

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FINDIK KABUĞU VE AKTİF KARBON KULLANILARAK SENTETİK ATIK  
SUDAN BİTKİSEL YAĞ ADSORPSİYON ÇALIŞMALARI**

**Ercüment ŞAHİN**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ERZURUM  
2011  
Her Hakkı Saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**TEZ ONAY FORMU**

FINDIK KABUĞU VE AKTİF KARBON KULLANILARAK SENTETİK ATIK SUDAN BİTKİSEL YAĞ ADSORPSİYON ÇALIŞMALARI

Doç. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN danışmanlığında, Ercüment ŞAHİN tarafından hazırlanan bu çalışma 22/09/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. Çevre Mühendisliği/ Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yaşar NUHOĞLU

İmza

Üye : Prof. Dr. Sinan YAPICI

İmza

Üye : Doç. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN

İmza

(imza)

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

**Enstitü Müdürü**

Prof. Dr. Ömer AKBULUT

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Y. Lisans Tezi

### FINDIKKABUĞU VE AKTİF KARBON KULLANILARAK SENTETİK ATIK SUDAN BİTKİSEL YAĞ ADSORPSİYON (İZOTERM VE KİNETİK) ÇALIŞMALARI

Ercüment ŞAHİN  
Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN

Bu araştırmada fındikkabuğu ve aktif karbon kullanılarak, sentetik olarak hazırlanmış bitkisel yağlı sudan yağ giderimi araştırılmıştır. Bitkisel yağ gideriminde edebilmek için fındık kabuğu ve aktif karbon ayrı ayrı denenmiştir, Bitkisel yağın adsorplanması suretiyle atık su ortamından giderimi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda yağ giderimi üzerinde etkili olması beklenen parametrelerden yağ konsantrasyonu, adsorbent miktarları, karıştırma hızı, karıştırma süreleri, pH, ve sıcaklık parametrelerinin yağ giderimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Adsorpsiyon izoterm çalışmaları sonucu fındık kabuğu ve aktif karbonun Langmuir izotermine uyduğu gözlenmiştir. 1 g/L fındık kabuğunun kullanımı sonucu 200 mg/L sentetik bitkisel yağlı atık suyu 45 dak. sonunda %75,026, aynı şartlar altında aktif karbon %85,679 yağ arıttığı gözlemlenmiştir. Optimum giderim koşulları olarak fındık kabuğu için 200 mg/L yağ konsantrasyonunda, 2 g/L fındık kabuğu miktarı, pH 3, 120 dak. ve 200 rpm de %91.9 verim elde edilmiştir. Fındık kabuğu ve aktif karbonun adsorpsiyon kinetik çalışması yapıp sırayla 1.derece kinetiğe ve fiziksel adsorpsiyona uyduğu belirlenmiştir.

**2011, 99 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Fındık kabuğu; Aktif Karbon; Bitkisel Yağ; Adsorpsiyon.

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **THE STUDIES OF VEGETABLE OIL ADSORPTION (ISOTHERM AND KINETICS) ATTAINING FROM THE SYNTHETIC WASTE WATER BY USING HAZELNUT SHELL AND ACTIVATED CARBON**

Ercüment ŞAHİN  
Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN

In this study, the removal of synthically prepared vegetable oil in water prepared was analyzed. The removal of vegetable oil from the waste water by the adsorption of vegetable oil was studied by using the hazelnut shell and activated carbon separately to obtain a remarkable success in the removal of oil in water. In this study, the parameters such as adsorbent quantities, oil concentration, mixing time, mixing speed, pH and temperature were investigated, according to the effects of them on the removal of oil.

The hazelnut shell and activated carbon were observed to suit the Langmuir isotherm as a consequence of the studies of adsorption isotherm. 1 g/L hazelnut shell was observed that 200 mg/L synthetic oil in water was removed at the rate of 75,026% at the end of 45 minutes and under the same conditions, the activated carbon was removed at the rate of 85,679% through the use of hazelnut shell. As the optimum removal conditions, the quantity of 2 g/L hazelnut shell, pH 3 and 200 rpm were removed at the rate of 91.9% in the 200 mg/L oil concentration for the studies of hazelnut shell. The adsorption kinetics study of hazelnut shell and activated carbon was achieved and they were identified to suit the kinetics of the first degree and the physical adsorption, respectively.

**2011, 99 Pages**

**Keywords:** Hazelnut Shell; Activated Carbon; Vegetable Oil; Adsorption

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında bilgi ve emeği ile bana yardımcı olan, beni yönlendiren ve tecrübeleri ile karşılaştığım zorlukları kolayca aşmamı sağlayan, çalışmamın gerçekleştirilebilmesi için gerekli olanakların sağlanmasında her türlü desteği veren, hoşgörülü bir çalışma ortamı sunan değerli hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN'a,

Laboratuar çalışmalarım esnasında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikiminden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Yaşar NUHOĞLU'na, Sayın Arş. Gör. Baybars Ali FİL'e, Sayın Arş. Gör. Fatma EKMEKYAPAR TORUN'a ve Sayın Arş. Gör. Serkan BAYAR'a,

Tez çalışmam boyunca beni motive etmeye çalışan her zaman ve her türlü yardımına koşan Sayın Çevre Yük. Müh. Murat BİRE'ye, Sayın Çevre Yük. Müh. Zeynep TURAN'a,

Çevirilerimde yardımını esirgemeyen Sayın İngilizce Öğretmeni Emine KUZULU'ya, Çalışmalarım esnasında bir aile ortamı edasında çalışma imkânı sağlayan Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi ve araştırma görevlilerine,

Ayrıca bu çalışmam sırasında ve tüm hayatım boyunca yanımda olan, bana güvenen, ilgi ve sevgilerini benden esirgemeyen çok değerli aileme, Sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ercüment ŞAHİN  
Eylül 2011

## İÇİNDEKİLER

|                                                                          |          |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| ÖZET.....                                                                | 2        |
| ABSTRACT .....                                                           | ii       |
| TEŞEKKÜR.....                                                            | iii      |
| SİMGELER DİZİNİ.....                                                     | vii      |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                     | viii     |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                  | x        |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                    | <b>1</b> |
| <b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>                                         | <b>5</b> |
| 2.1. Su Kirliliği.....                                                   | 5        |
| 2.2. Atık Suların Arıtılması.....                                        | 7        |
| 2.2.1. Fiziksel temel prosesler.....                                     | 7        |
| 2.2.2. Kimyasal temel prosesler .....                                    | 8        |
| 2.2.3. Biyolojik temel prosesler .....                                   | 8        |
| 2.3. Su Kalite Kriterleri ve Standartları ile Atık Su Standartları ..... | 8        |
| 2.4. Yağlar .....                                                        | 11       |
| 2.5. Yağ Kaynakları .....                                                | 12       |
| 2.6. Su ve Atık Sularda Yağ kirliliği ve Çevreye Etkileri.....           | 13       |
| 2.7. Adsorpsiyon .....                                                   | 14       |
| 2.7.1. Fiziksel adsorpsiyon.....                                         | 15       |
| 2.7.2. Kimyasal adsorpsiyon .....                                        | 16       |
| 2.7.3. İyonik adsorpsiyon .....                                          | 16       |
| 2.8. Adsorbsiyon İzotermi.....                                           | 17       |
| 2.8.1. Henry yasası .....                                                | 17       |
| 2.8.2. Freundlich izotermi .....                                         | 18       |
| 2.8.3. Langmuir izotermi.....                                            | 18       |
| 2.9. Adsorpsiyon Kinetiği .....                                          | 21       |
| 2.10. Biyosorpsiyon Prosesi.....                                         | 22       |

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.11. Biyosorpsiyonu Etkileyen Faktörler .....                  | 22        |
| 2.12. Kullanılan Adsorbentlerin Özellikleri.....                | 24        |
| 2.12.1. Fındık kabuğu ( <i>corylus avellana</i> ) .....         | 24        |
| 2.12.2. Aktif karbon .....                                      | 25        |
| <b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>                               | <b>27</b> |
| 3.1. Materyal .....                                             | 27        |
| 3.1.1. Kullanılan kimyasallar .....                             | 27        |
| 3.1.2. Deney Düzenegi .....                                     | 27        |
| 3.2. Yöntem.....                                                | 28        |
| 3.2.1. Deneyin yapılışı .....                                   | 28        |
| 3.2.2. Yağ konsantrasyonun belirlenmesi .....                   | 29        |
| <b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>                  | <b>30</b> |
| 4.1. Fındık Kabuğu Adsorpsiyon Çalışmaları.....                 | 30        |
| 4.2. Fındık Kabuğu Verim Hesaplamaları .....                    | 33        |
| 4.2.1. Adsorbent miktarının adsorpsiyona etkisi.....            | 33        |
| 4.2.2. pH'nın adsorpsiyona etkisi.....                          | 34        |
| 4.2.3. Karıştırma hızının adsorpsiyona etkisi.....              | 35        |
| 4.2.4. Sıcaklığın adsorpsiyona etkisi.....                      | 37        |
| 4.3. Aktif Karbon Adsorpsiyon Çalışmaları .....                 | 38        |
| 4.4. Aktif Karbon Verim Hesabı.....                             | 41        |
| 4.4.1. Adsorbent miktarının adsorpsiyona etkisi.....            | 41        |
| 4.4.2. pH'nın adsorpsiyona etkisi .....                         | 42        |
| 4.4.3. Karıştırma hızının adsorpsiyona etkisi .....             | 43        |
| 4.4.4 Sıcaklığın adsorpsiyona etkisi.....                       | 44        |
| 4.5. Fındık kabuğu ile Kinetik Çalışması.....                   | 45        |
| 4.5.1. Fındık kabuğu ile yalancı 2. mertebe kinetik.....        | 46        |
| 4.5.2. Fındık kabuğu ile 1. derece kinetik.....                 | 62        |
| 4.5.3. Fındık kabuğu için aktivasyon enerjisi incelenmesi ..... | 67        |
| 4.5.4. Fındık kabuğu termodinamik incelenmesi .....             | 68        |
| 4.6. Aktif Karbon ile Kinetik Çalışması.....                    | 69        |
| 4.6.1. Aktif karbon ile yalancı 2. mertebe kinetik.....         | 70        |

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.6.3. Aktif karbon için aktivasyon enerjisi incelenmesi ..... | 88        |
| 4.6.4. Aktif karbon termodinamik incelenmesi.....              | 88        |
| 4.7. Fındık kabuğu FITR Analizi .....                          | 89        |
| 4.8. Fındık kabuğu Zeta Potansiyeli İncelenmesi .....          | 91        |
| 4.8.1. Denge pH .....                                          | 91        |
| 4.8.2. Zeta potansiyeli (zP) .....                             | 91        |
| <b>5. SONUÇ.....</b>                                           | <b>92</b> |
| KAYNAKLAR .....                                                | 96        |
| ÖZGEÇMİŞ                                                       |           |

## SİMGELER DİZİNİ

|            |                                                                                                                                   |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A          | Arrhenius sabiti                                                                                                                  |
| a          | Langmuir adsorpsiyon izotermine tek bir tabaka oluşturmak için adsorplayıcının birim ağırlığında adsorplanan madde miktarı (mg/g) |
| C          | Konsantrasyon (mg/L)                                                                                                              |
| $C_e$      | Dengede çözeltide adsorplanmadan kalan çözünen konsantrasyonu (mg/L)                                                              |
| $C_0$      | Çözünenin başlangıç konsantrasyonu (mg/L)                                                                                         |
| Ea         | Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)                                                                                                      |
| K          | Langmuir adsorpsiyon izotermine ait deneysel sabit                                                                                |
| $K_f$      | Freundlich izotermine adsorpsiyon kapasitesini gösteren sabit                                                                     |
| $K_H$      | Henry sabiti                                                                                                                      |
| $k_1$      | Birinci derece kinetik hız sabiti (1/dak)                                                                                         |
| $k_2$      | İkinci derece kinetik hız sabiti (g/mg dak)                                                                                       |
| n          | Freundlich izotermine adsorpsiyon şiddetini gösteren sabit                                                                        |
| $q_e$      | Denge anında birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)                                                              |
| $q_m$      | Langmuir izotermine adsorbentin tek tabaka kapasitesi (mol/g)                                                                     |
| $q_t$      | t anında birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)                                                                  |
| r          | Regresyon katsayısı                                                                                                               |
| R          | Gaz sabiti (J/K mol)                                                                                                              |
| t          | Zaman (dakika)                                                                                                                    |
| T          | Sıcaklık ( $^{\circ}$ C),(K)                                                                                                      |
| zP         | Zeta potansiyeli (mV)                                                                                                             |
| $\Delta G$ | Gibbs serbest enerjisi (kJ/mol)                                                                                                   |
| $\Delta H$ | Entalpi (kJ/mol)                                                                                                                  |
| $\Delta S$ | Entropi (kJ/mol K)                                                                                                                |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Trigliserid şeklindeki bir yağ molekülü .....                                  | 11 |
| Şekil 2.2. Yağ molekülü.....                                                              | 11 |
| Şekil 3.1. Deney düzeneği diyagramı .....                                                 | 27 |
| Şekil 3.2. Yağ-gres kalibrasyon eğrisi .....                                              | 29 |
| Şekil 4.1. Konsantrasyon değişimin $q_e$ ye olan etkisi.....                              | 30 |
| Şekil 4.2. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında elde edilen Freundlich izotermi..... | 31 |
| Şekil 4.3. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında elde edilen Langmuir izotermi        | 32 |
| Şekil 4.4. Fındıkkabuğu miktarının adsorbsiyon verimi üzerine etkisi .....                | 34 |
| Şekil 4.5. pH'nın adsorbsiyon verimi üzerine etkisi .....                                 | 35 |
| Şekil 4.6. Karıştırma Hızının adsorbsiyon verimi üzerine etkisi .....                     | 36 |
| Şekil 4.7. Sıcaklığın adsorbsiyon verimi üzerine etkisi .....                             | 38 |
| Şekil 4.8. Konsantrasyon değişimin $q_e$ ye olan etkisi.....                              | 39 |
| Şekil 4.9. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında elde edilen Freundlich izotermi..... | 40 |
| Şekil 4.10. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında elde edilen Langmuir izotermi.....  | 41 |
| Şekil 4.11. Aktif karbon miktarının adsorbsiyon verimi üzerine etkisi .....               | 42 |
| Şekil 4.12. pH'nın adsorbsiyon verimi üzerine etkisi.....                                 | 43 |
| Şekil 4.13. Karıştırma hızının adsorbsiyon verimi üzerine etkisi .....                    | 44 |
| Şekil 4.14. Sıcaklığın adsorbsiyon verimi üzerine etkisi .....                            | 45 |
| Şekil 4.15. Sıcaklıkların için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....                   | 48 |
| Şekil 4.16. Sıcaklıkların t anında birim adsorbent başına toplanan madde miktarı .....    | 49 |
| Şekil 4.17. Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....                   | 51 |
| Şekil 4.18. Konsantrasyonların t anında adsorbent başına toplanan madde miktarı ....      | 52 |
| Şekil 4.19. Fındıkkabuğu miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....            | 54 |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.20. Adsorbent miktarının t anında adsorbent başına toplanan madde miktarı ..      | 55 |
| Şekil 4.21. Karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....                 | 58 |
| Şekil 4.22. Karıştırma hızların t anında birim adsorbent toplanan madde miktarı.....      | 58 |
| Şekil 4.23. pH için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....                              | 61 |
| Şekil 4.24. pH'ların t anında birim adsorbent başına toplanan madde miktarı .....         | 62 |
| Şekil 4.25. Sıcaklık için 1. derece kinetik grafiği .....                                 | 63 |
| Şekil 4.26. Konsantrasyon için 1. derece kinetik grafiği .....                            | 64 |
| Şekil 4.27. Fındıkkabuğu miktarı için 1. derece kinetik grafiği.....                      | 65 |
| Şekil 4.28. Karıştırma hızı için 1. derece kinetik grafiği .....                          | 66 |
| Şekil 4.29. pH için 1. derece kinetik grafiği .....                                       | 67 |
| Şekil 4.30. Arrhenius grafiği .....                                                       | 68 |
| Şekil 4.31. $\ln k_c$ 'ye karşılık $1/T$ grafiği .....                                    | 69 |
| Şekil 4.32. Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği ..... | 72 |
| Şekil 4.33. Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....                   | 75 |
| Şekil 4.34. Aktif karbon miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....            | 77 |
| Şekil 4.35. Karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....                 | 80 |
| Şekil 4.36. pH için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği .....                              | 83 |
| Şekil 4.37. Sıcaklık için 1. derece kinetik grafiği .....                                 | 84 |
| Şekil 4.38. Konsantrasyon için 1. derece kinetik grafiği .....                            | 85 |
| Şekil 4.39. Aktif karbon miktarı için 1. derece kinetik grafiği .....                     | 86 |
| Şekil 4.40. Karıştırma hızı için 1. derece kinetik grafiği .....                          | 86 |
| Şekil 4.41. pH için 1. derece kinetik grafiği .....                                       | 87 |
| Şekil 4.42. Arrhenius grafiği.....                                                        | 88 |
| Şekil 4.43. $\ln k_c$ 'ye karşılık $1/T$ grafiği.....                                     | 89 |
| Şekil 4.44. Fındıkkabuğu için FITR grafiği.....                                           | 89 |
| Şekil 4.45. Zeta potansiyeli (zP) .....                                                   | 91 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1. Atık su standartları.....                                                                                                                                         | 10 |
| Çizelge 4.1. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi.....                                                                               | 30 |
| Çizelge 4.2. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında $\log C_e$ ve $\log q_e$ değerlerinin değişimi Freundlich hesabı.....                                                   | 31 |
| Çizelge 4.3. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında $C_e$ ve $C_e/q_e$ değerlerinin değişimi Langmuir hesabı.....                                                           | 32 |
| Çizelge 4.4. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında fındık kabuğu için Freundlich ve Langmuir izotermelerinden elde edilen $K_f$ , $n$ , $q_m$ , $K$ , $R^2$ değerleri..... | 33 |
| Çizelge 4.5. Farklı başlangıç fındıkkabuğu konsantrasyonları ile $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi .....                                                                    | 34 |
| Çizelge 4.6. Farklı başlangıç pH'nın $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi.....                                                                                                 | 35 |
| Çizelge 4.7. Farklı başlangıç karıştırma hızının $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi.....                                                                                     | 36 |
| Çizelge 4.8. Farklı başlangıç sıcaklıkların $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi .....                                                                                         | 37 |
| Çizelge 4.9. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi.....                                                                               | 38 |
| Çizelge 4.10. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında $\log C_e$ ve $\log q_e$ değerlerinin değişimi Freundlich hesabı.....                                                  | 39 |
| Çizelge 4.11. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında $C_e$ ve $C_e/q_e$ değerlerinin değişimi Langmuir hesabı.....                                                          | 40 |
| Çizelge 4.12. Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında Fındıkkabuğu için Freundlich ve Langmuir izotermelerinden elde edilen $K_f$ , $n$ , $q_m$ , $K$ , $R^2$ değerleri..... | 41 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.13. Farklı başlangıç aktif karbon konsantrasyonları ile $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi ..... | 42 |
| Çizelge 4.14. Farklı başlangıç pH'nın $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi.....                              | 43 |
| Çizelge 4.15. Farklı başlangıç karıştırma hızının $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi.....                  | 44 |
| Çizelge 4.16. Farklı başlangıç sıcaklıklarının $C_e$ ve $q_e$ değerlerinin değişimi .....                    | 45 |
| Çizelge 4.17. 25 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....                                | 46 |
| Çizelge 4.18. 35 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....                                | 47 |
| Çizelge 4.19. 45 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi .....                               | 47 |
| Çizelge 4.20. Sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler .....             | 48 |
| Çizelge 4.21. 300 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ..                          | 49 |
| Çizelge 4.22. 200 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ..                          | 50 |
| Çizelge 4.23. 100 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ..                          | 50 |
| Çizelge 4.24. 50 mg/L konsantrasyon için 1. derece kinetik incelenmesi .....                                 | 51 |
| Çizelge 4.25. Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler.....         | 52 |
| Çizelge 4.26. 0,2 g fındık kabuğu miktarı için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi                         | 53 |
| Çizelge 4.27. 0,1 g fındık kabuğu miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi .....                  | 53 |
| Çizelge 4.28. 0,05 gr. fındıkkabuğu miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi .....                | 54 |
| Çizelge 4.29. Fındıkkabuğu miktarı için 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler.....          | 55 |
| Çizelge 4.30. 200 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ....                       | 56 |
| Çizelge 4.31. 150 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ....                       | 56 |
| Çizelge 4.32. 250 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ....                       | 57 |
| Çizelge 4.33. 300 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ....                       | 57 |
| Çizelge 4.34. Karıştırma hızı için 2. mertebe kinetik grafikten elde edilen değerler ..                      | 58 |
| Çizelge 4.35. pH için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi .....                                           | 59 |
| Çizelge 4.36. pH= 7,00 için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....                                      | 60 |

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.37. pH= 6,00 için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi .....                                 | 60 |
| Çizelge 4.38. pH= 3,00 için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....                                 | 61 |
| Çizelge 4.39. pH için yalancı 2. mertebe kinetik grafikten elde edilen değerler .....                   | 62 |
| Çizelge 4.40. Sıcaklık için 1. derece kinetik için değerler.....                                        | 63 |
| Çizelge 4.41. Konsantrasyon için 1. derece kinetik için değerler.....                                   | 64 |
| Çizelge 4.42. Adsorbent miktarı için 1. derece kinetik için değerler.....                               | 65 |
| Çizelge 4.43. Karıştırma hızı için 1. derece kinetik için değerler.....                                 | 66 |
| Çizelge 4.44. pH için 1. derece kinetik için değerler .....                                             | 67 |
| Çizelge 4.45. A ve Ea değerleri .....                                                                   | 68 |
| Çizelge 4.46. 25 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....                           | 70 |
| Çizelge 4.47. 35 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....                           | 71 |
| Çizelge 4.48. 45 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....                           | 71 |
| Çizelge 4.49. Sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen<br>değerler .....     | 72 |
| Çizelge 4.50. 300 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ..                     | 73 |
| Çizelge 4.51. 200 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ..                     | 73 |
| Çizelge 4.52. 100 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ..                     | 74 |
| Çizelge 4.53. 50 mg/L konsantrasyon için 1. derece kinetik incelenmesi .....                            | 74 |
| Çizelge 4.54. Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde<br>edilen değerler..... | 75 |
| Çizelge 4.55. 0,2 g aktif karbon miktarı için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi ...                 | 76 |
| Çizelge 4.56. 0,05 g aktif karbon miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik<br>incelenmesi .....          | 76 |
| Çizelge 4.57. 0,1 g aktif karbon miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.                   | 77 |
| Çizelge 4.58. Aktif karbon miktarı için 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen<br>değerler ..... | 78 |
| Çizelge 4.59. 200 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ....                  | 78 |
| Çizelge 4.60. 150 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ....                  | 79 |
| Çizelge 4.61. 250 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ....                  | 79 |
| Çizelge 4.62. 300 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ....                  | 80 |
| Çizelge 4.63. Karıştırma hızı için 2. mertebe kinetik grafikten elde edilen değerler ..                 | 81 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.64. pH için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi .....                    | 81 |
| Çizelge 4.65. pH= 7,00 için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....               | 82 |
| Çizelge 4.66. pH= 6,00 için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi .....               | 82 |
| Çizelge 4.67. pH= 3,00 için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi.....               | 83 |
| Çizelge 4.68. pH için yalancı 2. mertebe kinetik grafikten elde edilen değerler ..... | 84 |
| Çizelge 4.69. Sıcaklık için 1. derece kinetik için değerler.....                      | 85 |
| Çizelge 4.70. Konsantrasyon için 1. derece kinetik için değerler.....                 | 85 |
| Çizelge 4.71. Adsorbent miktarı için 1. derece kinetik için değerler.....             | 86 |
| Çizelge 4.72. Karıştırma hızı için 1. derece kinetik için değerler.....               | 87 |
| Çizelge 4.73. pH için 1. derece kinetik için değerler .....                           | 87 |
| Çizelge 4.74. A ve Ea değerleri .....                                                 | 88 |
| Çizelge 4.75. Fındıkkabuğu FITR değerleri .....                                       | 90 |

## 1. GİRİŞ

Her türlü faaliyetleri sonucu, havada, suda ve toprakta meydana gelen olumsuz gelişmelerle ekolojik dengenin bozulması ve aynı faaliyetler sonucu ortaya çıkan koku, gürültü ve atıkların çevrede meydana getirdiği arzu edilmeyen sonuçlara “Çevre Kirliliği” denir (Anonim 1983). Hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve insan ihtiyaçlarının değişmesi sonucu oluşan atıkların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi sonucu oluşan çevre kirliliği insanların yanı sıra bütün canlıları etkilemekte, onların çeşitli şekilde zarar görmesine ve birçok canlı türünün yok olmasına sebep olmaktadır. Hızlı nüfus artışına bağlı oluşan atık suların bertaraf etmek için kurulan altyapı sistemleri zaman içerisinde yetersiz kalarak ülkemizde ve dünyanın birçok yerinde doğal kaynakların kirlenmesine neden olmaktadır. Doğanın kendini yenileme yeteneğinin sınırlı olduğu, doğal kaynakların tahrip edilerek ekolojik dengenin bozulduğu fark edildiğinde ise geriye dönüşüm mümkün olmamaktadır. Diğer kirleticiler bir tarafa radyoaktif maddelerin bile deniz ve göllere dökülmeye başlaması ve bunun zararlarının somut olarak görülmesi doğal dengenin bir daha düzeltilmeyecek şekilde bozulduğunun göstergesidir. Canlılar ve onları etkileyen çevre faktörleri arasında meydana gelen bu dengesizlik “Çevre Sorunları” olarak bilinmektedir. Bu dengesizlik son 25-30 yıl içerisinde en yüksek düzeye ulaşmıştır.

Çevre sorunları dünyanın pek çok ülkesinde olduğu gibi ülkemizin de en önemli problemlerinden birisi haline gelmiştir. Kirlenen kaynakların yeniden doğal haline dönüştürülmesi çoğu zaman kirlenmenin önlenmesinde daha zor ve pahalı olmaktadır. Bu durumda ülkemiz gibi gelişmekte olan, ancak sınırlı ekonomik ve teknolojik imkanlara sahip ülkelerde doğal kaynakların düzenli kullanılarak kirlenmeye karşı korunması büyük önem taşımaktadır.

Çevre kirliliği, kirletilen ortamlar dikkate alındığında genel olarak hava, su ve toprak kirliliği olarak üç grupta incelenmektedir. Çevre kirliliği sonucunda, insan ile birlikte tüm organizmalar, yapılar, kültür anıtları, kısacası canlı ve cansız çevre olumsuz yönde

etkilenmektedir (Çepel 1983). Çevre kirliliğinin önüne geçilebilmesi için, nüfus artışının ve aşırı tüketimin kontrol altına alınması, kaynaklara daha iyi ve tekrar kullanma imkanlarının geliştirilmesi gerekmektedir (Karpuzcu 1991).

Doğal çevrenin önemli bir kısmını oluşturan çeşitli su kaynaklarının (akarsu, göl ve denizler) çeşitli etkenlerle kirlenmesi ve bu kirlenmenin insan başta olmak üzere diğer canlıların yaşamını olumsuz yönde etkilenmesi su kirliliği olarak tanımlanır. Su kirliliğinin kaynağı; kentlerde, toplu yerleşim alanlarında ve endüstriyel kuruluşlarda kullanıldıktan sonra atılan atık sulardır. Su kirliliğinin başlıca etmenleri olarak biyolojik ve kimyasal faktörler sayılabilir. Biyolojik kirlenmenin başlıca nedenleri olan patojen mikroorganizmalar yer altı ve yüzey sularına karışarak ciddi sağlık tehlikelerine neden olmaktadır. İlgili mevzuat ve yasalara uyulmaması, denetimlerin yetersiz olması kirliliğin boyutlarının artmasına neden olmaktadır (Dökmeci 1999).

Kimyasal kirlenmenin en önemli nedeni; endüstri tesislerinde kullanıldıktan sonra alıcı ortama verilen endüstriyel atık sulardır. Su kaynaklarına ulaşarak suyun kalitesini bozan endüstriyel atık sular, su ortamındaki yaşam dengesini bozmaktadır. Bu nedenle alıcı ortamlara atık sularla taşınan kirleticiler, uygun bir arıtım tesisinde arıtılarak alıcı ortama verilmelidirler.

İnsanlar, yaşamsal ve ekonomik gereksinimleri için, sürekli bir döngü içindeki suyu alıp kullanıldıktan sonra tekrar aynı döngüye verirler. Bu süreçte suya karışan maddeler, suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek, su kirliliğine neden olur (Anonim 1991). Su kirlenmesi, sularda yaşayan çeşitli canlı varlıklara zarar vererek, sucul ekosistemlerin etkilenmesine, dengelerin bozulmasına ve giderek doğadaki tüm suların sahip oldukları kendi kendini temizleme kapasitesinin azalmasına veya yok olmasına yol açabilir (Gündüz 1994). Bu nedenle özellikle son yıllarda kaliteli suya olan ihtiyaç dünya genelinde giderek artmaktadır. Halk sağlığını tehdit eden bulaşıcı hastalıkların daha çok içme sularını diğer kaynaklara oranla daha duyarlı duruma getirmiştir. Dolayısıyla suları sadece bugünkü kullanma imkanları için değil, gelecekteki muhtemel faydalanmalar için de koruma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu

durum sadece aşırı kirlenmiş bölgeler için değil, temiz ortamlar için de geçerli olmalıdır.

Her yıl, kentsel ve endüstriyel gelişimi ile atık su deşarjlarında yağ ve türevleri artmaktadır. Kirlenmiş sularda yağlar katı yağ, kesme yağı, sıvı yağı ve ağır ve hafif hidrokarbonlar olarak bulunur. Ana kirleticiler ise endüstriyel rafineri, metal sanayileri ve gıda sektörüdür. Bu emülsiyonlar atık sularda biyolojik olarak çeşitli problemlere neden olmaktadır (Srinivasan and Viraraghavan 2010). Dünyada ve ülkemizde birçok sanayi kuruluşu atık su problemi ile karşı karşıyadır. Atık suların uygun teknoloji ile arıtılması ve geri kazanılması çevre kirliliği ve ülke ekonomisine pek çok fayda sağlamış olacaktır.

Evsel ve endüstriyel atık suların ve çamurların gres içeriği, bu tip maddelerin toplanmasında ve arıtılmasında oldukça önemlidir. Gres, sudaki çözünürlüğünün az oluşu ve sıvı fazdan ayrılma eğilimi nedeni ile özel bir önemi vardır. Gresin bu özellikleri, flotasyon işlemleri ile kolaylıkla ayrılmasında bir avantaj olmakla beraber, atık sularda borulara naklini, onların biyolojik arıtma ünitelerinde parçalanmasını ve alıcı sulara verilmesini karışık ve zor bir işlem haline sokar (Samsunlu 1999).

Srinivasan and Viraraghavan (2010), adsorpsiyon çalışmasıyla *Mucor rouxii* ve *Absidia coerulea*, Kitosan ve ceviz kabuğu ile kanola yağı, mineral yağı ve kesme yağı gidermiştir. Kanola yağı için *Mucor rouxii* %77, *Absidia coerulea* %72, Kitosan %99, ceviz kabuğu %83 oranında gidermiştir. Mineral yağı için *Mucor rouxii* %84, *Absidia coerulea* %80, Kitosan %97, ceviz kabuğu %96 oranında gidermiştir. Kesme yağı için *Mucor rouxii* %93, *Absidia coerulea* %91, Kitosan %99, Ceviz kabuğu %96 oranında gidermiştir.

Ahmad *et al.* (2005), adsorpsiyon çalışmasında yağlı atık sudan (bitkisel yağı) 0,5 gr toz ve 2 gr granül adsorbent (kitosan) kullanılarak %100 e yakın arıtım sağlamıştır.

Yapılan bir diğ er adsorpsiyon çalışmasında 2 g/L lık bitkisel yağı atık sudan 8 gr aktif karbon, 12 gr Bentonit kullanarak %99 luk bir arıtım gerçekleştirmiştir (Ahmad *et al.* 2005).

Aktif karbonun adsorplayıcı özellik göstermesi ile ilgili olarak adsorbsiyon çalışmasında Bagreev and Bandozs (2001), aktif karbon kullanarak %80 oranında H<sub>2</sub>S adsorplanmıştır.

Moon and Lee (2005), adsorbentlerde elde edilmiş aktif karbon ile bir polimer olan curdlan kullanarak Cu<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> ve Cd<sup>2+</sup> iyonlarının maksimum adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 161 mg/g, 75mg/g, 72 mg/g ve 41 mg/g olarak belirlenmiştir.

Kadirvelu *et al.* (2004), adsorpsiyon işleminde 80 mg/50 ml ve 115 mg/50 ml aktif karbon konsantrasyonu ile sırasıyla 40 mg/L ve 60 mg/L Hg(II)'yi %100'e yakın oranında adsorplanmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Su Kirliliği

Teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesi, su kaynaklarından azami faydanın sağlanmasına aracı olmakla birlikte, bu ilerlemeye paralel olarak sanayileşmenin ve şehirleşmenin de artması beraberinde çevre kirliliğini ve özellikle de su kirliliğini getirmiştir. İnsanlar devamlı olarak doğal hidrolojik çevrime müdahale etmekte, su kaynaklarının kalitesini düşürecek düzeylerde organik, inorganik ve biyolojik kirlenme meydana getirmektedir. Su kirliliğinin çeşitli tanımlamaları yapılmakla beraber ABD Çevre koruma Ajansı (EPA), su kirliliğini, suyun kalitesini ölçülebilecek düzeyde kötüleştirecek miktar veya konsantrasyonlarda kanalizasyon suyu, endüstriyel atık su ve diğer zararlı veya istenmeyen maddelerle bozulması olarak tanımlanmaktadır (Bayhan 1996).

Günümüzde kentsel alanlardan, endüstriyel kuruluşlardan ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan atık sular, su kirliliğinin en önemli sebepleri arasında yer almaktadır. Sanayinin neden olduğu su kirlenmesi, hızlı nüfus artışından ileri gelen kirlenmeden çok daha fazladır. 1975'te bilim adamları tarafından yapılan bir çalışmaya göre İzmit körfezinde bulunan 14 fabrikanın atık sularının körfeze yaptığı kirlenme, 2.250.000 kişinin yapabileceği kirlenmesi, endüstri koluna göre farklılıklar göstermektedir. Ayrıca her işletme, işletmede kullanılan ana ve yardımcı hammaddelere ve proseslere bağlı olarak, değişik türden organik ve inorganik madde içeren atık sular üretmektedir (Taner vd 1995). Endüstriyel atıkların bir kısmı çabuk biyodegradasyona uğradığından, çevre kirlenmesinde olumsuz etkileri nispeten azdır. Ancak petrokimya, tekstil, maden, boya, kağıt vb. gibi endüstri kollarından çıkan atık suların bileşiminde canlılar için zararlı olan aromatik, alifatik hidrokarbonlar, ağır metaller, metaloidler, radyoaktif maddeler, plastikler, gazlar ve mineral tozlar bulunmaktadır (Dökmeci 1999).

Suların kirlenmesinde sanayi atıklarından sonra evsel atık adını verdiğimiz, yerleşim bölgelerinden sulara karışan atıklar da önemli etkiye sahiptir. Evsel atıklar özellikle nüfusu hızla artan, çarpık kentleşme gösteren yerleşim birimlerinde, çevre kirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Su kirlenmesinde rol oynayan evsel atıklar; dışkı atıkları, şeker, nişasta, alkol, yağ gibi yiyecek atıklarını, kağıt, plastik, bez gibi atıkları ve deterjanları içermektedir (Dökmeci 1999).

Atık suların kirliliği, fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlilik olarak başlıca üç kısımda incelenir. Gerek tarımsal faaliyetler sonucu oluşan atık sular, gerekse endüstriyel ve evsel kaynaklı atık sular, suyun fiziksel özelliklerini bozucu etkiye sahiptirler. Fiziksel kirlenmeye; katı atıklar ile renk, koku, sıcaklık ve bulanıklık oluşturan maddeler neden olmaktadır. Bu tür sularda saptanması gereken fiziksel parametreler; katı maddelerin konsantrasyonu, suyun sıcaklığı, rengi ve pH değeridir.

Sulardaki kimyasal kirlenmenin önemli nedenlerinin başında endüstriyel atıklar gelmektedir. Endüstride su, soğutma yıkama, çözücü vb. gibi çok değişik amaçlarla kullanılır ve yabancı maddeler bu işlemler sırasında sulara karışır. Özellikle petrol ve ilaç endüstrilerinin atık sularında binlerce değişik organik bileşik bulunabilir (Dökmeci 1999). Atık suyun kimyasal özelliklerini içerdiği çözünmüş organik maddeler, toksik maddeler, azotlu ve fosforlu maddeler belirler. Bu anlamda kimyasal kirlilik, proteinler, yağlar, yüzey reaktifleri, fenoller, klorür, azot, fosfor, kükürt, ağır metaller, oksijen, hidrojen, sülfür, metan gibi organik ve inorganik kökenli maddelerin karışmasıyla oluşmaktadır (Gündüz 1994). Organik maddeler su kaynağına ulaştığında, doğal olarak ortamda bulunan mikroorganizmalarca hemen parçalanmaya başlamakta ve bu olay su ortamında oksijenin hızla tüketilmesine neden olmaktadır. Suyun oksijen kapasitesinin üzerine organik madde sulara karıştığında, bu maddeler mikroorganizmalar tarafından parçalanırken ortamdaki oksijen yok denilecek kadar azalmakta ve bu durumun devam etmesi halinde oksijen konsantrasyonu sıfırlanmaktadır. Çeşitli faaliyetler sonucu patojenik özellikte olan bakteri, alg, mantar ve virüs gibi mikroorganizmalar biyolojik kirliliğe neden olmaktadır (Temizel 1988). Özellikle hayvan kesim yerleri, et işletme tesisleri, hastaneler ve evsel atık sulardan kaynaklanmaktadır. Biyolojik olarak kirlenilen

suların içme suyu ve kullanma suyu olarak tüketilmesi çeşitli salgın hastalıkların oluşmasına neden olmaktadır.

## **2.2. Atık Suların Arıtılması**

Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri değişmiş sular ile maden ocakları, cevher hazırlama tesisi çıkış suları, şehirlerde cadde, sokak ve benzeri alanlarda yağışlarla akışa geçen sular atık su olarak kabul edilebilir (Anonim 1988; Tünay 1996a; Tünay 1996b). İnsan başta olmak üzere diğer tüm canlıların yaşamını ve doğal dengeyi olumsuz yönde etkileyen atık sular ilk olarak 1870 yılında ABD’de arıtmaya başlanmış olup günümüzde başta gelişmiş ülkeler olmak üzere bütün dünya ülkeleri tarafından çeşitli derecelerde arıtıma tabi tutulmakta, konuyla ilgili yaptırım gücü yüksek hukuki düzenlemeler ve denetim mekanizmaları uygulamaya konulmaktadır (Ekmekyapar 2004).

Atık suların arıtımında temel amaç, atık suların kirlilik derecelerinin, kullanım yerlerine göre istenilen düzeye indirilmesidir. Bu amaçla kullanılan yöntemler genelde fiziksel temel işlemler, kimyasal temel prosesler ve biyolojik prosesler olarak üç grupta toplanabilir (Metcalf and Eddy 1991).

### **2.2.1. Fiziksel temel prosesler**

Arıtım yöntemleri arasında fiziksel kuvvetlerin önde ve baskın olduğu uygulamalar fiziksel temel işlemler olarak bilinmektedir. En önemli temel işlemler ızgara, karıştırma, flokülasyon, sedimentasyon, flotasyon, filtrasyon ve gaz transferidir. Fiziksel arıtmada atık sular, içerisindeki kaba maddeler ayrılarak biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) düşük olan sular haline getirilir.

### **2.2.2. Kimyasal temel prosesler**

Kimyasal maddelerin ilavesi veya diğer kimyasal reaksiyonlarla kirleticilerin giderilmesi veya diğer kimyasal reaksiyonlarla kirleticilerin giderilmesini veya çevrilmesini sağlayan arıtım metodu kimyasal temel prosesler olarak adlandırılır. Atık suların arıtılmasında, çöktürme, adsorbsiyon ve dezenfeksiyon en çok kullanılan yöntemlerdir (Ekmekyapar 2004).

### **2.2.3. Biyolojik temel prosesler**

Biyolojik aktivitelerle atık suların arıtılması biyolojik prosesler olarak bilinmektedir. Biyolojik arıtma özellikle koloidal veya çözünmüş halde bulunan parçalanabilir organik maddelerin giderilmesinde kullanılmaktadır. Bu maddeler ya gaz haline çevrilerek atmosfere verilmekte veya biyolojik hücre dokularına geçerek giderilmektedir (Metcalf and Eddy 1991). Biyolojik arıtım aynı zamanda atık suda bulunan besin maddelerinin (azot ve fosfor) gideriminde kullanılmaktadır. Birçok durumda atık sular biyolojik olarak arıtılabilmektedir (Ekmekyapar 2009).

Belirtilen bu temel operasyon ve prosesler çeşitli arıtım seviyelerini sağlamak için kendi aralarında gruplanabilmektedir. Önceden beri fiziksel işlemler birincil, kimyasal ve biyolojik prosesler ikincil, üçünün birleştirilmesi ise ileri veya üçüncül arıtım olarak adlandırılır. İleri arıtımda ayrıca aktif karbon adsorbsiyonu, iyon değişimi, ters osmoz, elektordiyaliz gibi yöntemlerden faydalanılmaktadır (Pekin 1983).

## **2.3. Su Kalite Kriterleri ve Standartları ile Atık Su Standartları**

Su kirliliğini önlemek için yapılacak müdahalelerde ilk gelen girişim kirlilik standartlarının belirlenmesidir. Standart belirlemede amaç su ortamlarında çeşitli kirletici unsurların konsantrasyonları için üst limitlerin saptanmasıdır. Su kirliliği kontrolünün etkin biçimde yürütülebilmesi için özellikle tüm suların kullanım

amaçlarına göre sınıflandırılması ve bu sınıflamaya uygun düşecek şekilde kirlilik sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu sınırlar; kriterler, amaçlar ve standartlar çerçevesinde belirlenmektedir. Su kalitesi kriterleri, sularda bulunabilecek çeşitli kirlletici unsurların insan ve canlı yaşamı üzerindeki etkilerini, hangi konsantrasyonlarda ve hangi koşullar altında ne tür zararların oluşabileceğini belirleyen bilgilerdir (Anonim 1988). Suyun kullanılacağı yere ve amaca göre değişen kalite kriterleri vardır. Kalite kriteri kavramı, standart kavramından farklıdır. Kriterler; herhangi bir amaçla kullanılacak suyun o amaca uygun ve yeterli özelliklerinin ayrıntılı tarifidir. Kalite kriterini saptamak için gerekli olan parametre sayısı ve bu parametrelerin alt ve üst limitleri, suyun kullanılacağı amaca göre belirlenir (Sağ 1993).

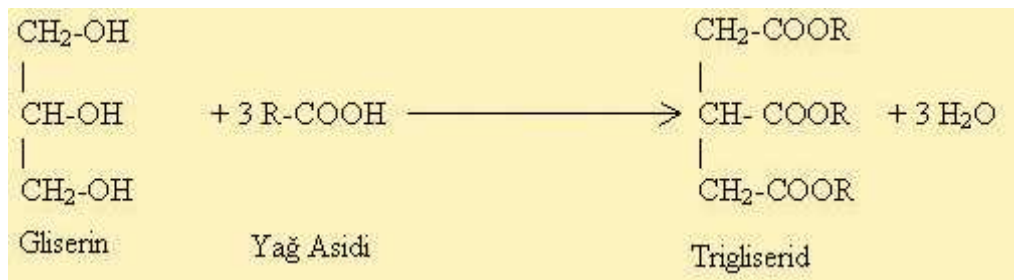
Çevre Kanunu'na dayalı olarak yürürlüğe giren “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” 1988 yılından beri su kirliliği kontrolü ve su kaynakları kullanımını kapsayan yasal ilkeleri ortaya koymuştur. Yönetmelik ön arıtmada uyulması gereken hususların yanı sıra tam arıtma ile sonuçlanan ve deniz deşarjı yapılan haller için gerekli standartları tanımlamıştır. Çizelge 2.1’de atık suların altyapı tesislerine bırakılmasında ön görülen standartlar verilmektedir (Anonim 1988).

**Çizelge 2.1.** Atık suların atık su altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atık su standartları

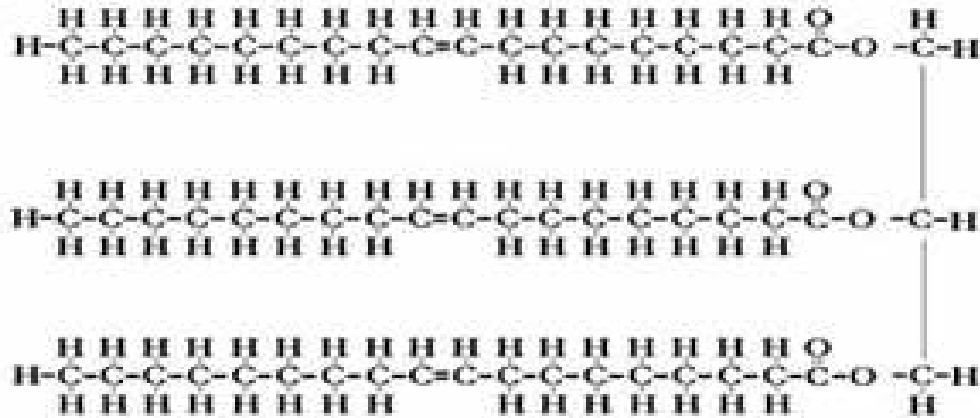
| Parametre                                | Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atık su altyapı tesislerinde                                                      | Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarj ile sonuçlanan atık su altyapı tesislerinde |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Sıcaklık (°C)                            | 40                                                                                                                                  | 40                                                                                     |
| pH                                       | 6,5-10                                                                                                                              | 6--10                                                                                  |
| Askıda katı madde                        | 500                                                                                                                                 | 350                                                                                    |
| Yağ ve gres (mg/L)                       | 250                                                                                                                                 | 50                                                                                     |
| Katran ve petrol kökenli yağlar (mg/L)   | 50                                                                                                                                  | 10                                                                                     |
| Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)   | 4000                                                                                                                                | 600                                                                                    |
| Sülfat (mg/L)                            | 2                                                                                                                                   | 1000                                                                                   |
| Toplam sülfür (S <sup>2-</sup> ) (mg/L)  | 2                                                                                                                                   | 2                                                                                      |
| Fenol (mg/L)                             | 20                                                                                                                                  | 10                                                                                     |
| Serbest klor (mg/L)                      | 5                                                                                                                                   | 5                                                                                      |
| Toplam azot (N) (mg/L)                   | -(a)                                                                                                                                | 40                                                                                     |
| Toplam fosfor (P) (mg/L)                 | -(a)                                                                                                                                | 10                                                                                     |
| Arsenik (As) (mg/L)                      | 3                                                                                                                                   | 10                                                                                     |
| Toplam siyanür (CN <sup>-</sup> ) (mg/L) | 10                                                                                                                                  | 10                                                                                     |
| Toplam kurşun(Pb)(mg/L)                  | 3                                                                                                                                   | 3                                                                                      |
| Toplam kadmiyum (Cd) (mg/L)              | 2                                                                                                                                   | 2                                                                                      |
| Toplam krom (Cr) (mg/L)                  | 5                                                                                                                                   | 5                                                                                      |
| Toplam civa (Hg) (mg/L)                  | 0,2                                                                                                                                 | 0,2                                                                                    |
| Toplam bakır (Cu) (mg/L)                 | 2                                                                                                                                   | 2                                                                                      |
| Toplam nikel (Ni) (mg/L)                 | 5                                                                                                                                   | 5                                                                                      |
| Toplam kalay (Sn) (mg/L)                 | 10                                                                                                                                  | 10                                                                                     |
| Toplam gümüş(Ag)(mg/L)                   | 5                                                                                                                                   | 5                                                                                      |
| Klorür (Cl <sup>-</sup> )(mg/L)          | 10000                                                                                                                               |                                                                                        |
| Yüzey aktif maddeler                     | Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır |                                                                                        |

## 2.4. Yağlar

Yağlar, en basit tanımlamayla organik asitlerle alkollerin yaptıkları esterlerdir. Suda ayrı faz yapmaları ve organik çözücülerde çözünmeleri ile tanınmaktadırlar. Aşağıdaki denklemde bir poliol olan gliserin ile bir yağ asidinin esterifikasyon ürünü ifade edilmiştir.



**Şekil 2.1.** Trigliserid şeklindeki bir yağ molekülü



**Şekil 2.2.** Yağ molekülü

Yağ molekülü incelendiğinde her bir yağ molekülünde 3 yağ asidi (oleik asit) ve bu yağ asitlerine bağlı bir tane de gliserol görülmektedir. Yalnız bu demek değildir ki her zaman 3 tip yağ asidi gliserole bağlanmak zorundadır. Bazı zamanlarda gliserollere 1

ya da 2 tane yağ asidi bağlanmasıyla da yağlar oluşur. Ayrıca farklı alkollere yağ asitlerinin bağlanması ile de yağlar oluşmaktadır.

## 2.5. Yağ Kaynakları

Kaynaklarına göre hayvansal yağlar ve bitkisel yağlar veya fiziksel durumlarına göre katı ve sıvı yağlar gibi sınıflandırılabilirken, bunlara ilave olarak kimyasal yapılarına göre de farklı bir sınıflandırmaya tabi tutulabilirler.

Yağ ile gres genelde birlikte anılır. Yağ ve gres esas olarak aynı maddeden oluşmakla beraber; gres, içindeki yağ ve diğer additifler aynı olmakla beraber bunların dışında ısı ve ezilme gibi yıpranmalara karşı dış mukavemetin artırılması için içine kısmi olarak yoğunluğunu artıracak maddeler katılmaktadır.

Her yıl, Kentsel ve Endüstriyel gelişimi ile atık su deşarjlarında yağ ve türevleri buna bağlı olarak artmaktadır. Bu atık sularda yağlar;

Bitkisel, Sıvı Kesim, Yağlanma Maddeleri, Ağır hidrokarbonlar ( katran, gres yağ, ham petrol ve motorin), Hafif hidrokarbonlar (gaz yağı, jet yakıtı ve benzin) olarak bulunur (Srinivasan and Viraraghavan 2010).

Evsel Atık sularda Yağ – Gres Miktarı yaklaşık olarak 50-150 mg/L derin deniz deşarjında besin elementleri dışında alıcı ortamın estetik durumunun değişmesine neden olan yüzer maddeler, yağ-gres, koku ve renk parametrelerinin kontrolü için de deşarj öncesi arıtım gerekmektedir. Denizin estetik görünüşünü bozan yüzücü katı maddeler ve yağ-gres, deşarjdan önce atık sudan ayrılmalıdır. Derin deniz deşarjı için sınır değer 15 mg/L'dir. Atık suların Altyapı Tesislerinde Deşarj için Yağ- gres içeriği bakımından değerler kanalizasyon sistemleri tam artıma ile sonuçlanıyorsa: 250 mg / L Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan tesislerde: 50 mg /L.

Bu atıkların başlıca endüstriyel kaynakları: petrol rafineleri, metal üretimi, metal işletmeleri ve gıda işlemcileridir (Srinivasan and Viraraghavan 2010).

## **2.6. Su ve Atık Sularda Yağ kirliliği ve Çevreye Etkileri**

Yağ ve gres sudaki çözünürlüğünün az oluşu nedeniyle sıvı fazdan ayrılma eğilimi gösterir ve üst faz oluşturur. Yağ ve gres, suda ayrışmaları oldukça yavaş olup, bulundukları ortamlara kolayca gitmezler. Bu nedenle birçok sucul ortamlarda problemler doğururlar. Bu kirleticiler biyolojik atık su arıtımında problem yaratabilir. Kanalizasyona dökülen yağlar atık su arıtma tesislerine zarar verir ve işletme maliyetini artırır. Evsel atık sular genel olarak biyolojik olarak arıtılır. Evsel atık su içinde bulunan yağları biyolojik olarak arıtmak mümkün değildir. Ayrıca biyolojik arıtmada faaliyet gösteren bakteriler yağ ve gresle kaplanarak aktiviteleri engellenir. Atık suyun KOI ve BOI'sinde ciddi artışlara neden olur.

Et kesme ve paketlenme endüstrilerinden gelen atık sular, özellikle koyun ve ineklerin kesiminden gelen ağır yağları içermektedirler. Bu tip atık sular kanalizasyon borularının cidarlarına tutunarak taşıma kapasitesi üzerine olumsuz etki yaparlar.

Gres, arıtma tesislerinde çeşitli problemlere neden olmaktadır. Çok az tesis, gresin çöpe verilerek uzaklaştırması veya yakma vasıtası ile ayrılması olanaklarına sahiptir. Ön çökeltme tanklarında yüzeyden sıyrıcı yardımıyla köpük halinde ayrılan gresli maddeler, yine tesiste çökelen katı maddelerle birlikte uzaklaştırma ünitelerine sevk edilirler. Çamur çürütme tanklarında, gres yoğun olarak köpük tabakasında ayrılmak ve yüzeye doğru yüzmek eğilimindedir. Yüksek gres içerikli atık sulardan en önemlisi olan et, bitkisel yağ ve margarin endüstrilerinden gelen atık sularda, köpük problemi oldukça önemli olup, evsel kanalizasyon sistemlerinde bu tip atık suların doğrudan verilmesi sakıncalıdır (Samsunlu 1999).

## 2.7. Adsorpsiyon

Genel olarak adsorpsiyon, akışkan fazda çözünmüş haldeki belirli bileşenlerin bir katı adsorbent yüzeyine tutunmasına dayanan ve faz yüzeyinde görülen yüzeye tutunma olayıdır. Katı örgüsü içinde bulunan iyonlar çekim kuvvetlerince dengelenmiştir. Ancak katı yüzeyindeki atomların dengelenmemiş kuvvetleri, çözeltideki maddeleri katı yüzeyine çekerler ve yüzey kuvvetleri dengelenmiş olur. Bu şekilde çözeltideki maddelerin katı yüzeyine adsorpsiyonu gerçekleşir.

Adsorpsiyon olayı ilk olarak 1773 yılında Scheele ile 1777 yılında A. Fontana tarafından keşfedilmiştir. Adsorpsiyon üzerine ilk sistematik araştırmayı ise 1814 yılında Saussure yapmış, adsorpsiyon terimi ise 1881 yılında Kayser tarafından ileri sürülmüştür (Ruthven 1984).

Adsorplayıcı prosesinin meydana gelebilmesi için aşağıdaki üç koşulun sağlanması gerekmektedir.

- a) Adsorplayıcı maddenin yüzeyine tutunacak olan çözünmüş maddelerin özellikle adsorplayıcı maddenin etrafını saran çözücü sıvı film içerisinden geçmesi gerekmektedir. Bu geçişe film difüzyonu adı verilmektedir.
- b) Adsorplayıcı maddenin yüzeyine gelen maddelerin, gözeneklerin iç kısımlarına girebilmeleri için por difüzyonu adı verilen bir geçiş daha tamamlamaları gerekmektedir.
- c) Adsorpsiyon işlemi, bu iki aşamadan sonra çözünmüş maddenin adsorplayıcı madde üzerine fiziksel kuvvetlerle bağlanmasıyla son bulmaktadır (Karpuzcu 1984).

Katı- sıvı adsorbsiyonu içme suyu ve atıksu arıtımında önemli rol oynar. Adsorbsiyon prosesi su ve atık su arıtımında aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadır.

- İstenmeyen tat ve kokuların uzaklaştırılması,

- İnsektisid, bakterisid ve bunun gibi pestisidler biyolojik arıtma sistemlerinde girişim meydana getirebilirler ve arıtılmadan tesisten çıkarlar. Bu gibi maddelerin alıcı sulara gitmemesi için üçüncül arıtma olarak adsorbsiyon işlemi,
- Küçük miktarda toksik bileşiklerin (fenol vb.) sudan uzaklaştırılması,
- Deterjan kalıntılarının sudan uzaklaştırılması,
- Endüstriyel atıklarda bulunan kalıcı organik maddelerin ve rengin giderilmesi,
- Nitro ve kloro bileşikleri gibi özel organik maddelerin uzaklaştırılması,
- TOK ve klor ihtiyacının azaltılması,
- Deklorinasyon (klor giderme) amacı ile kullanılır (Şengül ve Küçükgül 1998).

Günümüzde adsorpsiyonun birçok uygulama alanı vardır. Adsorpsiyon işleminde, Birikim gösteren maddeye adsorbat, adsorblayan katıya da adsorban denilmektedir. Adsorbsiyon prosesinin hızı ve adsorplanan madde miktarı adsorbanın yüzey özelliklerine bağlıdır. Genelde sulu çözeltilerden çeşitli maddelerin veya gaz fazından herhangi bir maddenin gideriminde aktif karbon gibi yüzey alanı büyük olan adsorbanlar kullanılmaktadır. Gazların adsorbsiyonu sırasında basınç yükseltildiğinde, adsorban daha fazla miktarda gaz adsorplayacaktır. Çözeltilerin adsorbsiyonu için de aynı kural geçerlidir. Çözeltiden adsorbsiyonda, adsorbe olacak maddelerin doğası ve çözelti içerisindeki konsantrasyonu çok önemlidir (Alkan 2001). Adsorplayan madde yüzeyi ile adsorplanan kimyasal arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak gerçekleşen üç tür adsorpsiyon işlemi tanımlanmaktadır.

### 2.7.1. Fiziksel adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyon Van der Waals kuvvetleri nedeniyle meydana geldiği için en önemli adsorpsiyon çeşidi arasındadır. Fiziksel adsorpsiyonun oluşabilmesi için düşük sıcaklık aralığı yeterlidir. Van der Waals etkileşimleri zayıf etkileşimler olduğu için, bir tanecik fiziksel olarak adsorplandığında salınan enerji, yoğunlaşma entalpisiyle aynı mertebededir. Aktivasyon enerjisi ve adsorpsiyon entalpisi 40 kJ/mol düşüktür. Bağlar

zayıf ve tersinirdir. Nitekim adsorplanan moleküller desorbe olmaktadır. Adsorpsiyon çok tabakalıdır. Rejenerasyonu kolaydır (Metcalf and Eddy 1972; Karaoğlu *et al.* 2010).

### **2.7.2. Kimyasal adsorpsiyon**

Kimyasal adsorpsiyonda katı ve adsorplanacak çözünen arasında kimyasal bir reaksiyon oluşur ve reaksiyon genellikle geri dönüşümsüzdür. Kimyasal adsorpsiyon, fiziksel adsorpsiyonla karşılaştırıldığında daha spesifiktir. Genellikle yüksek sıcaklık aralığında oluşur. Kimyasal adsorpsiyon entalpisi, fiziksel adsorpsiyon entalpisinden çok daha büyüktür ve tipik değer 200 kJ/mol civarındadır. Adsorpsiyon sırasında çıkan ısı, reaksiyon ısısından daha büyüktür (5-100 kcal/mol). Normalde adsorbe edilen materyaller yüzey üzerinde ancak bir molekül kalınlığında örtü oluşturur ve molekülün yüzey üzerinde serbestçe hareket ettiği düşünülemez. Oysa fiziksel adsorpsiyonda moleküller yüzey çevresinde serbest hareket edebilmekte, yüzeye yapışmaktadır (Keskinler vd 1994).

### **2.7.3. İyonik adsorpsiyon**

Yüzeydeki yüklü bölgelere elektrostatik kuvvetler ile çözeltideki iyonik karakterdeki adsorbanların çekilmesi sonucu oluşur. Adsorpsiyon, adsorbent ve adsorbatların iyonik güçleri ve moleküler büyüklüklerine göre seçimli olarak oluşur. Eş yüklü iyon durumunda küçük iyon tercih sebebidir. Yüzeye tutunan iyonlara eş yüklü başka iyonların, aynı anda yüzeyi terk etmesi şeklindeki sürece iyon değişimi adı verilir.

Pek çok farklı özelliklerine rağmen, çoğu durumda fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon arasında kesin bir ayrım yapılamaz, kimi kez birlikte veya ard arda oluşurlar (Ross and Oliver 1964; Hassler 1974).

## 2.8. Adsorbsiyon İzotermi

Genel olarak deneysel adsorpsiyon ölçümlerinin sonuçlarını denge adsorpsiyon izotermi şeklinde ifade etmek mümkündür. Bilinen bir sıcaklıkta dengedeki adsorbat molekülleri tarafından işgal edilen yüzey noktalarının sayısı çözeltinin konsantrasyonuna veya gazın basıncına bağlı olacaktır. Belli bir sıcaklıkta basınçla yada konsantrasyonla yüzey örtülmesinin değişimi adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılır ve adsorpsiyon izotermi, bir adsorbent yüzeyine adsorplanan bir adsorbat için denge şartını tanımlar. Düşük konsantrasyonlarda ya da düşük basınçlarda tüm adsorpsiyon izotermi doğrusaldır. Adsorpsiyon prosesi, adsorban yüzeyinde adsorplanan madde miktarı ve adsorplanmadan çözeltide kalan madde miktarı arasında bir denge oluşuncaya kadar devam eder (Doğan 2001). Matematiksel olarak bu denge adsorpsiyon izotermi ile açıklanmaktadır. Adsorpsiyon proseslerini açıklamak için en yaygın olarak kullanılan izotermi Henry, Freundlich, Langmuir ve BET izotermidir.

### 2.8.1. Henry yasası

Sabit sıcaklıkta gazların sıvılardaki çözünürlüklerinin basınçla değişimi deneysel olarak ilk kez İngiliz kimyacı William Henry (1775-1836) tarafından incelenmiştir. Seyreltik çözeltilerde mol kesri yerine molalite ya da molarite alınarak ta Henry yasası tanımlanmaktadır. Bu durumda adsorplanmış miktarın doğrudan denge çözelti konsantrasyonu ile değiştiğini gösteren en basit adsorpsiyon izotermi olan Henry yasası şu şekilde ifade edilebilir.

$$q_e = K_H C_e \quad (2.1)$$

Burada  $q_e$ , dengede katı yüzeyinde adsorplanmış madde miktarı (mol/g);  $C_e$ , dengede adsorbatın çözelti fazındaki miktarı (mol/L) ve  $K_H$ , Henry sabitidir ve birimsizdir (Alkan 2005).

### 2.8.2. Freundlich izotermi

Freundlich, çözelti fazından çeşitli adsorbat moleküllerinin adsorpsiyonu açıklamak için matematiksel denklemi türetmiştir.

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.2)$$

$K_F$  ve  $n$ , Freundlich sabitleri olup adsorbent ve adsorbat yapısına ve sıcaklığa bağlı deneysel sabitlerdir. Yukarıdaki denklemin her iki tarafının doğal logaritması alınır,

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.3)$$

Elde edilir.  $\log q_e$ 'nin  $\log C_e$ 'ye karşı eğrisi düz bir doğru verecektir. Doğrunun eğiminden  $n$  ve ekstrapolasyonundan  $K_F$  hesaplanır.  $1/n$ , heterojenite faktörüdür ve 0-1 aralığında değişen değerler alır. Yüzey ne kadar heterojense,  $1/n$  değeri o kadar sıfıra yakın olur (Attard and Barnes 1998; McKay *et al.* 2005).

### 2.8.3. Langmuir izotermi

Langmuir izotermi, çok sayıda sistemin denge adsorpsiyon davranışını yorumlamak için ve katı yüzeylerinin toplam yüzey alanını belirlemek için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu izoterme göre:

1. Katı yüzeyinde bir adsorbatın adsorpsiyonu tek tabaka adsorpsiyonu ile sınırlıdır,
2. Katı yüzeyi homojendir yani adsorbat molekülü için her bağ noktasının affinitesi aynıdır.
3. Adsorplanmış moleküller arası etkileşim söz konusu değildir.

4. Adsorplanmış moleküller lokalize olmuştur yani bu moleküller katı yüzeyi etrafında hareket edemezler.

Çözeltideki moleküllerin dinamik dengede olduğu farz edilirse aşağıdaki reaksiyon yazılabilir.



Burada  $k_a$  ve  $k_d$ , sırasıyla adsorpsiyon ve desorpsiyon hız sabitleridir.

Adsorpsiyonda birbirine ters iki olay düşünülebilir. Adsorbentin yüzey alanı  $S_s$  ve adsorbat tarafından kapılan kesir  $\theta$  ile gösterilirse, adsorpsiyondan dolayı yüzey örtülmesinin değişim hızı, adsorbat tarafından kaplanmış kesir  $(1-\theta)$  ve çözeltinin konsantrasyonu ( $C_e$ ) ile orantılı olacaktır.

$$\frac{d\theta}{dt} = k_a (1 - \theta) C_e \quad (2.5)$$

Desorpsiyondan dolayı değişim hızı adsorplanmış kesir ( $\theta$ ) ile orantılı olacağından,

$$\frac{d\theta}{dt} = k_d \theta \quad (2.6)$$

yazılabilir. Yukarıdaki eşitliğe göre, desorpsiyon hızı konsantrasyondan bağımsız fakat  $\theta$  'ya bağlı olacaktır. Dinamik dengede bu iki olayın hızı birbirine eşit olacağından:

$$k_a C_e (1 - \theta) = k_d \theta \quad (2.7)$$

yazılabilir. Bu eşitlikte:

$$K = k_a/k_d \quad (2.8)$$

yazılır ve düzenlenirse:

$$\theta = \frac{KC_e}{1 + KC_e} \quad (2.9)$$

elde edilir. Burada K, adsorpsiyon sabitidir. Adsorplayıcının birim kütlesi başına adsorplanan miktar:

$$q_e = q_m \theta \quad (2.10)$$

ile verilir.  $\theta$  'nın değeri yerine yazılır ve düzenlenirse

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2.11)$$

elde edilir. Burada  $q_m$ , adsorbentin tek tabaka kapasitesidir (mol/g). Bu eşitlik Langmuir eşitliği olarak bilinir.  $C_e/q_e$  'nin  $C_e$  'ye karşı eğrisi, eğimi  $1/q_m$  ve ekstrapolasyonu  $1/q_m K$  olan düz bir doğru verecektir (Doğan 2001; Rubin and Mercer 1981; House 1997).

Bir adsorpsiyon prosesinin hangi izotermle daha iyi açıklanabileceğini belirlemek için deneysel verilerin tüm izoterm denklemlerine göre analiz edilmesi gerekir. Deneysel verilerin doğru oluşturduğu (korelasyon katsayısının bulunması yardımcı olur) izoterm çeşidinin, adsorpsiyon prosesini en iyi şekilde açıklayabileceği söylenebilir. Ancak bazı

durumlarda bir veya daha fazla izoterm denklemi deneysel verilerle uygunluk gösterebilmektedir.

## 2.9. Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon kinetiğinin anlaşılması ile etkin adsorbat-adsorban temas süresi yani alıkonma süresi bulunur. Bu olay, adsorpsiyon işleminin hızına etki eden adsorpsiyon basamaklarının anlaşılması için önemli bir adımdır. Bir çözeltide bulunan adsorbatın adsorban tarafından adsorplanması 4 ana basamağı içerebilir:

1. Gaz yada sıvı fazda bulunan adsorbat molekülleri, adsorbanı kaplayan bir film tabakasına difüze olur. Bu basamak, adsorpsiyon düzeneğinde belirli bir hareketlilik olduğu için çoğunlukla ihmal edilir.
2. Film tabakasına gelen adsorbatın, adsorbanın gözeneklerine difüzyonu.
3. Adsorbatın, adsorbanın gözenek boşluklarında hareket ederek adsorpsiyonun meydana geleceği yüzeylere difüzyonu (tanecik içi difüzyon).
4. Adsorbatın, adsorbanın gözenek yüzeyinde tutunması (sorpsiyon).

Eğer adsorbanın bulunduğu faz hareketsiz ise 1. basamak en yavaş ve adsorpsiyon hızını belirleyen basamaktır. Bu nedenle eğer akışkan hareket ettirilirse yüzey tabakasının kalınlığı azalacağı için adsorpsiyon hızı artacaktır. 4. basamak ölçülemeyecek kadar hızlı olduğundan ve ilk basamakta iyi bir karıştırma olduğunda adsorpsiyon hızını tayin eden basamaklar 2. ve 3. basamaklar olacaktır. 2. basamak adsorpsiyon prosesinin ilk birkaç dakikasında ve 3. basamak ise adsorpsiyon prosesinin geri kalan daha uzun süresinde meydana geldiğinden adsorpsiyon hızını tam olarak etkileyen basamağın 3. basamak olabileceği söylenebilir.

Adsorpsiyon hızını belirlemek için kullanılan eşitlikler şunlardır:

Birinci derece Langergren eşitliği (Langergren 1898)

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2.12)$$

Buradaki  $k_1$ , Langergren adsorpsiyon hız sabiti ( $\text{dak}^{-1}$ );  $q_t$  herhangi bir  $t$  anında adsorplanan madde miktarı ( $\text{mg/g}$ ); ve  $t$  zaman (dakika).

$$\frac{t}{q_t} = \left[ \frac{1}{k_2 q_e^2} \right] + \frac{t}{q_e} \quad (2.13)$$

Burada  $k_2$ , yalancı ikinci mertebeden adsorpsiyon hız sabitidir ( $\text{g/mg dak.}$ ). Yukarıdaki denklemlerde  $\ln(q_e - q_t)$  ve  $t/q_t$  değerleri  $t$  değerlerine karşı grafik edildiğinde doğruların eğiminden  $k_1$  ve  $k_2$  değerleri hesaplanabilir. Deneysel veriler yukarıdaki denklemler de kullanılarak en uygun adsorpsiyon izotermi ve adsorpsiyon hız derecesi bulunabilir.

## 2.10. Biyosorpsiyon Prosesi

Biyolojik materyaller ile adsorpsiyon, ucuz adsorpsiyon materyallerinin kullanıldığı alternatif teknolojilerden biri olup sulu çözeltilerden kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılan teknolojidir.

Atık su arıtımında biyosorpsiyon prosesi katı faz (sorbent) ve sıvı fazdan (solvent) oluşturmaktadır. Sıvı faz sorplanacak olan yağlar içermektedir. Sorplanacak maddeler sorbentin daha yüksek çekiciliğinden ve yağların hidrofobik (su sevmeyen) olmasından dolayı katıya çekilir ve bir takım mekanizmalara bağlanırlar. Bu proses bağlanması ve bağlayan arasında bir denge kuruluncaya kadar devam eder (Ekmekyapar 2009).

## 2.11. Biyosorpsiyonu Etkileyen Faktörler

Yağların biyosorpsiyon kinetiğini birçok faktör etkilemektedir. Biyosorpsiyon prosesinin gerçekleşebilmesi için bazı koşulların oluşması gerekmektedir. Biyosorbent yüzeyinde tutulacak olan çözünmüş maddelerin öncelikle biyokütle etrafını saran

      sıvı film içersinden geçmesi gerekmektedir. Bu geçişe “film difüzyonu” adı verilmektedir. Biyosorbent yüzeyine gelen maddelerin, gözeneklerin iç kısımlarına girebilmeleri için por difüzyonu adı verilen bir ge i i daha tamamlamaları gerekmektedir. Bu iki aşamayı geçen     nm   maddenin, biyosorbent madde üzerine ba lanması ise son işlemdir. Ancak bu şartların sağlanması biyosorpsiyonu etkileyen faktörler olarak karıştırma hızı, pH, sıcaklık, biyosorbentin, biyosorplanan madde ve      n n özellikleri büyük öneme sahiptir (Benefield *et al.* 1982; İleri 2000). Bu parametreler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

#### **a) Karıştırma hızı**

Biyosorpsiyon hızı sistemin karıştırma hızına bağlı olarak ya film difüzyonu ya da por difüzyonu ile kontrol edilir. Eğer az bir karıştırma yapılırsa tanecik etrafındaki sıvı film kalınlığı fazla olacak ve film difüzyonu, hızı sınırlandıran etmen olacaktır. Yeterli bir karışım sağlanırsa film difüzyon hızı, hızı sınırlandıran etmen olan por difüzyon noktasına doğru artar. Genelde por difüzyonu yüksek derecede karıştırılan kesikli sistemlerde hızı sınırlandıran faktördür (Benefield *et al.* 1982).

#### **b) pH**

Ortamın pH’sı, birçok nedenden dolayı biyosorpsiyonu etkileyen önemli bir parametredir. Hidrojen ve hidroksit iyonları kuvvetle adsorplandıklarından, diğer iyonların adsorpsiyonu çözeltinin pH’sından etkilenir. Organik asitler düşük pH değerlerinde daha iyi adsorplanırlar (Weber 1972).

#### **c) Sıcaklık**

Sıcaklık biyosorpsiyon etkileyen diğer bir faktördür. Biyosorpsiyon, endotermik reaksiyonlarda sıcaklık artışıyla artarken, ekzotermik reaksiyonlarda sıcaklığın

düşmesiyle verim artar. Bununla birlikte biyosorpsiyon prosesi, ekzotermik bir proses ise biyosorpsiyonun büyüklüğü azalan sıcaklıkla artacaktır (Benefield *et al.* 1982).

#### **d) Biyosorbentin özellikleri**

Biyosorpsiyon bir yüzey olayı olduğundan, biyosorpsiyonun büyüklüğü, spesifik yüzey alanı ile orantılıdır. Biyosorbentin geniş yüzey alanına, gözenek hacmine, belirli bir gözenek dağılımına sahip olması ve parçacıklı bir yapıda olması istenir (Weber 1972).

#### **e) Biyosorplanan madde ve çözücünün özellikleri**

Çözünabilir bileşikler, çözücüler için kuvvetli bir çekiciliği sahiptir. Biyosorpsiyon olabilmesi için molekülün çözücüsünden ayrılabilmesi ve biyosorbent üzerine yapışabilmesi gerekmektedir. Çözünmüş madde çözücü sistemine ne kadar kuvvetle bağlanmışsa yani hidrofilik özellikleri yapılarından dolayı az, hidrofob maddeler tercihi olarak daha çok adsorplanır. Ancak çok kolay çözünen bazı bileşikler bazen kolaylıkla adsorbe olurken, zayıf bir şekilde çözünen birçok bileşik de kolay kolay adsorbe olmamaktadır (Weber 1972; Keskinler vd 1994).

### **2.12. Kullanılan Adsorbentlerin Özellikleri**

#### **2.12.1. Fındık kabuğu (*corylus avellana*)**

Fındık, sonbaharda tazesini ve yıl boyunca kurutulmuşunu çerez olarak severek yediğimiz fındık meyvesini veren fındık bitkileri, Huşgiller'dendir. Anayurdu ülkemizin kuzeydoğu bölgeleri olan fındık bitkileri, antik dönemde Yunanistan'a götürülmüş ve oradan Avrupa'ya yayılmıştır. On yedi önemli türü olan fındığın günümüzdeki üretimi, yabani fındık (*C. avellana*), badem fındık (*C. maxima*) ile tombul fındığın (*C. pontica*) melezlenmeleriyle yapılmaktadır.

Fındık meyvesi, kahverengi sert bir dış kabuk ile bunun içinde açık kahverengi bir kabukla sarılı olan fındık içi ya da iç fındık denilen bir tohumdan oluşur, iç fındığın eti sarımsı ya da kirli beyaz renkli ve lezzetlidir. Fındıklar bitkiden hasat edildikten sonra yere serilip kurutulur ve kadehçiklerinden çıkarılır. Daha sonra özel fabrikalarında sert kabuğu kırılıp içi çıkarılır. Fındık tazeyken kadehçikleriyle ya da sert kabuğuyla satılır ve çerez olarak yenilir.

Fındık kabuğunun özellikleri şunlardır:

Yoğunluk  $0,32 \text{ g/cm}^3$ , nem % 10-12, kül % 1.26, yağ % 1,54, selüloz % 22,2, ısıtma değeri (7000 kal/gr en yüksek) (5000 kal/gr en düşük).

Fındık kabuğu Türkiyede yaklaşık olarak  $3 \times 10^5$  ton kadar üretilir bu üretilen atık daha çok evlerde yakıt olarak kullanılır (Demirbaş *et al.* 2009).

### 2.12.2. Aktif karbon

Yaygın olarak kullanılan endüstriyel adsorbanlar arasında çevre kirliliğini kontrol amacıyla, şu anda kullanılan adsorbanların en önemlisi, yüksek gözenekliliğe sahip aktif karbonlardır. Ticari olarak aktif karbonlar, odun, turba, linyit, kömür, mangal kömürü, kemik, Hindistan cevizi kabuğu, pirinç kabuğu, fındık kabuğu ve yağ ürünlerinden elde edilen karbonların çeşitli işlemlerden geçirilerek aktive edilmesiyle elde edilirler (Uyanık 2011).

Aktif karbon genellikle atık sularda organik bileşiklerin arıtımında kullanılır. Atık sularda en yaygın olarak renk gideriminde kullanılır. Aktif karbon çeşitli organik maddelerden bir takım işlemlerden geçirilerek elde edildiğinden aktif karbon adsorpsiyon işlemi pahalıdır (Bernardo 1997).

**a) Aktif karbon'un genel özellikleri**

Aktif karbon, büyük kristal formu ve oldukça geniş iç gözenek yapısı ile karbonlu adsorbanlar ailesini tanımlamada kullanılan genel bir terimdir. Aktif karbonlar, insan sağlığına zararsız, kullanışlı ürünler olup, oldukça yüksek bir gözenekliliğe ve iç yüzey alanına sahiptirler. Aktif karbonlar, çözeltideki molekül ve iyonları gözenekleri vasıtasıyla iç yüzeylerine doğru çekebilirler ve bu yüzden adsorban olarak adlandırılırlar (Uyanık 2011).

**b) Yüzey Alanı**

Aktif karbonun iç yüzeyi (aktifleştirilmiş yüzey) çoğunlukla BET yüzeyi olarak ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) ifade edilir. Yüzey alanı azot ( $\text{N}_2$ ) gazı kullanılarak ölçülür. Su arıtımında kullanılan aktif karbon taneciklerinin iç yüzey alanının yaklaşık  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  olması istenmektedir. Kirlilik oluşturan maddeler, aktif karbonun yüzeyinde tutulacağından, yüzey alanının büyüklüğü kirliliklerin giderilmesinde oldukça etkili bir faktördür. Prensip olarak, yüzey alanı ne kadar büyükse, adsorpsiyon merkezlerinin sayısının da o kadar büyük olduğu düşünülür (Uyanık 2011).

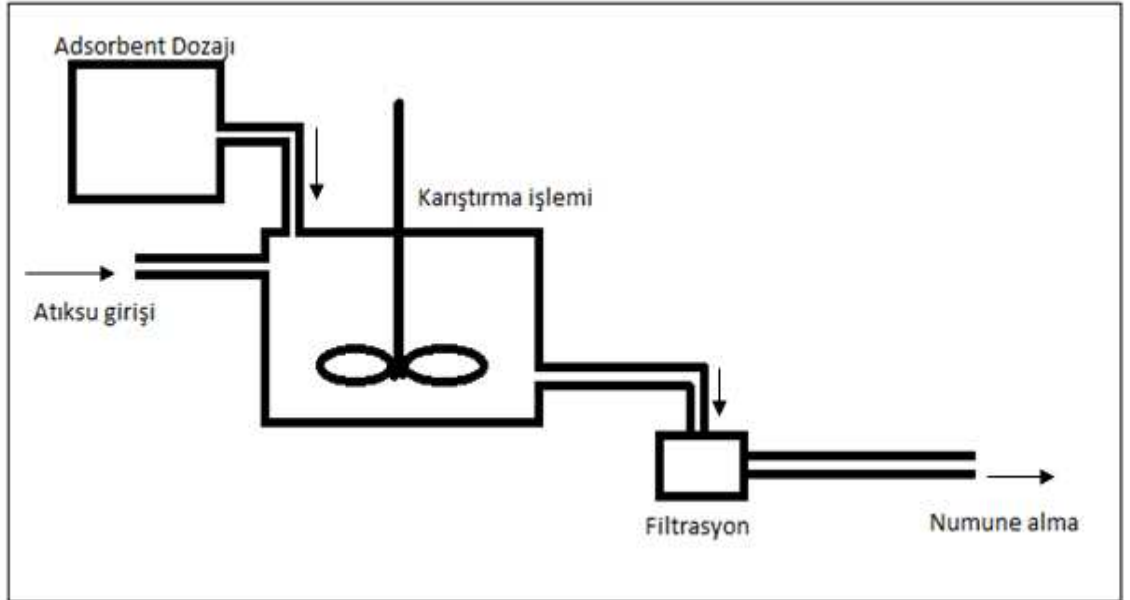
### 3. MATERİYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan kimyasallar

Deneylerde yapay kirletici olarak bitkisel ayçiçek yağı kullanılmıştır. Ortam pH'sını ayarlamak için %98'lik sülfirik asit ( $H_2SO_4$ ) ve sodyum tabletleri ( $Na^+$ ) baz olarak kullanılmıştır (Srinivasan and Viraraghavan 2010). Analiz için hekzan ( $C_6H_{14}$ ) ile ekstrakte edilir. Ekstraksiyon için %98'lik hidroklorik asit (HCl) kullanılmıştır (Samsunlu 1999).

##### 3.1.2. Deney Düzenegi



Şekil 3.1. Deney düzenegi diyagramı

Deney düzeneğinde karıştırma işlemi, ortam sıcaklığını gerçekleştiren çalkalama cihazı, filtrasyon işlemi için kullanılan 80 g/m<sup>2</sup>, slow, 125 mm model filtre kağıtları ve filtrasyon işlemi sonrasında yağ analizi için kullanılan TOG/TPH Analyzer marka yağ gres ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Benzer çalışmayı Srinivasan and Viraraghavan (2010), kitosan kullanarak yağ adsorplamıştır.

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Deneyin yapılışı

Deneylerde konsantrasyonu ayarlamak için 1 ml ayçiçek yağını 1 ml hekzan (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) ile ekstrakte edilip pH'ı 2'nin altına düşürmek için ortama %98'lik HCl den 2 damla damlatılıp iyice çalkalanmış üst fazdan 50 µL miktar otomatik pipet ile yağ gres cihazında damlatılmış ve analiz cihazında değer okutulur mg/L olarak değer alınır.

Benzer şekilde yağ-gres tayinini Samsunlu (1999), Soxhlet metodu ile aynı kimyasallar kullanarak yapmıştır.

Alınan sonuca göre;

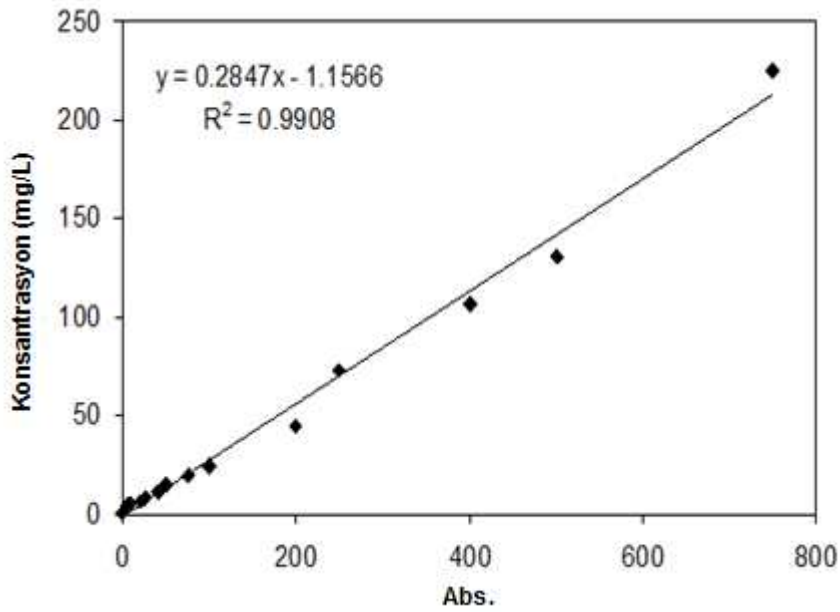
$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (3.1)$$

Denklemine göre çözeltiler ayarlanır ve istenilen hacme göre üzeri saf su ile tamamlanır. Çözeltinin pH'sını ayarlamak için asit ve baz ilave edilir ve içerisine farklı miktarlarda adsorbent atılıp karıştırıcı ile istenilen süre, sıcaklık ve rpm ayarlanarak karıştırılır. Karıştırılan çözelti 80 g/m<sup>2</sup> slow 125 mm mavi filtre kağıdı ile süzülür.

Süzülen çözelti iyice çalkalanıp 1 ml alınır ve 1 ml  $C_6H_{14}$  ile ekstrakte edilerek yağ gres cihazında absorbens değeri okunur.

### 3.2.2. Yağ konsantrasyonunun belirlenmesi

Hazırlanan standartlar cihazda okutulup aşağıdaki çalışma doğrusu elde edilmiştir. Yağ-gres cihazının vermiş olduğu absorbens değerlerini kalibrasyon eğrisinin vermiş olduğu denklemde yerine yazılarak konsantrasyon (mg/L) bulunur.



Şekil 3.2. Yağ-gres kalibrasyon eğrisi.

Yağ giderimi %verim

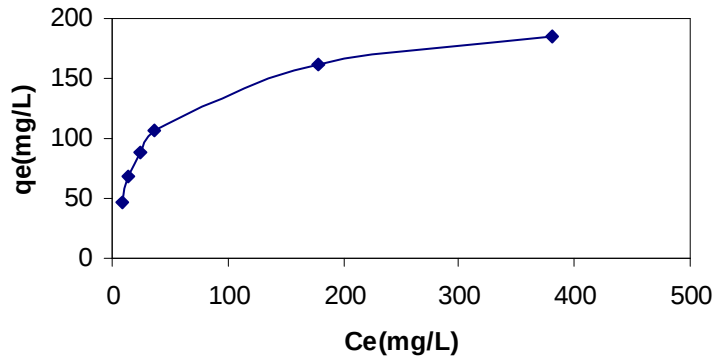
$$\%Verim = \frac{C_o - C_e}{C_e} \times 100 \quad (3.2)$$

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

##### 4.1. Fındık Kabuğu Adsorpsiyon Çalışmaları

**Çizelge 4.1.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi ( $m=0,2$  g,  $pH=5,49$ ,  $T= 25$  °C,  $K.H.=200$  rpm,  $t=120$  dak.)

| Konsantrasyon (mg/L) |              |                    |        |        |                                       |
|----------------------|--------------|--------------------|--------|--------|---------------------------------------|
| $C_0$ (mg/L)         | $C_e$ (mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $m(g)$ | $V(L)$ | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) |
| 100                  | 8,231        | 91,769             | 0,2    | 0,1    | 45,8845                               |
| 150                  | 14,312       | 135,688            | 0,2    | 0,1    | 67,844                                |
| 200                  | 24,912       | 175,088            | 0,2    | 0,1    | 87,544                                |
| 250                  | 36,613       | 213,387            | 0,2    | 0,1    | 106,6935                              |
| 500                  | 177,35       | 322,65             | 0,2    | 0,1    | 161,325                               |
| 750                  | 381,285      | 368,715            | 0,2    | 0,1    | 184,3575                              |



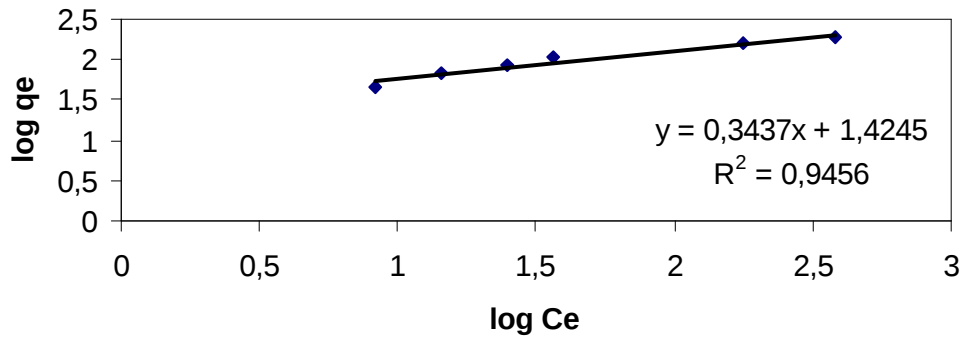
**Şekil 4.1.** Konsantrasyon değişimin  $q_e$  ye olan etkisi

Yapılan çalışmada adsorpsiyon işlemine uyup uymadığı kontrol edilmesi gerekir bunun için öncelikle izoterm çalışması yapılmıştır.

Birinci çalışma Freundlich izotermi doğrultusunda hesaplanmıştır. Çeşitli başlangıç konsantrasyonları alınarak her bir numune için 0,2 gr fındık kabuğu ilave ederek 25 °C de doğal pH'sında (5,49) 120 dakika karıştırılarak (200 rpm) elde edilen son konsantrasyon değerleri verilmiştir (Çizelge 4.2).

**Çizelge 4.2.** Farklı başlangıç Yağ konsantrasyonlarında  $\log C_e$  ve  $\log q_e$  değerlerinin değişimi Freundlich hesabı ( $m=0,2$  g,  $pH=5,49$ ,  $T= 25^\circ C$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $t=120$  dak.)

| Freundlich izotermi |                 |                    |                                       |            |            |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------|------------|------------|
| $C_0$<br>(mg/L)     | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | $\log C_e$ | $\log q_e$ |
| 100                 | 8,231           | 91,769             | 45,8845                               | 0,915453   | 1,661666   |
| 150                 | 14,312          | 135,688            | 67,844                                | 1,1557     | 1,831511   |
| 200                 | 24,912          | 175,088            | 87,544                                | 1,396409   | 1,942226   |
| 250                 | 36,613          | 213,387            | 106,6935                              | 1,563635   | 2,028138   |
| 500                 | 177,35          | 322,65             | 161,325                               | 2,248831   | 2,207702   |
| 750                 | 381,285         | 368,715            | 184,3575                              | 2,58125    | 2,265661   |

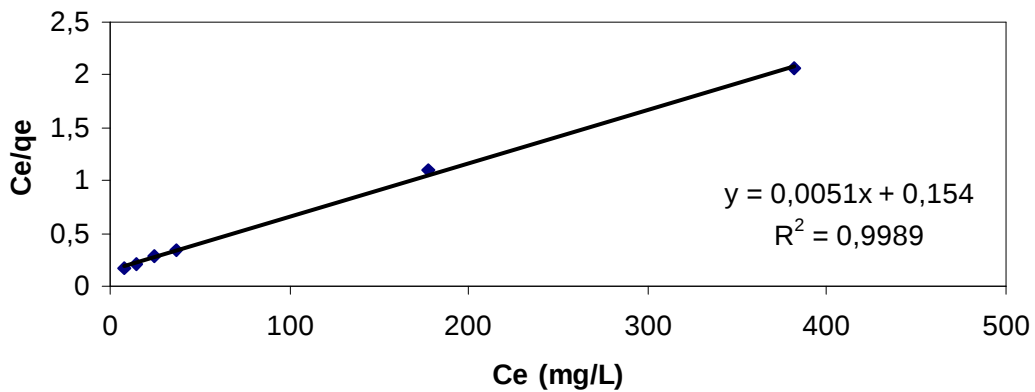


**Şekil 4.2.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında elde edilen Freundlich izotermi  
\* $m=0,2$  g,  $pH=5,49$ ,  $T= 25^\circ C$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $t=120$  dak.

İkinci çalışma Langmuir izotermi doğrultusunda hesaplanmıştır çeşitli başlangıç konsantrasyonları alınarak her bir numune için 0,2 g fındık kabuğu ilave ederek 25 °C de doğal pH'sında (5,49) 120 dakika karıştırılarak (200 rpm) elde edilen son konsantrasyon değerleri verilmiştir (Çizelge 4.3).

**Çizelge 4.3.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında  $C_e$  ve  $C_e/q_e$  değerlerinin değişimi Langmuir hesabı ( $m=0,2$  g,  $pH=5,49$ ,  $T= 25$  °C,  $K.H.=200$  rpm,  $t=120$  dak.)

| Langmuir        |                 |                    |                                       |         |           |
|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------|---------|-----------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | $C_e$   | $C_e/q_e$ |
| 100             | 8,231           | 91,769             | 45,8845                               | 8,231   | 0,1793852 |
| 150             | 14,312          | 135,688            | 67,844                                | 14,312  | 0,2109545 |
| 200             | 24,912          | 175,088            | 87,544                                | 24,912  | 0,2845655 |
| 250             | 36,613          | 213,387            | 106,6935                              | 36,613  | 0,3431605 |
| 500             | 177,35          | 322,65             | 161,325                               | 177,35  | 1,099334  |
| 750             | 381,285         | 368,715            | 184,3575                              | 381,285 | 2,068183  |



**Şekil 4.3.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında elde edilen Langmuir izotermi  
\* $m=0,2$  g,  $pH=5,49$ ,  $T= 25$  °C,  $K.H.=200$  rpm,  $t=120$  dak.

Elde edilen grafikleri (Şekil 4.2) (Şekil 4.3) değerlendirerek regresyon katsayısı ( $R^2$ ) Langmuirde 1'e daha yakın olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.4.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında fındık kabuğu için Freundlich ve Langmuir izoterminden elde edilen  $K_f$ ,  $n$ ,  $q_m$ ,  $K$ ,  $R^2$  değerleri

| Freundlich İzotermi |       |        | Langmuir İzotermi |        |        |
|---------------------|-------|--------|-------------------|--------|--------|
| $K_f$               | $n$   | $R^2$  | $q_m$             | $K$    | $R^2$  |
| 26,577              | 2,909 | 0,9456 | 196,07            | 0,0331 | 0,9989 |

## 4.2. Fındık Kabuğu Verim Hesaplamaları

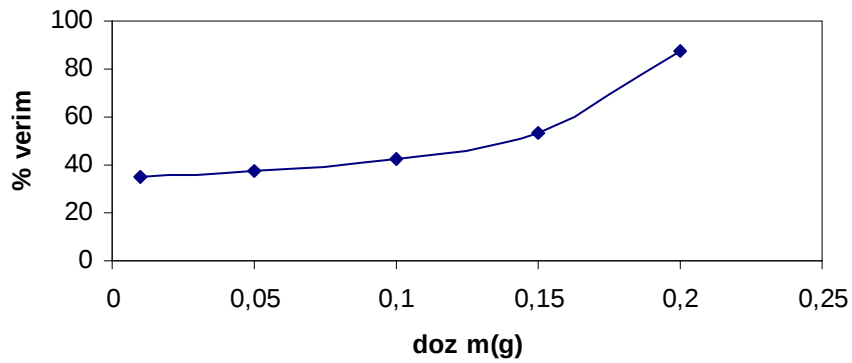
### 4.2.1. Adsorbent miktarının adsorpsiyona etkisi

Adsorbent konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerindeki etkisini incelerken 0,01- 0,2 g arasında değişen adsorbent miktarları kullanarak denemeler yapılmıştır. Adsorbent miktarı arttıkça dengede adsorplanan yağ konsantrasyonlarının arttığı, fakat birim biyokütle ağırlığı başına adsorplanan yağ miktarının azaldığı gözlenmiştir (Çizelge 4.3). Buna bağlı olarak da adsorbent konsantrasyonu arttıkça giderme verimi artış göstermektedir (Şekil 4.4). Bunun nedeni yüzey alanının artmasıdır.

Benzer bulgular olarak; Srinivasan and Viraraghavan (2010), yapmış oldukları çalışmada ceviz kabuğu miktarının artmasıyla tutulan yağ miktarının arttığını bulmuştur.

**Çizelge 4.5.** Farklı başlangıç fındık kabuğu konsantrasyonları ile  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi (  $C_0=200$  mg/L, pH=5,49, T= 25 °C, K.H.=200 rpm, t=120 dak.)

| Doz m(g)        |                 |                    |             |       |                                       |         |
|-----------------|-----------------|--------------------|-------------|-------|---------------------------------------|---------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | m(g)        | V (L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | % verim |
| 200             | 129,805         | 70,195             | <b>0,01</b> | 0,1   | 701,95                                | 35,0975 |
| 200             | 125,729         | 74,271             | <b>0,05</b> | 0,1   | 148,542                               | 37,1355 |
| 200             | 115,096         | 84,904             | <b>0,1</b>  | 0,1   | 84,904                                | 42,452  |
| 200             | 92,889          | 107,111            | <b>0,15</b> | 0,1   | 71,40733333                           | 53,5555 |
| 200             | 24,912          | 175,088            | <b>0,2</b>  | 0,1   | 87,544                                | 87,544  |



**Şekil 4.4.** Fındık kabuğu miktarının adsorbsiyon verimi üzerine etkisi

\*  $C_0=200$  mg/L, pH=5,49, T= 25 °C, K.H.=200 rpm, t=120 dak.

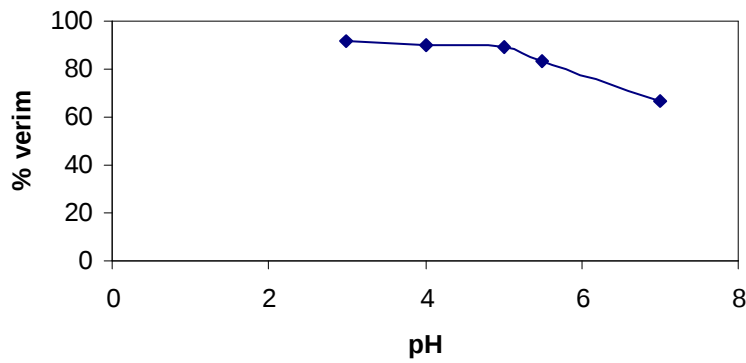
#### 4.2.2. pH'nın adsorpsiyona etkisi

Yapılan çalışmada yağ giderimi için pH 3,4,5,5,49 ve 7 olarak alınmıştır. Farklı başlangıç pH değerlerinde Fındık kabuğunun verimi pH 3'te % 91,94 iken pH 7'de %66,79 a düşmüştür (Çizelge 4.6). Bunun nedeni ise ortamda bulunan  $H^{1+}$  iyonların artmasıdır. Bu iyonlar yüklü olmasından dolayı yağın adsorbentlere yapışmasını kolaylaştırır.

Benzer bir çalışmada; Ahmad *et al.* (2005), kitosan kullanarak palmiye yağını 3 pH da %99 luk verim elde etmiştir.

**Çizelge 4.6.** Farklı başlangıç pH'nın  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi ( $C_0=200$  mg/L,  $m=0,2$  g,  $T= 25$  °C, K.H.=200 rpm,  $t=120$  dak.)

| pH              |                 |                    |       |                                       |      |         |
|-----------------|-----------------|--------------------|-------|---------------------------------------|------|---------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | V (L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | pH   | % verim |
| 200             | 16,115          | 183,885            | 0,1   | 91,9425                               | 3    | 91,9425 |
| 200             | 19,436          | 180,564            | 0,1   | 90,282                                | 4    | 90,282  |
| 200             | 20,959          | 179,041            | 0,1   | 89,5205                               | 5    | 89,5205 |
| 200             | 32,912          | 167,088            | 0,1   | 83,544                                | 5,49 | 83,544  |
| 200             | 66,412          | 133,588            | 0,1   | 66,794                                | 7    | 66,794  |



**Şekil 4.5.** pH'nın adsorpsiyon verimi üzerine etkisi

\*  $C_0=200$  mg/L,  $m=0,2$  g,  $T= 25$  °C, K.H.=200 rpm,  $t=120$  dak.

#### 4.2.3. Karıştırma hızının adsorpsiyona etkisi

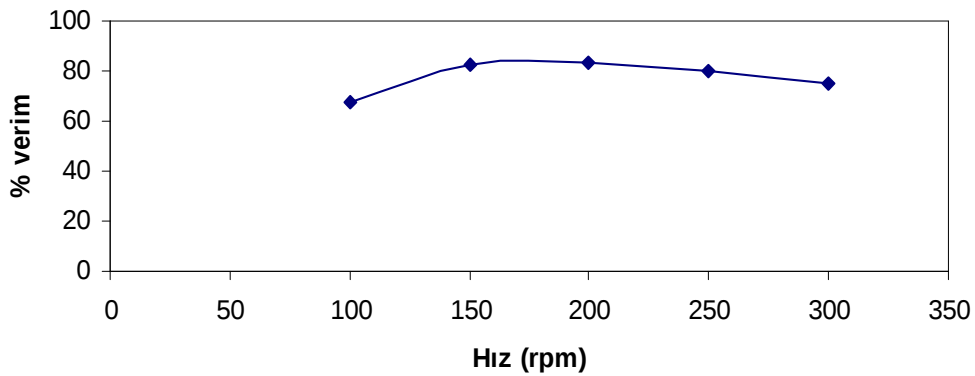
Karıştırma hızının adsorpsiyona etkisini araştırmak için 100, 150, 200, 250 ve 300 rpm karıştırma hızlarında çalışılmıştır. Farklı karıştırma hızlarında yağ miktarının değişimi (Çizelge 4.7) da verilmiştir. Karıştırma hızı 200 rpm de verimi %83,54 iken 150 ve 250

rpm de bu oran daha düşüktür, bunun nedeni tutulan yağın hızı artmasıyla tanecikler arası sürtünmeden dolayı dış yüzeyinde tutulan yağ verimi azalır. Karıştırma hızının belli bir seviyeye kadar artmasıyla tutulan yağ miktarı artar.

Karıştırma hızını 40 rpm'den 160 rpm'e arttırıldığında biyomasın uzaklaştırma kapasitesi 18 mg/g'dan 53 mg/g değerine yükselmiştir (Aksu 2001; Chu 2002).

**Çizelge 4.7.** Farklı başlangıç karıştırma hızının  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi ( $C_0=200$  mg/L, pH=5,49, T= 25 °C, m=0,2 g, t=120 dak.)

| <b>Hız (rpm)</b> |                 |                    |                                       |                  |         |
|------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------|------------------|---------|
| $C_0$<br>(mg/L)  | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | <b>Hız (rpm)</b> | % verim |
| 200              | 64,893          | 135,107            | 67,5535                               | <b>100</b>       | 67,5535 |
| 200              | 34,336          | 165,664            | 82,832                                | <b>150</b>       | 82,832  |
| 200              | 32,912          | 167,088            | 83,544                                | <b>200</b>       | 83,544  |
| 200              | 39,46           | 160,54             | 80,27                                 | <b>250</b>       | 80,27   |
| 200              | 50,089          | 149,911            | 74,9555                               | <b>300</b>       | 74,9555 |



**Şekil 4.6.** Karıştırma Hızının adsorbsiyon verimi üzerine etkisi

\*  $C_0=200$  mg/L, m=0,2 g, T= 25 °C, pH=5,49, t=120 dak.

#### 4.2.4. Sıcaklığın adsorpsiyona etkisi

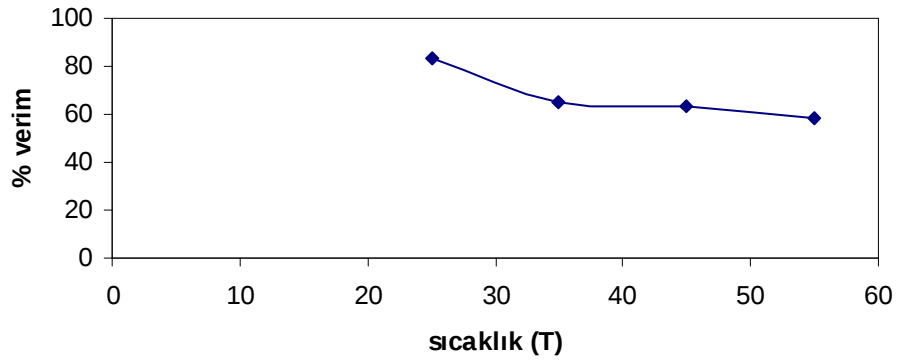
Sıcaklık birçok prosesi etkileyen çok önemli bir faktördür. Adsorpsiyon prosesinin gerçekleştiği sıcaklık, hem adsorpsiyon hızını, hem de adsorpsiyon miktarını etkiler.

Yapılan çalışmada sıcaklıklar 25, 35, 45 ve 55 °C de yapılmıştır ve sıcaklık artışı ile verimin ters orantılı olduğu görülmüştür. Çünkü sıcaklık artınca yağın vizkozitesi azaldığından verim azalır. Buna karşın adsorpsiyon hızı iyon difüzyonundan dolayı artar (Şekil 4.7).

Adsorpsiyon sadece fiziksel olaylarla meydana gelirse, sıcaklığın artması adsorpsiyon kapasitesinde azalmaya neden olmaktadır. Genellikle sıcaklık artışı iyon difüzyonundaki artıştan dolayı sorpsiyon hızında da artışa neden olmaktadır (Benguella and Benaissa 2002).

**Çizelge 4.8.** Farklı başlangıç sıcaklıklarının  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi ( $C_0=200$  mg/L, pH=5,49, K.H.=200 rpm, m=0,2 g, t=120 dak.)

| Sıcaklık (T)    |                 |                       |                                       |                    |         |
|-----------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|---------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$<br>(mg/L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | Sıcaklık<br>T(° C) | % verim |
| 200             | 32,912          | 167,088               | 83,544                                | 25                 | 83,544  |
| 200             | 70,548          | 129,452               | 64,726                                | 35                 | 64,726  |
| 200             | 73,964          | 126,036               | 63,018                                | 45                 | 63,018  |
| 200             | 82,647          | 117,353               | 58,6765                               | 55                 | 58,6765 |



**Şekil 4.7.** Sıcaklığın adsorbsiyon verimi üzerine etkisi

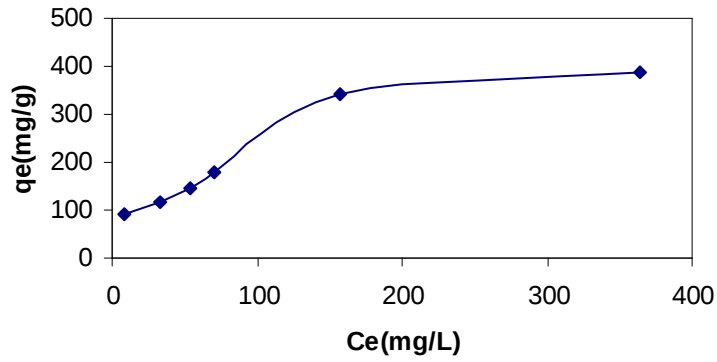
\*  $C_0=200$  mg/L,  $m=0,2$  g, K.H.=200 rpm, pH=5,49,  $t=120$  dak.

#### 4.3. Aktif Karbon Adsorpsiyon Çalışmaları

**Çizelge 4.9.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi

( $m=0,1$  g, pH=5,47,  $T=25$  °C, K.H.=200 rpm,  $t=45$  dak.)

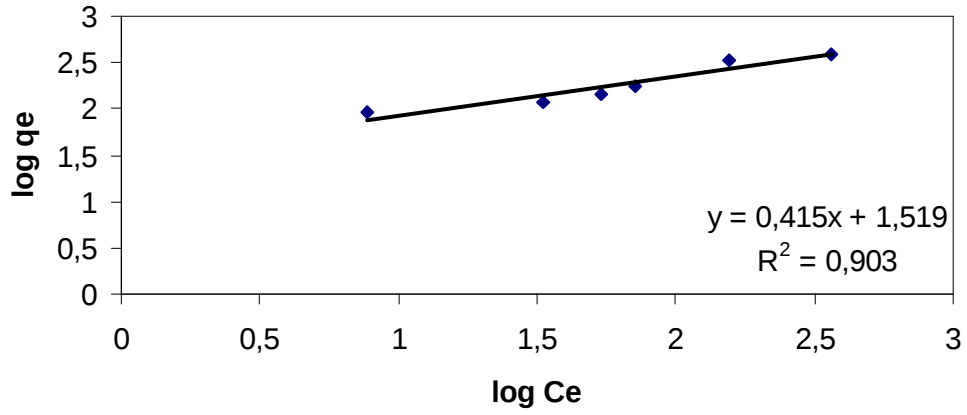
| Konsantrasyon (mg/L) |              |                    |         |         |                                       |
|----------------------|--------------|--------------------|---------|---------|---------------------------------------|
| $C_0$ (mg/L)         | $C_e$ (mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $m$ (g) | $V$ (L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) |
| 100                  | 7,673        | 92,327             | 0,1     | 0,1     | 92,327                                |
| 150                  | 33           | 116,562            | 0,1     | 0,1     | 116,562                               |
| 200                  | 53,457       | 146,543            | 0,1     | 0,1     | 146,543                               |
| 250                  | 70,947       | 179,053            | 0,1     | 0,1     | 179,053                               |
| 500                  | 156,958      | 343,042            | 0,1     | 0,1     | 343,042                               |
| 750                  | 363,645      | 386,355            | 0,1     | 0,1     | 386,355                               |



**Şekil 4.8.** Konsantrasyon değişimin  $q_e$  ye olan etkisi

**Çizelge 4.10.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında  $\log C_e$  ve  $\log q_e$  değerlerinin değişimi Freundlich hesabı ( $m=0,1$  g,  $pH=5,47$ ,  $T= 25^\circ C$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $t=45$  dak.)

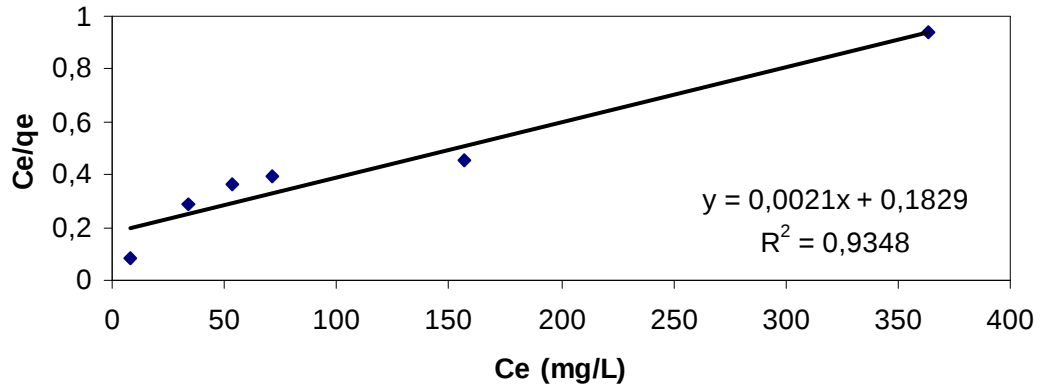
| Freundlich izotermi |                 |                    |                                       |            |            |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------|------------|------------|
| $C_0$<br>(mg/L)     | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | $\log C_e$ | $\log q_e$ |
| 100                 | 7,673           | 92,327             | 92,327                                | 0,88497    | 1,96533    |
| 150                 | 33              | 116,562            | 116,562                               | 1,52424    | 2,06656    |
| 200                 | 53,457          | 146,543            | 146,543                               | 1,728      | 2,16597    |
| 250                 | 70,947          | 179,053            | 179,053                               | 1,85093    | 2,25298    |
| 500                 | 156,958         | 343,042            | 343,042                               | 2,19578    | 2,53535    |
| 750                 | 363,645         | 386,355            | 386,355                               | 2,56068    | 2,58699    |



**Şekil 4.9.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında elde edilen Freundlich izotermi  
\*m=0,1 g, pH=5,47, T= 25 °C, K.H.=200 rpm, t=45 dak.

**Çizelge 4.11.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında  $C_e$  ve  $C_e/q_e$  değerlerinin değişimi Langmuir hesabı (m=0,1 g, pH=5,47, T= 25 °C , K.H.=200 rpm, t= 45 dak.)

| Langmuir        |              |                    |                                       |         |           |
|-----------------|--------------|--------------------|---------------------------------------|---------|-----------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$ (mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | $C_e$   | $C_e/q_e$ |
| 100             | 7,673        | 92,327             | 92,327                                | 2,03771 | 0,83107   |
| 150             | 33           | 116,562            | 116,562                               | 3,50969 | 2,86869   |
| 200             | 53,457       | 146,543            | 146,543                               | 3,97888 | 3,64787   |
| 250             | 70,947       | 179,053            | 179,053                               | 4,26193 | 3,96235   |
| 500             | 156,958      | 343,042            | 343,042                               | 5,05598 | 4,57547   |
| 750             | 363,645      | 386,355            | 386,355                               | 5,89618 | 9,4122    |



**Şekil 4.10** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında elde edilen Langmuir izotermi  
\*m=0,1 g, pH=5,47, T= 25 °C, K.H.=200 rpm, t=45 dak.

Yapılan çalışma sonucunda regresyon katsayısı ( $R^2$ ) Langmuir de 1'e daha yakın olduğundan Langmuir izoterminde uygundur.

**Çizelge 4.12.** Farklı başlangıç yağ konsantrasyonlarında fındık kabuğu için Freundlich ve Langmuir izoterminden elde edilen  $K_f$ ,  $n$ ,  $q_m$ ,  $K$ ,  $R^2$  değerleri

| Freundlich İzotermi |       |       | Langmuir İzotermi |        |        |
|---------------------|-------|-------|-------------------|--------|--------|
| $K_f$               | $n$   | $R^2$ | $q_m$             | $K$    | $R^2$  |
| 33,037              | 2,409 | 0,903 | 476,19            | 0,0115 | 0,9348 |

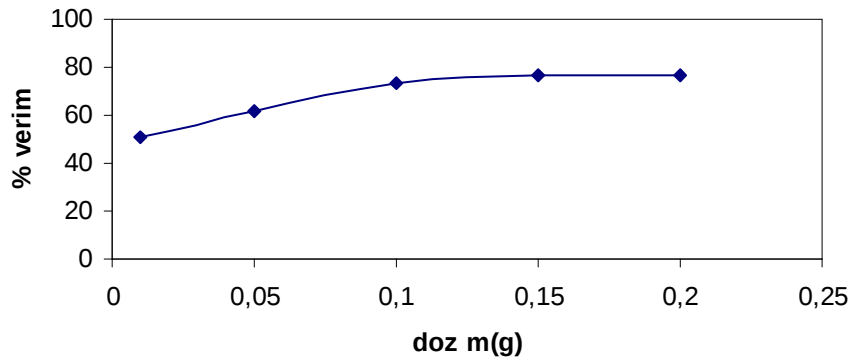
#### 4.4. Aktif Karbon Verim Hesabı

##### 4.4.1. Adsorbent miktarının adsorpsiyona etkisi

Yapılan çalışmada 0,01-0,2 g arasında aktif karbon kullanılmıştır ve kullanılan aktif karbon miktarı arttıkça verim artmıştır (Çizelge 4.13).

**Çizelge 4.13.** Farklı başlangıç aktif karbon konsantrasyonları ile  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi (  $C_0=200$  mg/L, pH=5,47, T= 25 °C, K.H.=200 rpm, t=45 dak.)

| Doz m(g)        |                 |                    |             |       |                                       |         |
|-----------------|-----------------|--------------------|-------------|-------|---------------------------------------|---------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | m(g)        | V (L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | % verim |
| 200             | 97,573          | 102,427            | <b>0,01</b> | 0,1   | 1024,27                               | 51,2135 |
| 200             | 76,457          | 123,543            | <b>0,05</b> | 0,1   | 247,086                               | 61,7715 |
| 200             | 53,457          | 146,543            | <b>0,1</b>  | 0,1   | 146,543                               | 73,2715 |
| 200             | 46,889          | 153,111            | <b>0,15</b> | 0,1   | 102,074                               | 76,5555 |
| 200             | 45,912          | 154,088            | <b>0,2</b>  | 0,1   | 77,044                                | 77,044  |



**Şekil 4.11.** Aktif karbon miktarının adsorbsiyon verimi üzerine etkisi

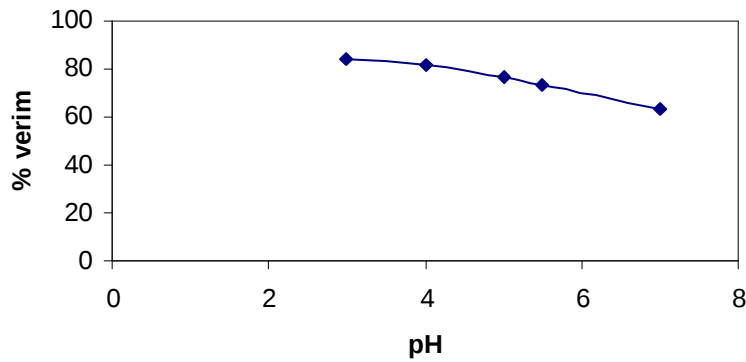
\*  $C_0=200$  mg/L, pH=5,47, T= 25 °C, K.H.=200 rpm, t=45 dak.

#### 4.4.2. pH'nın adsorpsiyona etkisi

Yapılan çalışmada pH değerleri 3, 4, 5, 5,47 ve 7 değerleri çalışılmıştır ve pH yükseldikçe verimin azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.14).

**Çizelge 4.14.** Farklı başlangıç pH'nın  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi ( $C_0=200$  mg/L,  $m=0,1$  g,  $T= 25$  °C, K.H.=200 rpm,  $t=45$  dak.)

| pH              |                 |                    |       |                                       |      |         |
|-----------------|-----------------|--------------------|-------|---------------------------------------|------|---------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | V (L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | pH   | % verim |
| 200             | 32,135          | 167,865            | 0,1   | 167,865                               | 3    | 83,9325 |
| 200             | 37,108          | 162,892            | 0,1   | 162,892                               | 4    | 81,446  |
| 200             | 46,739          | 153,261            | 0,1   | 153,261                               | 5    | 76,6305 |
| 200             | 53,218          | 146,782            | 0,1   | 146,782                               | 5,47 | 73,391  |
| 200             | 73,244          | 126,756            | 0,1   | 126,756                               | 7    | 63,378  |



**Şekil 4.12.** pH'nın adsorbsiyon verimi üzerine etkisi

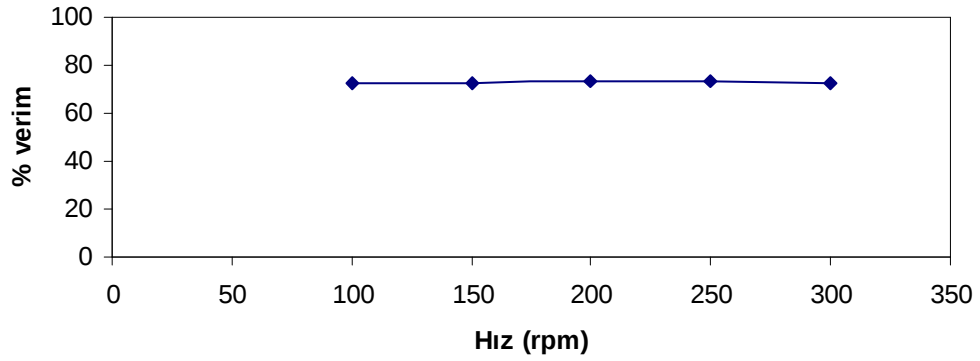
\*  $C_0=200$  mg/L,  $m=0,1$  g,  $T= 25$  °C, K.H.=200 rpm,  $t=45$  dak.

#### 4.4.3. Karıştırma hızının adsorpsiyona etkisi

Yapılan çalışmada aktif karbon ile 100, 150, 200, 250 ve 300 rpm denenmiştir ve karıştırma hızı 200 rpm de verimi %73,391 iken 150 ve 250 rpm de bu oran daha düşüktür, bunun nedeni tutulan yağın hızı artmasıyla merkezkaç kuvvetinden dolayı tutulamaması ve film yüzeyinin kalınlaşıp kopmasıdır. Karıştırma hızının belli bir seviyeye kadar artmasıyla tutulan yağ miktarı artar (Şekil 4.13).

**Çizelge 4.15.** Farklı başlangıç karıştırma hızının  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi ( $C_0=200$  mg/L, pH=5,47, T= 25 °C, m=0,1 g, t=45 dak.)

| Hız (rpm)       |                 |                    |                                       |           |         |
|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------|-----------|---------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | Hız (rpm) | % verim |
| 200             | 55,763          | 144,237            | 144,237                               | 100       | 72,1185 |
| 200             | 54,401          | 145,599            | 145,599                               | 150       | 72,7995 |
| 200             | 53,218          | 146,782            | 146,782                               | 200       | 73,391  |
| 200             | 53,616          | 146,384            | 146,384                               | 250       | 73,192  |
| 200             | 54,604          | 145,396            | 145,396                               | 300       | 72,698  |



**Şekil 4.13.** Karıştırma hızının adsorbsiyon verimi üzerine etkisi

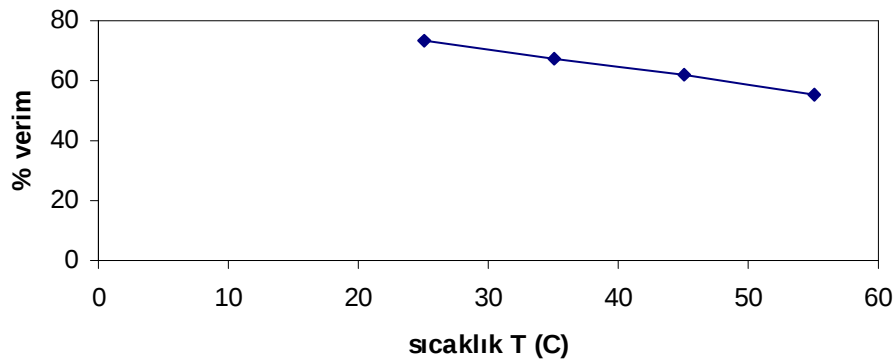
\*  $C_0=200$  mg/L, m=0,1 g, T= 25 °C, pH=5,47, t=45 dak.

#### 4.4.4 Sıcaklığın adsorpsiyona etkisi

Yapılan çalışmada aktif karbon ile 25, 35, 45 ve 55 °C denenmiştir ve fındık kabuğuna benzer bir netice elde edilmiştir (Şekil 4.14).

**Çizelge 4.16.** Farklı başlangıç sıcaklıklarının  $C_e$  ve  $q_e$  değerlerinin değişimi ( $C_0=200$  mg/L, pH=5,47, K.H.=200 rpm, m=0,1 g, t=45 dak.)

| Sıcaklık (T)    |                 |                    |                                       |                            |         |
|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------|
| $C_0$<br>(mg/L) | $C_e$<br>(mg/L) | $C_0 - C_e$ (mg/L) | $q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$ (mg/g) | Sıcaklık<br>$T(^{\circ}C)$ | % verim |
| 200             | 53,218          | 146,782            | 146,782                               | 25                         | 73,391  |
| 200             | 65,773          | 134,227            | 134,227                               | 35                         | 67,1135 |
| 200             | 76,454          | 123,546            | 123,546                               | 45                         | 61,773  |
| 200             | 89,337          | 110,663            | 110,663                               | 55                         | 55,3315 |



**Şekil 4.14.** Sıcaklığın adsorbsiyon verimi üzerine etkisi

\*  $C_0=200$  mg/L, m=0,1 g, K.H.=200 rpm, pH=5,47, t=45 dak.

#### 4.5. Fındık kabuğu ile Kinetik Çalışması

Bu çalışmada fındık kabuğunun zamana karşılık tutulan madde miktarlarını kinetiğin yalancı 2. mertebesi, 1. derece kinetik denklemlerine göre uyup uymadığı incelenmiştir.

#### 4.5.1. Fındık kabuğu ile yalancı 2. mertebe kinetik

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e^2 k_2} - \frac{1}{q_e} t \quad (4.1)$$

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \text{ (mg/g)} \quad (4.2)$$

##### a) Fındık kabuğunun sıcaklıkla yalancı 2. mertebe çalışması

Bu çalışmada fındık kabuğu ile 25, 35, 45 °C da her bir sıcaklık için 0-120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.17.** 25 °C Sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi (m=0,2 g, V=0,1 L, pH=5,49, K.H.=200 rpm, C<sub>0</sub>=100 mg/L)

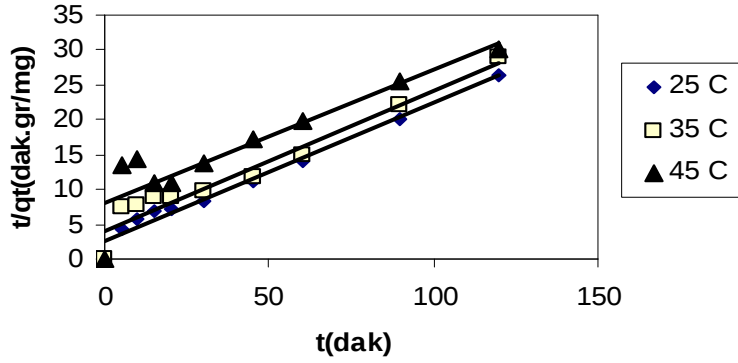
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>(C <sub>e</sub> ) (mg/L) | q <sub>t</sub> (mg/g) |
|----------|------------------------------------------|-----------------------|
| 0        | 100,000                                  | 0,00                  |
| 5        | 76,566                                   | 11,72                 |
| 10       | 64,324                                   | 17,84                 |
| 15       | 56,637                                   | 21,68                 |
| 20       | 44,965                                   | 27,52                 |
| 30       | 28,736                                   | 35,63                 |
| 45       | 19,911                                   | 40,04                 |
| 60       | 14,217                                   | 42,89                 |
| 90       | 10,230                                   | 44,88                 |
| 120      | 9,377                                    | 45,31                 |

**Çizelge 4.18.** 35 °C Sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi (m=0,2 g, V=0,1 L, pH=5,49, K.H.=200 rpm,  $C_0$  =100 mg/L)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 86,432                           | 6,78         |
| 10       | 73,772                           | 13,11        |
| 15       | 65,820                           | 17,09        |
| 20       | 55,270                           | 22,36        |
| 30       | 38,105                           | 30,95        |
| 45       | 22,573                           | 38,71        |
| 60       | 20,212                           | 39,89        |
| 90       | 18,230                           | 40,85        |
| 120      | 16,776                           | 41,61        |

**Çizelge 4.19.** 45 °C Sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi (m=0,2 g, V=0,1L, pH=5,49, K.H.=200 rpm,  $C_0$  =100 mg/L)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 92,532                           | 3,73         |
| 10       | 86,103                           | 6,95         |
| 15       | 72,763                           | 13,62        |
| 20       | 63,665                           | 18,17        |
| 30       | 56,423                           | 21,79        |
| 45       | 47,392                           | 26,30        |
| 60       | 38,973                           | 30,51        |
| 90       | 29,378                           | 35,31        |
| 120      | 20,527                           | 39,74        |



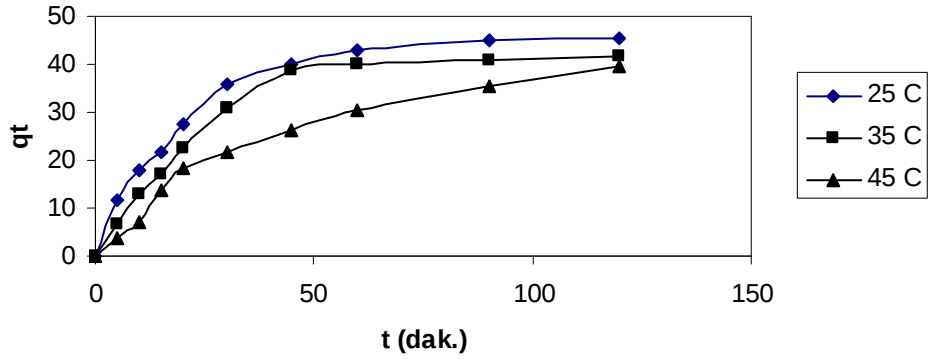
**Şekil 4.15.** Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*m=0,2 g, V=0,1 L, pH=5,49, K.H.=200 rpm,  $C_0=100$  mg/L

**Çizelge 4.20.** Sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler

| Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$ | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,\text{cal}}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,\text{exp}}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|-----------------------------|------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|
| 25                          | 0,015            | 50,81                                     | 45,31                                   | 0,980  |
| 35                          | 0,00991105       | 49,82561036                               | 41,61                                   | 0,9472 |
| 45                          | 0,004560998      | 52,21932115                               | 39,74                                   | 0,8315 |

Yapılan çalışmada sıcaklığın artması  $q_e$  (hesaplanan) ve  $q_e$  (deneysel) arasındaki farkında artmasına neden olduğundan sıcaklık artışı ile denge anında birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarını hesaplamak daha zordur.



**Şekil 4.16.** Sıcaklıkların t anında birim adsorbent başına toplanan madde miktarı  
 $m=0,2$  g,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $C_0=100$  mg/L

#### b) Fındık kabuğunun konsantrasyonla yalancı 2. mertebe çalışması

Bu çalışmada fındık kabuğu ile 300, 200, 100, 50 mg/L de her bir konsantrasyon için 0-120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.21.** 300 mg/L Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
 $(m=0,2$  g,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 299,700                          | 0,00         |
| 5        | 239,980                          | 29,86        |
| 10       | 178,770                          | 60,46        |
| 15       | 118,700                          | 90,50        |
| 20       | 104,467                          | 97,62        |
| 30       | 85,107                           | 107,3        |
| 45       | 68,594                           | 115,55       |
| 60       | 42,402                           | 128,65       |
| 90       | 39,270                           | 130,21       |
| 120      | 38,719                           | 130,49       |

**Çizelge 4.22.** 200 mg/L Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
(m=0,2 g, V=0,1 L, pH=5,49, K.H.=200 rpm, T=25 °C)

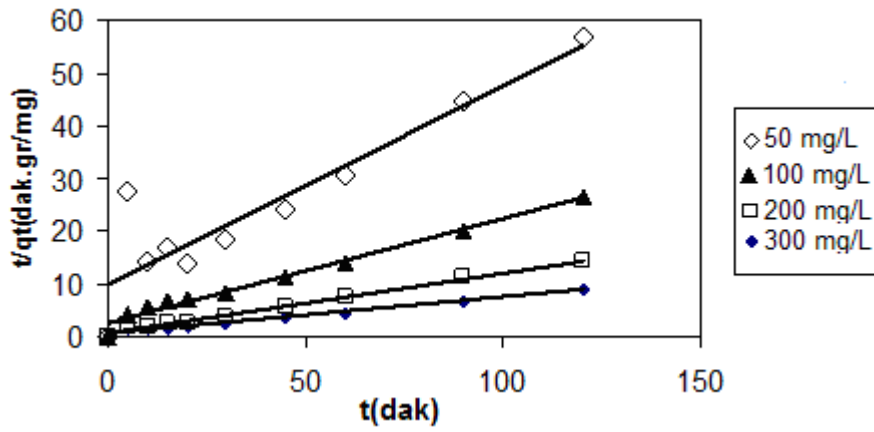
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 200,000                          | 0,00         |
| 5        | 132,289                          | 33,85        |
| 10       | 92,225                           | 53,88        |
| 15       | 79,032                           | 60,48        |
| 20       | 65,513                           | 67,24        |
| 30       | 56,256                           | 71,87        |
| 45       | 48,085                           | 75,95        |
| 60       | 43,460                           | 78,27        |
| 90       | 39,550                           | 80,22        |
| 120      | 34,058                           | 82,97        |

**Çizelge 4.23.** 100 mg/L Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
(m=0,2 g, V=0,1 L, pH=5,49, K.H.=200 rpm, T=25 °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 76,566                           | 11,72        |
| 10       | 64,324                           | 17,84        |
| 15       | 56,637                           | 21,68        |
| 20       | 44,965                           | 27,52        |
| 30       | 28,736                           | 35,63        |
| 45       | 19,911                           | 40,04        |
| 60       | 14,217                           | 42,89        |
| 90       | 10,230                           | 44,88        |
| 120      | 9,377                            | 45,31        |

**Çizelge 4.24.** 50 mg/L Konsantrasyon için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi ( $m=0,2$  g,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $T=25$  °C)

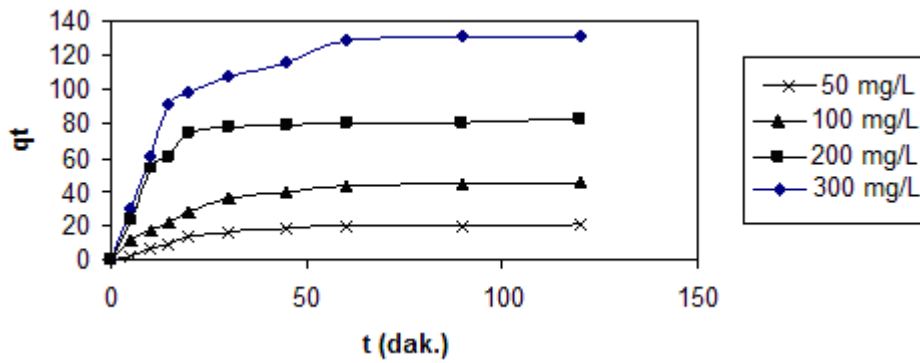
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 50,000                           | 0,00         |
| 5        | 46,380                           | 1,81         |
| 10       | 36,139                           | 6,93         |
| 15       | 32,438                           | 8,78         |
| 20       | 21,619                           | 14,19        |
| 30       | 17,633                           | 16,18        |
| 45       | 12,724                           | 18,64        |
| 60       | 10,516                           | 19,74        |
| 90       | 9,662                            | 20,17        |
| 120      | 7,669                            | 21,16        |



**Şekil 4.17.** Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği  
\* $m=0,2$  g,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $T=25$  °C

**Çizelge 4.25.** Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler

| Konsantrasyon<br>(mg/L) | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|-------------------------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 50                      | 0,014228163      | 26,61698163                        | 22,16                            | 0,8386 |
| 100                     | 0,014614633      | 50,81300813                        | 45,31                            | 0,9803 |
| 200                     | 0,020975317      | 86,88097307                        | 82,94                            | 0,9973 |
| 300                     | 0,007174231      | 142,8571429                        | 130,49                           | 0,9854 |



**Şekil 4.18.** Konsantrasyonların  $t$  anında birim adsorbent başına toplanan madde miktarı  
\* $m=0,2$  g,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $T=25$  °C

#### c) Fındık kabuğu miktarıyla yalancı 2. mertebe çalışması

Bu çalışmada fındık kabuğu ile 0,2, 0,1 ve 0,05 g da her bir adsorbent miktarı için 0-120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.26.** 0,2 g. fındık kabuğu miktarı için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $T=25$  °C)

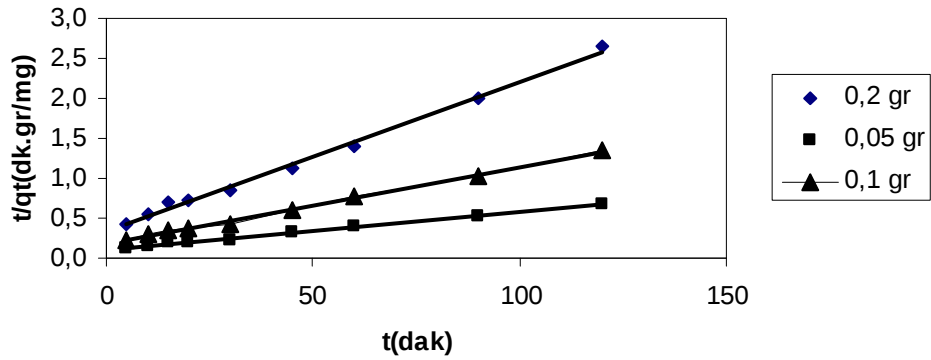
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 76,566                           | 11,72        |
| 10       | 64,324                           | 17,84        |
| 15       | 56,637                           | 21,68        |
| 20       | 44,965                           | 27,52        |
| 30       | 28,736                           | 35,63        |
| 45       | 19,911                           | 40,04        |
| 60       | 14,217                           | 42,89        |
| 90       | 10,230                           | 44,88        |
| 120      | 9,377                            | 45,31        |

**Çizelge 4.27.** 0,1 g. fındık kabuğu miktarı için yalancı 2. merteye kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $K.H.=200$  rpm,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 78,766                           | 38,89        |
| 10       | 65,324                           | 66,79        |
| 15       | 57,587                           | 78,75        |
| 20       | 46,245                           | 99,25        |
| 30       | 31,136                           | 131,13       |
| 45       | 24,974                           | 138,54       |
| 60       | 22,281                           | 147,08       |
| 90       | 11,249                           | 172,13       |
| 120      | 10,857                           | 177,83       |

**Çizelge 4.28.** 0,05 g. fındık kabuğu miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 80,552                           | 21,23        |
| 10       | 66,602                           | 34,67        |
| 15       | 60,623                           | 42,41        |
| 20       | 50,374                           | 53,75        |
| 30       | 34,431                           | 68,86        |
| 45       | 30,729                           | 75,02        |
| 60       | 26,459                           | 77,71        |
| 90       | 13,932                           | 88,75        |
| 120      | 11,085                           | 89,14        |

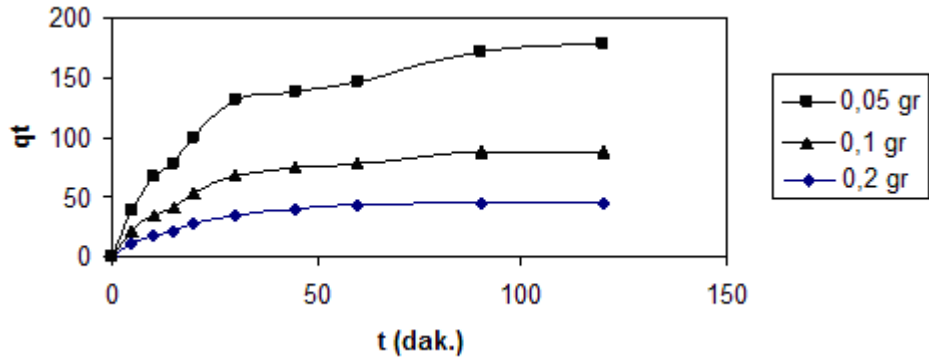


**Şekil 4.19.** Fındık kabuğu miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*  $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C

**Çizelge 4.29.** Fındık kabuğu miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler

| Adsorbent miktarı (g) | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan) (mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel) (mg/g) | $R^2$  |
|-----------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------|
| 0,05                  | 0,007307592      | 101,6260163                     | 89,14                         | 0,9803 |
| 0,1                   | 0,002999514      | 198,8071571                     | 177,83                        | 0,9728 |
| 0,2                   | 0,014614633      | 50,81300813                     | 45,31                         | 0,9803 |



**Şekil 4.20.** Adsorbent miktarının t anında birim adsorbent başına toplanan madde miktarı

\*  $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C

#### d) Fındık kabuğu karıştırma hızı ile yalancı 2. mertebe çalışması

Bu çalışmada fındık kabuğu ile 150, 200, 250 ve 300 rpm de her bir karıştırma hızı için 0-120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.30.** 200 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 76,566                           | 11,72        |
| 10       | 64,324                           | 17,84        |
| 15       | 56,637                           | 21,68        |
| 20       | 44,965                           | 27,52        |
| 30       | 28,736                           | 35,63        |
| 45       | 19,911                           | 40,04        |
| 60       | 14,217                           | 42,89        |
| 90       | 10,230                           | 44,88        |
| 120      | 9,377                            | 45,31        |

**Çizelge 4.31.** 150 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C)

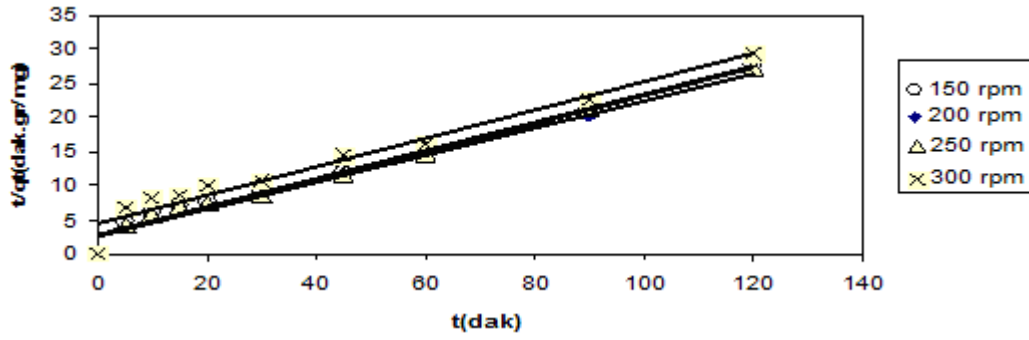
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 78,320                           | 10,84        |
| 10       | 67,521                           | 16,24        |
| 15       | 59,123                           | 20,44        |
| 20       | 48,112                           | 25,94        |
| 30       | 32,532                           | 33,73        |
| 45       | 23,823                           | 38,09        |
| 60       | 18,233                           | 40,88        |
| 90       | 15,275                           | 42,36        |
| 120      | 13,368                           | 43,32        |

**Çizelge 4.32.** 250 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 76,370                           | 11,81        |
| 10       | 65,320                           | 17,34        |
| 15       | 57,220                           | 21,39        |
| 20       | 46,327                           | 26,84        |
| 30       | 30,123                           | 34,94        |
| 45       | 23,520                           | 38,24        |
| 60       | 17,899                           | 41,05        |
| 90       | 14,873                           | 42,56        |
| 120      | 11,927                           | 44,04        |

**Çizelge 4.33.** 300 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,49$ ,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 85,331                           | 7,33         |
| 10       | 75,372                           | 12,31        |
| 15       | 65,320                           | 17,34        |
| 20       | 59,720                           | 20,14        |
| 30       | 43,773                           | 28,11        |
| 45       | 37,372                           | 31,31        |
| 60       | 25,877                           | 37,06        |
| 90       | 20,527                           | 39,74        |
| 120      | 18,532                           | 40,73        |

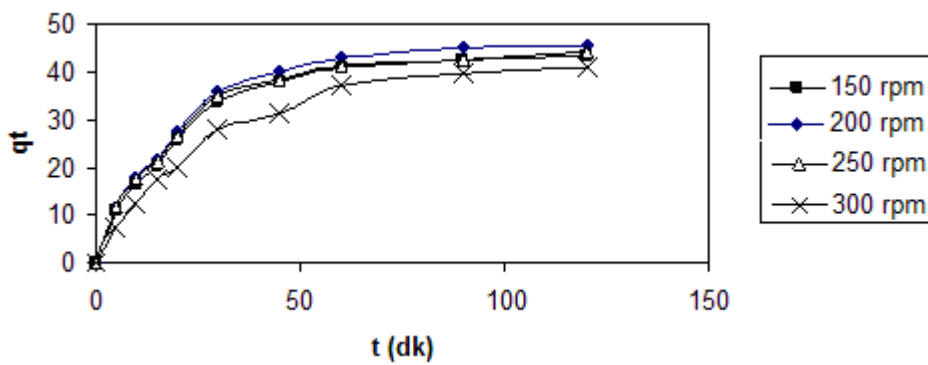


**Şekil 4.21.** Karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*  $C_0 = 100$  mg/L,  $V = 0,1$  L,  $pH = 5,49$ ,  $m = 0,2$  g,  $T = 25$  °C

**Çizelge 4.34.** Karıştırma hızı için 2. mertebe kinetik grafikten elde edilen değerler

| K.H. (rpm) | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 150        | 0,014601506      | 48,6381323                         | 43,32                            | 0,9785 |
| 200        | 0,014614633      | 50,81300813                        | 45,31                            | 0,9803 |
| 250        | 0,015802367      | 48,68549172                        | 44,04                            | 0,9823 |
| 300        | 0,009640087      | 48,12319538                        | 40,73                            | 0,956  |



**Şekil 4.22.** Karıştırma Hızların t anında birim adsorbent başına toplanan madde miktarı

\*  $C_0 = 100$  mg/L,  $V = 0,1$  L,  $pH = 5,49$ ,  $m = 0,2$  g,  $T = 25$  °C

**e) Fındık kabuğu pH ile yalancı 2. mertebe çalışması**

Bu çalışmada fındık kabuğu ile 5,49, 7, 6 ve 3 pH da her bir pH için 0-120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.35.** pH için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 76,566                           | 11,71        |
| 10       | 64,324                           | 17,84        |
| 15       | 56,637                           | 21,68        |
| 20       | 44,965                           | 27,52        |
| 30       | 28,736                           | 35,63        |
| 45       | 19,911                           | 40,04        |
| 60       | 14,217                           | 42,89        |
| 90       | 10,230                           | 44,88        |
| 120      | 9,377                            | 45,31        |

**Çizelge 4.36.** 7,00 pH için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C)

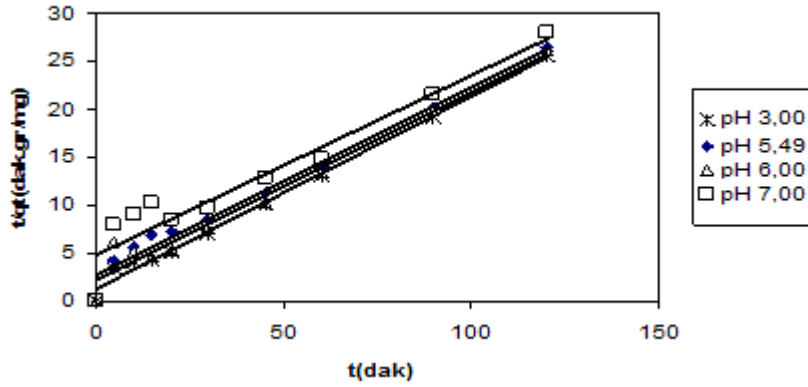
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 87,385                           | 6,31         |
| 10       | 77,705                           | 11,15        |
| 15       | 70,872                           | 14,56        |
| 20       | 52,652                           | 23,67        |
| 30       | 38,132                           | 30,93        |
| 45       | 30,160                           | 34,92        |
| 60       | 19,342                           | 40,33        |
| 90       | 16,495                           | 41,75        |
| 120      | 14,217                           | 42,89        |

**Çizelge 4.37.** 6,00 pH için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi ( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 83,684                           | 8,16         |
| 10       | 61,477                           | 19,26        |
| 15       | 34,430                           | 32,78        |
| 20       | 25,035                           | 37,48        |
| 30       | 21,050                           | 39,47        |
| 45       | 11,939                           | 44,03        |
| 60       | 11,085                           | 44,46        |
| 90       | 9,662                            | 45,17        |
| 120      | 8,238                            | 45,88        |

**Çizelge 4.38.** 3,00 pH için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi (  $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 70,035                           | 14,98        |
| 10       | 50,089                           | 24,95        |
| 15       | 29,875                           | 35,06        |
| 20       | 21,334                           | 39,33        |
| 30       | 14,217                           | 42,89        |
| 45       | 9,947                            | 45,03        |
| 60       | 8,238                            | 45,88        |
| 90       | 6,530                            | 46,73        |
| 120      | 6,520                            | 46,74        |

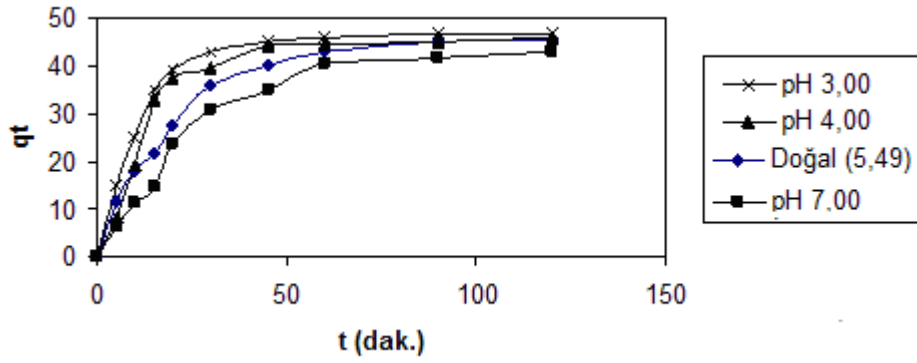


**Şekil 4.23.** pH için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*  $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C

**Çizelge 4.39.** pH için yalancı 2. mertebe kinetik grafikten elde edilen değerler

| pH   | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 3    | 0,033806623      | 49,57858205                        | 46,74                            | 0,9937 |
| 5,49 | 0,014614633      | 50,81300813                        | 45,31                            | 0,9803 |
| 6    | 0,018637564      | 50,76142132                        | 45,88                            | 0,9705 |
| 7    | 0,00734934       | 53,10674456                        | 42,89                            | 0,9216 |

**Şekil 4.24.** pH'ların  $t$  anında birim adsorbent başına toplanan madde miktarı

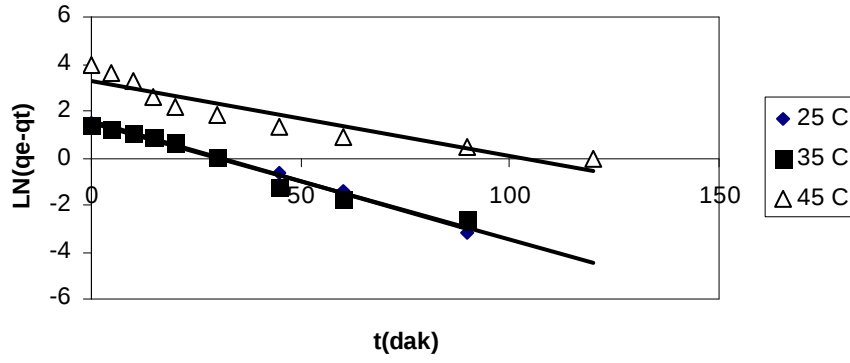
\*  $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,2$  g,  $T=25$  °C

#### 4.5.2. Fındık kabuğu ile 1. derece kinetik

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \quad (4.3)$$

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \text{ (mg/g)} \quad (4.4)$$

**a) Fındık kabuğu 1. derece kinetik ile sıcaklık incelenmesi**



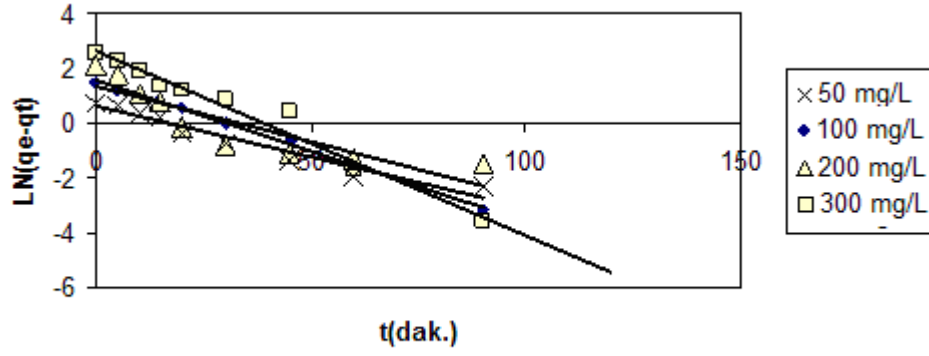
**Şekil 4.25.** Sıcaklık için 1. derece kinetik grafiği

\*m=0,2 g, V=0,1 L, pH=5,49, K.H.=200 rpm,  $C_0=100$  mg/L

**Çizelge 4.40.** Sıcaklık için 1. derece kinetik için değerler

| Sıcaklık<br>(°C) | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 25               | 0,051                      | 47,17                              | 45,31                            | 0,9971 |
| 35               | 0,00734934                 | 43,65                              | 41,61                            | 0,9711 |
| 45               | 0,018637564                | 38,95                              | 39,73                            | 0,9945 |

**b) Fındık kabuğu 1. derece kinetik ile konsantrasyon incelenmesi**



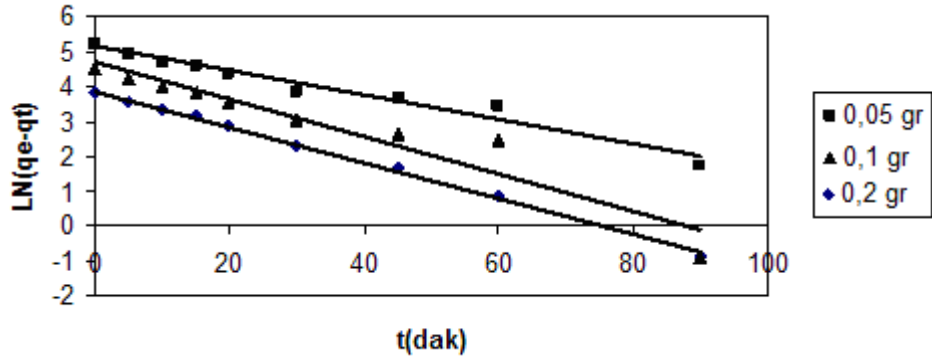
**Şekil 4.26.** Konsantrasyon için 1. derece kinetik grafiği

\*m=0,2 g, V=0,1 L, pH=5,49, K.H.=200 rpm, T=25 °C

**Çizelge 4.41.** Konsantrasyon için 1. derece kinetik için değerler

| Konsantrasyon<br>(mg/L) | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 50                      | 0,0374                     | 18,55                              | 21,16                            | 0.9426 |
| 100                     | 0,051                      | 47,17                              | 45,31                            | 0,9971 |
| 200                     | 0,041                      | 78,23                              | 82,94                            | 0,9035 |
| 300                     | 0,0674                     | 142,03                             | 130,49                           | 0,9734 |

c) Fındık kabuğu 1. derece kinetik ile adsorbent miktarı incelenmesi



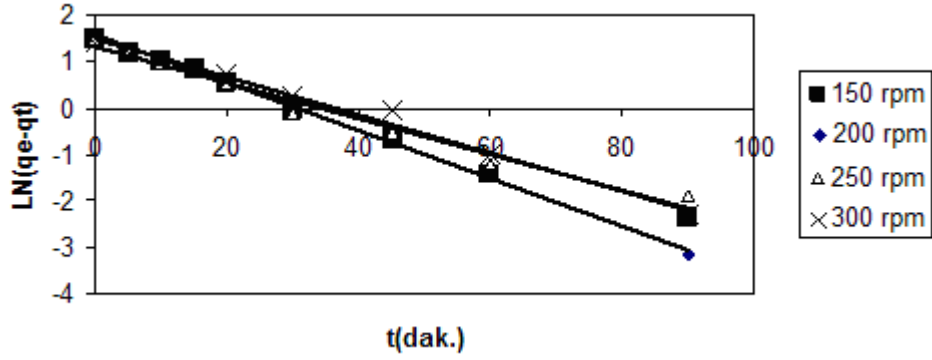
Şekil 4.27. Fındık kabuğu miktarı için 1. derece kinetik grafiği

\*  $C_0 = 100$  mg/L,  $V = 0,1$  L,  $pH = 5,49$ , K.H. = 200 rpm,  $T = 25$  °C

Çizelge 4.42. Adsorbent miktarı için 1. derece kinetik için değerler

| Adsorbent miktarı (g) | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan) (mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel) (mg/g) | $R^2$  |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------|
| 0,05                  | 0,0349                     | 167,19                          | 177,83                        | 0,9664 |
| 0,1                   | 0,0522                     | 98,88                           | 88,75                         | 0,9062 |
| 0,2                   | 0,051                      | 47,17                           | 45,31                         | 0,9971 |

**d) Fındık kabuğu 1. derece kinetik ile karıştırma hızının incelenmesi**



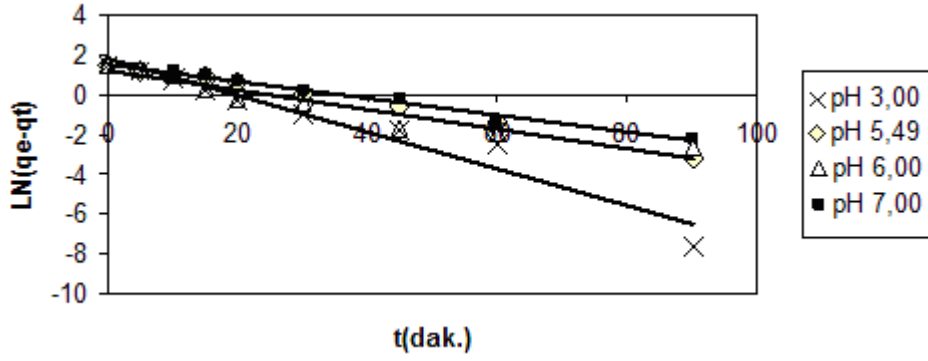
**Şekil 4.28.** Karıştırma hızı için 1. derece kinetik grafiği

\*  $C_0 = 100$  mg/L,  $V = 0,1$  L,  $pH = 5,49$ ,  $m = 0,2$  g,  $T = 25^\circ C$

**Çizelge 4.43.** Karıştırma hızı için 1. derece kinetik için değerler

| K.H. (rpm) | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 150        | 0,0437                     | 40,48                              | 43,31                            | 0,992  |
| 200        | 0,051                      | 47,17                              | 45,31                            | 0,9971 |
| 250        | 0,0389                     | 37,61                              | 44,03                            | 0,9795 |
| 300        | 0,0407                     | 43,72                              | 40,73                            | 0,9899 |

**e) Fındık kabuğu 1. derece kinetik ile pH incelenmesi**



**Şekil 4.29.** pH için 1. derece kinetik grafiği

\*  $C_0 = 100$  mg/L,  $V = 0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m = 0,2$  g,  $T = 25$  °C

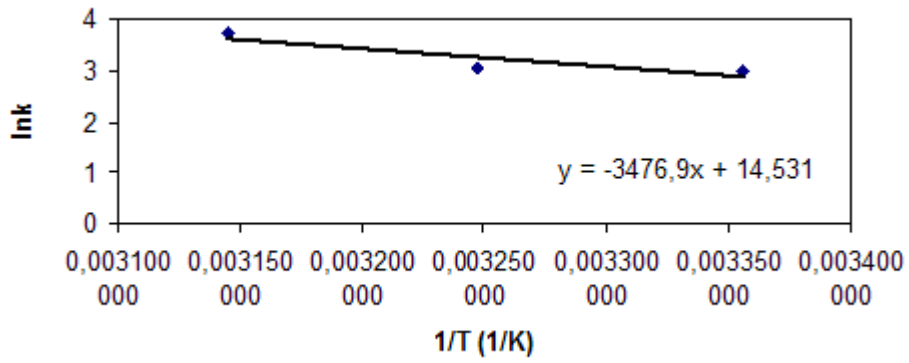
**Çizelge 4.44.** pH için 1. derece kinetik için değerler

| pH   | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 3    | 0,0919                     | 58,10                              | 46,74                            | 0,9451 |
| 5,49 | 0,051                      | 41,7                               | 45,31                            | 0,9971 |
| 6    | 0,049                      | 32,73                              | 45,88                            | 0,9243 |
| 7    | 0,0426                     | 46,02                              | 42,89                            | 0,985  |

**4.5.3. Fındık kabuğu için aktivasyon enerjisi incelenmesi**

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (4.5)$$

(Çizelge 4.20) ve (Çizelge 4.40) görüldüğü gibi fındık kabuğu sıcaklık için 1. derece kinetiğe daha uygun olduğundan 1. derece kinetiğin  $k_1$  (1/dak.) değerleri kullanılmıştır



**Şekil 4.30.** Arrhenius grafiği

**Çizelge 4.45.** A ve Ea değerleri

| A           | Ea            |
|-------------|---------------|
| 2045187,438 | 28.906 kJ/mol |

Aktivasyon enerjisi (Ea) 5-40 kJ/mol aralığında olduğundan adsorpsiyon fizikseldir, 40-800 kJ/mol aralığında olduğunda adsorpsiyon kimyasaldır (Karaoğlu *et al.* 2010).

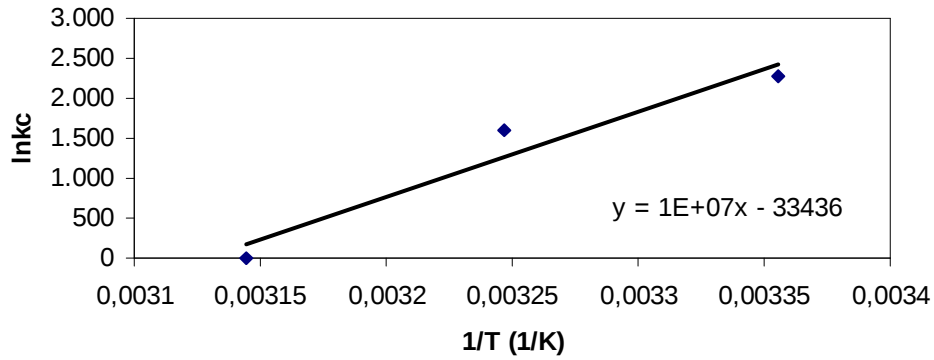
#### 4.5.4. Fındık kabuğu termodinamik incelenmesi

$$k_c = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \quad (4.6)$$

$$\ln k_c = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (4.7)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (4.8)$$

Fındık kabuğu 1. derece kinetiğe uyduğundan  $k_c$  sıcaklığın 1. derece kinetiğe göre alınır hesaplara göre;  $k_{c25} = 9,664$ ,  $k_{c35} = 4,961$ ,  $k_{c45} = 3,871$



**Şekil 4.31.** LN  $k_c$  ye karşılık 1/T grafiği

Grafik hesaplamalarına göre  $\Delta H = -9,117$  kJ/mol,  $\Delta H$ 'ın negatif değerde olması işlemin ekzotermik (ısı veren) olduğunu gösterir.

Aynı şekilde  $\Delta S = 277,986$  kJ/mol K,  $\Delta S$ 'nin büyük olması maddenin dağınık ve enerjinin düşük olduğu anlamına gelir bu da adsorpsiyon işleminde istenilen bir durumdur.

$\Delta G_{25^{\circ}\text{C}} = -82848,945$  kJ/mol,  $\Delta G_{35^{\circ}\text{C}} = -85628,805$  kJ/mol,  $\Delta G_{45^{\circ}\text{C}} = -88408,665$  kJ/mol,  $\Delta G$ 'nin negatif olması maddenin daha rahat adsorbe ettiğini gösterir (Ucun 2008).

#### 4.6. Aktif Karbon ile Kinetik Çalışması

Bu çalışmada aktif karbonun zamana karşılık tutulan madde miktarlarını kinetiğin yalancı 2. mertebesi, 1. derece kinetik denklemlerine göre uyup uymadığı incelenmiştir.

#### 4.6.1. Aktif karbon ile yalancı 2. mertebe kinetik

##### a) Aktif karbonun sıcaklıkla yalancı 2. mertebe çalışması

Bu çalışmada aktif karbon ile 25, 35, 45 °C da her bir sıcaklık için 0-120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.46.** 25 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi (m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm,  $C_0$  =100 mg/L)

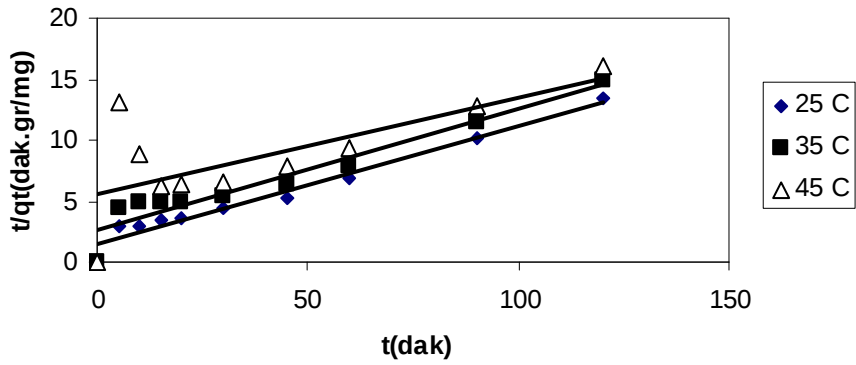
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 83,102                           | 16,89        |
| 10       | 66,871                           | 33,12        |
| 15       | 56,579                           | 43,42        |
| 20       | 45,371                           | 54,62        |
| 30       | 33,106                           | 66,89        |
| 45       | 14,321                           | 85,67        |
| 60       | 12,427                           | 87,57        |
| 90       | 11,893                           | 88,10        |
| 120      | 10,487                           | 89,51        |

**Çizelge 4.47.** 35 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi (m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm,  $C_0$  =100 mg/L)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 88,749                           | 11,25        |
| 10       | 79,362                           | 20,63        |
| 15       | 69,892                           | 30,10        |
| 20       | 58,787                           | 41,21        |
| 30       | 45,133                           | 54,86        |
| 45       | 29,583                           | 70,41        |
| 60       | 24,441                           | 75,55        |
| 90       | 22,028                           | 77,97        |
| 120      | 19,376                           | 80,62        |

**Çizelge 4.48.** 45 °C sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi (m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm,  $C_0$  =100 mg/L)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 96,209                           | 3,79         |
| 10       | 88,764                           | 11,23        |
| 15       | 75,763                           | 24,23        |
| 20       | 68,665                           | 31,33        |
| 30       | 53,763                           | 46,23        |
| 45       | 43,318                           | 56,68        |
| 60       | 35,693                           | 64,30        |
| 90       | 29,399                           | 70,60        |
| 120      | 25,553                           | 74,44        |



**Şekil 4.32.** sıcaklık (°C) için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm,  $C_0=100$  mg/L

**Çizelge 4.49.** Sıcaklık için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler

| Sıcaklık °C | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|-------------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 25          | 0,006276433      | 103,0927835                        | 89,51                            | 0,9676 |
| 35          | 0,003839941      | 100,2004008                        | 80,62                            | 0,9216 |
| 45          | 0,00111643       | 126,4222503                        | 74,44                            | 0,4797 |

Yapılan çalışmada sıcaklığın artması  $q_e$ (hesaplanan) ve  $q_e$ (deneysel) arasındaki farkında artmasına neden olduğundan sıcaklık artışı ile denge anında birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarını hesaplamak daha zordur.

#### **b) Aktif karbon konsantrasyonla yalancı 2. mertebe çalışması**

Bu çalışmada Aktif Karbon ile 50, 100, 200, 300 mg/L de her bir konsantrasyon için 0-120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.50.** 300 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ( $m=1$  g,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 300,012                          | 0,00         |
| 5        | 246,862                          | 53,15        |
| 10       | 196,644                          | 103,36       |
| 15       | 135,633                          | 164,37       |
| 20       | 112,202                          | 187,81       |
| 30       | 96,527                           | 203,48       |
| 45       | 75,712                           | 224,30       |
| 60       | 68,025                           | 231,98       |
| 90       | 53,717                           | 246,29       |
| 120      | 48,935                           | 251,07       |

**Çizelge 4.51.** 200 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ( $m=0,1$  g,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C)

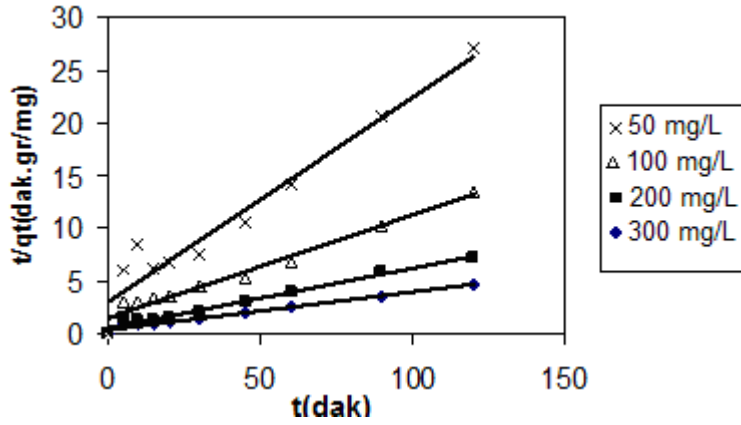
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 200,000                          | 0,00         |
| 5        | 168,332                          | 31,66        |
| 10       | 123,452                          | 76,54        |
| 15       | 93,037                           | 106,96       |
| 20       | 73,893                           | 126,10       |
| 30       | 59,603                           | 140,39       |
| 45       | 53,457                           | 146,54       |
| 60       | 48,365                           | 151,63       |
| 90       | 44,174                           | 155,82       |
| 120      | 32,723                           | 167,27       |

**Çizelge 4.52.** 100 mg/L konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi (m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm, T=25 °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 83,102                           | 16,89        |
| 10       | 66,871                           | 33,12        |
| 15       | 56,579                           | 43,42        |
| 20       | 45,371                           | 54,62        |
| 30       | 33,106                           | 66,89        |
| 45       | 14,321                           | 85,67        |
| 60       | 12,427                           | 87,57        |
| 90       | 11,893                           | 88,10        |
| 120      | 10,487                           | 89,51        |

**Çizelge 4.53.** 50 mg/L konsantrasyon için 1. derece kinetik incelenmesi (m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm, T=25 °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 50,000                           | 0,00         |
| 5        | 41,731                           | 8,26         |
| 10       | 38,116                           | 11,88        |
| 15       | 25,886                           | 24,11        |
| 20       | 20,775                           | 29,22        |
| 30       | 10,516                           | 39,48        |
| 45       | 7,411                            | 42,58        |
| 60       | 7,384                            | 42,61        |
| 90       | 6,433                            | 43,56        |
| 120      | 5,392                            | 44,60        |



**Şekil 4.33.** Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm, T=25 °C

**Çizelge 4.54.** Konsantrasyon için yalancı 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler

| Konsantrasyon<br>(mg/L) | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|-------------------------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 50                      | 0,0120875        | 51,70630817                        | 44,60                            | 0,9481 |
| 100                     | 0,006276433      | 103,0927835                        | 89,51                            | 0,9676 |
| 200                     | 0,00514455       | 179,8561151                        | 167,27                           | 0,9788 |
| 300                     | 0,003290191      | 274,7252747                        | 251,07                           | 0,9823 |

### c) Aktif karbon miktarıyla yalancı 2. mertebe çalışması

Bu çalışmada aktif karbon ile 0,05, 0,1 ve 0,2 g da her bir adsorbent miktarı için 0-120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir

**Çizelge 4.55.** 0,2 g. Aktif Karbon miktarı için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C)

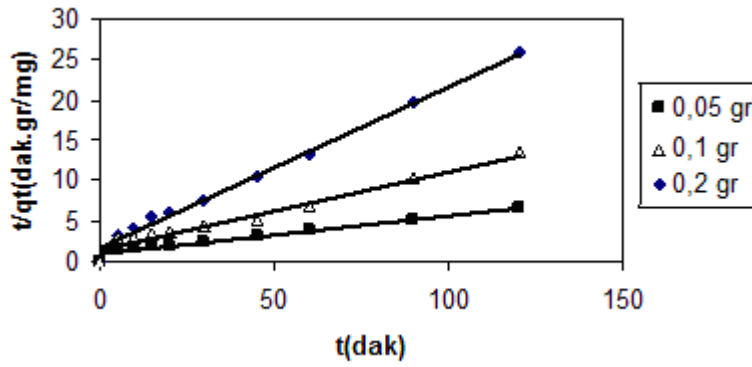
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 69,099                           | 15,45        |
| 10       | 51,984                           | 24,00        |
| 15       | 46,863                           | 26,56        |
| 20       | 35,705                           | 32,14        |
| 30       | 21,566                           | 39,21        |
| 45       | 14,871                           | 42,56        |
| 60       | 10,056                           | 44,97        |
| 90       | 8,291                            | 45,85        |
| 120      | 6,687                            | 46,65        |

**Çizelge 4.56.** 0,05 g. Aktif Karbon miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 87,552                           | 24,89        |
| 10       | 70,802                           | 58,39        |
| 15       | 65,823                           | 68,35        |
| 20       | 48,749                           | 102,50       |
| 30       | 38,004                           | 123,99       |
| 45       | 28,629                           | 142,74       |
| 60       | 23,799                           | 152,40       |
| 90       | 12,602                           | 174,79       |
| 120      | 11,025                           | 177,95       |

**Çizelge 4.57.** 0,1 g. Aktif Karbon miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 83,102                           | 16,89        |
| 10       | 66,871                           | 33,12        |
| 15       | 56,579                           | 43,42        |
| 20       | 45,371                           | 54,62        |
| 30       | 33,106                           | 66,89        |
| 45       | 14,321                           | 85,67        |
| 60       | 12,427                           | 87,57        |
| 90       | 11,893                           | 88,10        |
| 120      | 10,487                           | 89,51        |



**Şekil 4.34.** Aktif Karbon miktarı için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*  $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ , K.H.=200 rpm,  $T=25$  °C

**Çizelge 4.58.** Aktif karbon miktarı için 2. mertebe kinetik için grafikten elde edilen değerler

| Adsorbent miktarı (g) | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan) (mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel) (mg/g) | $R^2$  |
|-----------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------|
| 0,05                  | 0,002065065      | 212,7659574                     | 177,95                        | 0,9434 |
| 0,1                   | 0,006276433      | 103,0927835                     | 89,51                         | 0,9676 |
| 0,2                   | 0,02284553       | 50,15045135                     | 46,65                         | 0,9917 |

**d) Aktif karbon karıştırma hızı ile yalancı 2. mertebe çalışması**

Bu çalışmada fındık kabuğu ile 150, 200, 250 ve 300 rpm de her bir karıştırma hızı için 0- 120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.59.** 200 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ ,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş. ( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|-------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                       | 0,00         |
| 5        | 83,102                        | 16,89        |
| 10       | 66,871                        | 33,12        |
| 15       | 56,579                        | 43,42        |
| 20       | 45,371                        | 54,62        |
| 30       | 33,106                        | 66,89        |
| 45       | 14,321                        | 85,69        |
| 60       | 12,427                        | 87,57        |
| 90       | 11,893                        | 88,10        |
| 120      | 10,487                        | 89,51        |

**Çizelge 4.60.** 150 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ ,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C)

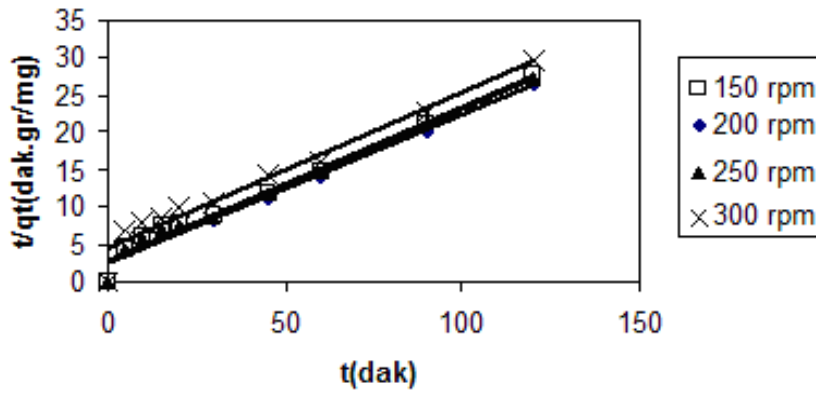
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 86,732                           | 13,26        |
| 10       | 69,661                           | 30,33        |
| 15       | 60,126                           | 39,87        |
| 20       | 49,061                           | 50,93        |
| 30       | 37,896                           | 62,10        |
| 45       | 19,931                           | 80,06        |
| 60       | 15,811                           | 84,18        |
| 90       | 14,083                           | 85,91        |
| 120      | 13,469                           | 86,53        |

**Çizelge 4.61.** 250 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ ,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 84,772                           | 15,22        |
| 10       | 68,331                           | 31,66        |
| 15       | 57,079                           | 42,92        |
| 20       | 46,449                           | 53,55        |
| 30       | 37,328                           | 62,67        |
| 45       | 17,211                           | 82,78        |
| 60       | 15,209                           | 84,79        |
| 90       | 14,476                           | 85,52        |
| 120      | 13,317                           | 86,68        |

**Çizelge 4.62.** 300 rpm karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi  
( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ ,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 89,452                           | 10,54        |
| 10       | 70,691                           | 29,30        |
| 15       | 68,339                           | 31,66        |
| 20       | 57,718                           | 42,28        |
| 30       | 45,216                           | 54,78        |
| 45       | 24,323                           | 75,67        |
| 60       | 19,459                           | 80,54        |
| 90       | 15,763                           | 84,23        |
| 120      | 14,421                           | 85,57        |



**Şekil 4.35.** Karıştırma hızı için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*  $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L,  $pH=5,47$ ,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C

**Çizelge 4.63.** Karıştırma hızı için 2. mertebe kinetik grafikten elde edilen değerler

| K.H. (rpm) | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 150        | 0,005213365      | 102,6694045                        | 86,53                            | 0,9523 |
| 200        | 0,006276433      | 103,0927835                        | 89,51                            | 0,9676 |
| 250        | 0,006177618      | 100,5025126                        | 86,68                            | 0,9639 |
| 300        | 0,003643096      | 106,6098081                        | 85,57                            | 0,9165 |

**e) Aktif karbon pH ile yalancı 2. mertebe çalışması**

Bu çalışmada aktif karbon ile 3, 5,47, 6 ve 7 pH da her bir pH için 0- 120 dak. arası konsantrasyon değişikliği incelenmiştir.

**Çizelge 4.64.** pH 5,47 için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 83,102                           | 8,44         |
| 10       | 66,871                           | 16,56        |
| 15       | 56,579                           | 21,71        |
| 20       | 45,371                           | 27,31        |
| 30       | 33,106                           | 33,44        |
| 45       | 14,321                           | 42,83        |
| 60       | 12,427                           | 43,78        |
| 90       | 11,893                           | 44,05        |
| 120      | 10,487                           | 44,75        |

**Çizelge 4.65.** 7,00 pH için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C)

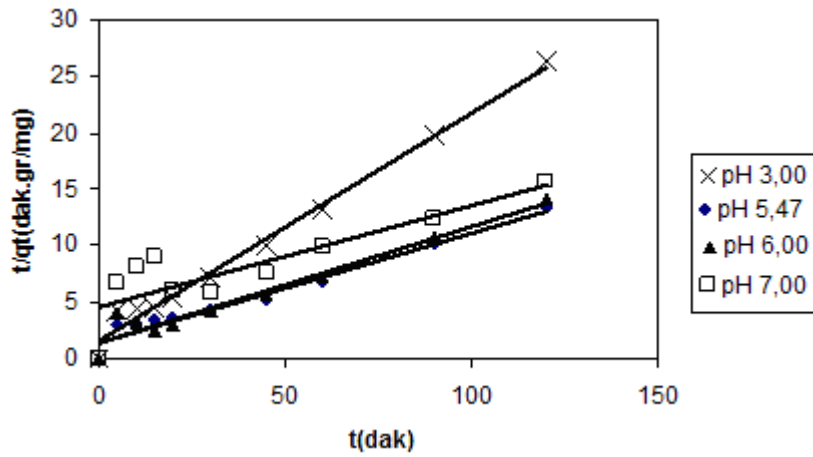
| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 92,605                           | 7,39         |
| 10       | 87,795                           | 12,20        |
| 15       | 83,342                           | 16,65        |
| 20       | 66,352                           | 33,64        |
| 30       | 49,032                           | 50,96        |
| 45       | 40,188                           | 59,81        |
| 60       | 39,112                           | 60,88        |
| 90       | 26,69                            | 73,31        |
| 120      | 24,012                           | 75,98        |

**Çizelge 4.66.** 6,00 pH için yalancı 2. derece kinetik incelenmesi ( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 87,704                           | 6,14         |
| 10       | 68,007                           | 15,99        |
| 15       | 39,459                           | 30,27        |
| 20       | 32,635                           | 33,68        |
| 30       | 27,905                           | 36,04        |
| 45       | 19,879                           | 40,06        |
| 60       | 16,609                           | 41,69        |
| 90       | 15,872                           | 42,06        |
| 120      | 15,078                           | 42,46        |

**Çizelge 4.67.** 3,00 pH için yalancı 2. mertebe kinetik incelenmesi ( $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,1$  g,  $T=25$  °C)

| t (dak.) | Kons. Değiş.<br>( $C_e$ ) (mg/L) | $q_t$ (mg/g) |
|----------|----------------------------------|--------------|
| 0        | 100,000                          | 0,00         |
| 5        | 76,535                           | 11,73        |
| 10       | 55,079                           | 22,46        |
| 15       | 33,835                           | 33,08        |
| 20       | 25,704                           | 37,14        |
| 30       | 17,807                           | 41,09        |
| 45       | 9,968                            | 45,01        |
| 60       | 9,238                            | 45,38        |
| 90       | 8,530                            | 45,73        |
| 120      | 8,420                            | 45,79        |

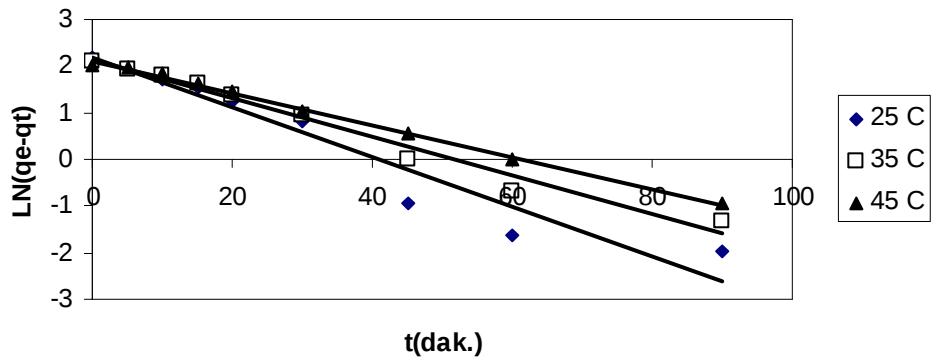


**Şekil 4.36.** pH için yalancı 2. mertebe kinetik grafiği

\*  $C_0=100$  mg/L,  $V=0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m=0,1$ g,  $T=25$  °C

**Çizelge 4.68.** pH için yalancı 2. mertebe kinetik grafikten elde edilen değerler

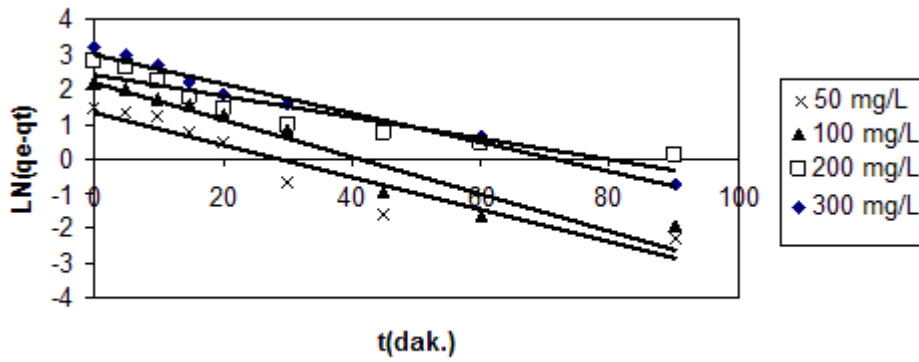
| pH   | $k_2$ (g/mg.dak) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------|------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 3    | 0,026956445      | 49,45598417                        | 45,79                            | 0,9881 |
| 5,47 | 0,026956445      | 49,45598417                        | 44,75                            | 0,9881 |
| 6    | 0,007864911      | 46,71179884                        | 42,46                            | 0,9493 |
| 7    | 0,001740572      | 111,8568233                        | 75,98                            | 0,7181 |

**4.6.2. Aktif karbon ile 1. derece kinetik****a) Aktif karbon 1. derece kinetik ile sıcaklık incelenmesi****Şekil 4.37.** Sıcaklık için 1. derece kinetik grafiği

\*m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm,  $C_0$  =100 mg/L

**Çizelge 4.69.** Sıcaklık için 1. derece kinetik için değerler

| Sıcaklık<br>(°C) | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 25               | 0,053                      | 87,34                              | 89,51                            | 0,9301 |
| 35               | 0,0414                     | 84,08                              | 80,62                            | 0,9781 |
| 45               | 0,0342                     | 82,16                              | 74,44                            | 0,9973 |

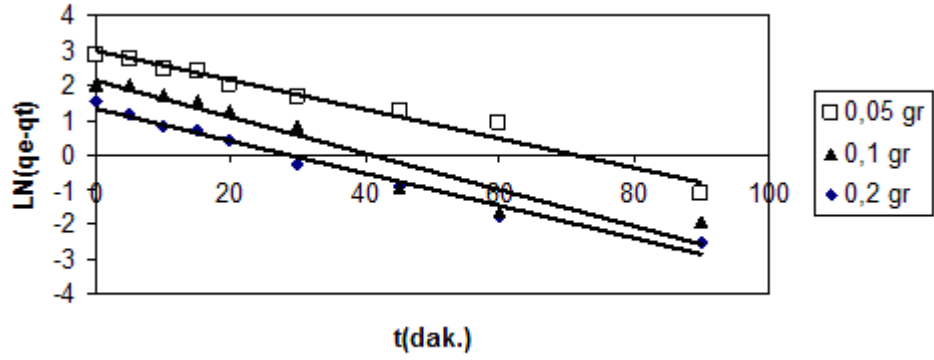
**b) Aktif karbon 1. derece kinetik ile konsantrasyon incelenmesi****Şekil 4.38.** Konsantrasyon için 1. derece kinetik grafiği

\*m=0,1 g, V=0,1 L, pH=5,47, K.H.=200 rpm, T=25 °C

**Çizelge 4.70.** Konsantrasyon için 1. derece kinetik için değerler

| Konsantrasyon<br>(mg/L) | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 50                      | 0,0464                     | 36,82                              | 44,61                            | 0,9031 |
| 100                     | 0,053                      | 87,35                              | 89,51                            | 0,9301 |
| 200                     | 0,0301                     | 107,98                             | 167,27                           | 0,8565 |
| 300                     | 0,0423                     | 200,43                             | 251,07                           | 0,9749 |

c) Aktif karbon 1. derece kinetik ile adsorbent miktarı incelenmesi



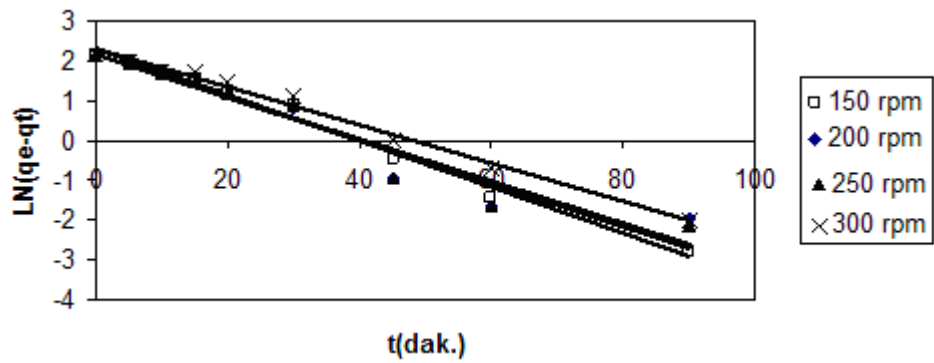
Şekil 4.39. Aktif karbon miktarı için 1. derece kinetik grafiği

\*  $C_0 = 100$  mg/L,  $V = 0,1$  L,  $pH = 5,47$ ,  $K.H. = 200$  rpm,  $T = 25$  °C

Çizelge 4.71. Adsorbent miktarı için 1. derece kinetik için değerler

| Adsorbent miktarı (g) | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan) (mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel) (mg/g) | $R^2$  |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------|
| 0,05                  | 0,0417                     | 194,47                          | 177,95                        | 0,9668 |
| 0,1                   | 0,0521                     | 82,98                           | 89,51                         | 0,9268 |
| 0,2                   | 0,0463                     | 37,14                           | 46,65                         | 0,9781 |

d) Aktif karbon 1. derece kinetik ile karıştırma hızının incelenmesi

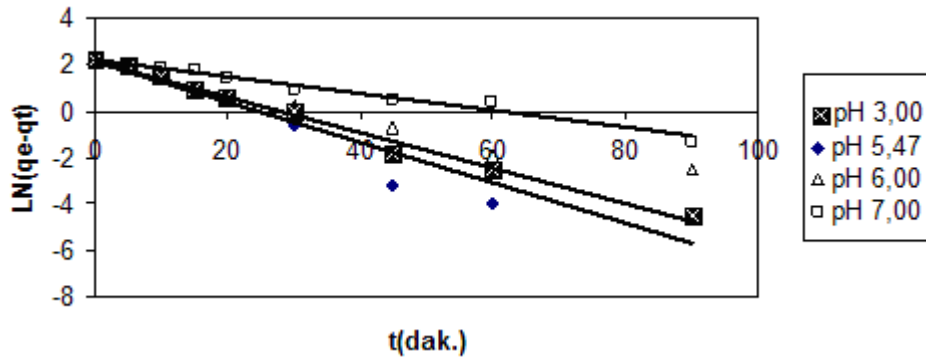


Şekil 4.40. Karıştırma hızı için 1. derece kinetik grafiği

\*  $C_0 = 100$  mg/L,  $V = 0,1$  L,  $pH = 5,47$ ,  $m = 0,1$  g,  $T = 25$  °C

**Çizelge 4.72.** Karıştırma hızı için 1. derece kinetik için değerler

| K.H. (rpm) | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 150        | 0,0581                     | 101,73                             | 86,53                            | 0,9889 |
| 200        | 0,053                      | 87,35                              | 89,51                            | 0,9301 |
| 250        | 0,0542                     | 87,61                              | 86,68                            | 0,9427 |
| 300        | 0,048                      | 99,29                              | 85,57                            | 0,9899 |

**e) Aktif karbon 1. derece kinetik ile pH incelenmesi****Şekil 4.41.** pH için 1. derece kinetik grafiği

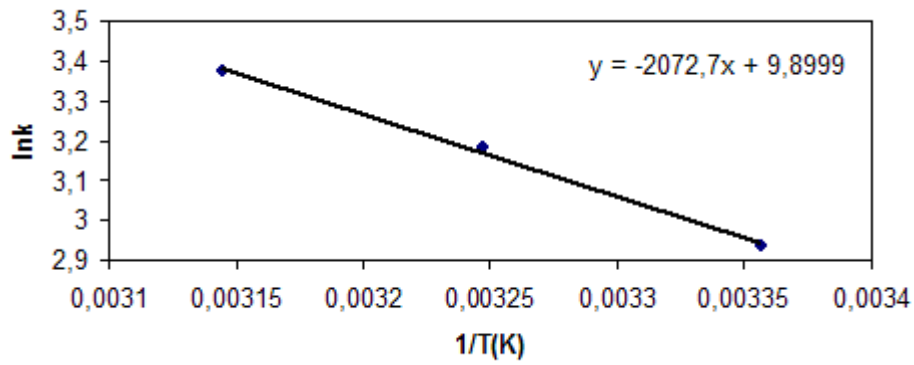
\*  $C_0 = 100$  mg/L,  $V = 0,1$  L, K.H.=200 rpm,  $m = 0,1$  g,  $T = 25$  °C

**Çizelge 4.73.** pH için 1. derece kinetik için değerler

| pH   | $k_1$ (dak <sup>-1</sup> ) | $q_{e,cal}$ (hesaplanan)<br>(mg/g) | $q_{e,exp}$ (deneysel)<br>(mg/g) | $R^2$  |
|------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 3    | 0,0771                     | 86,38                              | 91,58                            | 0,9893 |
| 5,47 | 0,0863                     | 79,92                              | 92,72                            | 0,9198 |
| 6    | 0,0555                     | 70,67                              | 84,92                            | 0,9607 |
| 7    | 0,0361                     | 86,90                              | 75,98                            | 0,9676 |

#### 4.6.3. Aktif karbon için aktivasyon enerjisi incelenmesi

(Çizelge 4.49) ve (Çizelge 4.69) görüldüğü gibi aktif karbon sıcaklık için 1. derece kinetiğe daha uygun olduğundan 1. derece kinetiğin  $k_1$  (1/dak.) değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4.42. Arrhenius grafiği

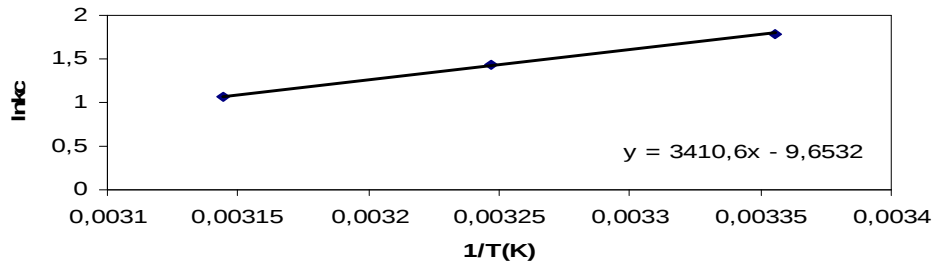
Çizelge 4.74. A ve Ea değerleri

| A        | Ea            |
|----------|---------------|
| 19928,37 | 17.232 kJ/mol |

Aktivasyon enerjisi (Ea) 5-40 kJ/mol aralığında olduğundan adsorpsiyon fizikseldir, 40-800 kJ/mol aralığında olduğunda adsorpsiyon kimyasaldır (Karaoğlu *et al.* 2010).

#### 4.6.4. Aktif karbon termodinamik incelenmesi

Aktif karbon 1. derece kinetiğe uyduğundan  $k_c$  sıcaklığın 1. derece kinetiğe göre alınır hesaplara göre;  $k_{c25} = 5,983$ ,  $k_{c35} = 4,161$ ,  $k_{c45} = 2,913$



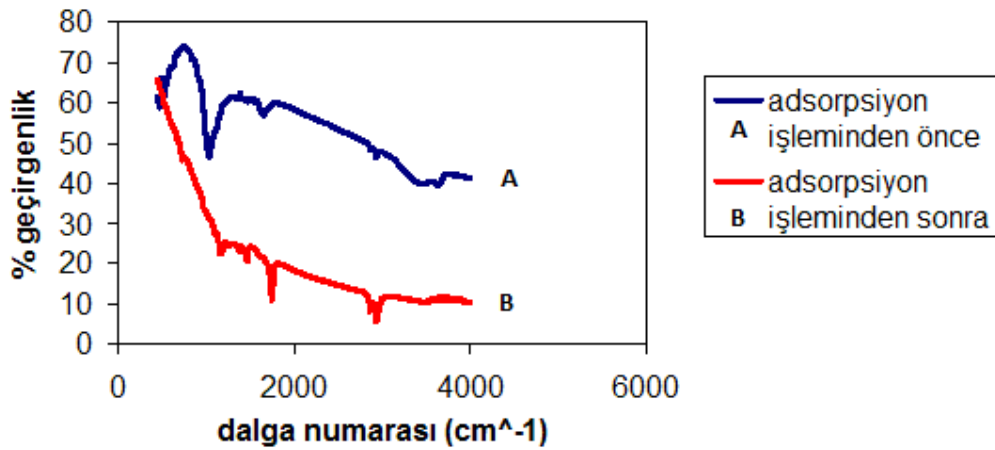
**Şekil 4.43.** LN  $k_c$  ye karşılık  $1/T$  grafiği

Grafik hesaplamalarına göre  $\Delta H = - 28,356$  kJ/mol,  $\Delta H$ 'ın negatif değerde olması işlemin ekzotermik (ısı veren) olduğunu gösterir.

Aynı şekilde  $\Delta S = 80,256$  kJ/mol K,  $\Delta S$ 'nin büyük olması maddenin dağınık ve enerjinin düşük olduğu anlamına gelir bu da adsorpsiyon işleminde istenilen bir durumdur.

$\Delta G_{25^\circ\text{C}} = -23944,644$  kJ /mol,  $\Delta G_{35^\circ\text{C}} = -24747,204$  kJ /mol,  $\Delta G_{45^\circ\text{C}} = -25549,764$  kJ /mol,  $\Delta G$ 'nin negatif olması maddenin daha rahat adsorbe ettiğini gösterir.

#### 4.7. Fındık kabuğu FITR Analizi



**Şekil 4.44.** Fındık kabuğu için FITR grafiği

**Çizelge 4.75.** Fındık kabuğu FTIR değerleri

| IR pik | Değerler           |                     |            |                               |
|--------|--------------------|---------------------|------------|-------------------------------|
|        | Adsorpsiyon öncesi | Adsorpsiyon sonrası | Fark       | Fonksiyonel Gruplar           |
| 1      | 3609               | Kayıp               | Bilinmiyor | Bağlı –OH grubu               |
| 2      | 2917               | 2919                | +2         | CH gerilimi                   |
| 3      | 2838               | 2850                | +12        | CH gerilimi                   |
| 4      | 1619               | 1739                | +120       | Karbonil [C=O] gerilimi       |
| 5      | 1518               | 1454                | -64        | Karboksilat grubu             |
| 6      | 1407               | 1345                | -62        | Karboksilat grubu             |
| 7      | 829                | 719                 | -110       | Aromatik –CH bileşen gerilimi |
| 8      | 600                | Kayıp               | Bilinmiyor | Aromatik –CH bileşen gerilimi |

Çizelge 4.74 belirtildiği üzere rastgele seçilen 8 farklı piklerde kayıp ve farklar incelenmiştir. Adsorpsiyon işlemi 3609, 1518, 1407, 829, 600 piklerinde gerçekleşmiştir. Adsorpsiyon işlemi özellikle eksi değerlikli ve kayıplarda daha çoktur (Malkoç 2007).

#### 4.8. Fındık kabuğu Zeta Potansiyeli İncelenmesi

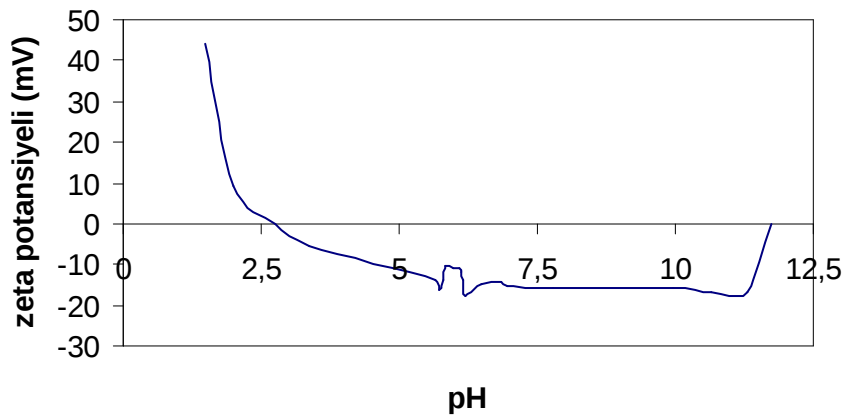
##### 4.8.1. Denge pH

Farklı pH aralıklarında 0,1 g fındık kabuğu ilave edilip 200 rpm de 120 dakika karıştırma sonucunda denge pH'ları verilmiştir.

İşlemden önce pH lar: 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0, 7,5, 8,0, 8,5, 9,0, 9,5, 10,0, 10,5, 11,0, 11,5, 12,0 iken;

İşlemden sonra pH lar sırasıyla: 1,63, 1,97, 2,74, 3,38, 5,65, 5,73, 5,8, 5,98, 6,08, 6,13, 6,17, 6,21, 6,48, 6,84, 6,94, 7,78, 9,95, 10,66, 11,32 olmuştur.

##### 4.8.2. Zeta potansiyeli (zP)



Şekil 4.45. Zeta potansiyeli (zP)

Şekil 4.45 de görüldüğü gibi fındık kabuğunun pH 2,74 ile pH 11,74 de izoelektrik noktaları olduğu tespit edilmiştir. Bu noktalarda ‘+’ veya ‘-’ yüklü iyonlar çok iyi adsorbe edilir (Demirbaş 2009).

## 5. SONUÇ

- Fındık kabuğu ve Aktif Karbon,  $R^2$  1'e daha yakın olduğundan adsorplanan madde Langmuir izotermine uymuştur (Çizelge 4.4) (Çizelge 4.12).
- Adsorpsiyon işleminde fındık kabuğu miktarı arttıkça yağ giderim verimi artmıştır, verim % 87,544 dir. Buna karşın birim adsorbent başına tutulan adsorbat miktarı azalmıştır (Çizelge 4.5).
- Fındık kabuğu adsorpsiyon çalışmasında ortam pH'sı düştükçe adsorpsiyon verimi artmıştır, verim pH=3 te % 91,9425 olmuştur (Çizelge 4.6).
- Fındık kabuğu adsorpsiyon çalışmasında karıştırma hızı 200 rpm optimum değer olduğu görülmüştür. Bu değerde verim %83,544 dir (Çizelge 4.7).
- Fındık kabuğu kullanıldığında sıcaklık düştükçe adsorpsiyon verimi artmıştır, verim %83,544 dir (Çizelge 4.8).
- Adsorpsiyon işleminde aktif karbon miktarı arttıkça adsorplanan yağ miktarı daha fazladır, verim % 77,044 dir (Çizelge 4.13).
- Aktif karbon adsorpsiyon çalışmasında ortam pH'sı düştükçe adsorpsiyon verimi artmıştır, verim % 83,9325 olmuştur (Çizelge 4.14).
- Aktif karbon adsorpsiyon çalışmasında karıştırma hızı 200 rpm optimum değer olduğu görülmüştür bu değerde verim %73,391 dir (Çizelge 4.15).

- Aktif karbon adsorpsiyon çalışmasında sıcaklık düştükçe değer verim artmıştır, verim %73,391 olmuştur (Çizelge 4.16).
- Aynı şartlar altında 45 dakika sonunda aktif karbon verimi %85,679 iken, fındık kabuğu için %75,026'dır.
- Aynı şartlar altında 120 dakika sonunda aktif karbon verimi %89,513 iken, Fındık kabuğu için %89,143'tür.
- Fındık kabuğu ve aktif karbon için yapılan kinetik çalışmalarında 1. mertebe için  $q_e$  (hesaplanan) ve  $q_e$  (deneysel) birbirine çok yakın ve  $R^2$  1'e daha yakın olduğundan iki adsorbentte 1. derece kinetiğe uymuştur.
- (Çizelge 4.20) ve (Çizelge 4.40) görüldüğü gibi fındık kabuğu sıcaklık için 1. derece kinetiğe daha uygun olduğundan 1. derece kinetiğin  $k_1$  (1/dak.) değerleri kullanılmıştır ve arrhenius grafiğinden aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) 28.906 kJ/mol bulunmuştur. Bu değer işlemin fiziksel olduğunu göstermiştir.
- Fındık kabuğu ile termodinamik çalışması grafik hesaplamalarına göre  $\Delta H = - 9,117$  kJ/mol olup,  $\Delta H$  'ın negatif değerde olması işlemin ekzotermik (ısı veren) olduğunu göstermektedir.
- Fındık kabuğu gibbs denklemi ve grafik incelemesine göre  $\Delta S = 277,986$  kJ/mol K bulunmuştur,  $\Delta S$  'nin pozitif değerde olması adsorpsiyon işleminin dağınık ve enerjinin düşük olduğu göstermiştir.
- Yapılan gibbs hesaplamalarına göre;  $\Delta G_{25^\circ C} = -82848,945$  kJ/mol,  $\Delta G$  'nin negatif olması fındık kabuğunu için adsorpsiyonun kolay olduğunu göstermiştir.

- Yapılan gibbs hesaplamalarına göre ;  $\Delta G_{35^{\circ}\text{C}} = -85628,805 \text{ kJ/mol}$   $\Delta G$  'nin negatif olması fındık kabuğunu için adsorpsiyonun kolay olduğunu göstermiştir.
- Yapılan gibbs hesaplamalarına göre;  $\Delta G_{45^{\circ}\text{C}} = -88408,665 \text{ kJ/mol}$   $\Delta G$  'nin negatif olması fındık kabuğunu için adsorpsiyonun kolay olduğunu göstermiştir.
- (Çizelge 4.49) ve (Çizelge 4.69) görüldüğü gibi aktif karbon sıcaklık için 1. derece kinetiğe daha uygun olduğundan 1. derece kinetiğin  $k_1$  (1/dak.) değerleri kullanılmıştır ve arrhenius grafiğinden aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) 17.232 kJ/mol bulunmuştur. Bu değer işlemin fiziksel olduğunu göstermiştir.
- Aktif karbon ile termodinamik çalışmasında grafik hesaplamalarına göre  $\Delta H = -28,356 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H$  'ın negatif değerde olması işlemin ekzotermik (ısı veren) olduğunu göstermiştir.
- Aktif karbon gibbs denklemi ve grafik incelemesine göre  $\Delta S = 80,256 \text{ kJ/mol K}$  bulunmuştur,  $\Delta S$  'nin pozitif değerde olması adsorpsiyon işleminin dağınık ve enerjinin düşük olduğu göstermiştir.
- Yapılan gibbs hesaplamalarına göre;  $\Delta G_{25^{\circ}\text{C}} = -23944,644 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta G$  'nin negatif olması aktif karbon için adsorpsiyonun kolay olduğunu göstermiştir.
- Yapılan gibbs hesaplamalarına göre ;  $\Delta G_{35^{\circ}\text{C}} = -24747,204 \text{ kJ/mol}$   $\Delta G$  'nin negatif olması aktif karbon için adsorpsiyonun kolay olduğunu göstermiştir.
- Yapılan gibbs hesaplamalarına göre;  $\Delta G_{45^{\circ}\text{C}} = -25549,764 \text{ kJ/mol}$   $\Delta G$  'nin negatif olması aktif karbon için adsorpsiyonun kolay olduğunu göstermiştir.

- Fındık kabuğu FİTR analiz sonucuna göre 3609, 1518, 1407, 829, 600 pik değerlerinde adsorpsiyon işlemi gerçekleşip ortamdan; Bağlı –OH grubu, Karboksilat grubu ve Aromatik –CH bileşen gerilimi olan grup tutulmuştur.
- Fındık kabuğu Zeta Potansiyeli çalışması sonucunda pH 2,74 ile pH 11,74 de iki tane izoelektrik noktası tespit edilmiştir ve bu noktalarda adsorpsiyon verimi yüksektir.
- Sonuç olarak yağ-gres gideriminde masraflı olan aktif karbon yerine ucuz ve bol bulunan fındık kabuğu kullanımının daha uygun görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ahmad, A.L., Sumathi, S., Hameed, B.H., 2005. Residual oil and suspended solid removal using natural adsorbents chitosan, bentonite and activated carbon: a comparative study. *Chemical Engineering Journal* 108, 179–185.
- Aksu, Z. and Kutsal T., 1986. The microorganism usage in waste water treatment containing heavy metal ions. *Çevre*, 2, 5-10.
- Aksu, Z., 2001. Equilibrium and Kinetic Modelling of Cadmium(II) Biosorption by *C. vulgaris* in a Batch System: effect of temperature, Separation and Purification Technology, 21, 285-294.
- Alkan, M. and Doğan, M., 2001. Adsorption of Copper(II) onto Perlite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 243 (2), p 280-291.
- Alkan, M., Karadaş, M., Doğan, M. and Demirbaş, Ö., 2005. Adsorption of CTAB onto perlite samples from aqueous solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 294 (2), p 309-318.
- Anonim, 1988. Su Kirliliği Yönetmeliği, Resmi Gazete, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- Anonim, 1991. Türkiye'nin Çevre Sorunları Vakfı Yayınları. 481 s, Ankara.
- Bagreev, A. and Bandosz T.J., 2001. H<sub>2</sub>S adsorption / oxidation on unmodified activated carbons: importance of prehumidification. *Carbon*, 39 (2001), 2303-2311.
- Bayhan, Y.K., 1996. Çapraz akış mikrofiltasyon sistemi kullanılarak *S.cerevisiae* ile endüstriyel atık sulardan ağır metal giderimi. Doktora Tezi, A.Ü., Fen bilimleri Ens., Çevre Müh. Anabilim Dalı, 117 s, Erzurum.
- Benfield, L.D., Judkins JR, J.F. and Weand B.L., 1982. Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment. Englewood Cliffs, 433-435 p, New Jersey.
- Benguella, B. and Benaissa, H., 2002. Cadmium removal from aqueous solutions by chitin: kinetic and equilibrium studies. *Wat. Res.* 36, 2463-2474.
- Bernardo, E.C., Egashira, R. and Kawasaki, J., 1997. Decolorization of molasses wastewater using activated carbon prepared from cane bagasse. *Pergamon* 1997; 35: 1217-1221.
- Chu, H.C. and Chen, K.M., 2002. Reuse of activated sludge biomass: II. The rate processes for the adsorption of basic dyes on biomass. *Process Biochem* 2002; 37: 1129-34.

- Çepel, N., 1983. Genel Ekoloji. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın no. 3155, O.F. Yayın no. 352, s155, İstanbul.
- Çuhadar, Ç., 2005. Production and Characterization of Activated Carbon From Hazelnut Shell And Hazelnut Husk. MS Thesis, Middle East Technical University, Ankara
- Demirbas, E., Dizge N., Sulak M.T. and Kobya M, 2009. Adsorption kinetics and equilibrium of copper from aqueous solutions using hazelnut shell activated carbon. Chemical Engineering Journal, 148 (2009), 480-487.
- Doğan, M., 2001. Sılu ortamda perlitin yüzey yükünün ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Balıkesir Ü., Fen Bilimleri Ens., Balıkesir.
- Dökmeci, İ., 1999. Toksikoloji. Nobel Tıp Kitapevleri, (3. baskı), s 339, 346, 488-501.
- Ekmekyapar, F., 2004. Bakır ve kurşun iyonlarının *Cladonia rangiformis* Hoffm. ile biyosorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Ens., Çevre Müh. Anabilim Dalı, Erzurum.
- Ekmekyapar, Z., 2009. Doğal ve işleme tabi tutulmuş adsorbentler ile atıksulardan ağır metal giderimi. Yüksek Lisans Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Ens., Çevre Müh. Anabilim Dalı, Erzurum.
- Günden, Ü., Uysaler, K., 2004, Ceviz kabununun Cr (VI) adsorpsiyonunda Kullanılabilirliği, Bitirme Çalışması. CBÜ Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü. Manisa.
- Gündüz, T., 1994. Çevre Sorunları. Bilge Yayıncılık, 200 s, Ankara.
- Hassler, J. W., 1974. Purification with activated carbon: Chemical Publishing Co., USA, p 390.
- House, J.E., 1997. Principles of Chemical Kinetics. Wm. C.Brown Publishers, p 117-118, USA.
- İleri, R., 2000. Çevre Biyoteknolojisi. Sakarya Üni., Çevre Mühendisliği Bölümü, I. Baskı, 501, 504, 661 s, Adapazarı.
- Kadirvelu, K., Kavipriya M., Karthika C., Vennilamani N. and Pattabhi S., 2004. Mercury (II) adsorption by activated carbon made from sago waste. Carbon, 42 (2004), 745-752.
- Karaoğlu, M. H., Doğan M., Alkan M., 2010. Kinetic analysis of reactive blue 221 adsorption on kaolinite. Desalination 256 (2010), 154-165.

- Karpuzcu, M., 1984. Çevre Mühendisliğine Giriş, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Karpuzcu, M., 1991. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü. Kubbealtı Dizgi Merkezi, İstanbul, (üçüncü baskı), s 8, 16, 96-97, 296-301.
- Keskinler, B., Çakıcı A. Ve Yıldız E., 1994. Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Prosesler. A.Ü., Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Böl., Ders Notları No:35, 356 s, Erzurum.
- Langergen, S.K., 1898. Sven Vetenskapsakad Handl, 24(4),1-39.
- Malkoc, E., Nuhoglu, Y. 2007. Determination of kinetic and equilibrium parameters of the batch adsorption of Cr(VI) onto waste acorn of *Quercus ithaburensis*, Chemical Engineering and Processing, 46, 1020–1029.
- McKay, G., Otterburn, M.S. and Aga, A.J., 1985. Water, Air and Soil Pollution. 24, 307, USA.
- Metcalf, L. and Eddy H. P., 1972. Waste Water Engineering. Mac Graw-Hill, Inc., 346-353 p, USA.
- Metcalf, L. and Eddy H. P., 1991. Waste Water Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. Mac Graw-Hill, Inc., 3. Ed./ Revised by Tchobanoglous, G. And Burton, F.L., 1334 p, USA.
- Moon, C.J. and Lee J.H., 2005. Use of curdlan and activated carbon composed adsorbents for heavy metal removal. Process Biochemistry, 40, 1279-1283.
- Pekin, B., 1983. Biyokimya Mühendisliği (Biyoteknoloji). Ege Üni., Kimya Fak. Yayınları No:3, 409 s, İzmir.
- Ross, S. and Oliver, J.P., 1964. On Physical Adsorption: John Wiley and Sons, USA, p 9-11, 17-18, 126-127.
- Rubin, A.J. and Mercer, D.L., 1981. in “Adsorption of Inorganic Solid-Liquid Interfaces”. Ann Arbor, p 295-348, MI.
- Ruthven, D.W., 1984. Principles of Adsorption, John Wiley and Sons, New York.
- Samsunlu, A., 1999. Çevre Mühendisliği Kimyası. İstanbul Teknik Üniversitesi. Sayfa 359-365. İstanbul.

- Sağ, Y., 1993. Atıksulardaki ağır metal iyonlarının giderilmesi ve geri kazanılması için en uygun biyosorbent türünün seçilmesi ve değişik reaktör sistemlerinin matematiksel incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üni., Fen Bil. Ens., Kimya Müh. Anabilim Dalı, Ankara.
- Srinivasan, A., Viraghavan, T., 2010. Oil removal from water using biomaterials. *Biosource Tecnology*, Volume 101, Issue 17, p 6594-6600
- Şengül, F., Küçükgül Y.E., 1998. Çevre Mühendisliğinde Fiziksel Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, Müh. Mim. Fak. Yayın Bürosu, 162-165, İzmir.
- Taner, F., Karaaslan, S., Ünyayar, A., Öztürk, F.F., Mazmancı, M.A., Nalçacı, O.B. ve Urgun. M., 1995. Özmaya fabrikası atıksuların anaerobik arıtımının araştırılması. Çevre Sempozyumu, s 103-110, Erzurum.
- Temizel, S., 1988. Damlatmalı filtrelerde metal zehirliliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bil. Ens., Trabzon.
- Tünay, O., 1996a. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul.
- Tünay, O., 1996b. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler, 1. Baskı, İ.T.Ü. Basımevi, İstanbul.
- Ucun, H., Bayhan, Y.K. and Kaya Y., 2008. Kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of Cr(VI) by *Pinus sylvestris* Linn. *Journal of Hazardous Materials* 153 (2008), 52–59.
- Uyanık, A., 2011. Aktif Karbon Nedir?. <http://www.kimyaevi.org> (20.06.2011)
- Volesky, B., 2000. Biosorption of Heavy Metals. CRC Press, Inc., 296 p, Florida, USA.
- Volesky, B., 2001. Detoxification of metal-bearing effluents: Biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*, 59 (2-3), p 203-216.
- Weber, J.R., 1972. Physicochemical processes for water quality control. Wiley-Interscience, 640 p, USA.

## **ÖZGEÇMİŞ**

02.05.1986 tarihinde İSVİÇRE’de doğdu. Orta ve lise öğrenimini Ordu’da tamamladı. 2004 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2008 yılında mezun oldu. Ekim 2009 tarihinde Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen devam etmektedir.