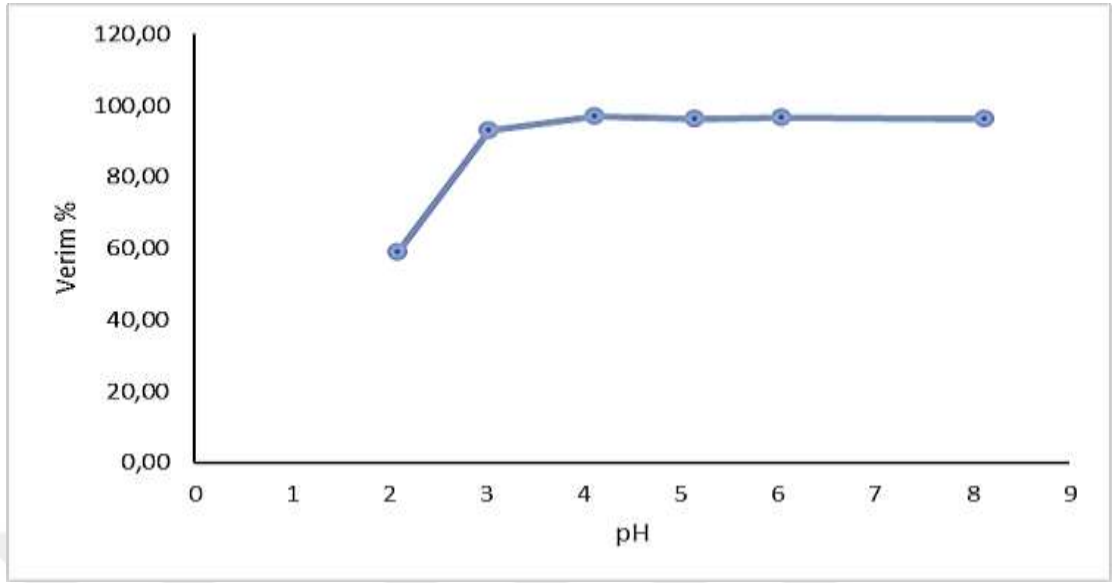
### 4.3 Red X-5GN

#### 4.3.1 Adsorpsiyona pH'ın Etkisi

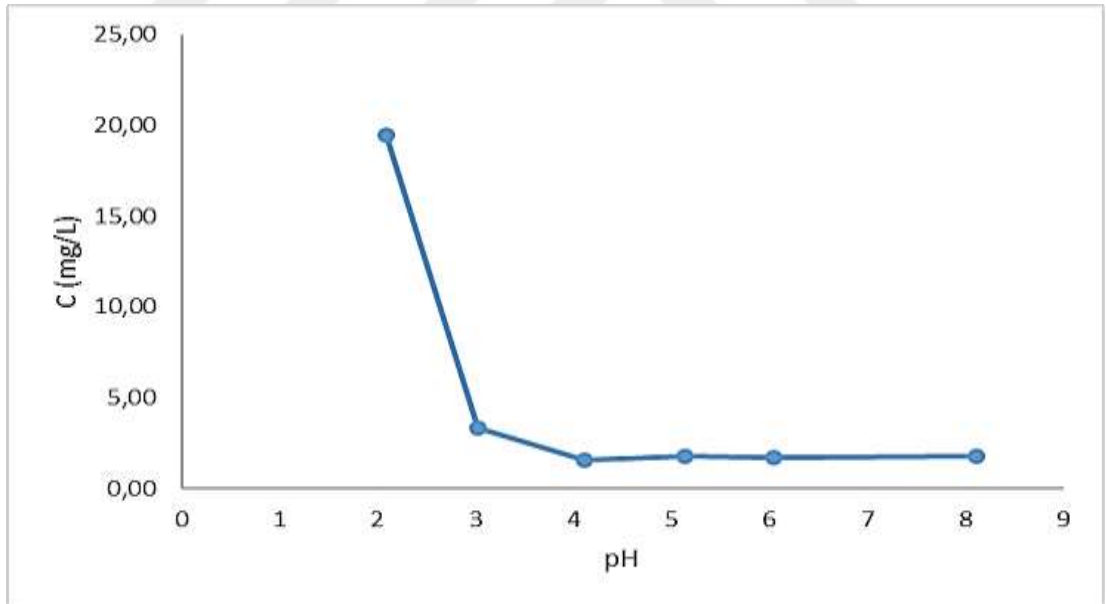
Ortam pH'ının adsorbentin adsorpsiyon kapasitesine etkisinin araştırılması amacıyla farklı pH değerlerine (2, 3, 4, 5, 6, 8) sahip RED X-5GN çözeltileri hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH ayarlaması farklı normalitelerdeki  $\text{HNO}_3$  ve  $\text{NaOH}$  çözeltileri kullanılarak yapılmıştır. Her bir çözelti 100 mL olacak ve yaklaşık 50 mg/L Red X-5GN içerecek şekilde ayarlanmıştır. Adsorbent (AÇK) miktarı her deney için 1 gr olarak belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler çalkalyıcı inkübatöre yerleştirilmiştir. 150 rpm 25 derecede 24 saat boyunca karıştırılmıştır. 24 saat sonra çalkalyıcı inkübatörden çıkarılan numuneler santrifüj cihazına yerleştirilmiştir. Santrifüj cihazında 5000 rpm'de 8 dk. boyunca santrifüjlenmiştir. Santrifüjden çıkarılan numuneler (Şekil 4.5) 514 nm'de spektrofotometre cihazı ile ölçüme tabi tutulmuştur. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda oluşturulan verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de gösterilmiştir.



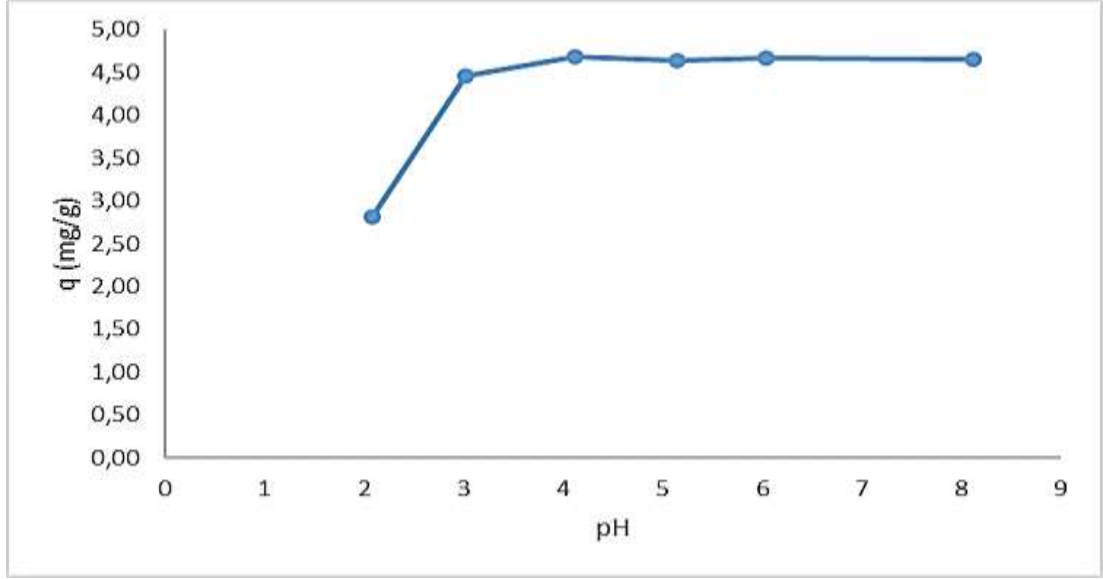
Şekil 4.5: Adsorpsiyona pH'ın etkisi deneyi



**Şekil 4.6:** Uygulanan pH'a göre Red X-5GN için elde edilen verim grafiği



**Şekil 4.7:** Uygulanan pH'a göre Red X-5GN için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



**Şekil 4.8:** Uygulanan pH'a göre Red X-5GN için elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

Adsorpsiyona farklı pH değerlerinin etkisi incelendiğinde ortaya çıkan sonuçlara göre pH değerinin artmasıyla beraber Red X-5GN konsantrasyonunda azalma görülmüştür. pH 4'te maksimum tutma kapasitesine erişilmiş ve %96,81 oranında verim elde edilerek maksimum boya giderimi gözlemlenmiştir. pH 4'ten sonra verim sabit kaldığı için optimum pH 4 olarak belirlenmiştir. Red X-5GN'nin bazik boya olmasından dolayı ortam pH'ı arttıkça yüksek verimler elde edilmiştir. Çalışılan pH değerlerinde boyanın pozitif yüklü olmasından dolayı, negatif olarak yüklü adsorbent partikülleri ve boya molekülleri arasında elektrostatik etkileşimler neticesinde adsorpsiyon miktarında artış gözlemlenmesi beklenen bir olaydır (Duman ve diğ., 2015). Burada özellikle pH arttıkça verim artmış ve maksimum verim elde edilmiştir. Düşük pH değerlerinde ise mevcut adsorbentin yüzeyinin atıksuda bulunan  $H^+$  iyonları ile etkileşime girdiği ve pozitif yüklü boyanın rekabeti neticesinde böylelikle verimin azaldığı düşünülmektedir (Akar ve diğ., 2011).

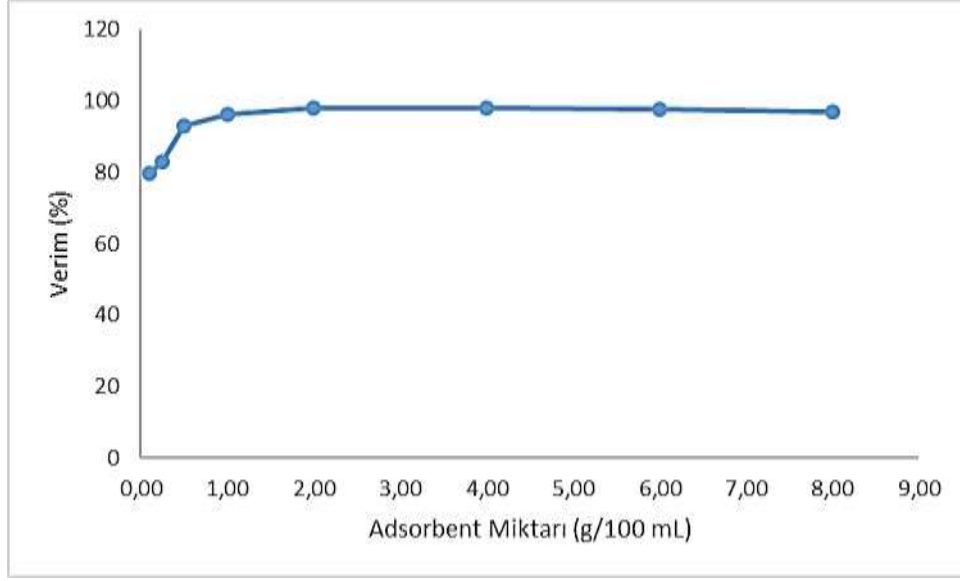
#### 4.3.2 Adsorpsiyona Adsorbent Dozajının Etkisi

Adsorbent dozajının adsorpsiyon üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı Adsorbent miktarları kullanılarak (0,1 – 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 6 – 8 gr) deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her bir çözelti 100 mL olacak ve yaklaşık 50 mg/L Red X-5GN içerecek şekilde ayarlanmıştır. 250 mL'lik erlenlere numaralandırılmak suretiyle

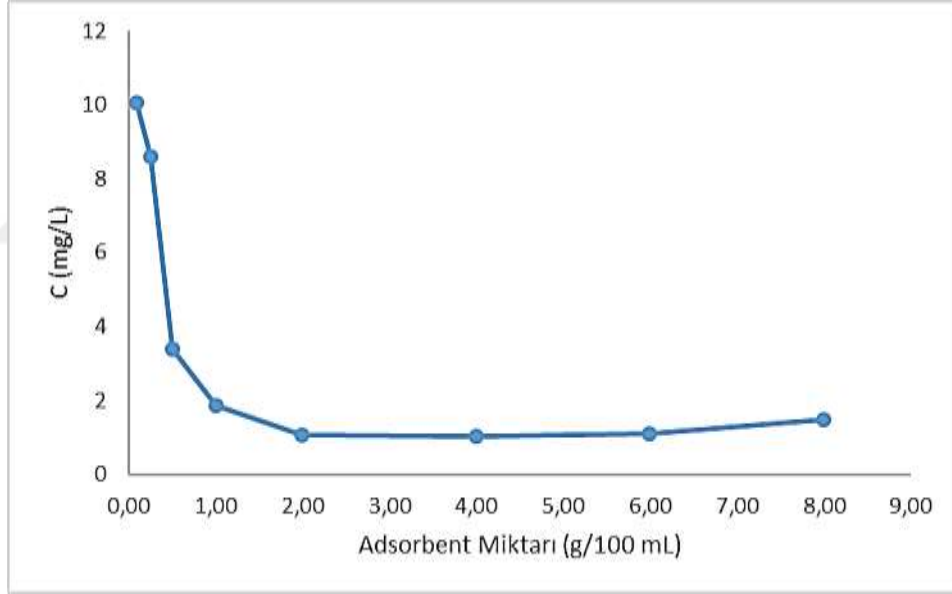
belirlenen miktarlarda Adsorbent eklenmiştir. Karıştırma hızı 150 rpm, sıcaklık 25 °C ve pH 4 olacak şekilde adsorpsiyon deneyi çalışmaları yürütülmüştür. 24 saat temas süresinden sonra karıştırma işlemi tamamlanmış, numunelere 5000 rpm’de 8 dakika boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işleminden sonra (Şekil 4.9) her bir numunenin spektrofotometrede absorbans değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmektedir.



**Şekil 4.9:** Adsorpsiyona adsorbent dozunun etkisi deneyi

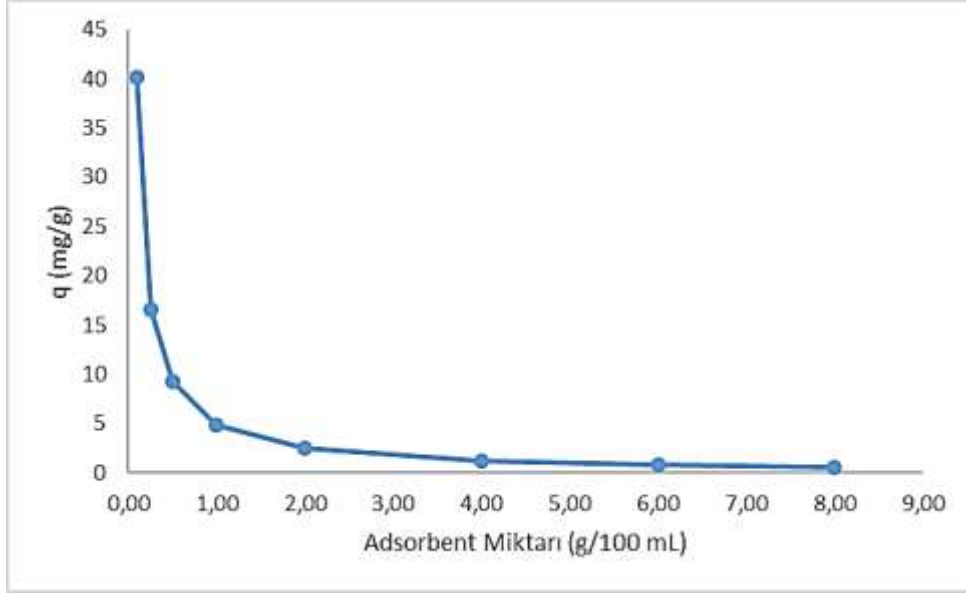


**Şekil 4.10:** Uygulanan adsorbent dozajına göre Red X-5GN için elde edilen verim grafiği



**Şekil 4.11:** Uygulanan adsorbent dozajına göre Red X-5GN için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



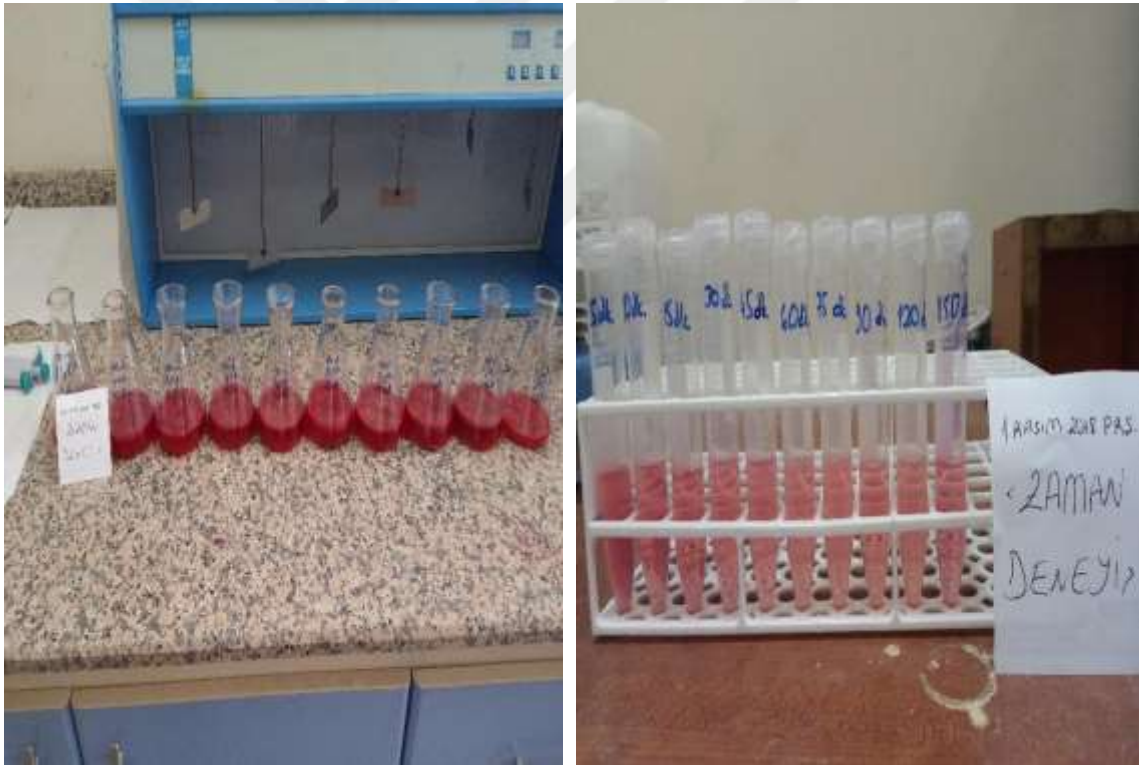


**Şekil 4.12:** Uygulanan adsorbent dozajına göre Red X-5GN için elde edilen adsorbentın tutma kapasitesi grafiği

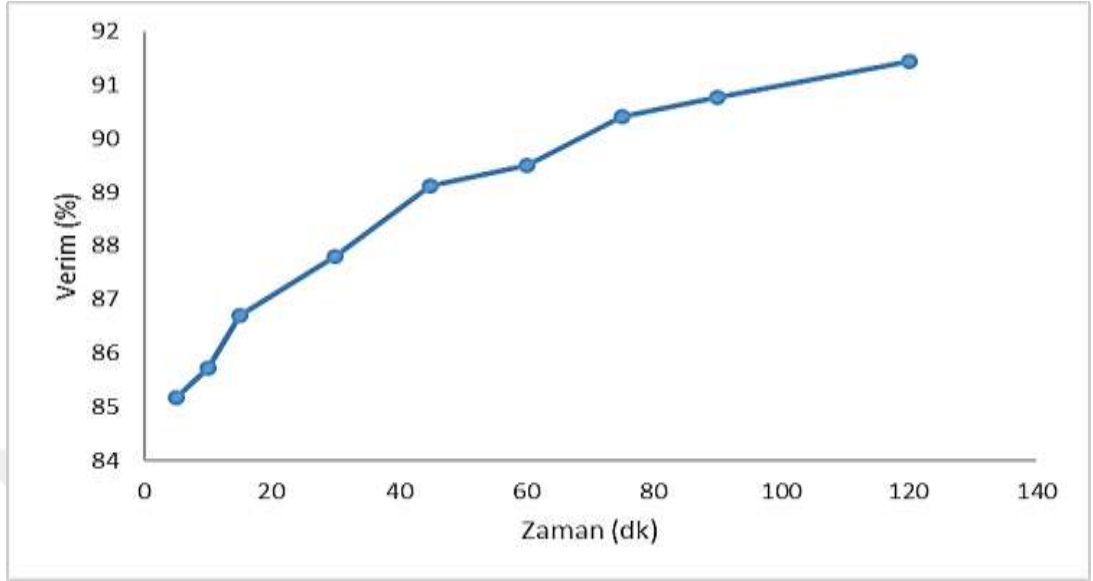
Yapılan adsorbent dozajının adsorpsiyona etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde yaklaşık 50 mg/L Red X-5GN başlangıç konsantrasyonunda 1 gr adsorbent dozajında verim %96,28 olarak gözlemlenmiştir. Ancak 1 gramdan sonra adsorbent dozajı arttıkça adsorbentın boyayı tutma kapasitesi beklenildiği üzere azalmıştır. Maksimum tutma kapasitesi 1 g adsorbent dozajında gerçekleşmiştir. Verimde belirgin bir artış olmamıştır. Bu tür bir eğilim, esas olarak adsorbent yüzey alanında bir artışa ve daha fazla aktif alanların varlığı sonucunda adsorbent-adsorbat iyonları arasındaki temas yüzeyinin artmasına bağlanmaktadır. Adsorbent miktarının artışıyla aktif adsorpsiyon alanlarının sayısının arttığı ve dolayısıyla, adsorbe edilen boya miktarında bir artışa yol açtığı anlaşılmaktadır. Ancak, adsorbent miktarının artırılmasıyla adsorpsiyon için mevcut aktif alanların sayısının da artması, adsorpsiyon sırasında adsorpsiyon bölgelerinin doymamış kalmasına, dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesinde bir azalmaya sebep olmaktadır. Boya gideriminde kullanılan adsorbentın optimum miktarda seçilmesi ekonomik açıdan önemli olmasından dolayı bu çalışma kapsamında adsorbent dozajı seçilirken adsorbentın etkili kullanımı göz önünde bulundurulmuştur. Verim ve adsorpsiyon kapasiteleri arasındaki bu ters ilişki literatürdeki farklı çalışmalarda da gözlemlenmiştir (Ari ve diğ., 2013; Gürel, 2017).

#### 4.3.3 Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi (48 mg/L)

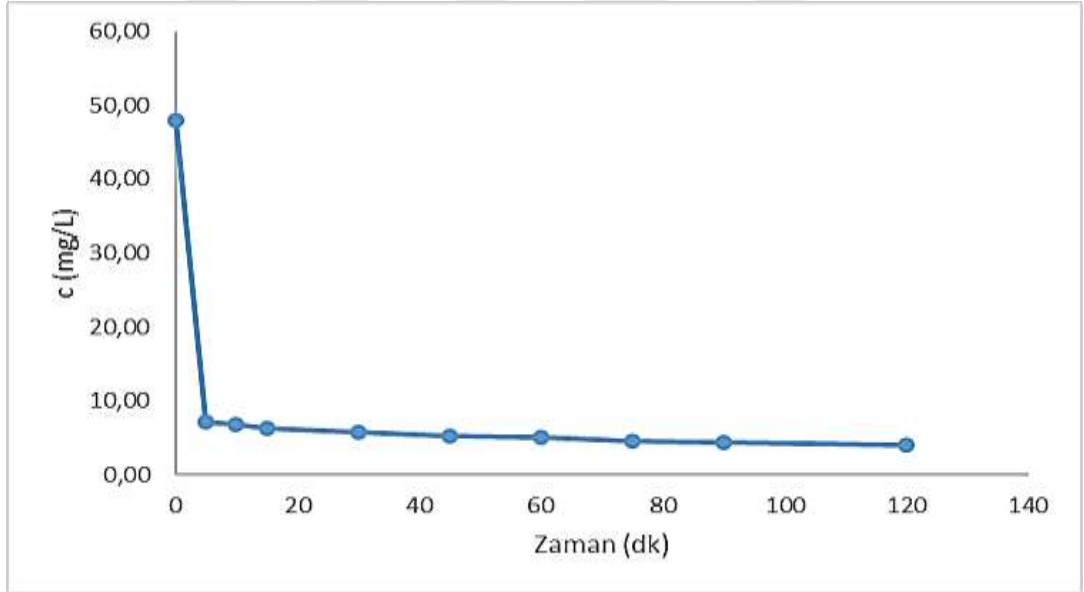
Adsorbentin Red X-5GN'ye temas süresinin etkisini incelemek amacıyla farklı temas sürelerinde (5-10-15-30-45-60-75-90-120 dakika) deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her bir çözelti 100 mL olacak ve 48 mg/L Red X-5GN boya çözeltisi içerecek şekilde ayarlanmıştır. 250 mL'lik erlenlere numaralandırılmak suretiyle 1g adsorbent (AÇK) eklenmiştir. Karıştırma hızı 150 rpm, sıcaklık 25 °C ve pH 4 olacak şekilde adsorpsiyon deneyi çalışmaları yürütülmüştür. Belirlenen temas sürelerinde karıştırma işlemleri tamamlanmış, numunelere 5000 rpm'de 8 dakika boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işleminden sonra (Şekil 4.13) her bir numunenin spektrofotometrede absorbens değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'da gösterilmektedir.



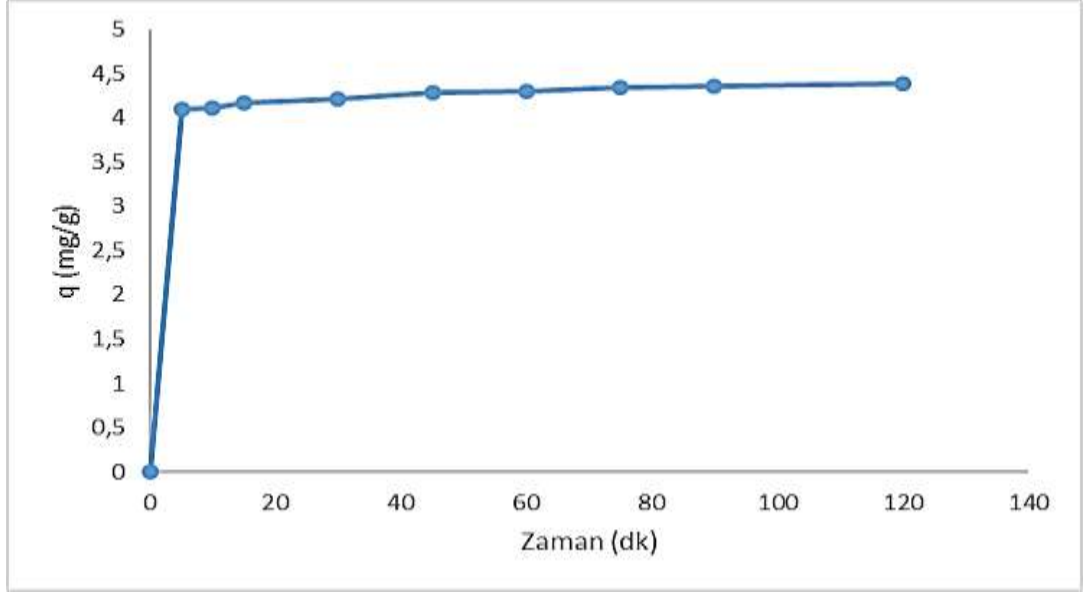
Şekil 4.13: Adsorpsiyona temas süresinin etkisi deneyi (48 mg/L)



**Şekil 4.14:** Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (48 mg/L) için elde edilen verim grafiği



**Şekil 4.15:** Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (48 mg/L) için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



**Şekil 4.16:** Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (48 mg/L) için elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

Red X-5GN için yapılan temas süresi çalışmasının sonuçları incelendiğinde, temas süresinin artmasıyla birlikte tutma kapasitesinde de bir artış görülmüştür. Başlangıç boya konsantrasyonlarına bakıldığında 90. dakikada maksimum tutma kapasitesine ulaşılmıştır. 90. dakikadan sonra adsorpsiyon miktarında fazla bir değişiklik meydana gelmemiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda %90,76 verim ile optimum temas süresi 90 dakika olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon süreci, işlem başlangıcında çok hızlı olmuştur, ancak ilerleme hızı, temas süresi arttıkça azalmıştır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: Çalışmanın başında, adsorbent üzerine hızlı boya adsorpsiyonu için çok fazla adsorpsiyon bölgesi vardır. Adsorpsiyonun ilerleyen aşamalarında, boya molekülleri, adsorbentin tüm serbest bölgelerini doldurmuş, böylece giderim yavaşlamıştır.

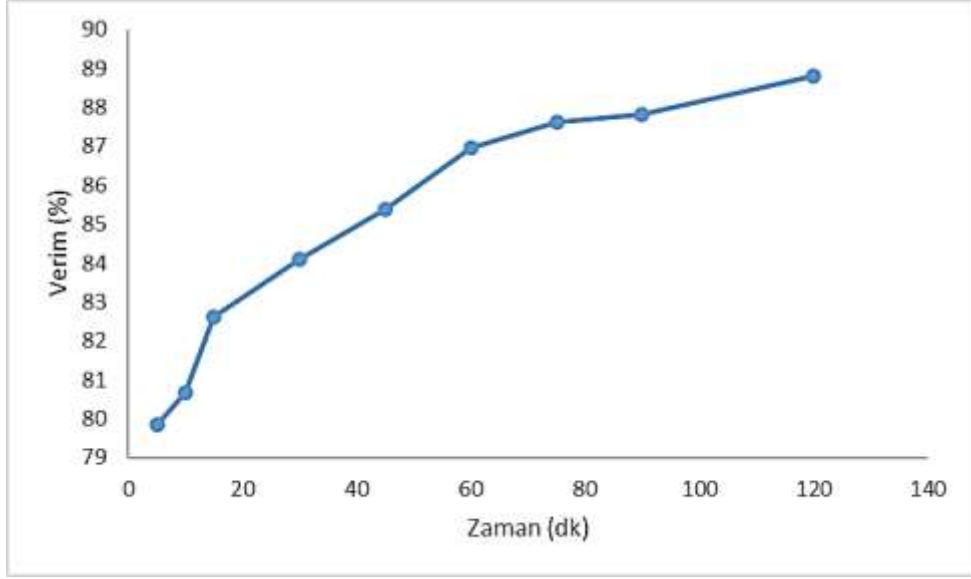
#### 4.3.4 Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi (97 mg/L)

Adsorbentin Red X-5GN'ye temas süresinin etkisini incelemek amacıyla farklı temas sürelerinde (5-10-15-30-45-60-75-90-120 dakika) deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her bir çözelti 100 mL olacak ve 97 mg/L Red X-5GN boya çözeltisi içerecek şekilde ayarlanmıştır. 250 mL'lik erlenlere numaralandırılmak suretiyle 1g adsorbent (AÇK) eklenmiştir. Karıştırma hızı 150 rpm, sıcaklık 25 °C ve pH 4 olacak şekilde adsorpsiyon deneyi çalışmaları yürütülmüştür. Belirlenen temas sürelerinde

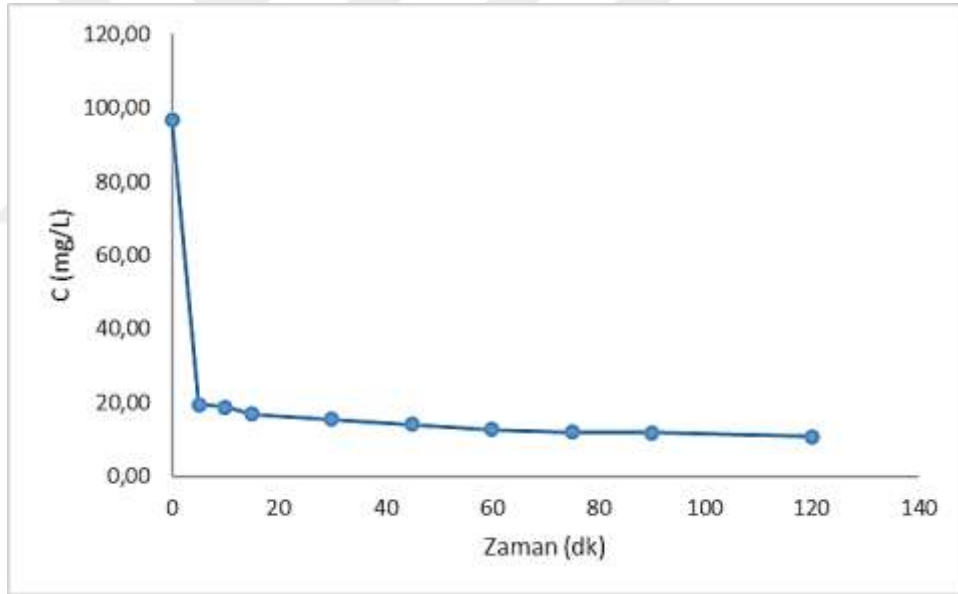
kariştırma işlemleri tamamlanmış, numunelere 5000 rpm’de 8 dakika boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işleminde sonra (şekil 4.17) her bir numunenin spektrofotometrede absorbands değerleri ölçölmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği şekil 4.18, 4.19 ve 4.20’de sunulmaktadır.



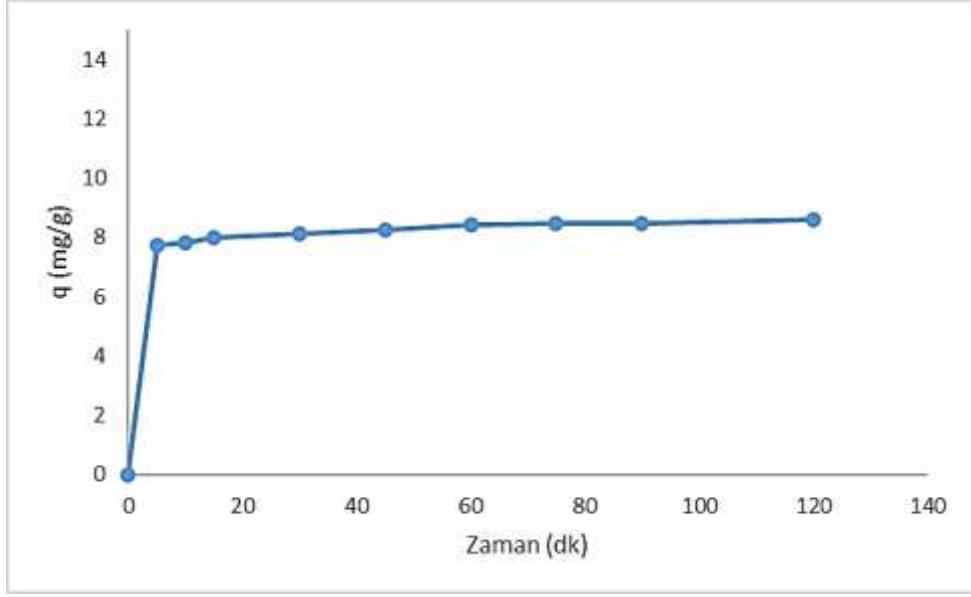
**şekil 4.17:** Adsorpsiyona temas süresinin etkisi deneyi (97 mg/L)



**Şekil 4.18:** Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (97 mg/L) için elde edilen verim grafiği



**Şekil 4.19:** Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (97 mg/L) için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



**Şekil 4.20:** Uygulanan temas süresine göre Red X-5GN (97 mg/L) için elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

Red X-5GN için yapılan temas süresi çalışmasının sonuçları incelendiğinde, temas süresinin artmasıyla birlikte tutma kapasitesinde de bir artış görülmüştür. Başlangıç boya konsantrasyonlarına bakıldığında 90. dakikada maksimum tutma kapasitesine ulaşılmıştır. 90. dakikadan sonra adsorpsiyon miktarında fazla bir değişiklik meydana gelmemiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda %87,80 verim ile optimum temas süresi 90 dakika olarak belirlenmiştir. Ayrıca hem 48 mg/L hem de 97 mg/L Red X-5GN konsantrasyonu için 90. dakikada birbirine yakın verimler elde edildiği için yüksek konsantrasyonda 1 g AÇK'nın oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.3.5 Adsorpsiyona Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi

Atıksulardaki boya konsantrasyonları işletmenin üretim çeşidine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bundan dolayı farklı başlangıç boya konsantrasyonlarında giderim verimlerinin hesaplanması gerekmektedir.

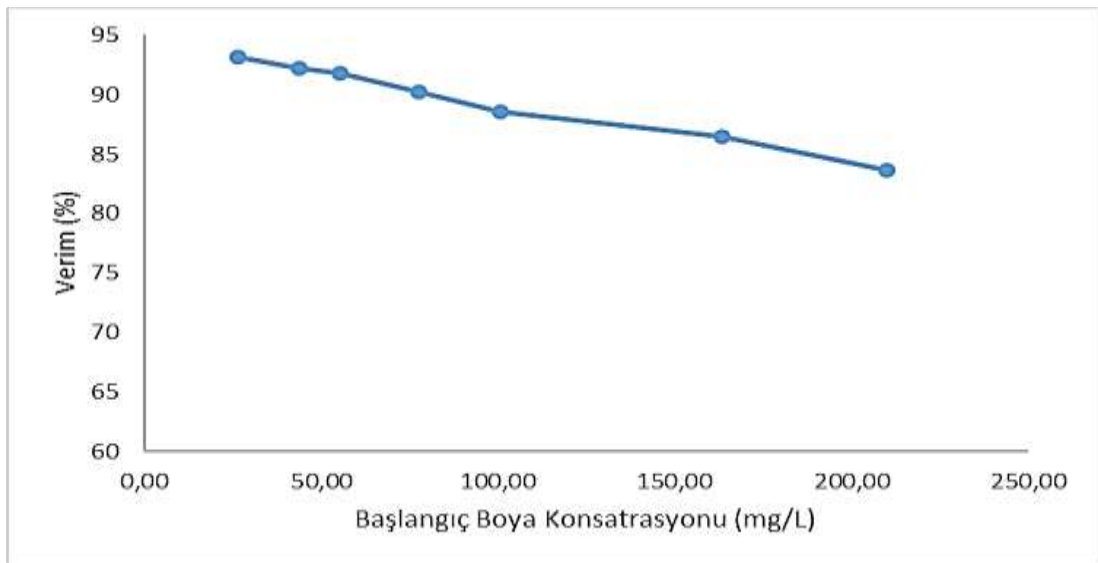
Bu amaçla 1 g AÇK dozunun farklı boya konsantrasyonlarına etkisini gözlemlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı boya konsantrasyonları içeren çözeltiler numaralandırılarak 250 mL'lik erlenlere eklenmiştir. Karıştırma hızı 150 rpm, sıcaklık 25 °C, temas süresi 90 dakika ve pH 4 olacak şekilde adsorpsiyon



alışmaları yürütülmüştür. 90 dakika sonra çalkalayıcıdan çıkarılan numunelere 5000 rpm’de 8 dakika boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işleminden sonra (şekil 4.21) her bir numunenin spektrofotometrede absorbans değerleri llmştr. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği şekil 4.22, 4.23 ve 4.24’de gösterilmiştir.

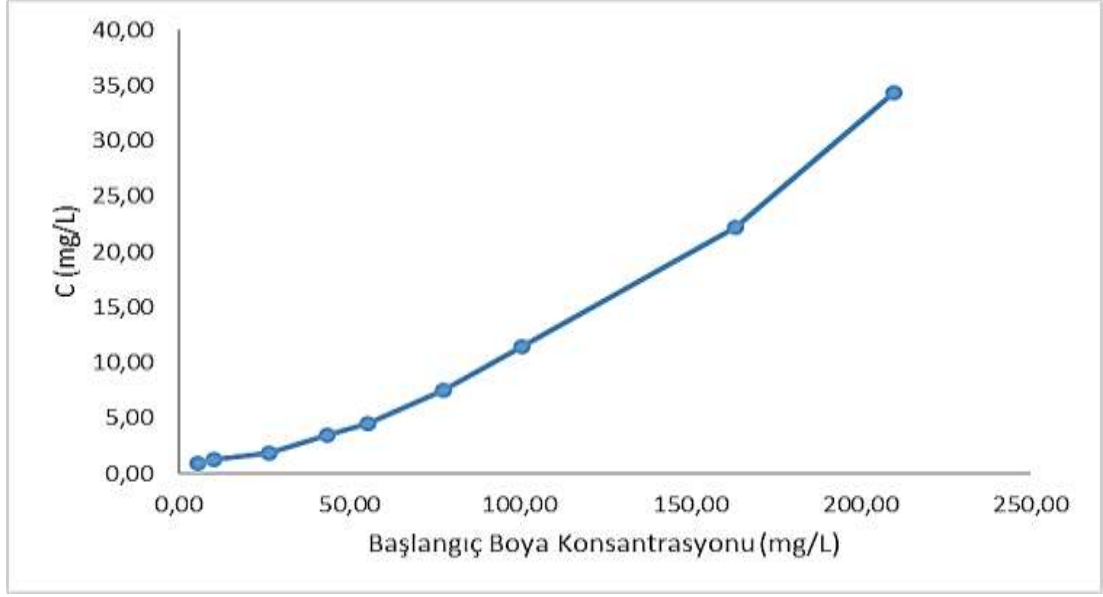


şekil 4.21: Adsorpsiyona başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi deneyi

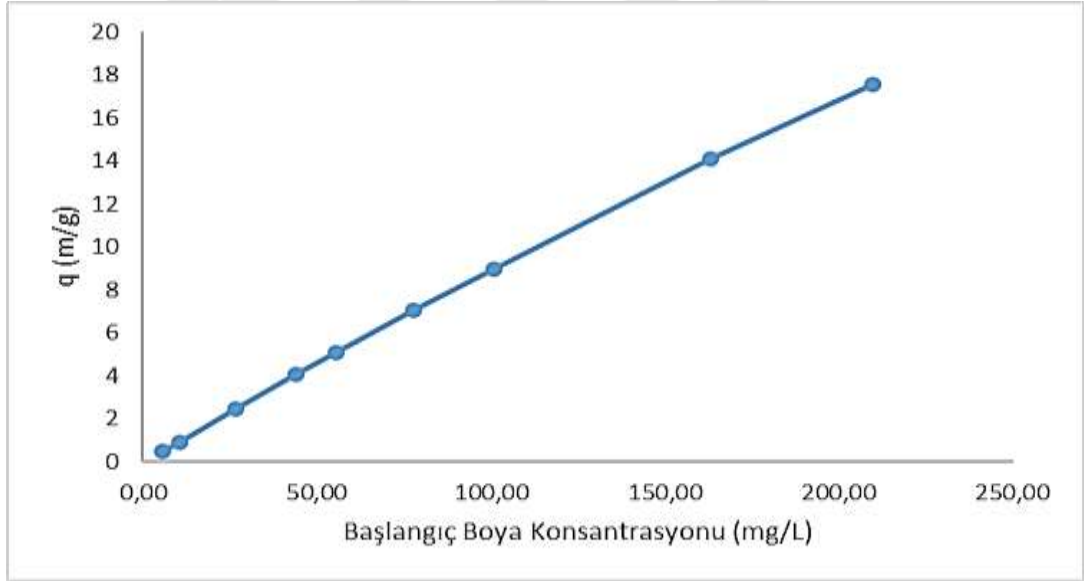


şekil 4.22: Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre Red X-5GN için elde edilen verim grafiği





**Şekil 4.23:** Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre Red X-5GN için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



**Şekil 4.24:** Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre Red X-5GN için elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

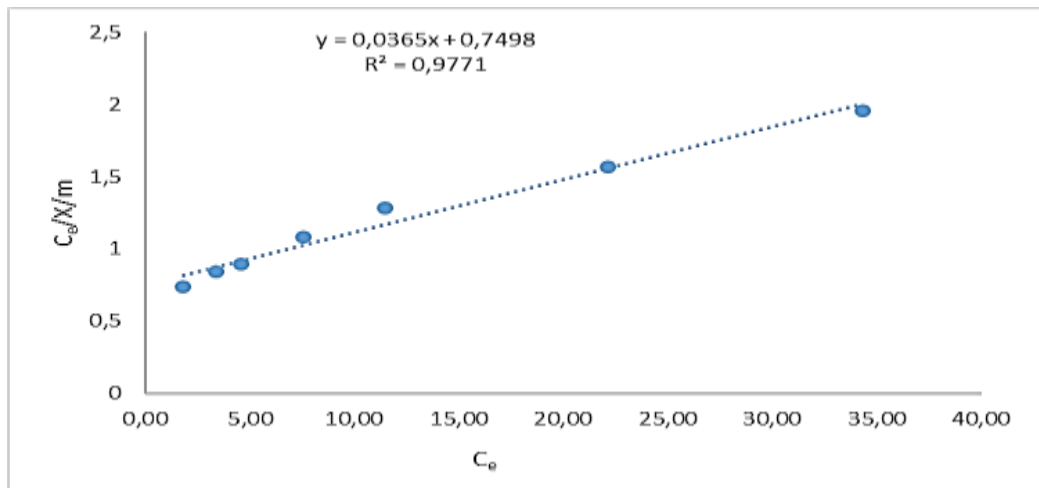
Yapılan başlangıç boya konsantrasyonu çalışması sonucunda grafikler incelendiğinde, boya konsantrasyonunun artmasıyla beraber tutma kapasitesinde artış görülmüş olmasına rağmen verimde azalma görülmüştür. Yani boya yoğunluğu arttıkça AÇK tozunun adsorpsiyon etkisi azalmıştır. AÇK tozunun düşük konsantrasyonlarda daha etkili olduğu görülmüş olup en yüksek verime ise %93,16 ile 26,5 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda ulaşılmıştır. Literatürde yapılan birkaç

boya giderim çalışmasında, boya giderim veriminin daha yüksek başlangıç boya konsantrasyonlarında artması ve verim ile adsorpsiyon kapasitesi arasındaki zıtlık da gözlenmiştir (Geetha ve diğ., 2015; Gürel, 2017). Adsorpsiyon kapasitesinin boya konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak artması, boya konsantrasyonundaki artışın sürücü kuvveti artırması ile ilişkilendirilebilir. Düşük başlangıç boya konsantrasyonlarında, çözeltideki tüm boya molekülleri adsorbentteki bağlanma bölgeleri ile etkileşime girmekte ve böylelikle boyanın büyük bölümü adsorbe edilerek verim maksimize edilmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda ise adsorpsiyon bölgelerinin dolmasına bağlı olarak verim düşmekte ve adsorbent üzerindeki mevcut boş bölgeler sınırlayıcı etki göstermektedir. Adsorpsiyon bölgelerinin dolması aynı zamanda adsorpsiyon kapasitesini de maksimize etmektedir (Akkaya ve diğ., 2005).

#### 4.4 Red X-5GN İçin İzoterm Model Uygulamaları

##### 4.4.1 Langmuir İzoterm Uygulaması

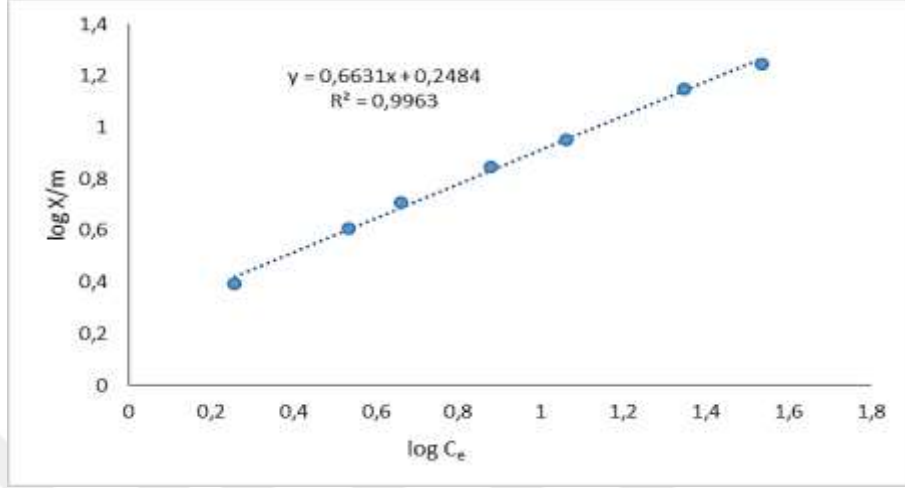
Bölüm 2.4.2.1’de verilen denkleme göre hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.25’de verilmektedir.



Şekil 4.25: Red X-5GN için Langmuir İzoterm Grafiği

#### 4.4.2 Freundlich İzoterm Uygulaması

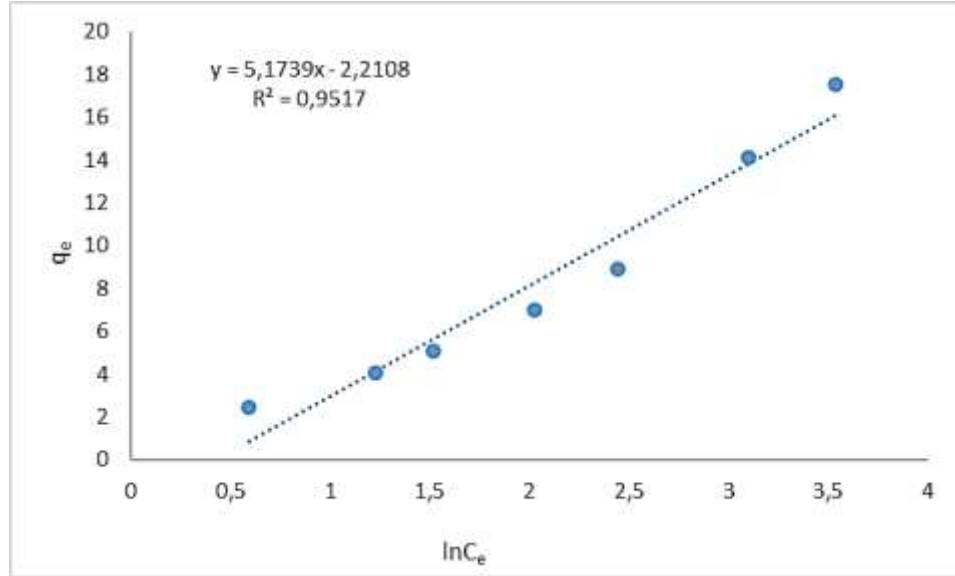
Bölüm 2.4.2.2’de verilen denkleme göre hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.26’de verilmektedir.



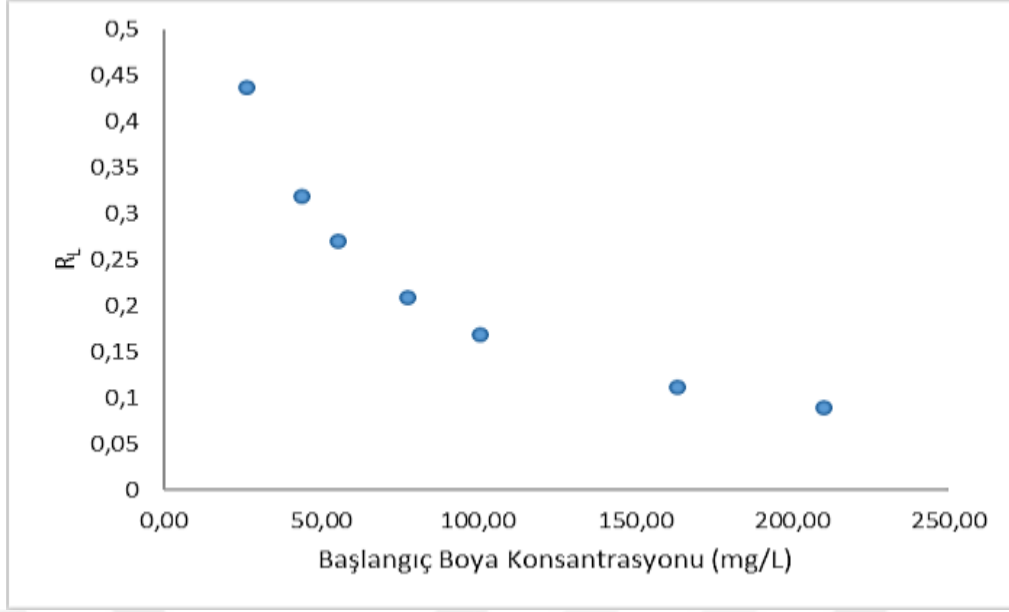
Şekil 4.26: Red X-5GN için Freundlich İzoterm Grafiği

#### 4.4.3 Temkin İzoterm Uygulaması

Bölüm 2.4.2.3’te verilen denkleme göre hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.27’de verilmektedir.



Şekil 4.27: Red X-5GN için Temkin İzoterm Grafiği



**Şekil 4.28:**  $R_L$ 'nin başlangıç boya konsantrasyonu ile değişimi

$R^2$  (determinasyon katsayısı) değerleri bakımından karşılaştırıldığında genel olarak Red X-5GN için farklı üç izoterm içerisinde, en uygun izoterm modelinin 0,9963 ile Freundlich İzotermi olduğu görülmektedir. Ayrıca,  $R_L$  değeri 0.436622 ile 0.089112 aralığında bulunmuş olup, adsorpsiyon işleminin bu deneyde çalışılan tüm konsantrasyonlar için uygun, olumlu olduğu sonucuna varılmaktadır. Freundlich modeli ampirik bir eşitlik olup, adsorpsiyon bölgelerinin farklılığından dolayı heterojen adsorpsiyonu kabul eder. Freundlich sabitleri  $K_F$  ve  $n$  sırasıyla adsorpsiyon kapasitesini ve adsorpsiyon kuvvetini ifade eder.  $n$  değeri aynı zamanda adsorpsiyon yoğunluğudur ve değeri 1 ile 10 arasında bulunduğu zaman iyi bir adsorpsiyona işaretler.  $n$  değerinin 1'den küçük olması adsorpsiyonun kimyasal olduğunu göstermekte olup, 1'den büyük olduğu durumlarda ise fiziksel adsorpsiyon olduğunu gösterir (Wu 2006). Bu çalışmada ayçekirdeği kabuğu için Freundlich izoterminde elde edilen  $n$  değeri Tablo 4.1'de görüldüğü gibi 1,51'dir. Bu değer adsorpsiyonun istemli ve fiziksel bir süreç olduğunu göstermektedir. Bulunan izoterm sabitleri Tablo 4.9'da özetlenmektedir. Literatürde farklı bazik boyalar ile yapılmış olan çalışmalarda da bu izoterm modelinin etkin olduğu görülebilir (Altun ve diğ., 2011; Duman ve diğ., 2015).

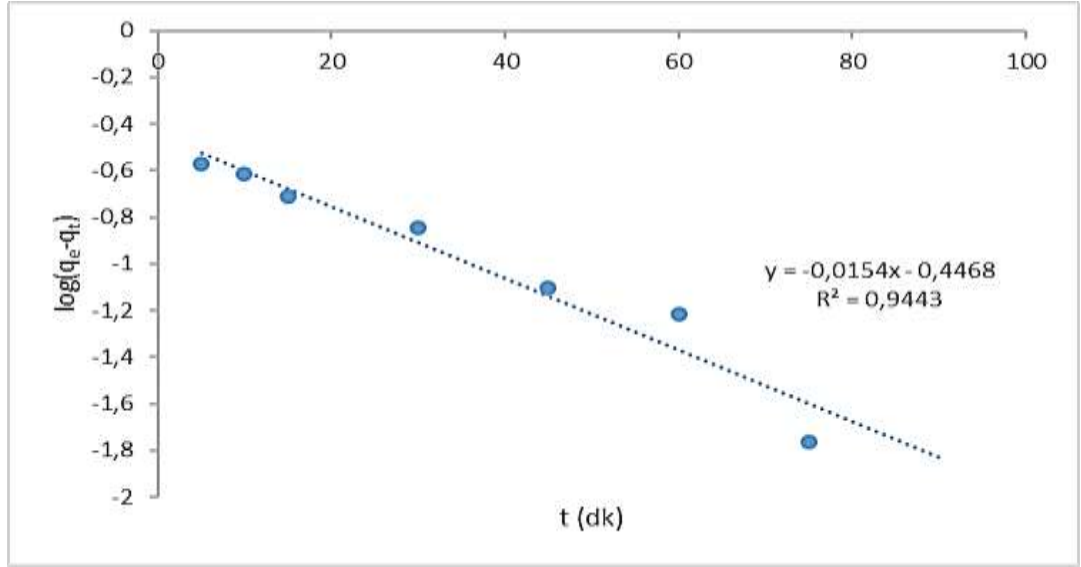
**Tablo 4.9:** Red X-5GN Deneyi İzoterm Sabitleri

| İzoterm    | İzoterm sabitleri                 | Sonuçlar |
|------------|-----------------------------------|----------|
| Langmuir   | $q_m$ (mg/g)                      | 27,40    |
|            | $K_L$ (L/mg)                      | 0,04868  |
|            | $R^2$                             | 0,9771   |
| Freundlich | $K_f$ (mg/g)(L/mg) <sup>1/n</sup> | 1,77174  |
|            | n                                 | 1,508068 |
|            | $R^2$                             | 0,9963   |
| Temkin     | $K_T$                             | 0,652269 |
|            | B                                 | 5,1739   |
|            | $R^2$                             | 0,9517   |

#### 4.5 Red X-5GN İçin Kinetik Model Uygulamaları (48 mg/L)

##### 4.5.1 Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model

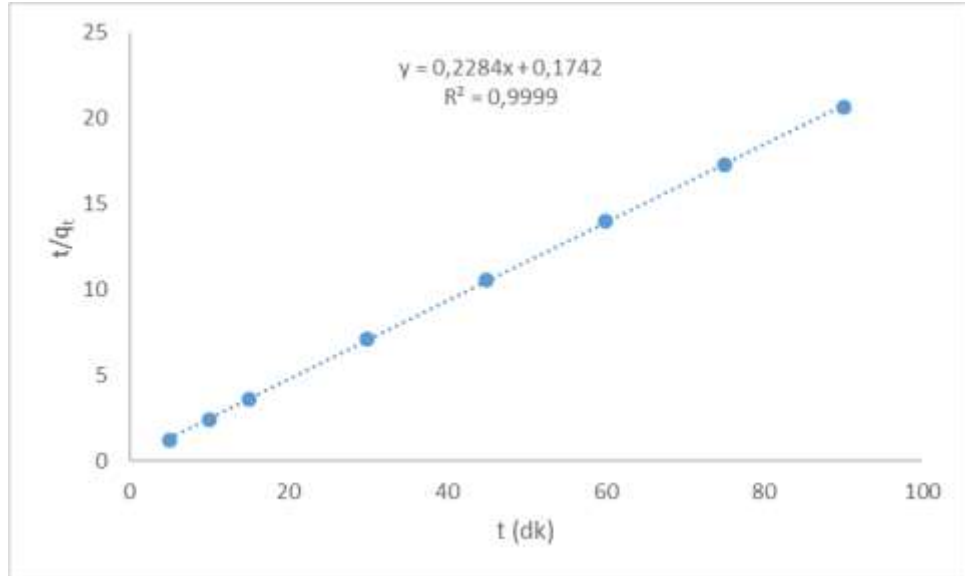
Bölüm 2.4.3.1’de verilen denkleme göre 48 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.29’da verilmektedir.



Şekil 4.29: Red X-5GN için Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model Grafiği

#### 4.5.2 Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model

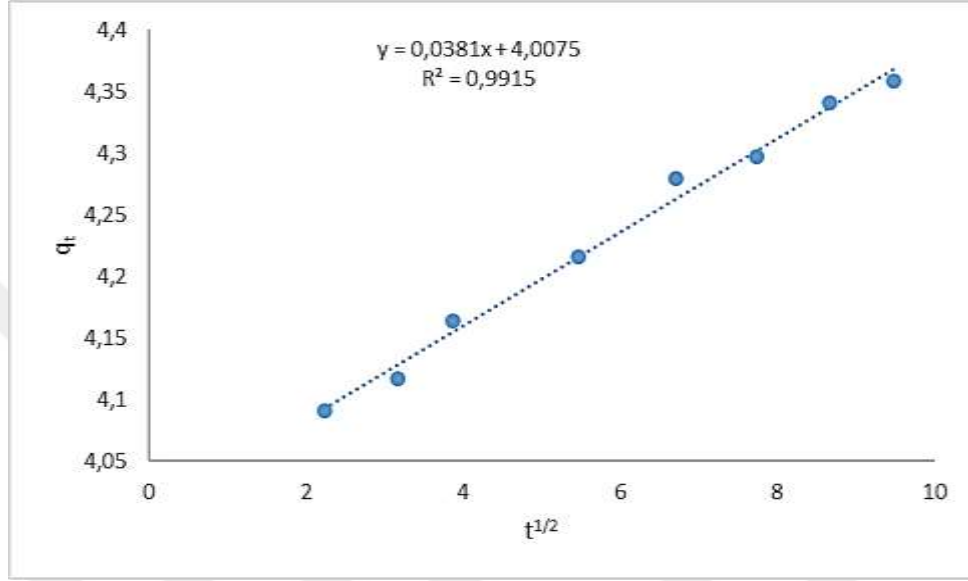
Bölüm 2.4.3.2’de verilen denkleme göre 48 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.30’da verilmektedir.



Şekil 4.30: Red X-5GN için Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model Grafiği

#### 4.5.3 Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model

Bölüm 2.4.3.3'te verilen denkleme göre 48 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.31'de verilmektedir.



Şekil 4.31: Red X-5GN için Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model Grafiği

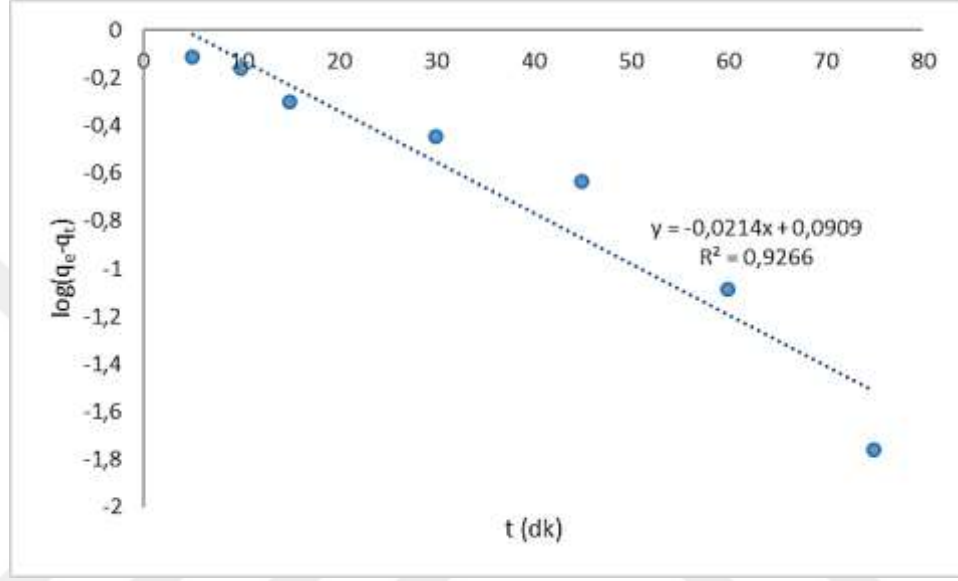
Tablo 4.2: Red X-5GN Kinetik Model Sabitleri

| Kinetik Model         | Sabit                                | Sonuç    |
|-----------------------|--------------------------------------|----------|
| Yalancı 1. Derece     | $k_1$ (1/dk)                         | 0,035466 |
|                       | $q_e$ (mg/g)                         | 0,357437 |
|                       | $R^2$                                | 0,9443   |
| Yalancı 2. Derece     | $k_2$ (g/(mg.dk))                    | 0,299464 |
|                       | $q_e$ (mg/g)                         | 4,378284 |
|                       | $R^2$                                | 0,9999   |
| Partikül içi difüzyon | $k_{id}$ (mg/(g.dk <sup>0,5</sup> )) | 0,0381   |
|                       | $C$ (mg/g)                           | 4,0075   |
|                       | $R^2$                                | 0,9915   |

#### 4.6 Red X-5GN İçin Kinetik Model Uygulamaları (97 mg/L)

##### 4.6.1 Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model

Bölüm 2.4.3.1’de verilen denkleme göre 97 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.32’de verilmektedir.

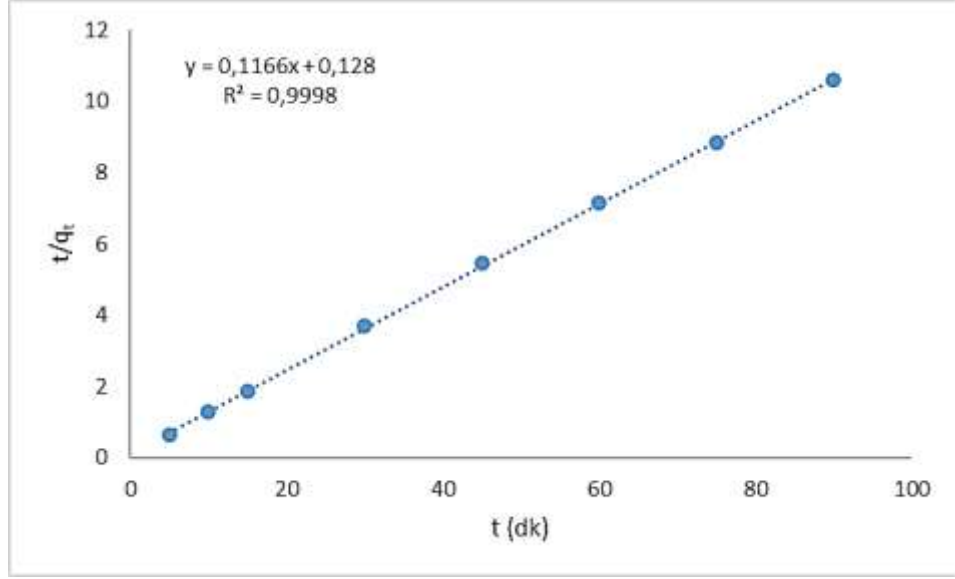


Şekil 4.32: Red X-5GN için Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model Grafiğı

##### 4.6.2 Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model

Bölüm 2.4.3.2’de verilen denkleme göre 97 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.33’de verilmektedir.

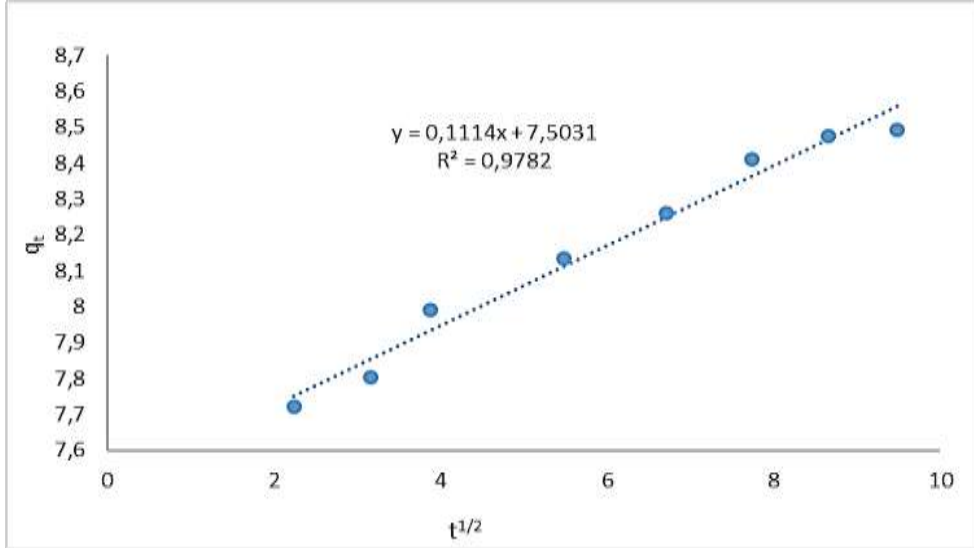




Şekil 4.33: Red X-5GN için 2. Yalancı Dereceden Kinetik Model Grafiği

#### 4.6.3 Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model

Bölüm 2.4.3.3'te verilen denkleme göre 97 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.34'de verilmektedir.



Şekil 4.34: Red X-5GN için Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model Grafiği

Grafiklerden elde edilen sonuçlara bakıldığında Yalancı ikinci dereceden kinetik modelinde  $R^2$  değeri Red X-5GN için 1'e oldukça yakındır. Bu yüzden diğer modellere nazaran en uygun kinetik modelin yalancı ikinci derece kinetik modeli olduğu görülmüştür. Bu durum adsorpsiyonda hız sınırlayıcı adımın kemisorpsiyon olabileceğini göstermektedir. Kimyasal etkileşimler neticesinde elektronlar muhtemelen adsorbent ve adsorbat arasında değiş tokuş edilmekte veya paylaşılmaktadır (Gürel, 2017). Partikül içi difüzyon modeli için de yüksek  $R^2$  değerleri elde edilmesine karşılık hız sınırlayıcı adımın iç partiküler difüzyon olabilmesi ancak elde edilen doğrunun orijinden geçmesi ile mümkün olacaktır. Ancak bu çalışmanın sonuçları incelendiğinde partikül içi difüzyon modelinden elde edilen doğrunun y eksenini kestiği nokta orijinden uzaktır ( $C=7,5031$ ). Bundan dolayı hız sınırlayıcı adımın sadece iç partiküler difüzyon olmadığı sonucuna varılabilir (Akkaya ve diğ., 2005).

**Tablo 4.3:** Red X-5GN Kinetik Model Sabitleri (97 mg/L)

| Kinetik Model         | Sabit                                | Sonuç    |
|-----------------------|--------------------------------------|----------|
| Yalancı 1. Derece     | $k_1$ (1/dk)                         | 0,049284 |
|                       | $q_e$ (mg/g)                         | 1,232821 |
|                       | $R^2$                                | 0,9266   |
| Yalancı 2. Derece     | $k_2$ (g/(mg.dk))                    | 0,106215 |
|                       | $q_e$ (mg/g)                         | 8,576329 |
|                       | $R^2$                                | 0,9998   |
| Partikül içi difüzyon | $k_{id}$ (mg/(g.dk <sup>0,5</sup> )) | 0,1114   |
|                       | $C$ (mg/g)                           | 7,5031   |
|                       | $R^2$                                | 0,9782   |

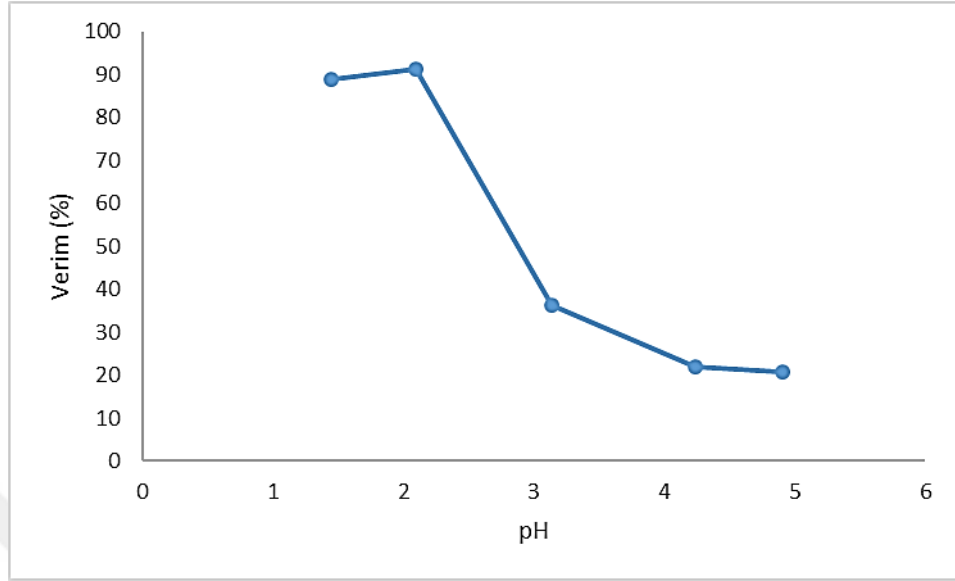
## 4.7 RB 221

### 4.7.1 Adsorpsiyona pH'ın Etkisi

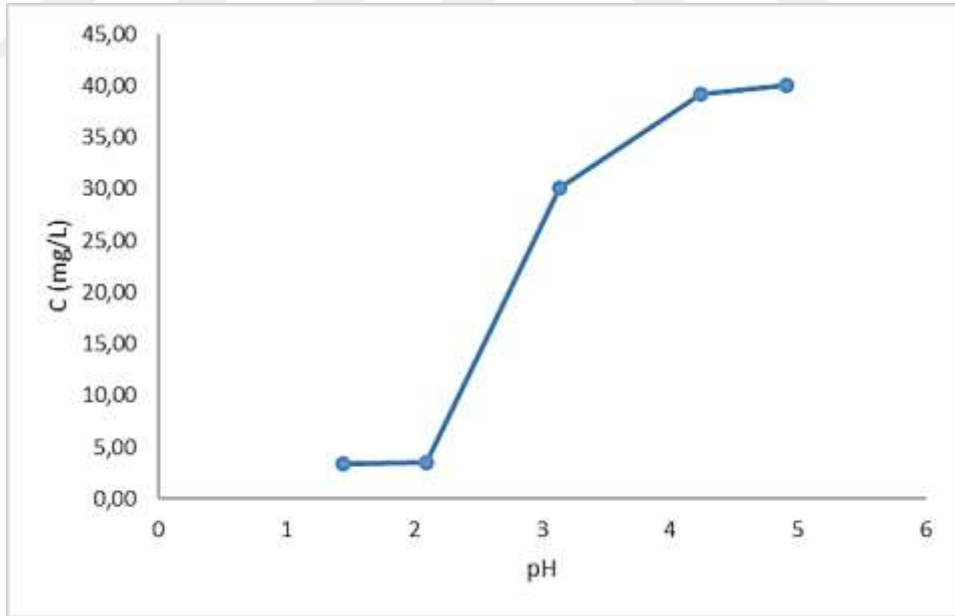
Ortam pH'ının, adsorbentin adsorpsiyon kapasitesine etkisinin araştırılması amacıyla farklı pH değerlerine (1,5 – 2 – 3 – 4 - 5) sahip RB 221 çözeltileri hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH ayarlaması farklı normalitelerdeki HNO<sub>3</sub> ve NaOH çözeltileri kullanılarak yapılmıştır. Her bir çözelti 100 mL olacak ve 50 mg/L RB 221 içerecek şekilde ayarlanmıştır. Adsorbent (AÇK) miktarı her deney için 1 gr olarak belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler çalkalayıcı inkübatöre yerleştirilmiştir. 150 rpm 25 derecede 24 saat boyunca karıştırılmıştır. 24 saat sonra çalkalayıcı inkübatörden çıkarılan numuneler santrifüj cihazına yerleştirilmiştir. Santrifüj cihazında 5000 rpm'de 8 dk boyunca çalkalanmıştır. Santrifüjden çıkarılan numuneler (Şekil 4.35) 610 nm'de spektrofotometre cihazı ile ölçüme tabi tutulmuştur. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği Şekil 4.36, 4.37ve 4.38'de gösterilmiştir.



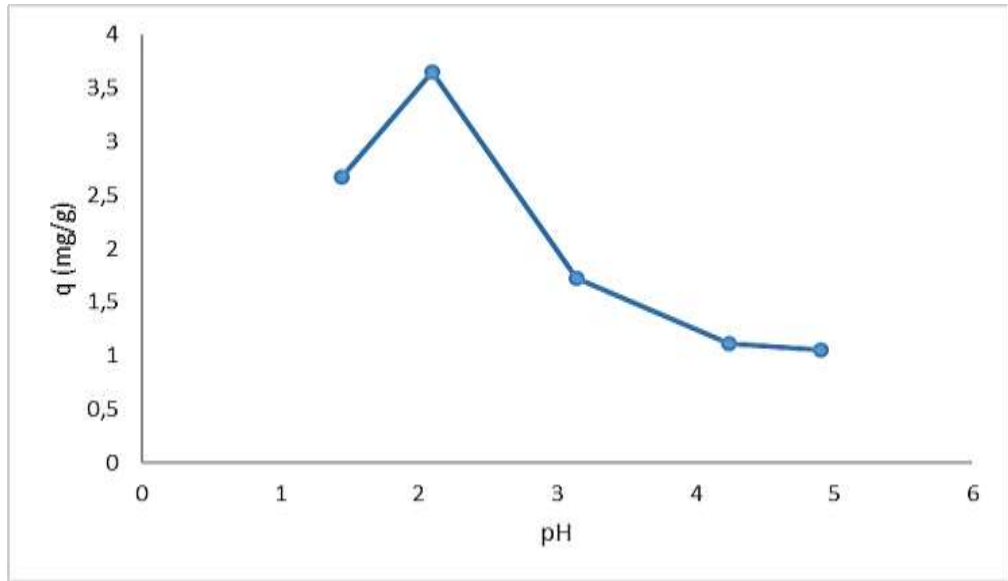
Şekil 4.35: Adsorpsiyona pH'ın etkisi deneyi



**Şekil 4.36:** Uygulanan pH'a göre RB 221 için elde edilen verim grafiği



**Şekil 4.37:** Uygulanan pH'a göre RB 221 için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



**Şekil 4.38:** Uygulanan pH'a göre RB 221 için elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

Adsorpsiyona farklı pH değerlerinin etkisi incelendiğinde ortaya çıkan sonuçlara göre pH değerinin artmasıyla beraber RB 221 konsantrasyonunda giderimin azaldığı görülmüştür. pH 2'de maksimum tutma kapasitesine erişilmiş ve %91,17 oranında verim elde edilerek maksimum boya giderimi gözlemlenmiştir. pH 2'den sonra verim düşmeye başladığı için optimum pH 2 olarak belirlenmiştir. RB 221 anyonik özellik taşıyan bir boya olup düşük pH değerlerinde pozitif olarak yüklenen adsorbent madde ile etkileşime girmekte ve yüksek oranda adsorbe edilebilmektedir. Yüksek pH değerlerinde ise negatif yüklü hale gelen adsorbent nedeniyle adsorpsiyon verimi düşmektedir. RB 221 ile yapılmış olan bir çalışmada da aynı durum gözlemlenmiş ve pH 2 değerinde en etkin adsorpsiyon işleminin gerçekleştiği tespit edilmiştir (Gürel, 2017).

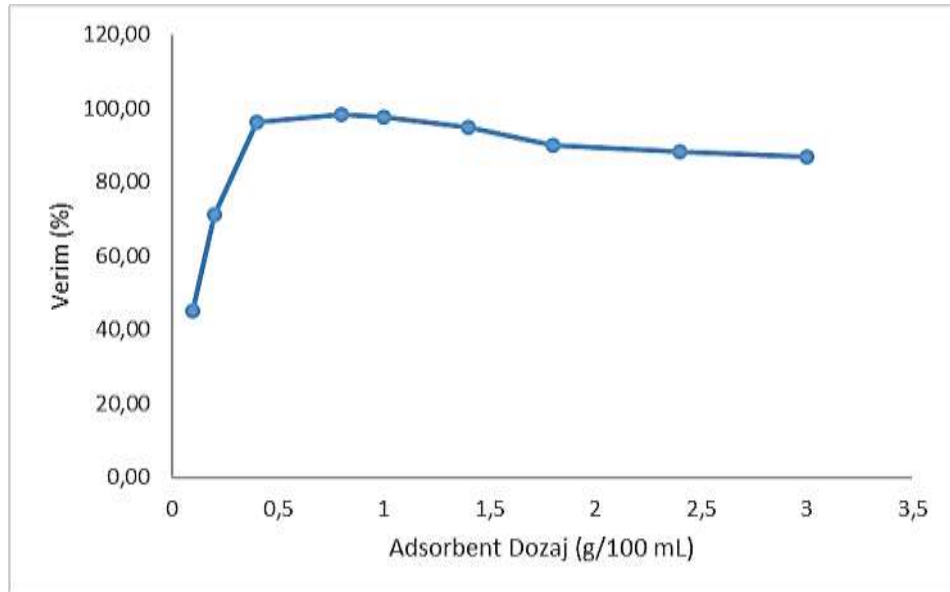
#### 4.7.2 Adsorpsiyona Adsorbent Dozajının Etkisi

Adsorbent dozajının adsorpsiyon üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı Adsorbent miktarları kullanılarak (0,1 – 0,2 – 0,4 – 0,8 – 1 – 1,4 – 1,8 – 2,4 - 3 gr) deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her bir çözelti 100 mL olacak ve yaklaşık 50 mg/L RB 221 içerecek şekilde ayarlanmıştır. 250 mL'lik erlenlere numaralandırılmak suretiyle belirlenen miktarlarda adsorbent eklenmiştir. Karıştırma hızı 150 rpm, sıcaklık 25 °C ve pH 2 olacak şekilde adsorpsiyon deneyi çalışmaları yürütülmüştür. 24 saat temas süresinden sonra karıştırma işlemi tamamlanmış, numunelere 5000

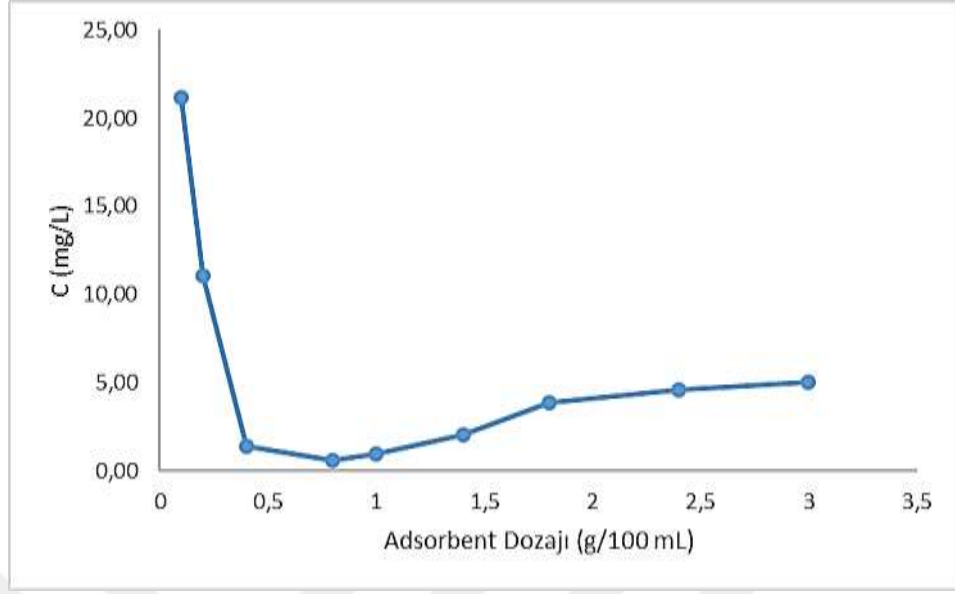
rpm’de 8 dakika boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işleminden sonra (Şekil 4.39) her bir numunenin spektrofotometrede absorbans değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği Şekil 4.40, 4.41 ve 4.42’de gösterilmiştir.



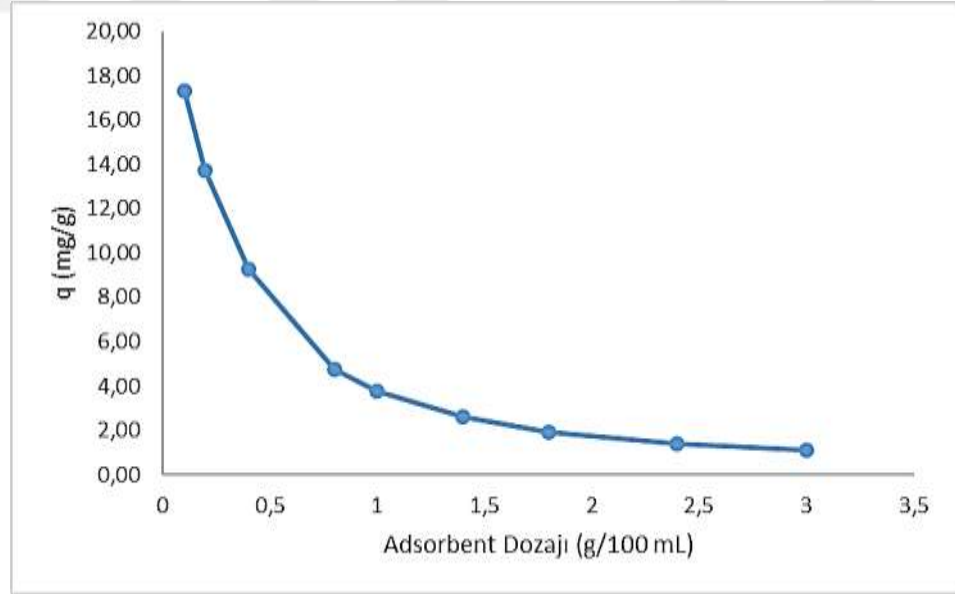
Şekil 4.39: Adsorpsiyona adsorbent dozajının etkisi deneyi



Şekil 4.40: Uygulanan adsorbent dozajına göre RB 221 için elde edilen verim grafiği



Şekil 4.41: Uygulanan adsorbent dozajına göre RB 221 için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



Şekil 4.42: Uygulanan adsorbent dozajına göre RB 221 için elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

Yapılan adsorbent dozajının adsorpsiyona etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde, 50 mg/L RB 221 için 0,2 gr adsorbent dozajında verim %71,17 iken 0,4 g'da %96,30 olarak gözlemlenmiştir. Ancak 0,4 gramdan sonra adsorbent dozajı arttıkça verimde belirgin bir artış olmamıştır. Boya gideriminde kullanılan adsorbentin optimum miktarda seçilmesi ekonomik açıdan önemli olmasından dolayı bu çalışma kapsamında adsorbent dozajı seçilirken adsorbentin etkili kullanımı göz önünde bulundurulmuştur. Red X-5GN ile gerçekleştirilen çalışmalara benzer şekilde bu çalışmada da adsorpsiyon kapasitesinin azalmasına bağlı olarak, verimin arttığı net bir şekilde görülebilmektedir. Bu durumda bir önceki boya için geçerli olan tüm durumların bu boya için de söz konusu olduğu söylenebilir.

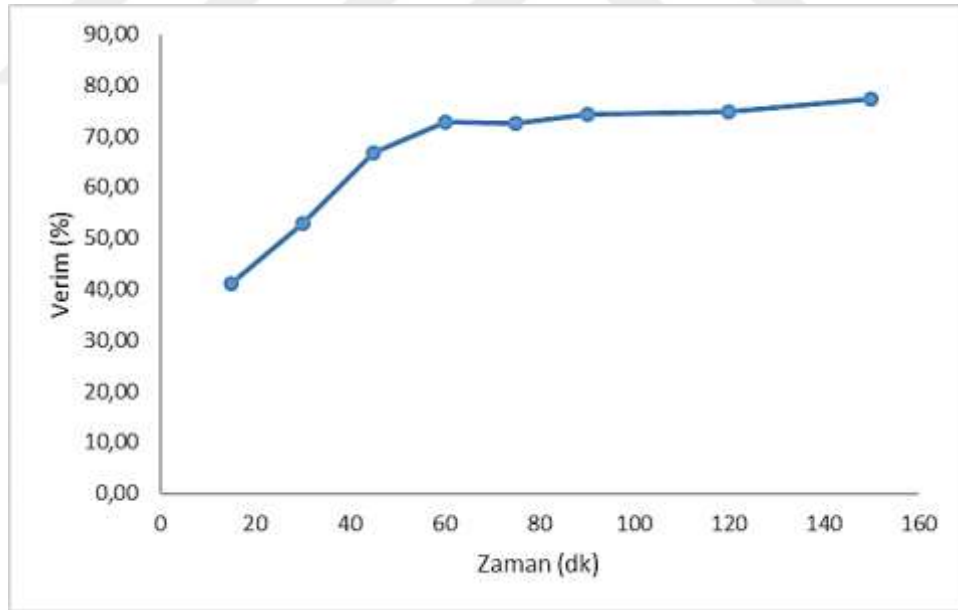
#### **4.7.3 Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi (43 mg/L)**

Adsorbentin RB 221'e temas süresinin etkisini incelemek amacıyla farklı temas sürelerinde (15-30-45-60-75-90-120-150 dakika) deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her bir çözelti 100 mL olacak ve yaklaşık 43 mg/L RB 221 boya çözeltisi içerecek şekilde ayarlanmıştır. 250 mL'lik erlenlere numaralandırılmak suretiyle 0,4 g adsorbent (AÇK) eklenmiştir. Karıştırma hızı 150 rpm, sıcaklık 25 °C ve pH 2 olacak şekilde adsorpsiyon deneyi çalışmaları yürütülmüştür. Belirlenen temas sürelerinde karıştırma işlemleri tamamlanmış, numunelere 5000 rpm'de 8 dakika boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işleminden sonra (Şekil 4.43) her bir numunenin spektrofotometrede absorbans değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği Şekil 4.44, 4.45 ve 4.46'da gösterilmiştir.

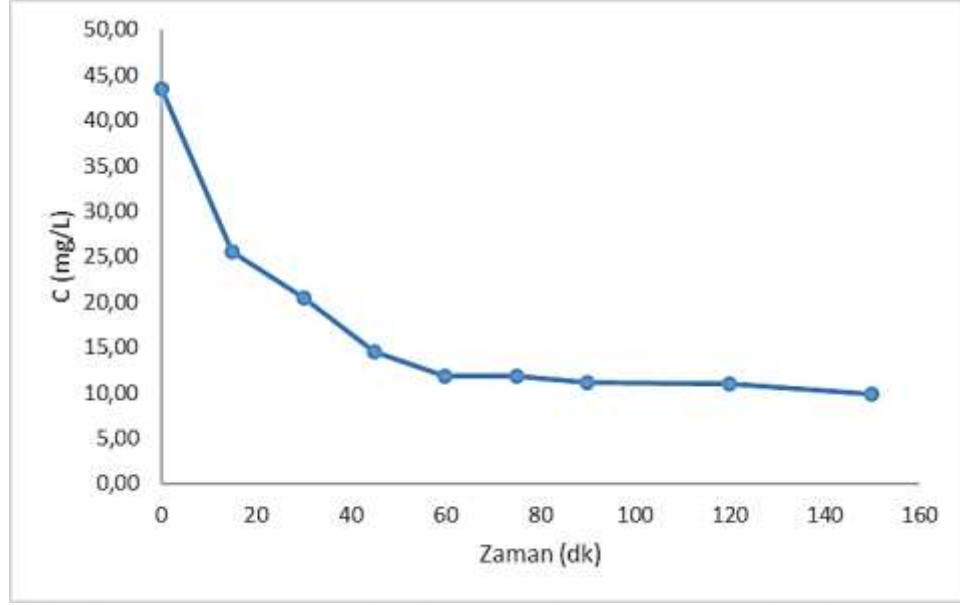




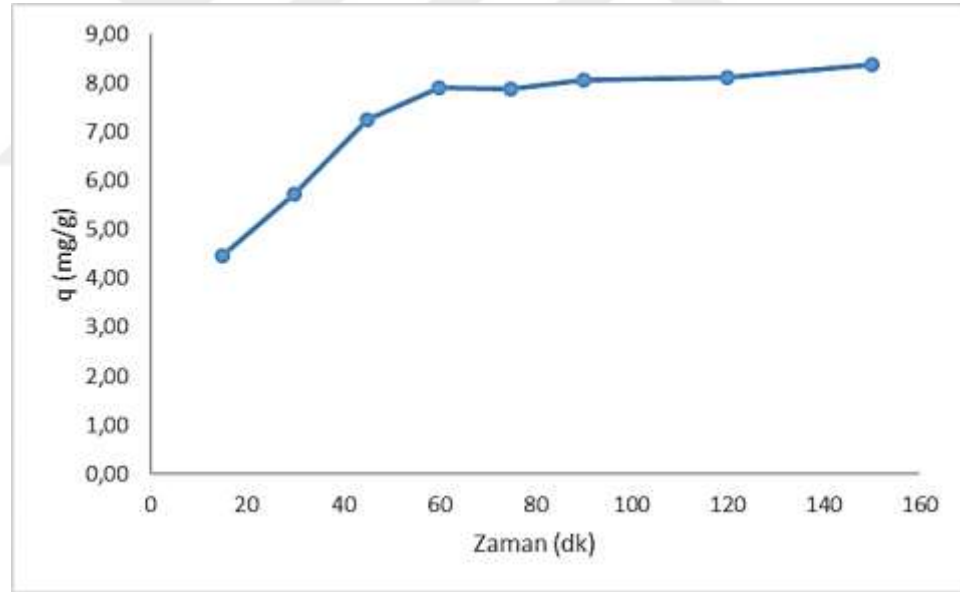
Şekil 4.43: Adsorpsiyona temas süresinin etkisi deneyi



Şekil 4.44: RB 221 (43 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.45: RB 221 (43 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



Şekil 4.46: RB 221 (43 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

RB 221 için yapılan temas süresi çalışmasının sonuçları incelendiğinde, temas süresinin artmasıyla birlikte tutma kapasitesinde de bir artış görülmüştür. Başlangıç boya konsantrasyonlarına bakıldığında 120. dakikadan sonra adsorpsiyon miktarında fazla bir değişiklik meydana gelmemiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda %74,68 verim ile optimum temas süresi 120 dakika olarak belirlenmiştir. İlk 60 dakikalık periyotta oldukça hızlı bir şekilde ilerleyen adsorpsiyon işlemi 60. dakikadan

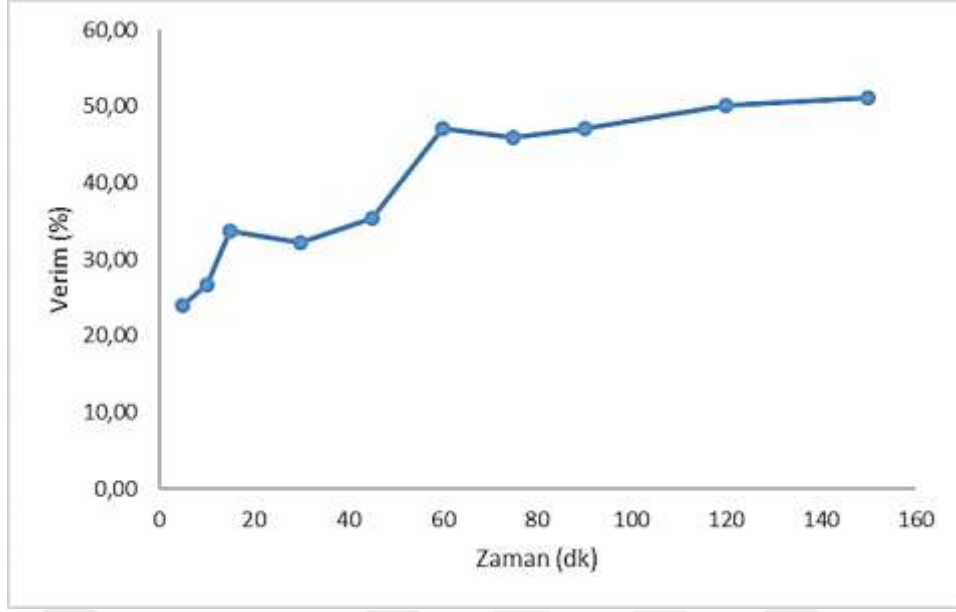
sonra mevcut adsorpsiyon bölgelerinin dolmasıyla birlikte yavaşlamış ve nihayetinde dengeye ulaşmıştır.

#### 4.7.4 Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi (82 mg/L)

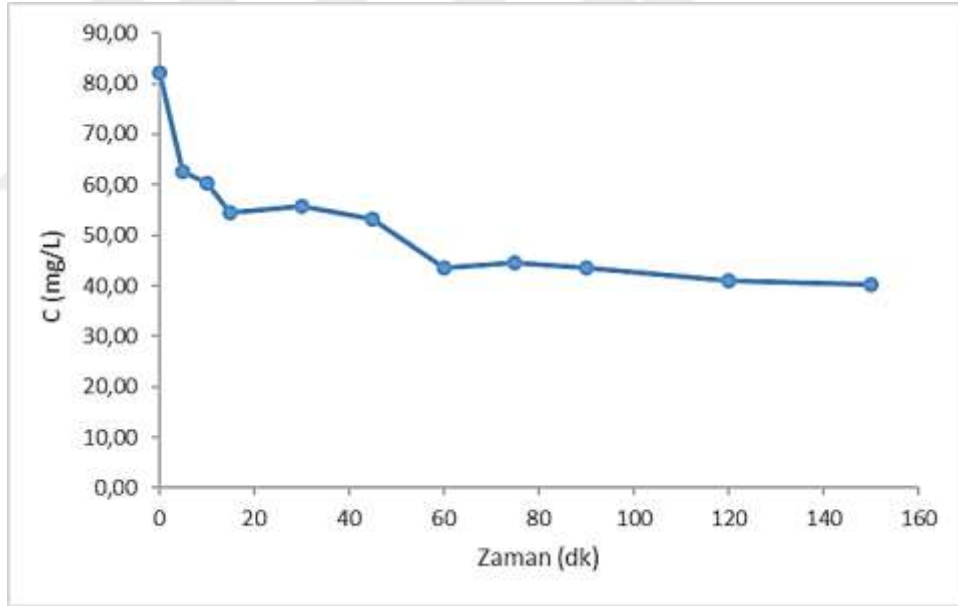
Adsorbentin RB 221'e temas süresinin etkisini incelemek amacıyla farklı temas sürelerinde (15-30-45-60-75-90-120-150 dakika) deneysel çalışmalar yapılmıştır. Her bir çözelti 100 mL olacak ve yaklaşık 82 mg/L RB 221 boya çözeltisi içerecek şekilde ayarlanmıştır. 250 mL'lik erlenlere numaralandırılmak suretiyle 0,4 g adsorbent (AÇK) eklenmiştir. Karıştırma hızı 150 rpm, sıcaklık 25 °C ve pH 2 olacak şekilde adsorpsiyon deneyi çalışmaları yürütülmüştür. Belirlenen temas sürelerinde karıştırma işlemleri tamamlanmış, numunelere 5000 rpm'de 8 dakika boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işleminden sonra (Şekil 4.47) her bir numunenin spektrofotometrede absorbans değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği Şekil 4.48, 4.49 ve 4.50'de gösterilmiştir.



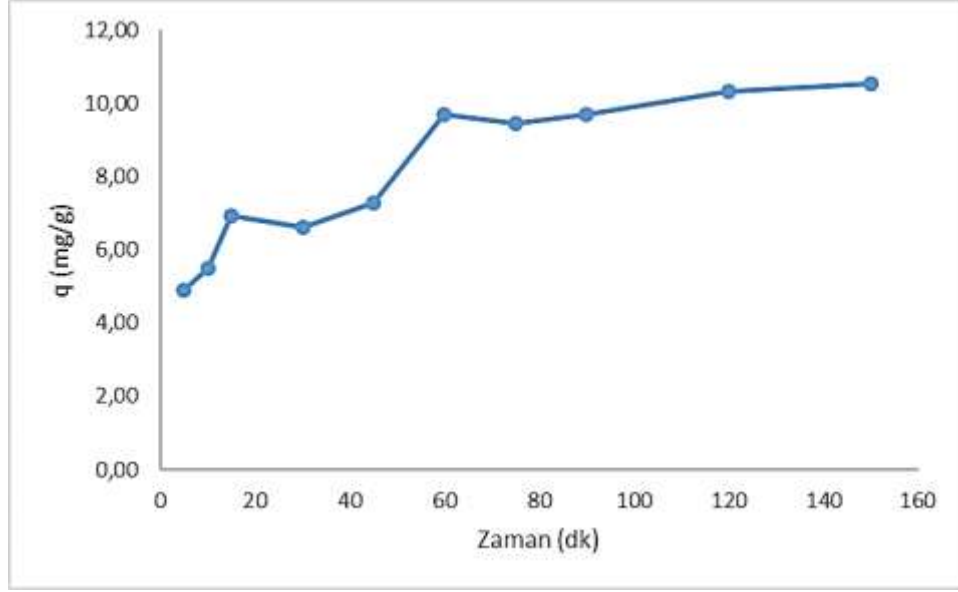
Şekil 4.47: Adsorpsiyona temas süresinin etkisi deneyi



Şekil 4.48: RB 221 (82 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.49: RB 221 (82 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



**Şekil 4.50:** RB 221 (82 mg/L) için uygulanan temas süresine göre elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

RB 221 için yapılan temas süresi çalışmasının sonuçları incelendiğinde, temas süresinin artmasıyla birlikte tutma kapasitesinde de bir artış görülmüştür. Başlangıç boya konsantrasyonlarına bakıldığında 120. dakikadan sonra adsorpsiyon miktarında fazla bir değişiklik meydana gelmemiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda %47,09 verim ile optimum temas süresi 120 dakika olarak belirlenmiştir. Bir önceki konsantrasyona benzer olarak 120 dakikalık sürede etkin bölgelerin dolarak tükenmesiyle birlikte adsorpsiyon hızının yavaşladığı ve dengeye ulaşıldığı söylenebilir (Fontana ve diğ., 2016).

#### 4.7.5 Adsorpsiyona Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi

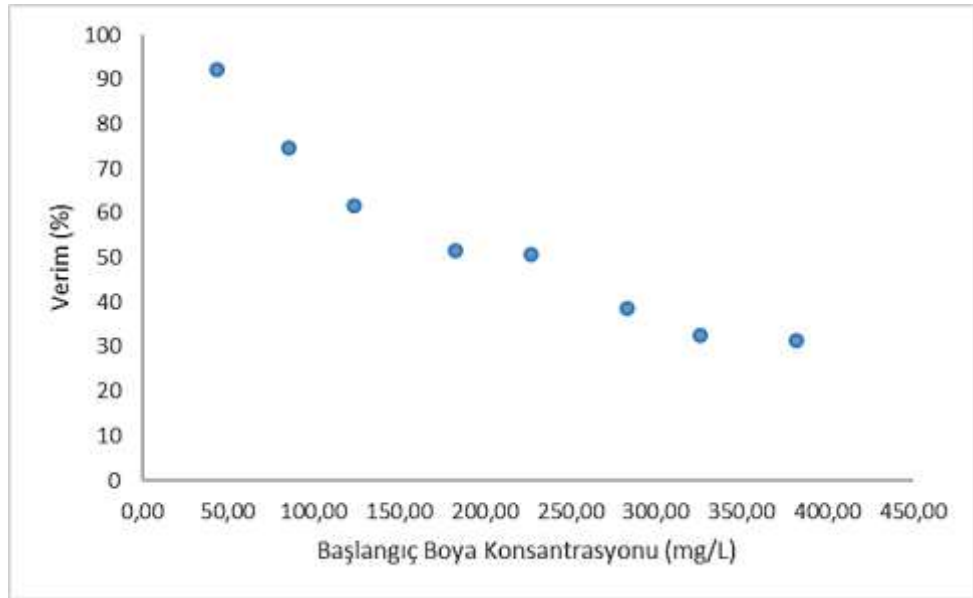
Atıksulardaki boya konsantrasyonları işletmenin üretim çeşidine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bundan dolayı farklı başlangıç boya konsantrasyonlarında giderim verimlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Bu amaçla 0,4 g AÇK dozunun farklı boya konsantrasyonlarına etkisini gözlemlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı boya konsantrasyonları içeren çözeltiler numaralandırılarak 250 mL'lik erlenlere eklenmiştir. Karıştırma hızı 150 rpm, sıcaklık 25 °C, temas süresi 24 saat ve pH 2 olacak şekilde adsorpsiyon çalışmaları yürütülmüştür. 24 saat sonra çalkalayıcıdan çıkarılan numunelere 5000

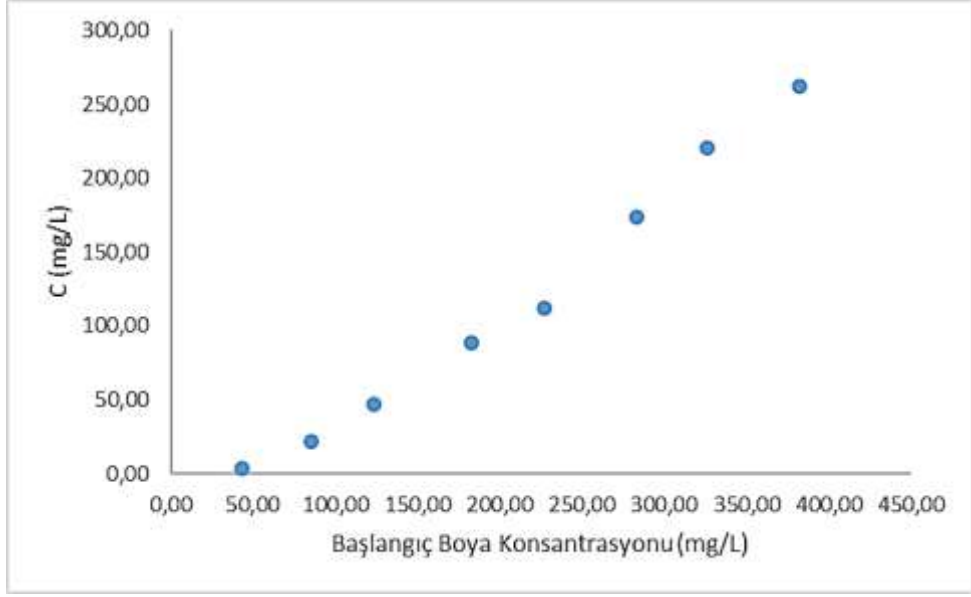
rpm’de 8 dakika boyunca santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işleminden sonra (Şekil 4.51) her bir numunenin spektrofotometrede absorbans değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda elde edilen verim, konsantrasyon değişimi ve tutma kapasitesi grafiği Şekil 4.52, 4.53 ve 4.54’de gösterilmiştir.



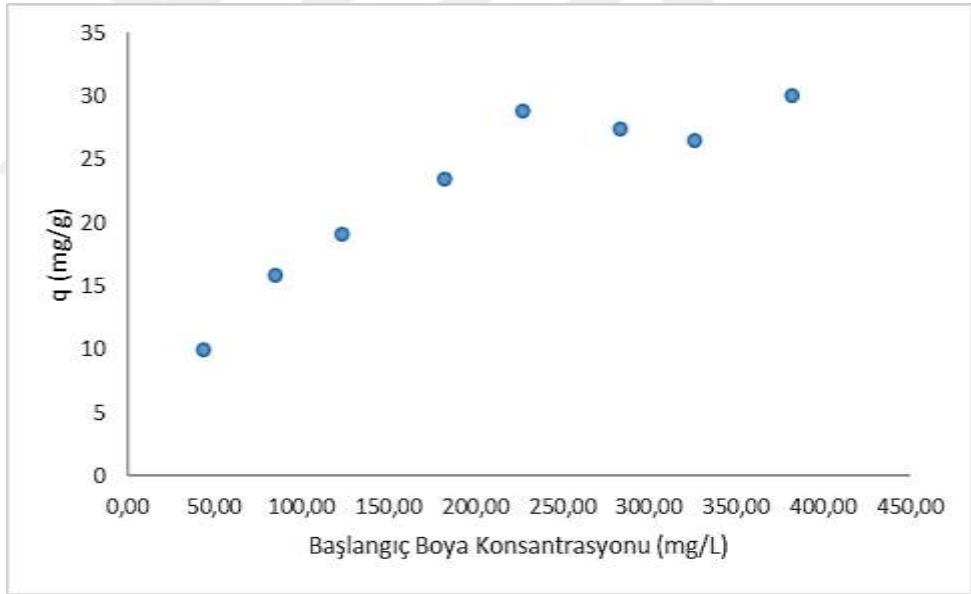
Şekil 4.51: Adsorpsiyona başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi deneyi



Şekil 4.52: Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre RB 221 için elde edilen verim grafiği



**Şekil 4.53:** Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre RB 221 için elde edilen boya konsantrasyonu değişim grafiği



**Şekil 4.54:** Uygulanan başlangıç boya konsantrasyonuna göre RB 221 için elde edilen adsorbentin tutma kapasitesi grafiği

Yapılan başlangıç boya konsantrasyonu çalışması sonucunda grafikler incelendiğinde, boya konsantrasyonunun artmasıyla beraber tutma kapasitesinde artış görülmüş olmasına rağmen verimde azalma görülmüştür. Yani boya yoğunluğu arttıkça AÇK tozunun adsorpsiyon etkisi azalmıştır. Red X-5GN ile yapılan çalışmalara benzer şekilde aynı eğilimin bu boya ile yapılan çalışmalarda da ortaya çıkması adsorpsiyon işleminin genel bir olgusu olan bu durumu pekiştirmiştir. AÇK

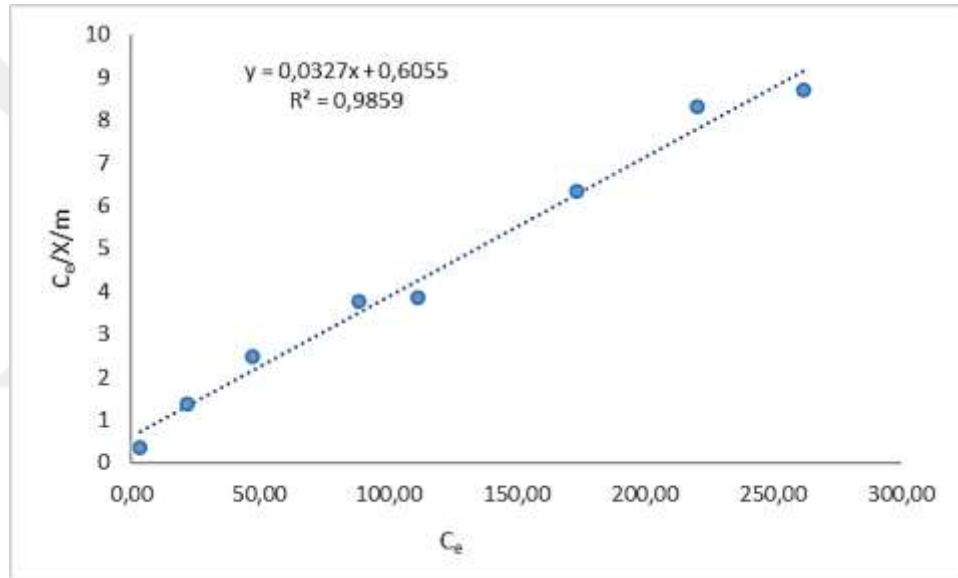


tozunun düşük konsantrasyonlarda daha etkili olduğu görülmüş olup en yüksek verime ise %92,15 ile 43 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda ulaşılmıştır.

#### 4.8 RB (Reactive Blue) 221 İçin İzoterm Model Uygulamaları

##### 4.8.1 Langmuir İzoterm Uygulaması

Bölüm 2.4.2.1’de verilen denkleme göre hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.55’de verilmektedir.

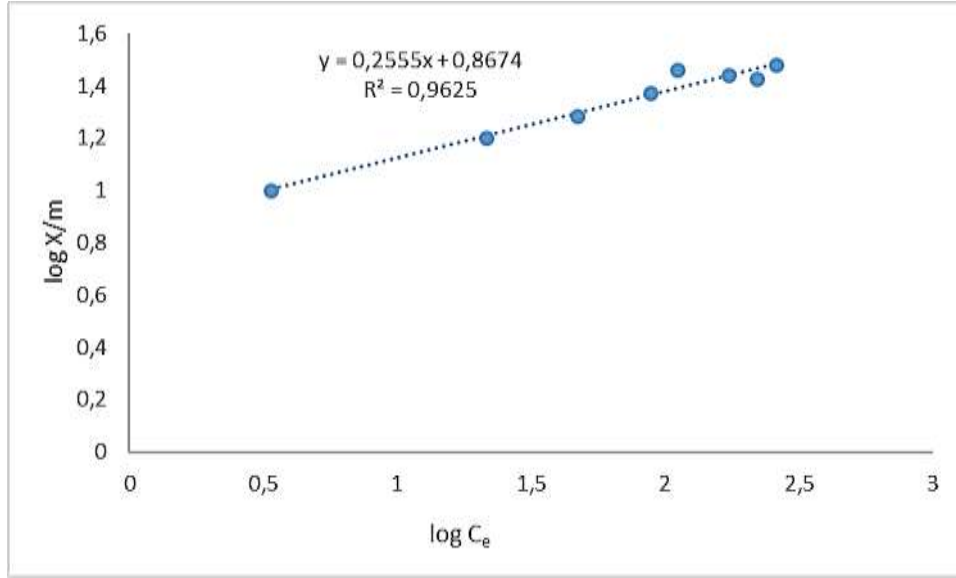


Şekil 4.55: RB 221 için Langmuir İzoterm Grafiği

##### 4.8.2 Freundlich İzoterm Uygulaması

Bölüm 2.4.2.2’de verilen denkleme göre hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.56’da verilmektedir.

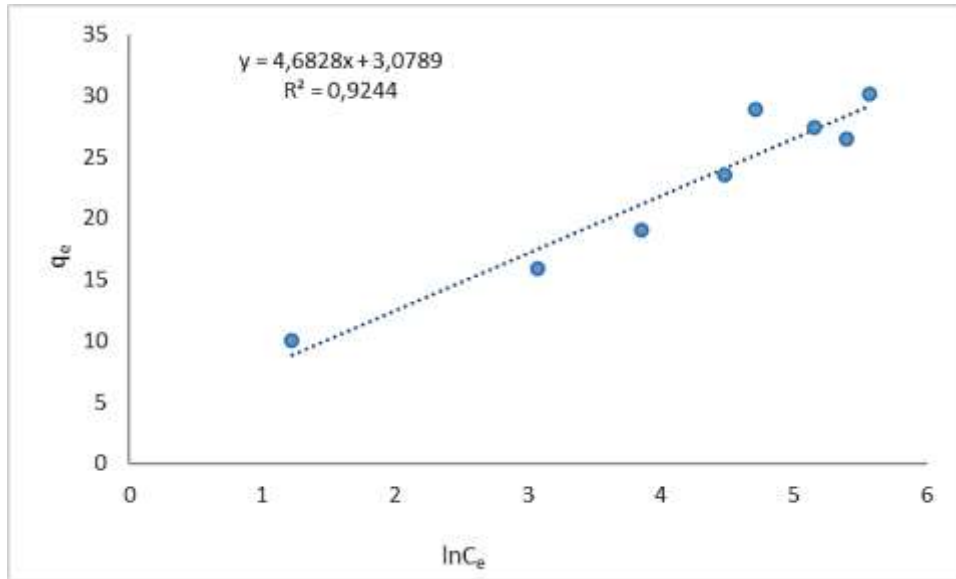




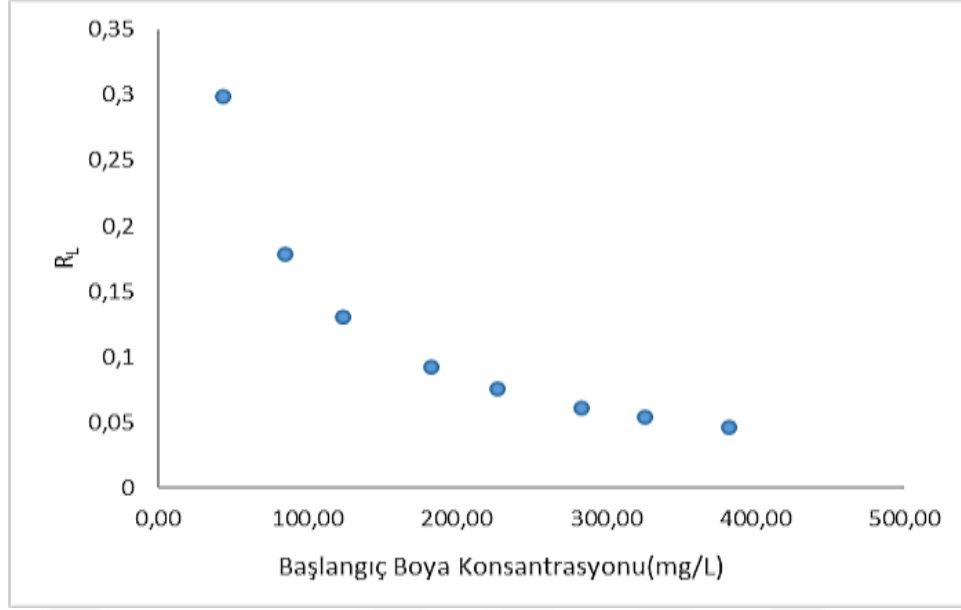
Şekil 4.56: RB 221 için Freundlich İzoterm Grafiği

#### 4.8.3 Temkin İzoterm Uygulaması

Bölüm 2.4.2.3'te verilen denkleme göre hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.57'de verilmektedir.



Şekil 4.57: RB 221 için Temkin İzoterm Grafiği



**Şekil 4.58:**  $R_L$ 'nin başlangıç boya konsantrasyonu ile değişimi

$R^2$  değerleri bakımından karşılaştırıldığında genel olarak RB 221 için farklı üç izoterm içerisinde, en uygun izoterm modelinin Langmuir İzotermi olduğu görülmektedir. RB 221 için Langmuir izoterminde  $R^2$  değeri 0,9855 ile 1'e en yakındır. Langmuir adsorpsiyon izotermi incelendiğinde, adsorbent seçiminde  $q_{max}$  değerinin yüksek olması makbuldür. Tablo 4.12'de görüldüğü gibi  $q_{max}$  değeri 30,58104 mg/L'dır. Bu değere bakıldığı zaman ayçekirdeği kabuğunun atıksulardan boyar maddelerin uzaklaştırılması sürecinde adsorbent madde olarak kullanılmamaları için bir sebep yoktur. Ayrıca,  $R_L$  değeri 0.29919 ile 0.046204 aralığında bulunmuş ve adsorpsiyon işleminin bu deneyde çalışılan tüm konsantrasyonlar için uygun ve olumlu ( $0 < R_L < 1$ ) olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada ayçekirdeği kabuğu için Freundlich izotermine elde ettiğimiz  $n$  değeri Tablo 4.4'de görüldüğü gibi 3,913894'tür. Bu değer istemli ve fiziksel bir süreç olduğunun kanıtıdır. Bulunan izoterm sabitleri Tablo 4.4'de gösterilmektedir. Burada Langmuir izotermine etkin olması, biyosorbent yüzeyinin tek tabakalı adsorpsiyonunu ortaya koymakta olup, bu durum literatürde yapılmış olan birçok çalışmada da gözlemlenmiştir (Huang ve diğ., 2016; Lee ve diğ., 2016).

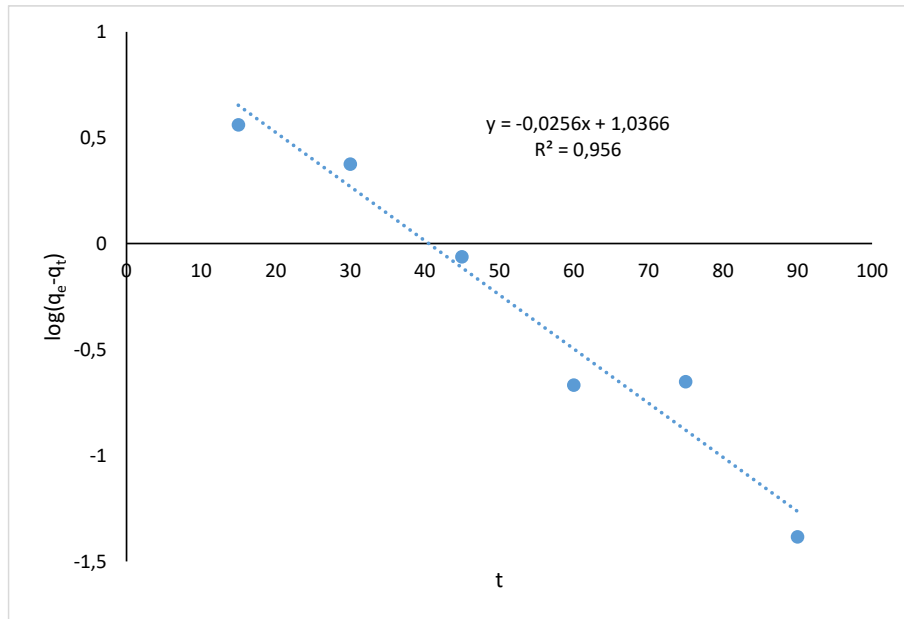
**Tablo 4.4:** RB 221 Deneyi İzoterm Sabitleri

| İzoterm    | Parametre                                | Değer    |
|------------|------------------------------------------|----------|
| Langmuir   | $q_m$ (mg/g)                             | 30,58104 |
|            | $K_L$ (L/mg)                             | 0,054005 |
|            | $R^2$                                    | 0,9859   |
| Freundlich | $K_f ((\text{mg/g})(\text{L/mg})^{1/n})$ | 7,368855 |
|            | $n$                                      | 3,913894 |
|            | $R^2$                                    | 0,9625   |
| Temkin     | $K_T$                                    | 1,929944 |
|            | $B$                                      | 4,6828   |
|            | $R^2$                                    | 0,9244   |

#### 4.9 RB 221 İçin Kinetik Model Uygulamaları (43 mg/L)

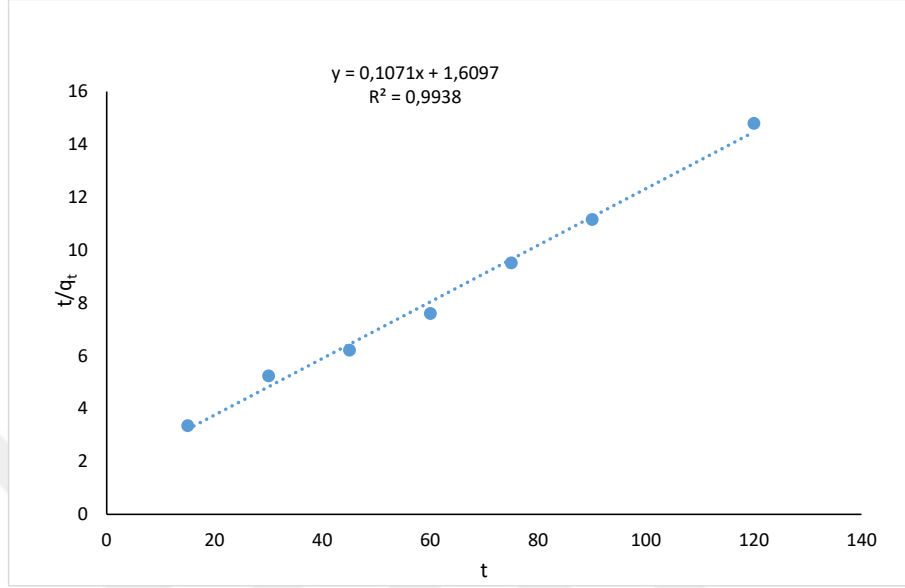
##### 4.9.1 Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model

Bölüm 2.4.3.1’de verilen denkleme göre 43 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.59’da verilmektedir.

**Şekil 4.59:** RB (Reactive Blue) 221 için Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model Grafiği

#### 4.9.2 Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model

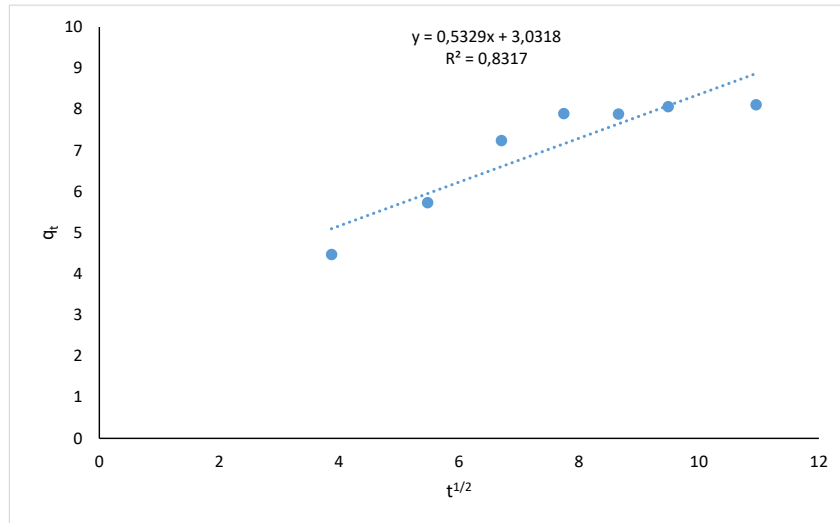
Bölüm 2.4.3.2’de verilen denkleme göre 43 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.60’da verilmektedir.



Şekil 4.60: RB (Reactive Blue) 221 için Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model Grafiği

#### 4.9.3 Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model

Bölüm 2.4.3.3’te verilen denkleme göre 43 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.61’de verilmektedir.

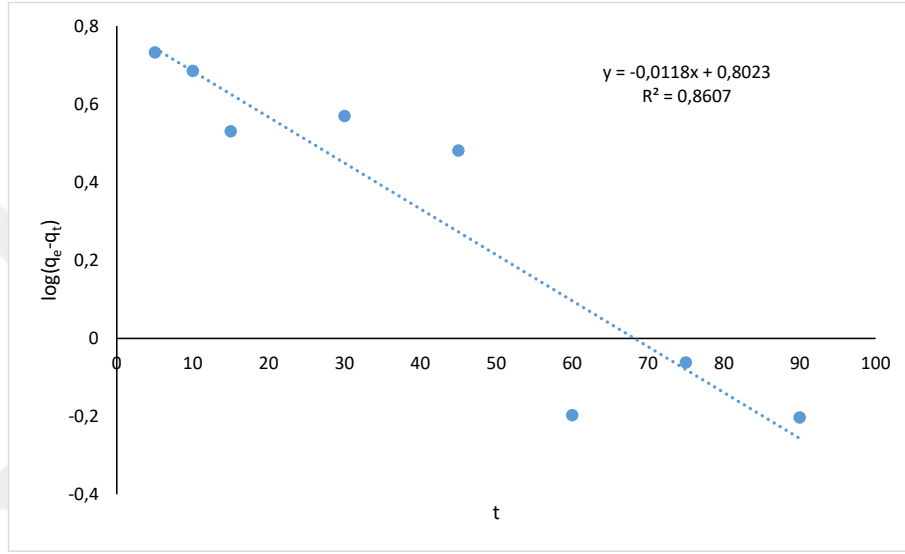


Şekil 4.61: RB 221 için Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model Grafiği

#### 4.10 RB 221 İçin Kinetik Model Uygulamaları (82 mg/L)

##### 4.10.1 Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model

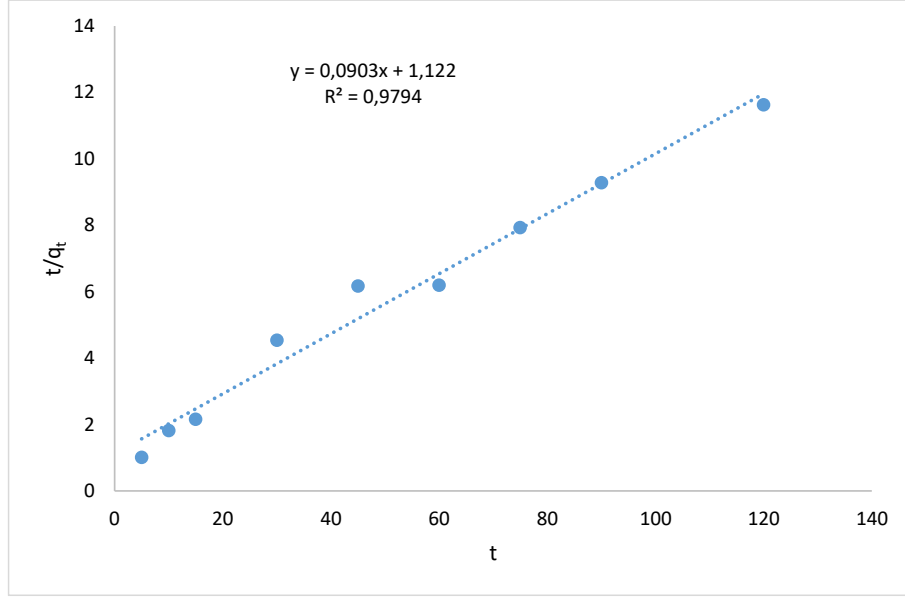
Bölüm 2.4.3.1’de verilen denkleme göre 82 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.62’de verilmektedir.



Şekil 4.62: RB 221 için Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Model Grafiğı

##### 4.10.2 Yalancı ikinci Dereceden Kinetik Model

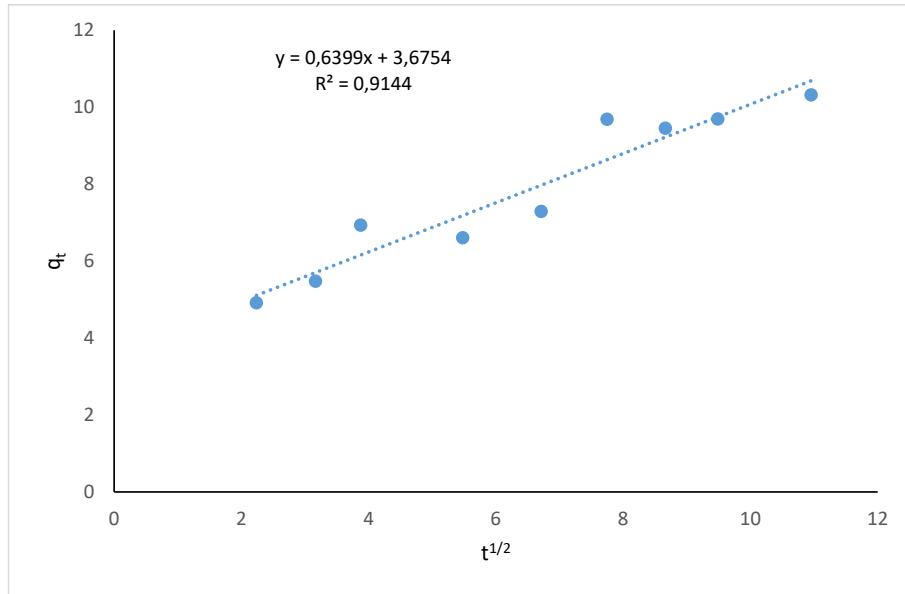
Bölüm 2.4.3.2’de verilen denkleme göre 82 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.63’de verilmektedir.



**Şekil 4.63:** RB 221 için Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Model Grafiği

#### 4.10.3 Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model

Bölüm 2.4.3.3'te verilen denkleme göre 82 mg/L boya konsantrasyonu için hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.64'de verilmektedir.



**Şekil 4.64:** RB 221 için Partikül İçi Difüzyon (Weber-Morris) Kinetik Model Grafiği

Grafiklerden elde edilen sonuçlara bakıldığında yalancı ikinci dereceden kinetik modelin de  $R^2$  değeri RB 221 için 1'e oldukça yakındır. Bu yüzden diğer modellere nazaran en uygun kinetik modelin Yalancı İkinci Derece Kinetik Modeli

olduğu görülmüştür. Deney sonunda bulunan kinetik model sabitleri Tablo 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.5:** RB 221 Deneyi Kinetik Model Sabitleri (43 mg/L)

| Kinetik Model         | Parametre                            | Değer    |
|-----------------------|--------------------------------------|----------|
| Yalancı 1. Derece     | $k_1$ (1/dk)                         | 0,058957 |
|                       | $q_e$ (mg/g)                         | 10,87928 |
|                       | $R^2$                                | 0,9560   |
| Yalancı 2. Derece     | $k_2$ (g/(mg.dk))                    | 0,007126 |
|                       | $q_e$ (mg/g)                         | 9,337068 |
|                       | $R^2$                                | 0,9938   |
| Partikül içi difüzyon | $k_{id}$ (mg/(g.dk <sup>0,5</sup> )) | 0,5329   |
|                       | $C$ (mg/g)                           | 3,0318   |
|                       | $R^2$                                | 0,8317   |

**Tablo 4.6:** RB 221 Deneyi Kinetik Model Sabitleri (82 mg/L)

| Kinetik Model         | Parametre                            | Değer    |
|-----------------------|--------------------------------------|----------|
| Yalancı 1. Derece     | $k_1$ (1/dk)                         | 0,027175 |
|                       | $q_e$ (mg/g)                         | 6,343077 |
|                       | $R^2$                                | 0,8607   |
| Yalancı 2. Derece     | $k_2$ (g/(mg.dk))                    | 0,007267 |
|                       | $q_e$ (mg/g)                         | 11,0742  |
|                       | $R^2$                                | 0,9794   |
| Partikül içi difüzyon | $k_{id}$ (mg/(g.dk <sup>0,5</sup> )) | 0,6399   |
|                       | $C$ (mg/g)                           | 3,6754   |
|                       | $R^2$                                | 0,9144   |

İki farklı boya konsantrasyonunda yürütülen bu deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar ışığında AÇK ile RB 221 adsorpsiyonunun hız sınırlayıcı adımının kemisorpsiyon olabileceği söylenebilir. Bununla ilgili literatür çalışmaları da incelendiğinde bu sonuçların tutarlı olduğu görülebilmektedir (Chinoune ve diğ., 2016; Palamthodi ve diğ., 2016).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, boya içeren renkli tekstil atık sularından ayçekirdeği kabuğu tozu kullanılarak bazik boya olan Red X-5GN ve reaktif boya olan RB 221'nin adsorpsiyon yöntemiyle giderimi amaçlanmıştır. AÇK tozu ile yapılan kesikli adsorpsiyon deneylerinde izoterm ve kinetik modellerin belirlenmesinin yanında adsorpsiyona etki eden faktörlerin (pH, adsorbent dozu, temas süresi, başlangıç boya konsantrasyonu) etkisi çalışılarak optimum koşullar belirlenmiştir. İncelenen her iki boya için Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve determinasyon katsayıları bulunmuştur. Ayrıca yalancı birinci derece, yalancı ikinci derece ve partikül içi difüzyon kinetik modelleri uygulanmıştır.

AÇK ile Red X-5GN için yapılan optimum pH'ın belirlenmesi çalışmasında en uygun pH'ın %96,81 verimle pH 4 olduğu sonucuna varılmıştır. Red X-5GN için yapılan optimum adsorbent dozajının belirlenmesi deneyinde en uygun adsorbent dozajı %96,28 ile 1g olarak belirlenmiştir. Red X-5GN için yapılan hem 48 mg/L hem de 97 mg/L boya konsantrasyonu ile optimum temas süresinin belirlenmesi deneyinde, en uygun temas süresi sırasıyla %90,76 ve %87,80 verim ile 90 dakika olarak belirlenmiştir. Optimum başlangıç boya konsantrasyonunun belirlenmesi deneyinde, 20 mg/L'de %93,16 ile en yüksek giderim verimi elde edilmiştir. Ayrıca Red X-5GN boyası için yapılan izoterm modeli uygulaması sonucu  $R^2$  değerine bakıldığında 0,9963 ile Freundlich izoterm modeline uyduğu, 48 mg/L ve 97 mg/L boya konsantrasyonu için yapılan kinetik model uygulaması sonucu  $R^2$  değerine bakıldığında sırasıyla 0,9999 ve 0,9998 ile yalancı ikinci derece kinetik modeline uyduğu görülmüştür.

AÇK ile RB 221 için yapılan optimum pH'ın belirlenmesi deneyinde en uygun pH'ın %91,17 verim ile pH 2 olduğu sonucuna varılmıştır. RB 221 için yapılan optimum adsorbent dozajının belirlenmesi deneyinde en uygun adsorbent dozajı %96,30 ile 0,4 g olarak belirlenmiştir. RB 221 için yapılan hem 43 mg/L hem de 82 mg/L boya konsantrasyonu ile optimum temas süresinin belirlenmesi deneyinde, en uygun temas süresi sırasıyla %74,68 ve %50,18 verim ile 120 dakika olarak belirlenmiştir. Optimum başlangıç boya konsantrasyonunun belirlenmesi deneyinde, 43 mg/L'de %92,15 ile optimum giderim verimi elde edilmiştir. Ayrıca RB 221 boyası için yapılan izoterm modeli uygulaması sonucu  $R^2$  değerine bakıldığında 0,9859 ile



Langmuir izoterm modeline uyduğu, maksimum adsorpsiyon kapasitesinin 30,58 mg/g olduğu, 43 mg/L ve 82 mg/L boya konsantrasyonu için yapılan kinetik model uygulaması sonucu  $R^2$  değerine bakıldığında sırasıyla 0,9938 ve 0,9794 ile yalancı ikinci derece kinetik modeline uyduğu görülmüştür.

Tüm sonuçlara bakıldığında AK tozunun yüksek verimlilikle çok etkili bir adsorbent olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlara göre AK tozunun farklı reaktif ve bazık boyalar için adsorpsiyon çalışmalarının yapılması ve bu boyalara uygunluğunun tespit edilmesi bu adsorbentin büyük ölçekli tekstil atıksuyu uygulamaları için büyük önem taşımaktadır.

AK tozunun geri kazanılması, rejenere edilmesi ve adsorpsiyon işleminde tekrar döngüler halinde kullanılması ile ilgili çalışmaların yapılması önerilir. Bu tez çalışması kesikli bir çalışma olup, sürekli atıksu beslemesi durumundaki etkinliğini ortaya koymak amacıyla kolon çalışmaları gerçekleştirilebilir. Deneylerde kullanılan ham AK tozuna çeşitli ön işlemler uygulanarak tutma kapasitesinin geliştirilmesi için çeşitli çalışmalar yürütülebilir. Detaylı termodinamik çalışmalar gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu adsorbentin yapısı ile ilgili olarak karakterizasyon çalışmalarının yürütülmesi de önerilebilir. Sürekli çalışmaların ardından pilot ölçekli uygulamaların gerçekleştirilmesi de büyük ölçekli tesisler için önemli bir adım olacaktır.

Genel olarak tekstil atık suyundan evre dostu ve düşük maliyetli adsorbent kullanarak boya giderimi amacıyla yapılan bu çalışma, adsorbentin kolay temin edilmesi, etkili olması ve ekonomik olması gibi etkenlerden dolayı çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Bu alışma ile AK atık malzemesine katma değer sağlanabilir ve atık olmasının geri planda bırakılması sağlanarak atığın, farklı bir kirleticinin gideriminde giderilmesi ön plana çıkarılmış olacaktır. Bu çalışmadan elde edilen verilerin hayata geçirilmesiyle, doğal adsorbentler kullanılarak günümüzün en önemli sorunlarından biri olan boya içeren tekstil atık sularının arıtılması daha ekonomik ve daha yüksek verimlilikle gerçekleştirilecektir. Tekstil boyası kullanan sektörler ile su ve atıksu arıtımı sektöründe faaliyet gösteren endüstriyel kuruluşlar AK tozu kullanılması konusunda bilgilendirilmeli ve teşvik edilmelidir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar laboratuvar ölçekli olmasından dolayı, elde edilen verilerin gerçek atıksuda ve gerçek ölçekli arıtma tesislerinde uygulanması daha net sonuçlar ortaya koyacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

Akar, S. T., Gorgulu, A., Akar, T., Celik, S., “Decolorization of Reactive Blue 49 contaminated solutions by *Capsicum annuum* seeds: Batch and continuous mode biosorption applications”, *Chemical Engineering Journal*, 168, 125-133, (2010).

Akkaya, G., Özer, A., “Biosorption of Acid Red 274 (AR 274) on *Dicranella varia*: Determination of equilibrium and kinetic model parameters”, *Process Biochemistry*, 40, 3559-3568, (2015).

Akköz, Y., “Aktive edilmiş biyoadsorbanlar ile sulu çözeltilerden boyar madde adsorpsiyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı*, Yozgat, (2018).

Aksu, Z., Tezer S., “Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*”, *Process Biochemistry*, 40, 3–4, 1347-1361, (2005).

Ali, N.F., El Mohamedy, R.S.R., “Microbial decolourization of textile waste water”, *Journal of Saudi Chemical, Society*, 16, 2, 117-123, (2012).

Allen, S.T., Gan, Q., Matthews, R., Johnson, P.A., “Comparison of optimised isotherm models for basic dye adsorption by kudzu”, *Bioresource Technology*, 88, 2, 143-152, (2003).

Altun, G., Hisarlı, G., Kurtoğlu, A.E., Ayar, N., “A comparison of basic dye adsorption onto zeolitic materials synthesized from fly ash”, *Journal of Hazardous Materials*, 187, 1–3, 562-573, (2011).

Ari, A.G., Celik, S., “Biosorption potential of Orange G dye by modified *Pyracantha coccinea*: Batch and dynamic flow system applications”, *Chemical Engineering Journal*, 226, 263-270, (2013).

Bahar, N., “Şeker pancarı küspesi modifiye ürünleriyle sulu ortamlardan bazik boyar maddelerin giderilmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Elazığ, 2011.

Basic Red 14, (24.05.2019), <http://www.worlddyevariety.com/basic-dyes/basic-red-14.html>, 2012

Blanchard, G., Maunaye, M., Martin, G., “Removal of heavy metals from waters by means of natural zeolites” *Water Research*, 18 (2), 1501-1507, (1984).

Boyar madde içeren atıksu arıtma tesislerinin işletilmesine yönelik el kitabı, Ankara, 2013.

Bozkan, H., “Azo Boyaların Zeytin Atığı (Pirina) Kullanılarak Adsorpsiyon Metodu İle Giderimi”, Yüksek Lisans, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, (2012).

Carliell, C.M., Barclay, S.J., N, Naidoo, “Microbial decolourisation of a reactive azo dye under anaerobic conditions”, *Water S.A.*, 21(1), 61-69, (1995).

Chinoune, K., Bentaleb, K., Boubarka, Z., Nadim, A., Maschke, U., “Adsorption of reactive dyes from aqueous solution by dirty bentonite”, *Applied Clay Science*, 123, 64-75, (2016).

Christie, R.M., “Environmental Aspects of Textile Dyeing” (first ed.), *Woodhead Publishing Ltd*, Manchester, England, (2007).

De Gisi S., Lofrano G., Grassi M., Notarnicola M., “Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review”, *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10-40, (2016).

Dinç H., “Boya atıksuyunun kimyasal ve ileri arıtma yöntemleri ile arıtılması”, Yüksek Lisans, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, , İstanbul, (2011).

Divriklioğlu M., “İmmobilize ve manyetik özellikli neurospora sitophila ile reaktif boyarmadde biyosorpsiyonu”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Biyokimya Bilim Dalı*, , Eskişehir, (2015).

Duman, O., Tunç, S., Polat, T.G., “Adsorptive removal of triarylmethane dye (Basic Red 9) from aqueous solution by sepiolite as effective and low-cost adsorbent”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 210, 176-184, (2015).

Engade K., Gupta S.G., “Adsorption of synthetic dye and dyes from a textile effluent by dead microbial mass”, *Journal of Industrial Pollution Control*, 23(1), 145-150, (2007).

Environmental Protection (EPA) (Noise) Regulations, (1997)

Eren H.A., Anış P., “Tekstil Boyama Atıksularının Ozonlama İle Renk Giderimi”, Uludağ Üniversitesi, *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11, 1, (2006).

Fewson C.A., “Biodegradation of xenobiotic and other persistent compounds: the causes of recalcitrance”, *Trends in Biotechnology*, 6, 7, 148-153, (1988).

Fontana, K.B., Chaves, E.S., Sanchez, J.D.S., Watanabe, E.R.L.R., Pietrobelli, J.M.T.A., Lenzi G.G., “Textile dye removal from aqueous solutions by malt bagasse: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124, 329-336, (2016).

Gark, V.K., Kumar, R., Gupta, R., “Removal of Malachite Green Dye from Aqueous Solution by Adsorption Using Agro-Industry Waste: A Case Study of Prosopis Cineraria”, *Dyes and Pigments*, 62(1), 1-10, (2004).

Gbekeloluwa, Oguntimein, B., “Biosorption of dye from textile wastewater effluent onto alkali treated dried sunflower seed hull and design of a batch adsorber” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 2647–2661, (2015).

Geetha, P., Latha, M.S., Koshy, M., “Biosorption of malachite green dye from aqueous solution by calcium alginate nanoparticles: Equilibrium study”, *Journal of Molecular Liquids*, 212, 723-730, (2015).

Gökkuş, Ö., Çiner, F., “Dispers Sarı 119 ve Dispers Kırmızı 167 içeren Atıksuların Fenton Oksidasyon Prosesi ile Renk ve KOİ Giderimlerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 25, 1, 49-55, (2010).

Gupta, V., “Application of low-cost adsorbents for dye removal—a review” *Journal of Environ. Manage.*, 90 (8), 2313-2342, (2009).

Gupta, G.S., Prasad, G., Singh, V.H., “Removal of chrome dye from aqueous solutions by mixed adsorbents: fly ash and coal”, *Water Res.*, 24, 45-50, (1990).

Gürel, L., “Biosorption of textile dye reactive blue 221 by capia pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds”, *Water Science and Technology*, 75, 8, 1889-1898. (2017).

Halis, “Tekstilin Tanımı ve Önemi”, (27.05.2019), <https://tekstilbilgi.net/tekstil-nedir.html>, (2016).

Hassaan, M., El Nemr, A., Madkour, F., “Testing the advanced oxidation processes on the degradation of Direct Blue 86 dye in wastewater”, *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43, 1, 11-19, (2017).

Hauser, P.J., “Advances in Treating Textile Effluent” *InTech, Rijeka, Croatia*, (2011)

Ho, Y.S., “Adsorption of Heavy Metals from Waste Streams by Peat”, Ph.D Thesis *University of Birmingham, Birmingham, U.K* (1995)

Hosono, M., Arai. H., Aizawa M., Yamamoto L., Shimizu K., Sugiyama M., “Decoloration and degradation of azo dye in aqueous solution of supersaturated with oxygen by irradiation of high-energy electron beams” *Appl. Rad. Iso.*, 44, 1199-1203, (1993)

Huang, J., Liu, D., Lu, J., Wang, H., Wei, X., Liu, J., “Biosorption of reactive black 5 by modified *Aspergillus versicolor* biomass: Kinetics, capacity and mechanism studies”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 492, 242-248, (2016).

Kabay Erkal N., “Yeni o-o'-dihidroksi azo boyarmaddelerin metal komplekslerinin sentezi ve yapılarının aydınlatılması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, , Denizli, (2002).

Karimifard, S., Moghaddam, M.R.A., “Application of response surface methodology in physicochemical removal of dyes from wastewater: A critical review”, *Science of The Total Environment*, 640–641, 772-797, (2018).

Katheresan, V., Kansedo, J., S. Yon-Lau., “Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 4, 4676-4697, (2018).

Kocaer, F.O., Alkan, U., “Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7, 1, (2002).

Lagergren S., Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, *Kungliga Svenska Vetenskapsademiens Handlingar*, 24 (4), 1-39, (1898).

Lee, L.Y., Gan, S., Tan, M.S.Y., Lim, S.S., Lee, X.J., Lam, Y.F., “Effective removal of Acid Blue 113 dye using overripe *Cucumis sativus* peel as an eco-friendly biosorbent from agricultural residue”, *Journal of Cleaner Production*, 113, 194-203, (2016).

Manju, Bishnoi N.R., “Adsorption of Methylene Blue on spent immobilized biomass of rice straw left after enzyme production”, *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research (IJAMR)*, 3, 7, 12-18, (2016).

McMullan, G., Meehan, C., Conneely, A., Nirby, N., Robinson, T., Nigam, P., Banat, I.M., Marchant, R. and Smyth, “Mini Review: Microbial decolourisation and degradation of textile dyes.” *Applied Microbiology and Biotechnology*, 56, 1–2, 81–87, (2001).

Mishra, G., Tripathy, M., ”A critical review of the treatments for decolourization of textile effluent, *Colourage*”, 40, 35-38, (1993).

Moghaddam, S., Alavi Moghaddam, M.R., Arami, M., “A comparison study on Acid Red 119 dye removal using two different types of waterworks sludge”, *Water Sci Technol*, 61, (7), 1673-1681, (2010).

Mohan, S., Prasad K., Rao N., Sarma P.N., “Acid azo dye degradation by free and immobilized horseradish peroxidase (HRP) catalyzed process”, *Chemosphere*, 58, 8, 1097-1105, (2005).

Nigam, P., Armour, G., Banat, I.M., Singh, D., Marchant, R., “Physical removal of textile dyes and solid state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues” *Bioresour. Technol.*, 72, 219-226, (2000).

Ogugbue, C., Sawidis, T., “Bioremediation and Detoxification of Synthetic Wastewater Containing Triarylmethane Dyes by *Aeromonas hydrophila* Isolated from Industrial Effluent”, SAGE-Hindawi Access to Research Biotechnology Research International Volume 2011, Article ID 967925, 11 pages, (2011).

Palamthodi, S., Lele, S.S., “Optimization and evaluation of reactive dye adsorption on bottle gourd peel”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 4, 4299-4309, (2016).

Poots, V.J.P., McKay J.J., “The removal of acid dye from effluent using natural adsorbents – I Peat” *Water Res.*, 10, 1061-1066, (1976).

Putro, J.N., Kurniawan, A., İsmadji, S., Ju, Y., “Nanocellulose based biosorbents for wastewater treatment: Study of isotherm, kinetic, thermodynamic and reusability”, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 8, 134-149, (2017).

Reactive Blue 221, (24.05.2019), <http://www.worlddyevariety.com/reactive-dyes/reactive-blue-221.html>, (2012).

Reid, R., “Go green – a sound business decision”, *J. Soc. Dyers Colourists*, 112, 103-105, (1996).

Seow T.W., Lim C.K., “Removal of Dye by Adsorption: A Review”, *International Journal of Applied Engineering Research*, 11, 4, 2675-2679, (2016).

Shore J., “*Colorants and auxiliaries organic chemistry and application properties*”, Society of Dyers & Colourists, England, 372, (2002).

Slokar, Y.M., Le Marechal A.M., “Methods of decoloration of textile wastewaters” *Dyes Pigments*, 37, 335-356, (1998).

Uçar B., “Tekstil atık sularındaki reaktif boyaların farklı katı atıklar kullanılarak adsorpsiyonla giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, (2009)

Vandevivere P.C, Bianchi, Verstraete W., “Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies” *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 72, 4, 289-302, (1998).

Vijayaraghavan G., Shanthakumar S., “Efficacy of alginate extracted from marine brown algae (*Sargassum sp.*) as a coagulant for removal of direct blue2 dye from aqueous solution”, *Global Nest Journal*, 17, 4, 716-726, (2015).

Wu, C.H., “Adsorption of Reactive Dye onto Carbon Nanotubes: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics” *Journal of Hazardous Materials*, 144, 1–2, 93-100, (2007).

Xu, Y., Lebrun R.E., “Treatment of textile dye plant effluent by nanofiltration membrane” *Separ. Sci. Technol.*, 34, 2501-2519, (1999).

Yüce, O., “Boya Nedir? Boyayı Teşkil Eden Bileşimler” (27.05.2019) <https://docplayer.biz.tr/6541157-Boya-nedir-boyayi-teskil-eden-bilesimler.html>

Zarezadeh, M., Badiei, A., “Highly efficient removal of basic blue 41 with nanoporous silica”, *Water Resources and Industry*, 5, 49-57, (2014).

Zee F.P., “ Anaerobic azo dye reduction”. Doctoral Thesis, *Wageningen University*. Wageningen, The Netherlands, 142, (2002).



## 7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ESMA NUR CESUR ÖZCAN

Doğum Yeri ve Tarihi : UŞAK - 1992

Lisans Üniversite : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : [esmanurcesur@hotmail.com](mailto:esmanurcesur@hotmail.com)

İletişim Adresi : Topraklık Mah. Kayalık Cad. No : 23  
Saadet Apt. Kat : 5 Daire : 7 Pamukkale /  
DENİZLİ