



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ALFA HİDROKSİ ASİTLERİN ADSORPSİYONLARININ
İNCELENMESİ**

İrem İLALAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. İsmail İNCİ**

Mayıs, 2017

İSTANBUL

Bu çalışma 22.05.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Temel İşlemler ve Termodinamik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



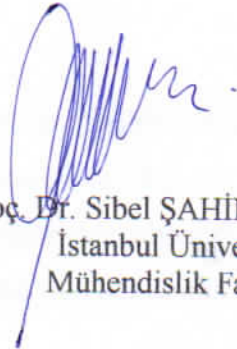
Prof. Dr. İsmail İNCİ (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Mehmet BİLGİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Tülin Banu İYİM
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Sibel ŞAHİNLER AYLAK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Fatma Jale GÜLEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya-Metalurji Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 22620 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, her türlü yardım ve desteği sağlayan değerli hocam Prof. Dr. İsmail İNCİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Tez dönemim boyunca çalışmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarıyla tezimi hazırlamamda yardımcı olan Arş. Gör. Nilay BAYLAN'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteğini benden esirgemeyen, her anımda yanımda olan günlere gelmemi sağlayan aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2017

İrem İLALAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|--|----------|
| ÖNSÖZ..... | iv |
| İÇİNDEKİLER | v |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | viii |
| TABLO LİSTESİ | xi |
| SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ | xv |
| ÖZET..... | xvi |
| SUMMARY | xviii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. GENEL KISIMLAR | 2 |
| 2.1. ADSORPSİYON | 2 |
| 2.2. ADSORPSİYON TÜRLERİ | 3 |
| 2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon..... | 4 |
| 2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon..... | 4 |
| 2.2.3. Değişim Adsorpsiyonu..... | 4 |
| 2.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ..... | 5 |
| 2.3.1. Langmuir İzotermi | 5 |
| 2.3.2. Freundlich İzotermi..... | 6 |
| 2.3.3. Temkin İzotermi..... | 7 |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM | 9 |
| 3.1. KARBON NANOTÜPLER..... | 9 |
| 3.1.1. Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler | 10 |
| 3.1.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler..... | 11 |
| 3.2. KARBON NANOTÜPLERİN ÖZELLİKLERİ..... | 11 |
| 3.2.1. Fiziksel Özellikler | 11 |
| 3.2.2. Elektronik Özellikler..... | 12 |
| 3.2.3. Mekanik Özellikler | 12 |
| 3.2.4. Isısal Özellikler | 12 |
| 3.2.5. Kimyasal Özellikler | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.6. Karbon Nanotüplerin Adsorpsiyon Özellikleri..... | 13 |
| 3.3. AMBERLİTE IRA-67 | 14 |
| 3.4. KARBOKSİLİK ASİTLER..... | 14 |
| 3.4.1. Alfa Hidroksi Asitler..... | 15 |
| 3.4.1.1. Laktik Asit..... | 15 |
| 3.4.1.2. Malik Asit | 17 |
| 3.4.1.3. Tartarik Asit | 18 |
| 3.5. DENEYSEL YÖNTEM..... | 20 |
| 4. BULGULAR | 21 |
| 4.1. ADSORPSİYON DENEMELERİ..... | 21 |
| 4.1.1. Laktik Asidin MWCNT ile Adsorpsiyonu..... | 21 |
| 4.1.1.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi | 21 |
| 4.1.1.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi..... | 22 |
| 4.1.1.3. Farklı MWCNT Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi..... | 23 |
| 4.1.2. Laktik Asidin Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu..... | 24 |
| 4.1.2.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi | 24 |
| 4.1.2.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi..... | 25 |
| 4.1.2.3. Farklı Amberlite IRA-67 Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi..... | 26 |
| 4.1.3. Malik Asidin MWCNT ile Adsorpsiyonu..... | 27 |
| 4.1.3.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi | 27 |
| 4.1.3.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi..... | 28 |
| 4.1.3.3. Farklı MWCNT Miktarlarının Adsorpsiyonuna Etkisi..... | 29 |
| 4.1.4. Malik Asidin Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu..... | 30 |
| 4.1.4.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi | 30 |
| 4.1.4.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi..... | 31 |
| 4.1.4.3. Farklı Amberlite IRA-67 Miktarlarının Adsorpsiyonuna Etkisi..... | 32 |
| 4.1.5. Tartarik Asidin MWCNT ile Adsorpsiyonu | 33 |
| 4.1.5.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi | 33 |
| 4.1.5.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi..... | 34 |
| 4.1.5.3. Farklı MWCNT Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi..... | 35 |
| 4.1.6. Tartarik Asidin Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu | 36 |
| 4.1.6.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi | 36 |
| 4.1.6.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi..... | 37 |
| 4.1.6.3. Farklı Amberlite IRA-67 Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi..... | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ..... | 39 |
| 4.2.1. Laktik Asidin MWCNT Adsorpsiyonu İzotermi..... | 40 |
| 4.2.2. Laktik Asidin Amberlite IRA-67 Adsorpsiyonu İzotermi..... | 43 |
| 4.2.3. Malik Asidin MWCNT Adsorpsiyonu İzotermi..... | 46 |
| 4.2.4. Malik Asidin Amberlite IRA-67 Adsorpsiyonu İzotermi..... | 49 |
| 4.2.5. Tartarik Asidin MWCNT Adsorpsiyonu İzotermi..... | 53 |
| 4.2.6. Tartarik Asidin Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu | 56 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ..... | 61 |
| KAYNAKLAR..... | 63 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 67 |



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

| | |
|--|----|
| Şekil 3.1: a) SWCNT b) MWCNT c) Çift Katmanlı Karbon Nanotüp d) Fulleren içeren tek duvarlı karbon nanotüp..... | 10 |
| Şekil 3.2: Zigzag (12,0) , Koltuk (6,6) ve Kiral (6,4) Karbon Nanotüpler [31]. | 11 |
| Şekil 3.3: Çok duvarlı karbon nanotüp yapısı. | 11 |
| Şekil 3.4: Karbon nanotüplerin demetlerinde bulunan adsorpsiyon alanları (a) İç , (b) Dış, (c) Dış oluk, (d) Nanotüpler arası..... | 13 |
| Şekil 3.5: Laktik asit. | 15 |
| Şekil 3.6: Laktik asidin genel kullanım alanları [40]. | 17 |
| Şekil 3.7: Tartarik asit..... | 18 |
| Şekil 3.8: Tartarik asidin sentezlenme mekanizması [45]. | 19 |
| Şekil 4.1: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi. | 22 |
| Şekil 4.2: Laktik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 23 |
| Şekil 4.3: Farklı MWCNT miktarlarının laktik asit adsorpsiyonuna etkisi. | 24 |
| Şekil 4.4: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi. ... | 25 |
| Şekil 4.5: Laktik asidin başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi. | 26 |
| Şekil 4.6: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının laktik asit adsorpsiyonuna etkisi.... | 27 |
| Şekil 4.7: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi. | 28 |
| Şekil 4.8: Malik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 29 |
| Şekil 4.9: Farklı MWCNT miktarlarının malik asit adsorpsiyonuna etkisi. | 30 |
| Şekil 4.10: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi ... | 31 |
| Şekil 4.11: Malik asidin başlangıç konsantrasyonunun değişiminin adsorpsiyonun üzerine etkisi. | 32 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.12: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının malik asit adsorpsiyona etkisi..... | 33 |
| Şekil 4.13: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi..... | 34 |
| Şekil 4.14: Tartarik asidin başlangıç konsantrasyonun değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 35 |
| Şekil 4.15: Farklı MWCNT miktarlarının tartarik asit adsorpsiyonuna etkisi. | 36 |
| Şekil 4.16: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi..... | 37 |
| Şekil 4.17: Tartarik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 38 |
| Şekil 4.18: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının tartarik asit adsorpsiyonuna etkisi..... | 39 |
| Şekil 4.19: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi. | 41 |
| Şekil 4.20: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi.... | 41 |
| Şekil 4.21: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi..... | 41 |
| Şekil 4.22: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 43 |
| Şekil 4.23: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi. | 44 |
| Şekil 4.24: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi. | 44 |
| Şekil 4.25: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi. | 44 |
| Şekil 4.26: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 46 |
| Şekil 4.27: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi. | 47 |
| Şekil 4.28: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi.... | 48 |
| Şekil 4.29: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi..... | 48 |
| Şekil 4.30: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 49 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.31: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi. | 51 |
| Şekil 4.32: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi. | 51 |
| Şekil 4.33: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi. | 51 |
| Şekil 4.34: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 53 |
| Şekil 4.35: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi ... | 54 |
| Şekil 4.36: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm ... | 54 |
| Şekil 4.37: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi. | 55 |
| Şekil 4.38: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 56 |
| Şekil 4.39: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi. | 58 |
| Şekil 4.40: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi. | 58 |
| Şekil 4.41: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi. | 58 |
| Şekil 4.42: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 60 |

TABLO LİSTESİ

| | Sayfa No |
|---|----------|
| Tablo 3.1: Amberlite IRA-67'nin önemli özellikleri. | 14 |
| Tablo 3.2: Laktik asidin fiziksel ve kimyasal özellikleri. | 16 |
| Tablo 3.3: Malik asidin fizikokimyasal özellikleri. | 18 |
| Tablo 3.4: Tartarik asidin fizikokimyasal özellikleri. | 19 |
| Tablo 4.1: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi..... | 22 |
| Tablo 4.2: Laktik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 23 |
| Tablo 4.3: Farklı MWCNT miktarlarının laktik asit adsorpsiyonuna etkisi. | 24 |
| Tablo 4.4: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi...25 | 25 |
| Tablo 4.5: Laktik asit başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi. | 26 |
| Tablo 4.6: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının laktik asit adsorpsiyona etkisi27 | 27 |
| Tablo 4.7: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi. | 28 |
| Tablo 4.8: Malik asidin başlangıç konsantrasyonun değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 29 |
| Tablo 4.9: Farklı MWCNT miktarlarının malik asit adsorpsiyonuna etkisi. | 30 |
| Tablo 4.10: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonla zamanla değişimi..... | 31 |
| Tablo 4.11: Malik asidin başlangıç konsantrasyonun değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 32 |
| Tablo 4.12: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının malik asit adsorpsiyonuna etkisi. | 33 |
| Tablo 4.13: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi. | 34 |
| Tablo 4.14: Tartarik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 35 |
| Tablo 4.15: Farklı MWCNT miktarlarının tartarik asit adsorpsiyonuna etkisi..... | 36 |

| | |
|---|----|
| Tablo 4.16: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi. | 37 |
| Tablo 4.17: Tartarik asidin başlangış konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi. | 38 |
| Tablo 4.18: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının Tartarik asit adsorpsiyonuna etkisi. | 39 |
| Tablo 4.19: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler. | 40 |
| Tablo 4.20: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler. | 40 |
| Tablo 4.21: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler. | 40 |
| Tablo 4.22: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri. | 42 |
| Tablo 4.23: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 42 |
| Tablo 4.24: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri. | 43 |
| Tablo 4.25: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri. | 43 |
| Tablo 4.26: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri. | 45 |
| Tablo 4.27: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri. | 45 |
| Tablo 4.28: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 45 |
| Tablo 4.29: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri. | 46 |
| Tablo 4.30: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri. | 47 |
| Tablo 4.31: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri. | 47 |

| | |
|--|----|
| Tablo 4.32: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri. | 48 |
| Tablo 4.33: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 49 |
| Tablo 4.34: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri. | 50 |
| Tablo 4.35: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri. | 50 |
| Tablo 4.36: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri. | 50 |
| Tablo 4.37: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri. | 52 |
| Tablo 4.38: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 52 |
| Tablo 4.39: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri. | 53 |
| Tablo 4.40: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri. | 53 |
| Tablo 4.41: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri. | 54 |
| Tablo 4.42: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri. | 55 |
| Tablo 4.43: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 56 |
| Tablo 4.44: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri. | 57 |
| Tablo 4.45: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri. | 57 |
| Tablo 4.46: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri. | 57 |
| Tablo 4.47: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri. | 59 |

| | |
|---|----|
| Tablo 4.48: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması. | 59 |
|---|----|



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Simgeler | Açıklama |
|----------------------|--|
| C₀ | : Başlangıç konsantrasyonu (mg L ⁻¹) |
| C_e | : Denge konsantrasyonu (mg L ⁻¹) |
| q_e | : Denge anında adsorplanan madde miktarı (mg g ⁻¹) |
| t | : Zaman (dak) |
| Q₀ | : Langmuir adsorpsiyon kapasitesi (mg/g) |
| b | : Langmuir izoterm sabiti |
| K_f | : Freundlich adsorpsiyon kapasitesi (L/g) |
| n | : Freundlich izoterm sabiti |
| K_t | : Temkin adsorpsiyon kapasitesi (L/g) |
| b_t | : Temkin izoterm sabiti |
| °C | : Celcius |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|----------------------------------|
| MWCNT | : Multi-walled carbon nanotubes |
| SWCNT | : Single-walled carbon nanotubes |
| ÇDKNT | : Çok duvarlı karbon nanotüp |
| TDKNT | : Tek duvarlı karbon nanotüp |

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALFA HIDROKSİ ASİTLERİN ADSORPSİYONLARININ İNCELENMESİ

İrem İLALAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. İsmail İNCİ

Alfa hidroksi asitler meyve asidi olarak bilinen doğal hidroksi asitlerdir. En bilinen örnekleri; süttten elde edilen laktik asit, elmadan elde edilen malik asit ve üzümde elde edilen tartarik asittir. Alfa hidroksi asitler, gıda endüstrisinde asitlendirici, tat verici, koruyucu, pH düzenleyici; kozmetik endüstrisinde nemlendirici ve katkı maddesi olarak; ilaç endüstrisinde koruyucu ve katkı maddesi olarak çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu asitler, yaygın olarak fermantasyon prosesleri sonucu sulu çözeltileri halinde elde edilmektedirler. Fermantasyon sonucu sulu çözeltileri halinde elde edilen alfa hidroksi asitlerin ayrılma ve saflaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Alfa hidroksi asitlerin sulu çözeltilerden adsorpsiyon yöntemiyle ayrılması, kullanılan adsorbanın türüne bağlı olarak diğer yöntemlere göre daha ekonomik ve etkin bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Adsorpsiyon işlemi iki fazı birbirinden ayıran ara yüzeylerde gerçekleşen bir tutunma olayıdır.

Bu tez çalışması kapsamında, fermantasyonla üretilen alfa hidroksi asitlerin sulu çözeltilerinden çeşitli adsorbanlarla (Çok Duvarlı Karbon Nanotüp ve Amberlite IRA-67) adsorplanarak giderilmesi incelenmiştir. Denemelerde adsorbanların dengeye gelme süreleri belirlendikten sonra, farklı adsorban miktarları ve başlangıç asit konsantrasyonlarının adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiştir. Adsorpsiyon

mekanizmasının aydınlatılması için Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerinin deney sonuçları ile olan uyumu araştırılmıştır.

Mayıs 2017, 87 sayfa.

Anahtar kelimeler: Amberlite IRA-67, çok duvarlı karbon nanotüp, alfa hidroksi asitler, adsorpsiyon



SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF ADSORPTIONS OF ALPHA HYDROXY ACIDS

İrem İLALAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Chemical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. İsmail İNCİ

Alpha hydroxy acids are natural hydroxy acids known as fruit acids. The best known examples are; lactic acid obtained from the milk, malic acid obtained from the apple and tartaric acid obtained from the grape. Alpha hydroxy acids has also very large using in different industrial applications such as acidifying, flavoring, preservative, pH regulator in the food industry; as a moisturizer and additive in the cosmetic industry; as preservatives and additives in the pharmaceutical industry. They are widely produced in aqueous solutions by fermentation processes. Recovery and concentration of alpha hydroxy acids from water have great importance.

Separation of alpha hydroxy acids from aqueous solutions by adsorption method is more economic and effective than the other methods depending on the type of adsorbent used. Adsorption can be known as a bonding event at the interfaces separating the two phases.

In this thesis study, the removal of alpha hydroxy acids by produced fermentation from its aqueous solutions using various adsorbents (Multi Walled Carbon Nanotube, Amberlite IRA-67) will be investigated. In the experiments, firstly, the equilibrium adsorption time was determined, and then, the effect of different adsorbent amount and initial lactic acid concentrations on adsorption was investigated. In order to describe the adsorption mechanism, the compatibility of the Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm models with the experimental results was investigated.

May 2017, 87 pages.

Keywords: Amberlite IRA-67, multi walled carbon nanotube, alpha hydroxy acids, adsorption



1. GİRİŞ

Alfa hidroksi asitler meyve asidi olarak bilinen doğal hidroksi asitlerdir. En bilinen örnekleri; süttten elde edilen laktik asit, elmadan elde edilen malik asit ve üzümde elde edilen tartarik asittir. Alfa hidroksi asitler, gıda endüstrisinde asitlendirici, tat verici, koruyucu, pH düzenleyici; kozmetik endüstrisinde nemlendirici ve katkı maddesi olarak; ilaç endüstrisinde koruyucu ve katkı maddesi olarak çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu asitler, kimyasal olarak elde edilebildiği gibi yaygın olarak mikroorganizmalar ile fermantasyon yöntemiyle sulu çözeltileri halinde elde edilirler. Bu nedenle alfa hidroksi asitlerin fermantasyon sonucu oluşan sulu çözeltilerinden ayrılma ve saflaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Alfa hidroksi asitlerin sulu çözeltilerinden ayrılması için genellikle sıvı-sıvı ekstraksiyon, ters osmoz, elektrodializ, ultrafiltrasyon, kimyasal çöktürme, iyon değiştiriciler ve adsorpsiyon vb. yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunun yüksek işletme ve yatırım maliyeti, yüksek enerji tüketimi ve proses aşamalarının karmaşık olması sebepleriyle asitlerin sulu çözeltilerinden ayrılmasında daha ekonomik yöntemlerin tasarlanması gerekmektedir. Alfa hidroksi asitlerin adsorpsiyon yöntemiyle ayrılması kullanılan adsorbanın türüne bağlı olarak daha ekonomik ve etkin bir ayırma yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, alfa hidroksi asitlerden laktik, malik ve tartarik asidin sulu çözeltilerinden adsorpsiyon yöntemi ile ayrılması incelenmiştir. Bu amaçla farklı türdeki adsorbanlar, Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (MWCNT) ve Amberlite IRA-67, kullanılarak adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir. Denemelerde adsorbanların dengeye gelme süreleri belirlendikten sonra, farklı adsorban miktarları ve başlangıç asit konsantrasyonlarının adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermi çizilmiş ve bu izoterm modellerinin deneysel verilerle olan uyumları belirlenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1.ADSORPSİYON

Adsorpsiyon; iki fazı birbirinden ayıran ara yüzeylerde meydana gelen derişim değişmesi olayıdır [1]. Diğer bir söylemle adsorpsiyon, taneciklerin bir yüzeye tutunması olayıdır. Bu tutunma olayı sıvı-katı, gaz-katı, sıvı-sıvı ve gaz-sıvı fazlarından oluşan ara yüzeylerde gerçekleşebilir. Yüzeye tutunan tanecikler iyon ya da molekül olabilir. Bu iyon ya da moleküllerin ara yüzeyde birikimi beklenir. Böylece sınır yüzeyde derişim değişmesi meydana gelmiş olur [2].

Adsorpsiyon işleminde adsorplayan faz adsorban olarak, adsorban tarafından adsorplanan faz ise adsorbat olarak adlandırılır. Adsorbatların adsorban yüzeyine tutunması adsorpsiyon, tutunan adsorbatların adsorban yüzeyinden ayrılması ise desorpsiyon olarak tanımlanır [2,3]. Adsorpsiyon aynı zamanda seçimsel bir olaydır. Bu seçimsellik olayını şuradan anlayabiliriz ki; aynı adsorban tarafından bazı maddeler çok, bazıları az adsorplanırken, bazıları ise hiç adsorplanmaz [4].

Atık su arıtımı, tat, koku, renk giderimi, ağır metal giderimi, nemin uzaklaştırılması, gaz karışımı içerisindeki karbondioksit, kükürt dioksit gibi safsızlıkların giderilmesi adsorpsiyonun sanayideki uygulamalarına örnek olarak verilebilir [5].

Adsorpsiyonu etkileyen başlıca faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Sıcaklık
- PH
- Derişim veya basınç
- Çalkalama hızı ve süresi
- Molekül büyüklüğü
- Adsorban ve adsorbatın kimyasal ve fiziksel yapısı

Adsorpsiyon genellikle ısı veren (ekzotermik) bir tepkimedir. Dolayısıyla artan sıcaklıkla adsorpsiyon kapasitesi azalır. Endotermik adsorpsiyonlarda ise artan sıcaklıkla adsorpsiyon kapasitesi artmaktadır [6].

pH ortamdaki H⁺ ve OH⁻ iyonlarının fonksiyonudur. Hidronyum ve hidroksil iyonları kuvvetli bir şekilde adsorplandıklarından başka iyonların adsorpsiyonunda pH değeri etkili olmaktadır [4]. Genel olarak asidik pH değerlerinde adsorban yüzeyi pozitif yüklendiğinden negatif yüklü iyonların adsorpsiyonu, bazik pH değerlerinde ise adsorban yüzeyi negatif yüklendiğinden pozitif yüklü iyonların adsorpsiyonu kolaylaşır. Organik asitler düşük pH değerlerinde, organik bazlar ise bazik pH değerlerinde daha çok adsorplanır. Metal iyonlarının adsorpsiyonu ise pH değeri attıkça artmaktadır [5].

Adsorpsiyon; gazlarda basınçla, çözeltilerde ise derişimle artmaktadır. Bu durum dengeye gelene kadar devam eder. Doygunluğa ulaşınca basınç veya derişimin artması adsorplanan madde miktarını etkilemez [4].

Çalkalama hızı ve süresi arttıkça adsorplanan ve adsorbanın çarpışma olasılığı ve süresi artacağından adsorpsiyon işlemi de artmaktadır [7].

Adsorpsiyon yüzeyde gerçekleşen bir olay olduğundan adsorbanın sahip olduğu yüzey alanı arttıkça daha fazla molekül tutunacak ve dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesi artacaktır [4].

Adsorbatın molekül büyüklüğü arttıkça, adsorban içine difüzyon hızı azalır. Bunun nedeni; adsorbatın molekül büyüklüğü arttıkça adsorbanın aktif merkezine ulaşma ihtimalinin azalmış olmasıdır [4].

Adsorbat moleküllerinin iyonizasyon derecesi de adsorpsiyonu etkileyen bir diğer parametredir. İyonizasyon, pH ile doğrudan orantılıdır ve nötr olan moleküller iyonlaşmış hallerine göre daha çok adsorplanırlar [1].

2.2. ADSORPSİYON TÜRLERİ

Adsorpsiyon işleminde adsorplanan ile adsorplayan madde arasında çekim kuvvetlerine bağlı olarak üç tür adsorpsiyon çeşidi bulunmaktadır.

2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyonda; adsorban ile adsorbat arasında zayıf Van der Waals kuvvetleri etkilidir. Ancak adsorbanla adsorbat arasında herhangi bir elektron alışverişi veya paylaşımı söz konusu değildir [8]. Fiziksel adsorpsiyon tersinir bir işlemdir. Bunun sebebi; adsorban yüzeyinde adsorbat moleküllerinin hareketli bir şekilde bulunmasıdır [9].

Fiziksel adsorpsiyonda gerekli olan adsorpsiyon ısısı 35 kJ/mol'ün altındadır [4]. Yani reaksiyon ısısı oldukça düşüktür ve herhangi bir aktivasyon enerjisi gerektirmemektedir. Böylece düşük sıcaklıklarda bile adsorpsiyon oldukça yüksek oranlarda gerçekleşir [10]. Fiziksel adsorpsiyon, tersinir olması ve düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen bir prosesdir [11].

2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyonda, adsorbat molekülleri adsorban yüzeyine Van der Waals kuvvetlerinden çok daha güçlü olan iyonik ya da kovalent bağlarla bağlanırlar. Adsorban molekülleriyle adsorplanan madde arasında elektron değişimi veya paylaşımı söz konusudur [12]. Kimyasal adsorpsiyon kimyasal tepkimelerle gerçekleştiğinden, adsorban ve adsorbat moleküllerinin kimyasal yapısı değişir. Bu sebeple kimyasal adsorpsiyon tersinmez bir işlem olup adsorban ve adsorbatın geri kazanımı söz konusu değildir [13].

Kimyasal adsorpsiyonda adsorpsiyon ısısı 35 kJ/mol'ün üzerindedir. Kimyasal adsorpsiyon aktivasyon enerjisi gerektirir ve gerçekleşmesi için fiziksel adsorpsiyona göre daha yüksek sıcaklık gerekir. Fiziksel adsorpsiyona kıyasla adsorplama kapasitesi daha düşüktür [4].

2.2.3. Değişim Adsorpsiyonu

İyonik adsorpsiyon olarak da bilinen değişim adsorpsiyonunun temelinde elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisiyle adsorban yüzeyindeki yüklü bölgelere iyonik özelliklere sahip adsorbatların tutunması şeklinde tanımlanabilir. Burada önemli olan adsorban ve adsorbat moleküllerinin iyon yükleri ve adsorbanın gözenek yapısıdır. Adsorbanla zıt yüke sahip olan iyonlardan yükü fazla olan ve iyon çapı küçük olan moleküller daha iyi

adsorplanır. İyonların aynı yükte olması halinde yüzey tarafından daha küçük iyon çapına sahip moleküller seçilir [12].

Adsorpsiyon sürecinin adsorpsiyon çeşitlerinden sadece bir tanesi ile açıklanması mümkün olmayabilir, bazı durumlarda bu adsorpsiyon çeşitleri birlikte veya ardışık da gerçekleşebilir.

2.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

Adsorpsiyon izotermi adsorpsiyon sürecini açıklamak amacıyla oluşturulmuş modellerdir. Adsorpsiyon izoterm modelleri, sabit sıcaklıkta adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ile adsorbatın denge konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. Adsorpsiyon izotermilerinden faydalanarak, adsorbatın yüzeyde yönelmesi, adsorbanın adsorbat moleküllerine olan ilgisi ve adsorbanın kapasitesi hakkında bilgi edinilir [14]. Adsorpsiyon işlemleri için literatürde çok sayıda izoterm modelleri bulunmaktadır [15-17]. Bu çalışmada, adsorpsiyon sürecini açıklamak amacıyla Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri kullanılmış ve bu izoterm modellerle ilgili bilgiler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.3.1. Langmuir İzotermi

Yüzey kimyası ile ilgili çalışmalarıyla tanınan Amerikalı Irwing Langmuir tarafından 1916 yılında geliştirilmiş olan bir izoterm modelidir. Genellikle kimyasal adsorpsiyonun açıklanmasında kullanılan Langmuir izoterm modeli, tek tabakalı fiziksel adsorpsiyonuna da uygulanabilir [18].

Langmuir izotermi aşağıda açıklanan bazı varsayımlar içermektedir [18-20]:

- Katı yüzeyindeki tüm noktalarda aynı adsorpsiyon aktivitesi bulunmaktadır, yani yüzey homojen enerjiye sahiptir.
- Adsorplanmış moleküller arasında karşılıklı etkileşim yoktur. Bu nedenle birim yüzeyde adsorplanmış madde miktarının adsorpsiyon hızına herhangi bir etkisi yoktur.
- Adsorpsiyon işlemi aynı mekanizmaya göre oluşur ve adsorplanmış kompleksler aynı yapıya sahiptir.

- Adsorpsiyon tek tabaka halinde oluşur ve maksimum adsorpsiyon, adsorban yüzeyine bağlanan moleküllerin doygun bir tabaka oluşturduğu andaki adsorpsiyondur.
- Desorpsiyon hızı sadece yüzeyde adsorplanmış madde miktarına bağlıdır.

Langmuir izoterm modeli katı-sıvı adsorpsiyon sistemleri için [21,22];

$$q_e = \frac{Q_0 * b * C_e}{1 + b * C_e} \quad (1.1)$$

denklemler ile gösterilir. Bu denklemlerde; q_e , birim miktar adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı (mg/g), C_e , adsorpsiyon sonrası çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L), Q_0 , birim ağırlıktaki adsorban yüzeyinin monomoleküler olarak tamamen dolması için gerekli olan adsorbat miktarı veya adsorbanın tek tabakada adsorpsiyon kapasitesi (mg/g), b , Langmuir sabitidir.

(1.1) numaralı denklem lineerleştirilirse (1.2) ve (1.3) numaralı denklemler elde edilir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b * Q_0} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (1.2)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_0} + \left(\frac{1}{b * Q_0} \right) * \left(\frac{1}{C_e} \right) \quad (1.3)$$

$1/q_e - 1/C_e$ veya $C_e/q_e - C_e$ grafikleri deneysel veriler kullanılarak çizilir ve bu grafiklerle adsorpsiyon sürecinin Langmuir izotermine uygun olup olmadığı belirlenir.

2.3.2. Freundlich İzotermi

1916 yılında Alman fizikokimyacı Herbert Max Finlay Freundlich tarafından homojen olmayan katı yüzey adsorpsiyonu için geliştirilmiş izoterm modelidir [23]. Langmuir modeline göre daha gerçekçidir. Langmuir izoterm modeli için yapılan kabullerin çoğu Freundlich izoterm modeli içinde geçerlidir. Sadece Langmuir izotermine adsorbatların tek tabakaya bağlandıkları ve tüm aktif merkezlerin adsorbatlara eşit ilgide olduğu kabul edilirken Freundlich izoterm modelinde bu kabule yer verilmemiştir [1,20]. Adsorban ile adsorbat arasında meydana gelen kimyasal adsorpsiyon Langmuir izotermi ile fiziksel adsorpsiyon ise Freundlich izotermi ile karakterize edilir [24].

Freundlich izoterm denklemleri katı-sıvı faz adsorpsiyonu için şu eşitlikle verilmektedir:

$$q_e = K_f * C_e^{\frac{1}{n}} \quad (1.4)$$

Burada; q_e , denge halinde birim ağırlıktaki adsorbanın adsorpladığı madde miktarı (mg/g), C_e , adsorbatın sıvı fazdaki derişimi (mg/L), K_f ve $1/n$ de Freundlich izoterm sabitleri olup sırasıyla adsorpsiyon kapasitesi ve yoğunluktur.

(1.4) numaralı denklem lineerleştirildiğinde;

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1.5)$$

$\log q_e - \log C_e$ grafiği deneysel datalardan yararlanılarak çizilir ve bu grafikten Freundlich sabitleri olan K_f ve n bulunur.

2.3.3. Temkin İzotermi

Temkin ve Pyzhev tarafından 1941 yılında adsorpsiyon ısısı ile adsorbat-adsorban etkileşimi arasındaki ilişkiyi açıklayan yeni bir izoterm modeli türetilmiştir [25]. Temkin izotermde adsorbanın her bir parçasının farklı adsorpsiyon enerjisine sahip olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca, adsorban yüzeyinin birbiriyle etkileşim halinde bulunan birçok parçadan meydana geldiği ve her parçanın kendi içerisinde homojen yapıda olup Langmuir modeli özelliği taşıdığı kabul edilir [26].

Temkin izoterm denklemleri aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$q_e = B * \ln(K_t * C_e); \quad B = \frac{R * T}{b_t} \quad (1.6)$$

(1.6) numaralı eşitlikte yer alan q_e (mg/g) denge anında birim ağırlıktaki adsorbanın adsorpladığı madde miktarını, b_t (J/mol) Temkin izoterm sabiti, B ise adsorpsiyon ısısı ile ilgili bilgi veren Temkin sabitini, R (8,314 J/mol K) ideal gaz sabitini, T (K) ortam sıcaklığını, K_t (L/g) Temkin izoterm sabitini temsil etmektedir.

Temkin izoterm denklemleri lineerleştirildiğinde (1.7) numaralı denklem elde edilir:

$$q_e = B * \ln K_t + B * \ln C_e \quad (1.7)$$

$q_e - \ln C_e$ grafiği deneysel datalardan yararlanılarak çizilir ve elde edilen grafikten K_t ve b Temkin izoterm sabitleri hesaplanır.



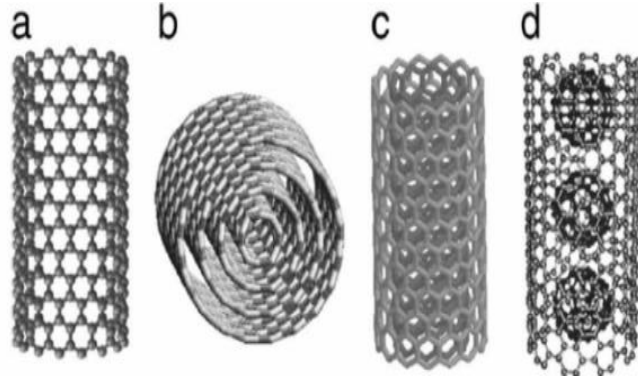
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KARBON NANOTÜPLER

Karbon (C) elementi canlıların temel yapı taşıdır. Nanoteknolojinin başlamasında en önemli rolü oynayan karbon nano yapılar için önemli bir elementtir.

Grafitin silindir halinde sarılmasıyla oluşan yapılara 'karbon nanotüp' denir. Bir karbon nanotübün uzunluğu 1 mikrometreden fazladır, çapı ise nanometre düzeyindedir. Karbon nanotübün çap büyüklüğü bugüne kadar yapılmış en iyi yarı iletkenlerden daha küçüktür [27]. En güçlü fiberler olarak bilinirler ve tek bir karbon nanotüp çelikten 1000 kat daha güçlüdür [28]. Karbon nanotüpler karbonun birbirine bağlı 6 üyeli halkaları veya hegzagonlarından oluşur. Karbon nanotüplerin yapısını anlamak için; benzen halkalarından meydana gelen iki boyutlu bir grafitin yaprağının bir eksen etrafında döndürülerek silindir şeklinde katlanmasını göz önünde canlandırmak yardımcı olabilir. Yaprığın katlanma şekline ve boyutlarına bağlı olarak nanotüplerin çeşitleri oluşabilir [29]:

- Tek duvarlı karbon nanotüpler (Single-walled carbon nanotubes, SWCNT)
- Çok duvarlı karbon nanotüpler Multi-walled carbon nanotubes, MWCNT)
- Çift katmanlı karbon nanotüpler
- Fulleren içeren tek duvarlı karbon nanotüp

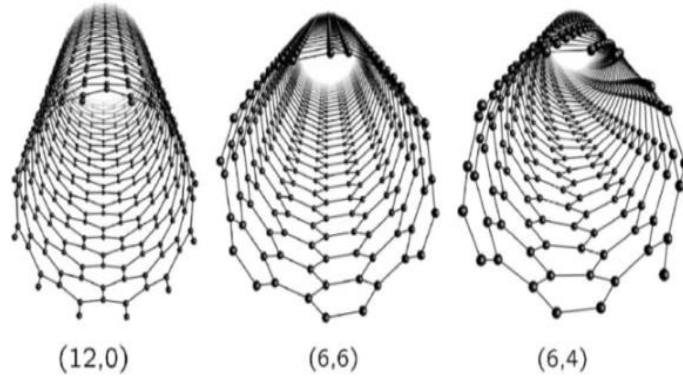


Şekil 3.1: a) SWCNT b) MWCNT c) Çift Katmanlı Karbon Nanotüp d) Fulleren içeren tek duvarlı karbon nanotüp.

3.1.1. Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler

Her iki ucu kapatılmış grafit tüpleri şeklinde ve 1-2 nm aralığında değişen, Gauss dağılımı gösteren çap değerlerine sahip karbon nanotüpler tek duvarlıdır. Ancak 0.4 nm kadar küçük çaplı tek duvarlı karbon nanotüpler de üretilmektedirler ve bunlar zeolit gözenekleri içerisinde sentezlenebilmektedirler. Genellikle altıgen paketlenmiş kristalli demetler halinde bulunurlar. Bu demetler birbirlerine Van der Waals kuvvetleri ile tutunurlar. Esnek özellik gösteren tek duvarlı karbon nanotüpler bükülebilir, düzleştirilebilir veya kırılmadan küçük daireler haline getirilebilirler [30].

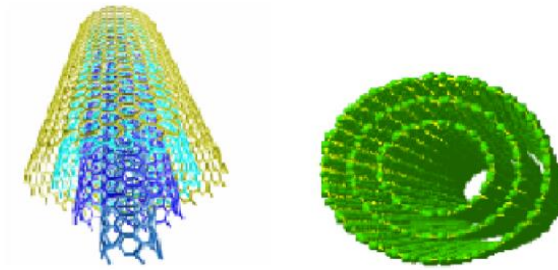
Tek duvarlı karbon nanotüpler kendisini oluşturan grafen silindirin tüp eksenine göre yönelimine bağlı olarak üç farklı çeşitte olabilir. Bunlar; koltuk, zigzag ve kiral nanotüplerdir [31].



Şekil 3.2: Zigzag (12,0) , Koltuk (6,6) ve Kiral (6,4) Karbon Nanotüpler [31].

3.1.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler

Farklı çaplardaki tek duvarlı karbon nanotüplerin iç içe geçmiş haline çok duvarlı karbon nanotüp denir. Ancak tek duvarlı karbon nanotüplerden farklı özellikler gösterirler. İki'den fazla grafen çepere sahip nanotüplerdir. İç çapları 0.4 nm'ye kadar inebilmekle beraber 5 nm civarındadır. Dış çapları yaklaşık 15 nm mertebesindedir. Çok duvarlı karbon nanotüplerde komşu duvarlar arası etkileşimler azdır ve dolayısıyla bu da duvarların birbirinden bağımsız dönme ve öteleme hareketleri yapabileceğine işaret etmektedir [30].



Şekil 3.3: Çok duvarlı karbon nanotüp yapısı.

3.2. KARBON NANOTÜPLERİN ÖZELLİKLERİ

3.2.1. Fiziksel Özellikler

Karbon nanotüpler olağanüstü yapısal, elektronik ve mekanik özelliklere sahiptir. Karbon nanotüpler elektronik alanında başarılı uygulamalar göstermiş olup taramalı mikroskoplar, kompozit materyaller gibi geniş bir uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Karbon nanotüpler, kovalent bağ yaparlar ve mekanik olarak sağlamdır, elektrik alana duyarlıdır ve iletken, suda çözünmezler [32].

3.2.2. Elektronik Özellikler

Bir grafen levhası yarı metaldir. Bu özellik nedeniyle metal ile yarı iletken arasında özellikler göstermektedir. İletkenlik değerleri oldukça yüksek olup 1 milyar amper/m²'dir, bakırın ki ise 1 milyon amper/m²'dir. Karbon nanotüpler koltuk ya da zikzak olmasına göre metalik ya da yarı iletken özellik gösterirler. Elektronik özelliğin; kiral vektörlerin (n,m) katsayıları değiştirilerek değiştiği kanıtlanmıştır. (n,m) nanotüpünde n ve m in katı 3 ise iletken, diğer durumlarda da yarı iletkenidir. Bunlardan dolayı koltuk karbon nanotüpler metaliktir. Bu özellikleriyle birçok elektronik uygulamada kullanılırlar [33].

3.2.3. Mekanik Özellikler

Grafit yapısında bulunan karbonların kimyasal bağları çok kuvvetli olduğundan dolayı karbon nanotüpler çelikten bile daha sağlamdırlar. [34]. Grafitin tek katmanındaki karbon atomlarının her biri üç komşu atoma güçlü kimyasal bağlanma yolu ile bağlanır ve düzlemsel bal peteği yapısını oluşturur. Bununla birlikte, esneklik katsayısı en büyük olan malzeme grafitir. Deneysel ve kuramsal çalışmalar karbon nanotüplerin Young modülünün en az grafitinki kadar yüksek ve hatta küçük çaplı tek duvarlı karbon nanotüplerin daha yüksek olabileceğini göstermiştir. Nanotüpün yapısına bağlı olarak mekanik özellikler değişebilmektedir [35].

3.2.4. Isısal Özellikler

Tüm karbon nanotüplerin çok iyi ısı iletkeni olduğu bilinmektedir. Yüksek ısı iletkenlik karbon nanotüplerin yüksek Young modeline sahip olmasıyla doğru orantılıdır [32]. Nanotüplerin oda sıcaklığında 6000 W/m.K ısı taşıması kapasitesi vardır [33].

3.2.5. Kimyasal Özellikler

Karbon malzemelerin kimyası saf elementli diğer malzemelere göre farklı özellikler göstermektedir. Karbon nanotüpler kimyasal olarak inert malzemelerdir. Karbon nanotüpler kimyasal bakımdan iki biçimde incelenir:

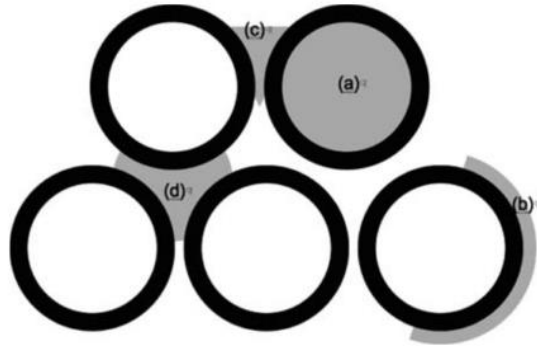
- Uçları, beş halkalı yapılarla yüksek eğrisellik geometrisiyle fulleren yapılarla benzerler ve daha fazla reaktiftir,
- Gövde duvarları ise daha inerttir.

Tek duvarlı karbon nanotüpler çizgisel polimerlerle sarılarak suda çözünür hale getirilebilirler. Benzer şekilde fenil grubu bağlanarak elektrik ısı iletkenlik katsayısı üçte birine düşürülebilir. Karbon esaslı malzemeler katalizör destek malzemesi olarak kullanılabilirler. Tek duvarlı karbon nanotüpler metal koordinasyon bileşiklerine karşı reaktiftir. Karbon nanotüplerin ucu ve kusurlu noktalarındaki oksijenli işlevsel gruplarla yapılacak olan metal koordinasyon etkileşimleri, bu noktalardan nanotüpe metal kümecikleri ve nano tanecikleri tutturabilme olasılığını artırır [36].

3.2.6. Karbon Nanotüplerin Adsorpsiyon Özellikleri

Adsorpsiyon Alanlarının Etkisi: Karbon nanotüplerin yüzeyinde dört farklı adsorpsiyon alanı bulunmaktadır:

- **İç (internal) alanlar (a):** Nanotüplerin iç kısımlarında bulunan boş alanlardır. Bu alanlar, açık uçlu nanotüp durumunda veya nanotüpleri uç kısımları açıldığı zaman adsorpsiyon işlemine katılır.
- **Dış yüzey (b):** Nanotüplerin dış yüzeyinde bulunan kavisli yüzeydir.
- **Dış oluklar (c):** Bitişik paralel nanotüplerin dış yüzeyinde bulunan oluklardır ve adsorpsiyon işlemi için uygundur.
- **Nanotüpler arası alanlar (d):** Genellikle nanotüpler desteler halinde bulunmaktadır ve bu destelerin arasında kalan yüzeyler adsorpsiyon işlemine katılmaktadır.



Şekil 3.4: Karbon nanotüplerin demetlerinde bulunan adsorpsiyon alanları
(a) İç , (b) Dış, (c) Dış oluk, (d) Nanotüpler arası.

Kapalı uçlu nanotüplerde adsorpsiyon dış yüzey ve dış oluklarda gerçekleşmektedir.

Safsızlık Etkisi: Karbon nanotüpler üretim yöntemlerine bağlı olarak çok fazla safsızlık içermektedir. Bu safsızlıklar karbon kaplanmış katalizör parçacıkları, grafit kalıntıları ve farklı şekillerde bulunan karbon türleridir. Bu safsızlıklar kendi başlarına da adsorpsiyon kapasitesi olan maddelerdir ve bu maddelerin varlığı karbon nanotüplerin adsorpsiyon kapasitesi açısından aldatıcı olmaktadır [37].

3.3. AMBERLİTE IRA-67

Amberlite IRA-67, jel tipi akrilik yapılı, zayıf bir baz anyon değiştirici reçinedir. Yüksek kapasite, mükemmel fiziksel stabilite, hızlı iyon değiştirme özelliği, organik kirliliğe karşı yüksek direnç ve polistirenik zayıf baz reçinelerden daha yüksek bazlık derecesine sahiptir. Amberlite IRA-67 reçinesinin bu önemli özellikleri sayesinde organik moleküllerin özellikle karboksilik asitlerin sulu çözeltilerinden adsorbe edilmesinde etkili iyon değiştirici adsorban olarak tercih edilmektedirler.

Tablo 3.1: Amberlite IRA-67'nin önemli özellikleri.

| | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| Fiziksel Formu | Saydam, beyaz, küresel tanecikler |
| Matrix | Çapraz bağlı akrilik jel molekülleri |
| Fonksiyonel grup | 3. Amin |
| İyonik formu | Serbest baz |
| Maximum çalışma sıcaklığı | 60 °C |
| Rejenerant | NaOH |

3.4. KARBOKSİLİK ASİTLER

Alkil zincirine bağlı karboksil fonksiyonel grubunu (-COOH) içeren bileşiklere karboksilik asitler denir. Karboksil adı, karbonil ve hidroksil gruplarından gelmektedir. Karboksilik asitleri belirtmek için R-COOH veya $C_nH_{2n+1}COOH$ genel formülleri kullanılır. Birden fazla karboksil grubu içeren bileşiklere di, tri vb. karboksilik asitler,

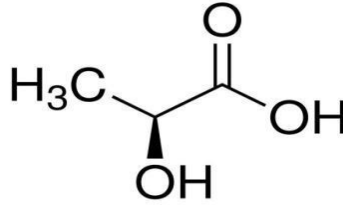
karboksil grubundan başka halojen içerenlere haloasitler, amino grubu içerenlere aminoasitler isimleri verilmektedir.

Karboksilik asitler gıda, ilaç, kozmetik, tekstil, kağıt gibi birçok endüstriyel alanda farklı amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Özellikle gıda endüstrisinde birçok hazır besin maddesinin tatlandırılmasında ve antimikrobiyal olarak korunmasında, birçok kimyasal üretim prosesinde reaktif ortam oluşturmada, metal temizlenmesinde, selüloz nitratin aglomerasyonunda kullanılmaktadırlar [38].

3.4.1. Alfa Hidroksi Asitler

Alfa hidroksi asitler meyve asidi olarak bilinen doğal hidroksi asitlerdir. En bilinen örnekleri; süttten elde edilen laktik asit, elmadan elde edilen malik asit ve üzümde elde edilen tartarik asittir.

3.4.1.1. Laktik Asit



Şekil 3.5: Laktik asit.

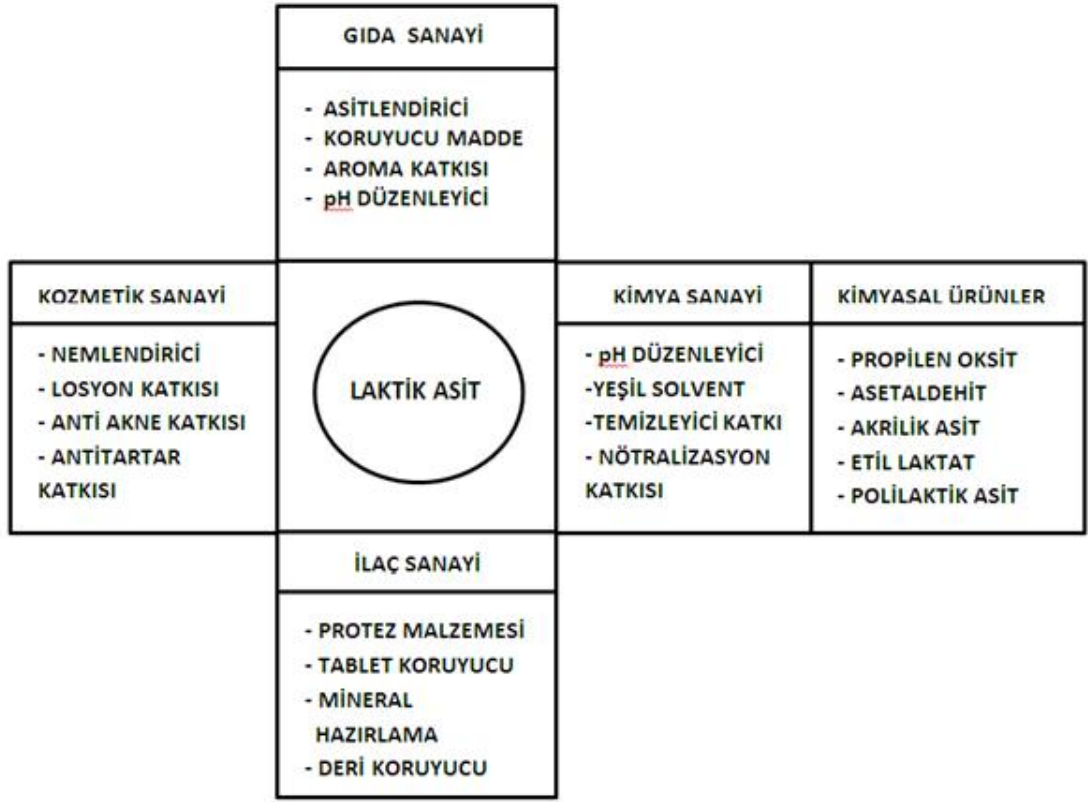
$\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ genel formülü ile gösterilen laktik asit saf olarak renksiz, berrak ve koyu kıvamlı bir sıvıdır. Su çekicidir, zehirsiz ve tadı ekşidir. Laktik asit su, alkol ve eterle her oranda karışabilmektedir. Yoğunluğu $1,215 \text{ g/cm}^3$, molekül ağırlığı $90,08 \text{ g/mol}$ olmakla birlikte laktik asidin damıtılmasıyla 18°C 'de eriyen kristal laktik asit elde edilmektedir.

Laktik asit iyi bir çözücü özelliklerine sahip olup aynı zamanda zayıf bir asittir. Kolaylıkla polimerleşebilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Laktik asit, asitlendirici, tat verici, pH tampon reaktif ve bakteriyel bozunmalarda inhibitör olarak kullanılmaktadır. Örneğin; gıdaların ambalajlanmasında selofanlar için, fenol-formaldehit reçineleri için sonlandırıcı madde, alkid reçineleri için modifiye edici, tekstil baskı arttırıcı, yapışkan formüleştirci, elektrokaplama-

elektrocilalama, deterjan yapıcı (karboksimetoksi-suksinik asit cinsi bileşikleri şekillendirmek için maleik anhidrit ile birlikte) olarak kullanılmaktadırlar. Laktik asit kimyasal olarak üretilebildiği gibi mikroorganizmalar ile karbonhidratlardan da fermantasyonla da üretilebilir. Üretimin yaklaşık %90'ı fermantasyonla yapılır. Kimyasal olarak sadece rasemik laktik asit üretilebilirken fermantasyonla istenen formda laktik asit üretimi yapılır [39].

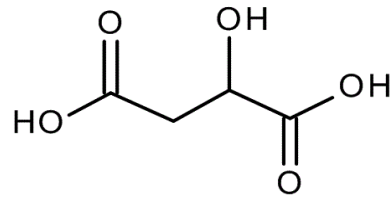
Tablo 3.2: Laktik asitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| IUPAC İsmi | 2-hidroksipropanoik asit |
| Kimyasal Formülü | $C_3H_6O_3$ |
| Molar Ağırlığı | 90.08 g mol ⁻¹ |
| Yoğunluğu (20 °C) | 1.215 g/cm ³ |
| Erime Noktası | 53 °C |
| Kaynama Noktası | 122 °C (12 mmHg) |
| Asidite | 3.86 |
| Molar Yanma Entalpisi | 1361.9 kJ/mol |



Şekil 3.6: Laktik asidin genel kullanım alanları [40].

3.4.1.2. Malik Asit



Şekil 3.7: Malik asit.

Malik asit; bir tür meyve asidi olup dikarboksilik hidroksi asittir. Birçok sebze ve meyvede doğal olarak bulunmaktadır. Özellikle malik asidin en zengin kaynaklarından biri elmadır. Elma gibi sulu meyveleri ısırdığınızda hissettiğiniz ferahlatıcı ve hoş tat malik asit sayesinde. Malik asidin birçok içecek ve şekerlemelerde kullanılabilen, diğer tatlandırıcılar ve çeşniler ile harmanlanmasını sağlayan akıcı ve kalıcı bir ekşimsi aroması vardır.

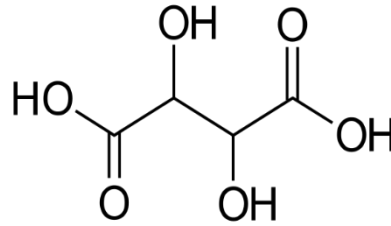
Malik asidin en yaygın kullanım alanı; meyve lezzetli karbonatlı içecekler ve şuruplar olup üzüm, elma ve diğer meyve sularında rengi stabilize etmek amacıyla

kullanılmaktadır. Meyve suları konsantrelerine asitliği düzenleyici olarak malik asit katılması içeceğin doğal lezzetini artırmaktadır. Askorbik asitle sinerjistik etki oluşturarak ve bakır ve demirle stabil kompleksler oluşturarak oksidasyonu önlemektedir. Alkolsüz içeceklerde, konserve sebze ve meyvelerde, meyve sularında, şekerlemelerde ve jelatinli tatlılarda kullanıldığı gibi, ilaç, boya ve metal sanayilerinde de kullanım alanına sahiptir [38].

Tablo 3.3: Malik asidin fizikokimyasal özellikleri.

| | |
|-----------------------------------|--|
| Molekül Formülü | C ₄ H ₆ O ₅ |
| Diğer Adlandırılması | Hidroksibütandionik Asit |
| Molekül Ağırlığı | 134,08 g/mol |
| Erime Noktası | 101-104 °C |
| Kaynama Noktası (760 mmHg) | Bozunur |
| Çözünürlüğü | 558 g/l (20 °C) |
| Asitlik (pKa) | 3,46 |

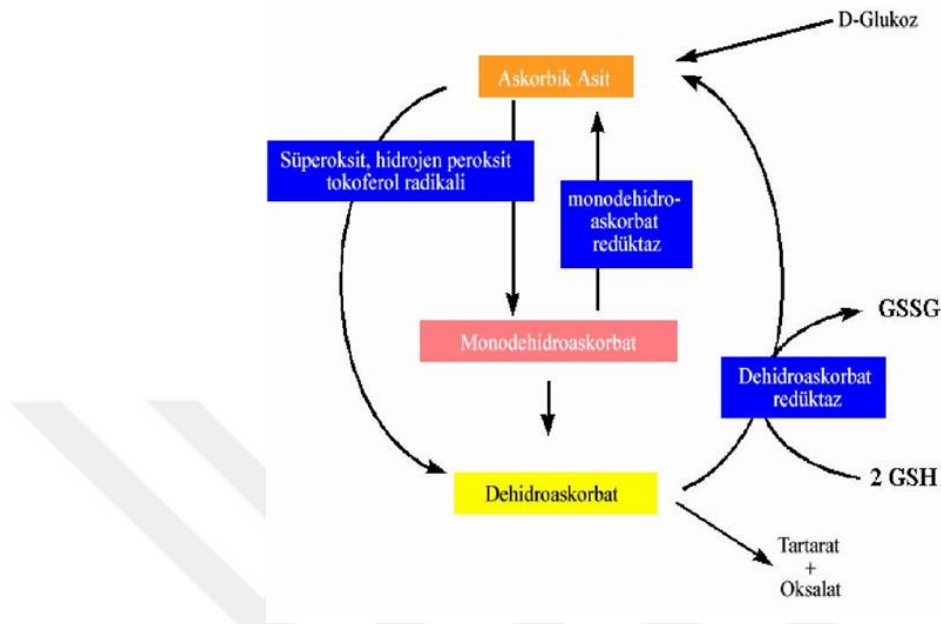
3.4.1.3. Tartarik Asit



Şekil 3.7: Tartarik asit.

Tartarik asit "üzüm asidi" olarak bilinir. Çünkü, doğada tartarik aside üzümünden başka bir meyvede pek rastlanmamaktadır [41]. Üzümün meyvesi ve yaprakları tartarik asit ve malik asit üretiminden sorumludur. Üzümde tartarik asitin sentezinin gerçekleştiği yer; üzümün genç yapraklarıdır [42]. Ayrıca, şarapta bulunan organik asitlerin %90'ını tartarik asit oluşturur. Şarabın asiditesini belirleyen ve şarabın pH'sının 3.0-3.5 arasında olmasını sağlayan temel asittir. Tartarik asit; şarapta potasyum tartarat veya di-potasyum tartarat formunda da bulunabilir. Şaraptaki tartarik asit miktarı 1.5 g/L-3.0 g/L arasında değişebilmektedir [43]. Şarapta yeterli miktarda tartarik asit bulunması, şarabın tat ve

aromasını geliştirmektedir. Aynı zamanda; şarap asiditesinin oluşmasında ve şarabın kararlılığının sağlanmasında da büyük öneme sahiptir [44].



Şekil 3.8: Tartarik asidin sentezlenme mekanizması [45].

Askorbat, antioksidant özelliğe sahip olduğu için; hidrojen peroksitle reaksiyona girerek monodehidroaskorbik asidi ya da dehidroaskorbik asidi oluşturmaktadır. Oluşan dehidroaskorbat, tartarat ya da oksalata dönüştürülür [45].

Tartarat, askorbik asitin karbon zincirindeki C4/C5 atomları arasındaki bağın kopmasıyla oluşur [46]. Askorbik asitin, karbon zincirindeki ayrılma mekanizmaları henüz tam olarak belirlenememiştir. Ancak; tartarat oluşumu sırasında gözlemlenen karbon zincirindeki ayrılmanın hidrolitik olduğu düşünülmektedir [47].

Tablo 3.4: Tartarik asidin fizikokimyasal özellikleri.

| | |
|-----------------------------|--|
| Molekül Formülü | C ₄ H ₆ O ₆ |
| Diğer Adlandırılması | 2,3 Dihidroksibütandionik Asit |
| Molekül Ağırlığı | 150,087 g/mol |
| Erime Noktası | 171-174 °C |
| Çözünürlüğü | 1.33kg/l (L ve D TA) |
| Yoğunluğu (20 °C) | 1.788 g/cm ³ |
| Asitlik (pKa) | 2,89 |

3.5. DENEYSEL YÖNTEM

Alfa hidroksi asitlerin Amberlite IRA-67 ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüp ile adsorpsiyon denemeleri kesikli adsorpsiyon yöntemi ile çalkalamalı su banyosunda 25°C ve 150 rpm'de gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon işlemi sonunda çözelti filtre kâğıdı kullanılarak süzülmüştür. Süzülen çözeltilerdeki asit konsantrasyonları fenolftalein indikatörü kullanılarak NaOH titrasyon metoduyla belirlenmiştir. Adsorpsiyon sonrası denge durumunda adsorplanan asit miktarı (q_e (mg/g)) ve uzaklaştırılan asit yüzdesi (%) aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\%Uzaklaştırılan\ asit\ yüzdesi = \left(1 - \frac{c_t}{c_0}\right) * 100 \quad (3.1)$$

$$q_e = \left[\frac{(C_0 - C_e)}{M}\right] * V \quad (3.2)$$

4. BULGULAR

Alfa hidroksi asitlerin; laktik asidin, malik asidin ve tartarik asidin seyreltik sulu çözeltilerinden Amberlite IRA-67 ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (MWCNT) ile adsorpsiyon yöntemiyle ayrılması incelenmiş ve adsorpsiyon denemelerine sonuçlar bu bölümde sunulmuştur.

4.1. ADSORPSİYON DENEMELERİ

Adsorpsiyon denemelerinde öncelikle her bir asit ve adsorban için dengeye gelme süreleri (optimum süre) tespit edilmiş, tespit edilen bu sürede farklı başlangıç asit konsantrasyonlarında denemeler gerçekleştirilmiş, adsorbat konsantrasyonunun adsorpsiyon kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Daha sonra farklı adsorban konsantrasyonlarının adsorpsiyon üzerindeki etkisi incelenerek optimum adsorban miktarı belirlenmiştir.

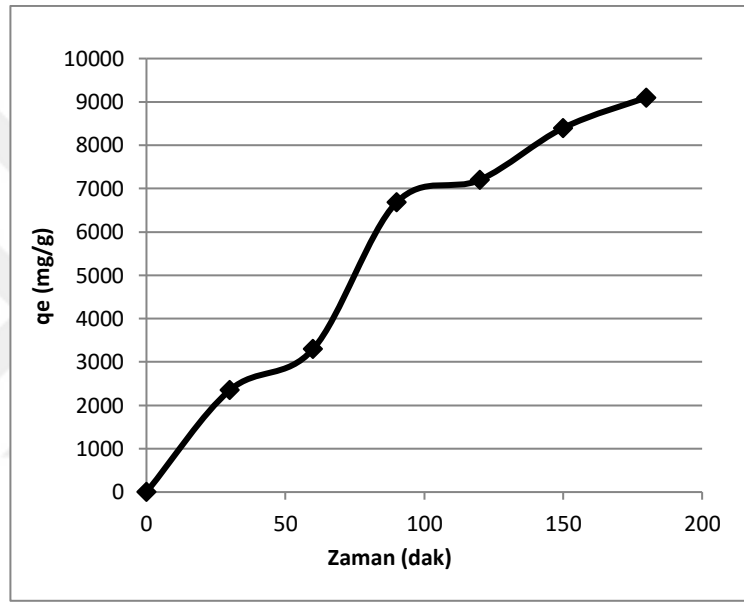
4.1.1. Laktik Asidin MWCNT ile Adsorpsiyonu

4.1.1.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 0,01 g MWCNT ve 5 ml yaklaşık %10'luk laktik asit çözeltisi; 30, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakika süreyle 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Zamanla asit yüzdesinin değişmediği nokta denge olarak saptanmıştır. Her 30 dakikada bir alınan örnekler volumetrik NaOH titrasyon metoduyla analiz edilerek laktik asit konsantrasyonu bulunmuştur. Gerçekleştirilen denemelere ait sonuçlar Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Tablo 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde, laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu ilk 90 dakikada hızlı bir şekilde artmış ve adsorpsiyonun denge değerine 180 dakikada ulaştığı belirlenmiştir. Böylece optimum süre 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Zaman (dk) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 30 | 1,05 | 94,90 | 2350 | 4,72 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 60 | 1,03 | 93,00 | 3300 | 6,63 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 90 | 0,96 | 86,24 | 6680 | 13,41 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 120 | 0,95 | 85,20 | 7200 | 14,46 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 150 | 0,92 | 82,80 | 8400 | 16,87 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 180 | 0,90 | 81,40 | 9100 | 18,27 |

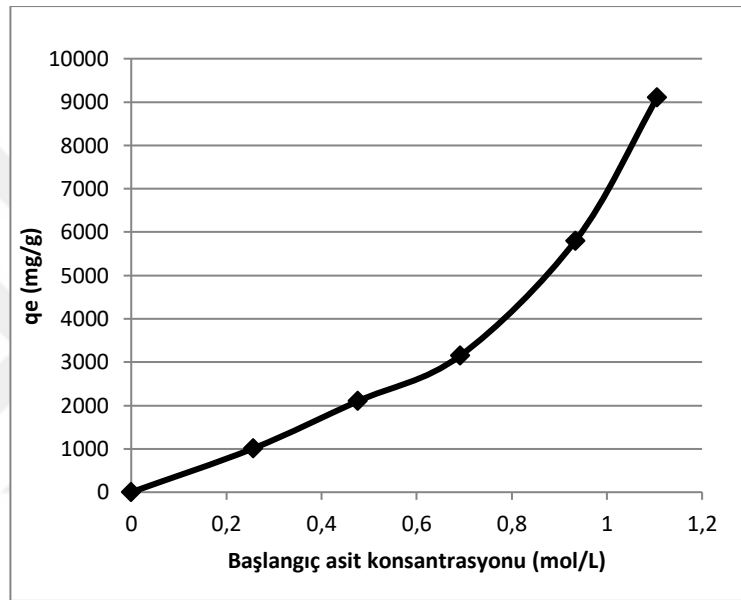
**Şekil 4.1:** Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.1.1.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Laktik asidin başlangıç asit konsantrasyonu değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemeleri, 25°C’de başlangıç laktik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan 5 ml laktik asit çözeltileri ile 0,01 g MWCNT kullanılarak belirlenen optimum sürede gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.2’de ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde başlangıç laktik asit konsantrasyonu arttıkça MWCNT tarafından adsorbe olan laktik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.2: Laktik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Sıcaklık (°C) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,26 | 2,31 | 23,10 | 25 | 0,23 | 21,08 | 1010 | 8,74 |
| 0,48 | 4,29 | 42,90 | 25 | 0,43 | 38,70 | 2100 | 9,79 |
| 0,69 | 6,23 | 62,30 | 25 | 0,62 | 56,00 | 3150 | 10,11 |
| 0,93 | 8,41 | 84,10 | 25 | 0,80 | 72,50 | 5800 | 13,79 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 25 | 0,90 | 81,40 | 9100 | 18,27 |

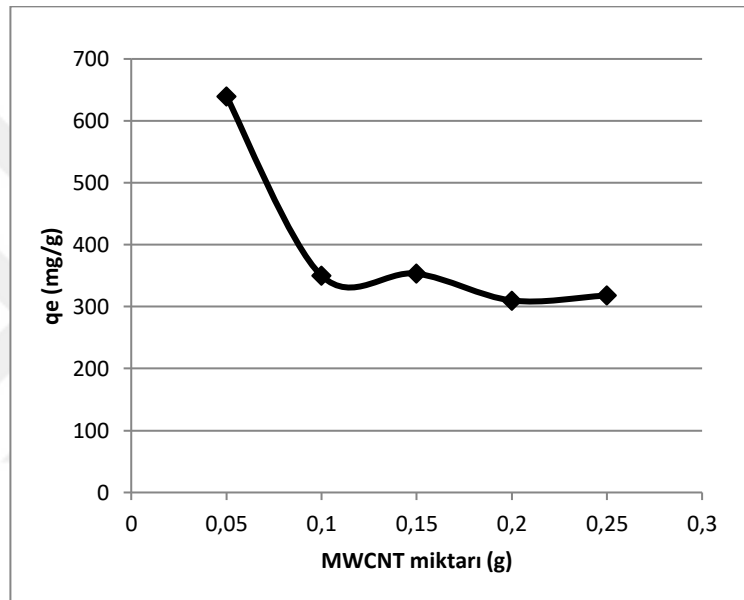
**Şekil 4.2:** Laktik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

4.1.1.3. Farklı MWCNT Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi

Farklı MWCNT miktarlarının adsorpsiyona olan etkisini incelemek amacıyla 25°C’de sırasıyla 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 ve 0,25 g. MWCNT bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10’luk laktik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.3 ve Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Şekil 4.3’de açıkça görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.3: Farklı MWCNT miktarlarının laktik asit adsorpsiyonuna etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | MWCNT (g) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,05 | 1,04 | 93,20 | 640 | 6,43 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,10 | 1,03 | 92,60 | 350 | 7,03 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,15 | 0,99 | 89,00 | 353 | 10,64 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,20 | 0,97 | 87,20 | 310 | 12,45 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,25 | 0,93 | 83,70 | 318 | 15,96 |

**Şekil 4.3:** Farklı MWCNT miktarlarının laktik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.1.2. Laktik Asidin Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu

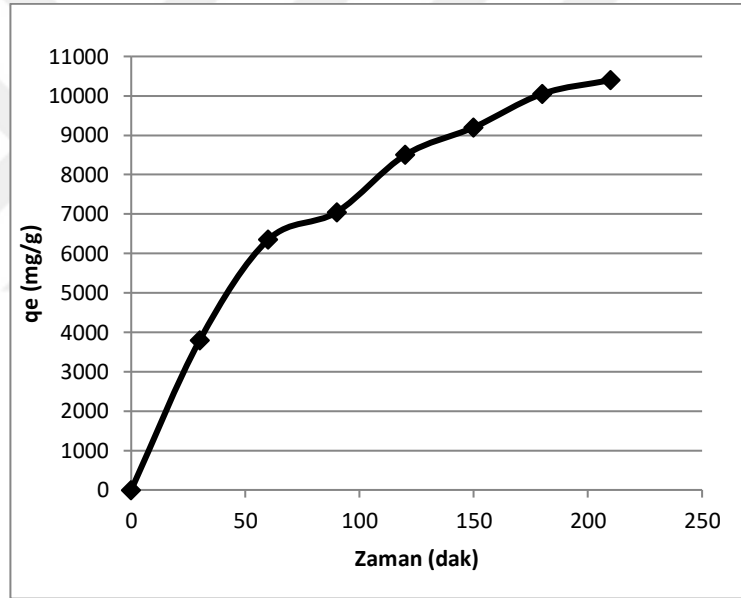
4.1.2.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda dengeye gelme süresini (optimum süre) belirlemek amacıyla 0,01 g Amberlite IRA-67 ve 5 ml yaklaşık %10'luk laktik asit çözeltisi; 30, 60, 90, 120, 150, 180 ve 210 dakika süreyle 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Zamanla asit yüzdesinin değişmediği nokta denge olarak saptanmıştır. Her 30 dakikada bir alınan örnekler volumetrik NaOH titrasyon yöntemiyle analiz edilerek laktik asit konsantrasyonu bulunmuştur. Gerçekleştirilen denemelere ait sonuçlar Tablo 4.4 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Tablo 4.4 ve Şekil 4.4 incelendiğinde, laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun ilk 60 dakika boyunca hızlı bir şekilde arttığı ve

denge değerine 180 dakikada ulaştığı görülmektedir. Böylece optimum süre 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.4: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Zaman (dk) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 30 | 1,02 | 92,00 | 3800 | 7,63 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 60 | 0,96 | 86,90 | 6350 | 12,75 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 90 | 0,95 | 85,50 | 7050 | 14,16 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 120 | 0,92 | 82,60 | 8500 | 17,07 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 150 | 0,90 | 81,20 | 9200 | 18,47 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 180 | 0,88 | 79,50 | 10050 | 20,18 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 210 | 0,87 | 78,80 | 10400 | 20,88 |



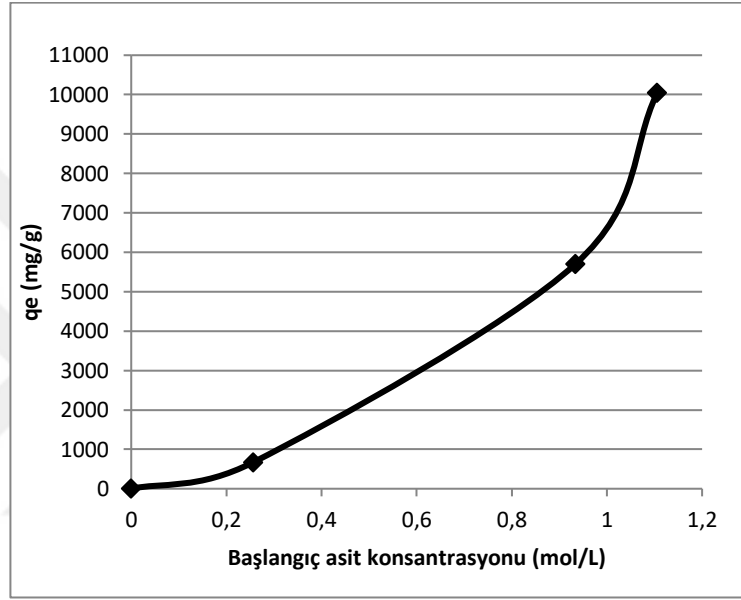
Şekil 4.4: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.1.2.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Laktik asidin başlangıç asit konsantrasyonu değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemeleri, 25°C’de başlangıç laktik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %8 ve %10 olan 5 ml laktik asit çözeltileri ve 0,01 g Amberlite IRA-67 kullanılarak belirlenen optimum sürede gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.5 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde başlangıç laktik asit konsantrasyonu arttıkça Amberlite IRA-67 tarafından adsorbe olan laktik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.5: Laktik asit başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Sıcaklık (°C) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,26 | 2,31 | 23,10 | 25 | 0,24 | 21,76 | 671 | 5,81 |
| 0,93 | 8,41 | 84,10 | 25 | 0,81 | 72,70 | 5700 | 13,56 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 25 | 0,88 | 79,50 | 10050 | 20,18 |

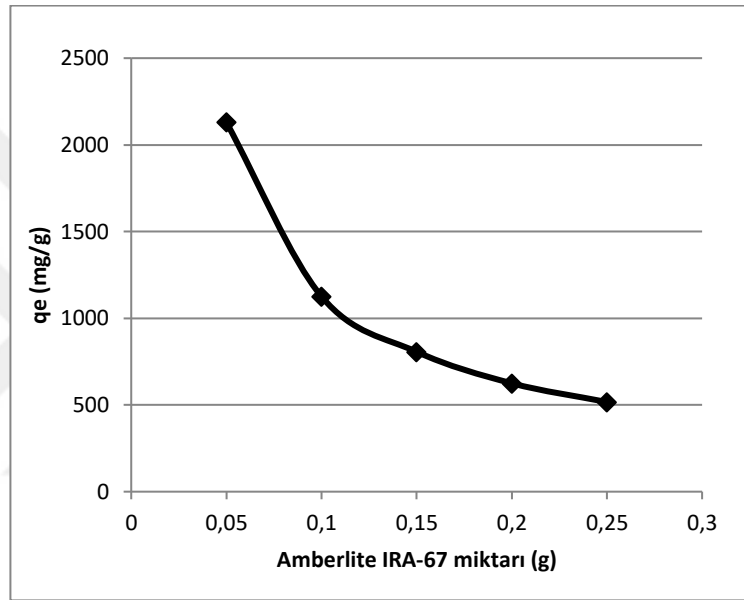
**Şekil 4.5:** Laktik asidin başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerine etkisi.

4.1.2.3. Farklı Amberlite IRA-67 Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi

Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının adsorpsiyona olan etkisini incelemek amacıyla 25°C’de sırasıyla 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 ve 0,25 g. Amberlite IRA-67 bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10’luk laktik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.6 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Şekil 4.6’da görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.6: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının laktik asit adsorpsiyonuna etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | MWCNT (g) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,05 | 0,87 | 78,30 | 2130 | 21,39 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,10 | 0,86 | 77,09 | 1126 | 22,60 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,15 | 0,84 | 75,40 | 807 | 24,30 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,20 | 0,83 | 74,60 | 625 | 25,10 |
| 1,11 | 9,96 | 99,60 | 0,25 | 0,82 | 73,75 | 517 | 25,95 |

**Şekil 4.6:** Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının laktik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.1.3. Malik Asidin MWCNT ile Adsorpsiyonu

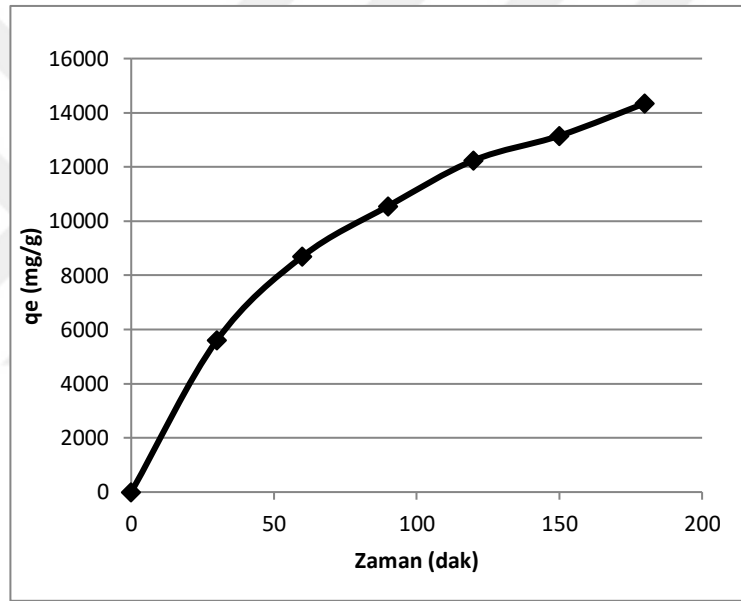
4.1.3.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 0,01 g MWCNT ve 5 ml yaklaşık %10'luk malik asit çözeltisi; 30, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakika süreyle 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Zamanla asit yüzdesinin değişmediği nokta denge olarak saptanmıştır. Her 30 dakikada bir alınan örnekler volumetrik NaOH titrasyon metoduyla analiz edilerek malik asit konsantrasyonu bulunmuştur. Gerçekleştirilen denemelere ait sonuçlar Tablo 4.7 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Tablo 4.7 ve Şekil 4.7 incelendiğinde malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu ilk 60 dakikada hızlı bir şekilde artmış ve adsorpsiyonun denge değerine

180 dakikada ulaştığı belirlenmiştir. Böylece optimum süre 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.7: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Zaman (dk) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 30 | 0,72 | 96,50 | 5600 | 10,40 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 60 | 0,67 | 90,30 | 8700 | 16,16 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 90 | 0,65 | 86,59 | 10555 | 19,60 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 120 | 0,62 | 83,21 | 12245 | 22,74 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 150 | 0,61 | 81,40 | 13150 | 24,42 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 180 | 0,59 | 79,00 | 14350 | 26,65 |



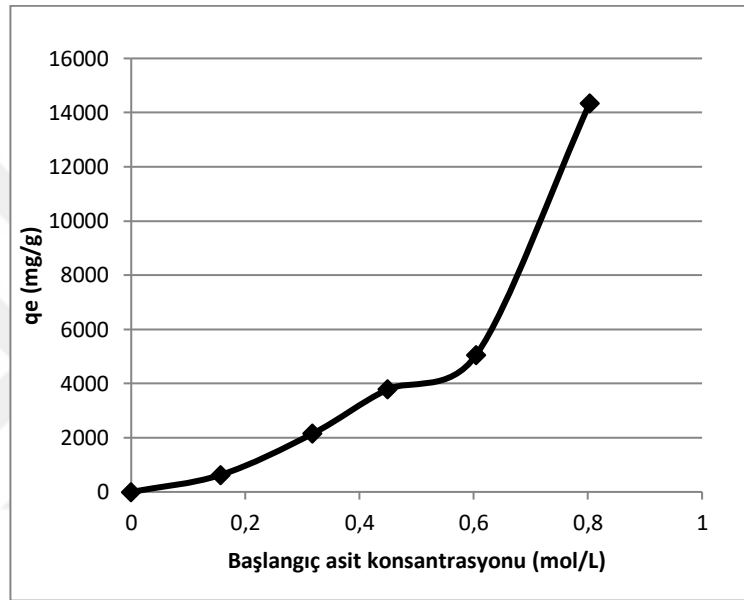
Şekil 4.7: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.1.3.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Malik asidin başlangıç asit konsantrasyonu değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemeleri, 25⁰C’de başlangıç malik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan 5 ml malik asit çözeltileri ile 0,01 g MWCNT kullanılarak belirlenen optimum sürede gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.8’de ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde başlangıç malik asit konsantrasyonu arttıkça MWCNT tarafından adsorbe olan malik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.8: Malik asidin başlangıç konsantrasyonunun değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Sıcaklık (°C) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,16 | 2,11 | 21,05 | 25 | 0,15 | 19,79 | 630 | 5,99 |
| 0,32 | 4,26 | 42,60 | 25 | 0,29 | 38,30 | 2150 | 10,09 |
| 0,45 | 6,02 | 60,22 | 25 | 0,39 | 52,65 | 3785 | 12,57 |
| 0,60 | 8,10 | 81,00 | 25 | 0,53 | 70,90 | 5050 | 12,47 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 25 | 0,59 | 79,00 | 14350 | 26,65 |

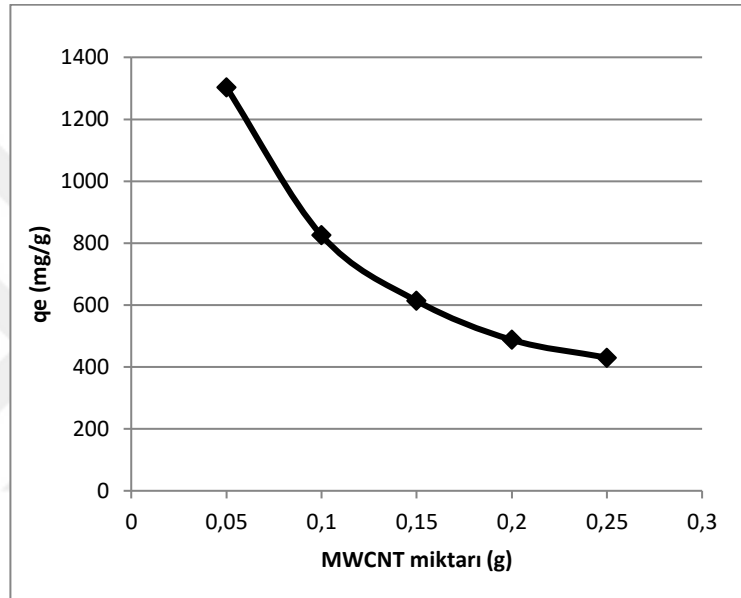
**Şekil 4.8:** Malik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

4.1.3.3. Farklı MWCNT Miktarlarının Adsorpsiyonuna Etkisi

Farklı MWCNT miktarlarının adsorpsiyona etkisi incelemek amacıyla 25°C'de sırasıyla 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 ve 0,25 g. MWCNT bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10'luk malik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.9 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.9'da görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.9: Farklı MWCNT miktarlarının malik asit adsorpsiyonuna etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | MWCNT (g) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,05 | 0,71 | 94,67 | 1303 | 12,10 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,10 | 0,68 | 91,20 | 825 | 15,32 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,15 | 0,67 | 89,30 | 613 | 17,08 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,20 | 0,66 | 88,20 | 487 | 18,11 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,25 | 0,64 | 86,20 | 430 | 19,96 |

**Şekil 4.9:** Farklı MWCNT miktarlarının malik asit adsorpsiyonuna etkisi.

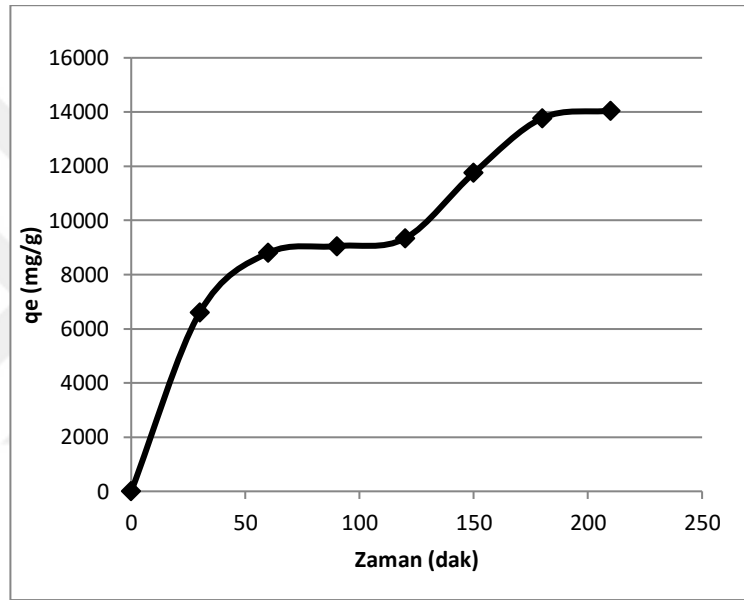
4.1.4. Malik Asidin Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu

4.1.4.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda dengeye gelme süresini (optimum süre) belirlemek amacıyla 0,01 g Amberlite IRA-67 ve 5 ml yaklaşık %10'luk malik asit çözeltisi; 30, 60, 90, 120, 150, 180 ve 210 dakika süreyle 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Zamanla asit yüzdesinin değişmediği nokta denge olarak saptanmıştır. Her 30 dakikada bir alınan örnekler volumetrik NaOH titrasyon metoduyla analiz edilerek malik asit konsantrasyonu bulunmuştur. Gerçekleştirilen denemelere ait sonuçlar Tablo 4.10 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Tablo 4.10 ve Şekil 4.10 incelendiğinde malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu ilk 60 dakika boyunca artmış ve denge değerine 180 dakikada ulaşmıştır. Böylece optimum süre 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.10: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Zaman (dk) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 30 | 0,70 | 94,50 | 6600 | 12,25 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 60 | 0,67 | 90,10 | 8800 | 16,34 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 90 | 0,67 | 89,60 | 9050 | 16,81 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 120 | 0,66 | 89,02 | 9339 | 17,34 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 150 | 0,63 | 84,20 | 11750 | 21,82 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 180 | 0,60 | 80,15 | 13775 | 25,58 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 210 | 0,59 | 79,60 | 14050 | 26,09 |

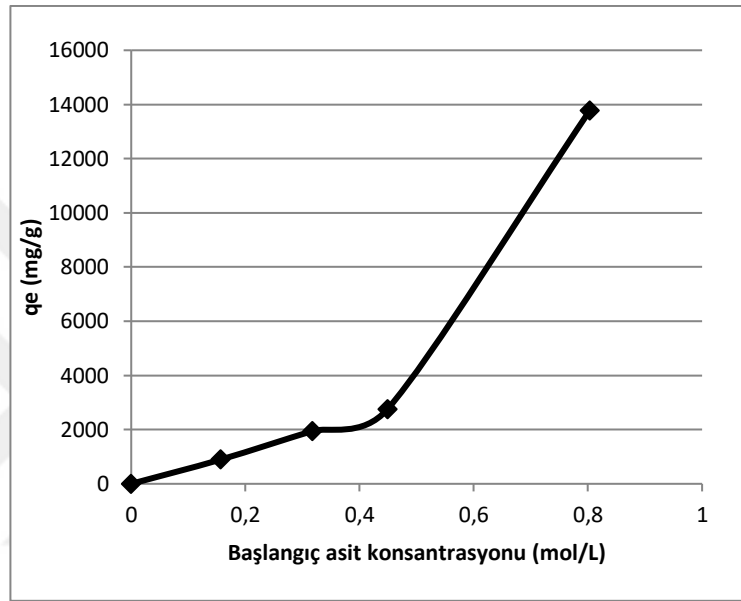
**Şekil 4.10:** Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.1.4.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Malik asidin başlangıç asit konsantrasyonu değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemeleri, 25°C’de başlangıç malik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6 ve %10 olan 5 ml laktik asit çözeltileri ve 0,01 g Amberlite IRA-67 kullanılarak belirlenen optimum sürede gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.11’de ve Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde başlangıç malik asit konsantrasyonu arttıkça Amberlite IRA-67 tarafından adsorbe olan malik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.11: Malik asidin başlangıç konsantrasyonunun değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Sıcaklık (°C) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,16 | 2,11 | 21,05 | 25 | 0,14 | 19,26 | 896 | 8,51 |
| 0,32 | 4,26 | 42,60 | 25 | 0,29 | 38,70 | 1950 | 9,15 |
| 0,45 | 6,02 | 60,22 | 25 | 0,41 | 54,70 | 2760 | 9,17 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 25 | 0,60 | 80,15 | 13775 | 25,58 |

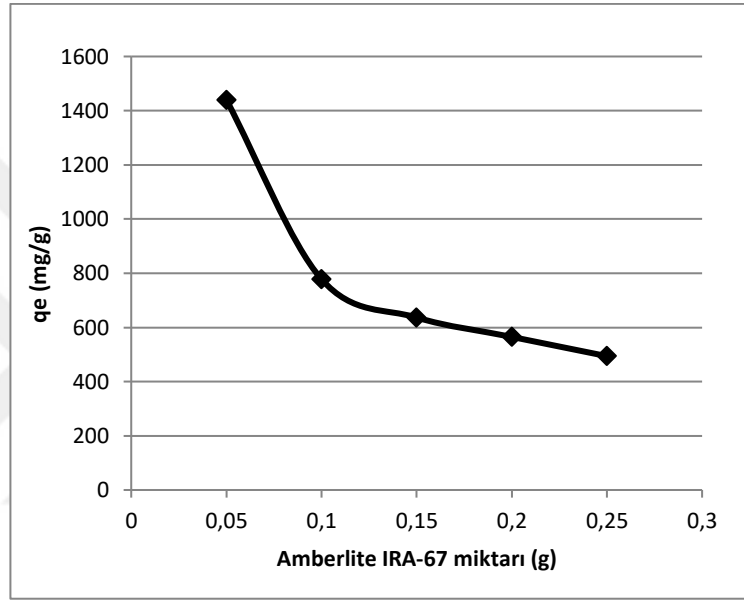
**Şekil 4.11:** Malik asidin başlangıç konsantrasyonunun değişiminin adsorpsiyonun üzerine etkisi.

4.1.4.3. Farklı Amberlite IRA-67 Miktarlarının Adsorpsiyonuna Etkisi

Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının adsorpsiyona olan etkisini incelemek amacıyla 25°C’de sırasıyla 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 ve 0,25 g. Amberlite IRA-67 bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10’luk malik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.12 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Şekil 4.12’de görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.12: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının malik asit adsorpsiyonuna etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Amberlite IRA-67 (g) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,05 | 0,70 | 93,30 | 1440 | 13,37 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,10 | 0,69 | 92,14 | 778 | 14,45 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,15 | 0,66 | 88,60 | 637 | 17,73 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,20 | 0,63 | 85,10 | 565 | 20,98 |
| 0,80 | 10,77 | 107,70 | 0,25 | 0,62 | 83,00 | 494 | 22,93 |

**Şekil 4.12:** Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının malik asit adsorpsiyonuna etkisi.

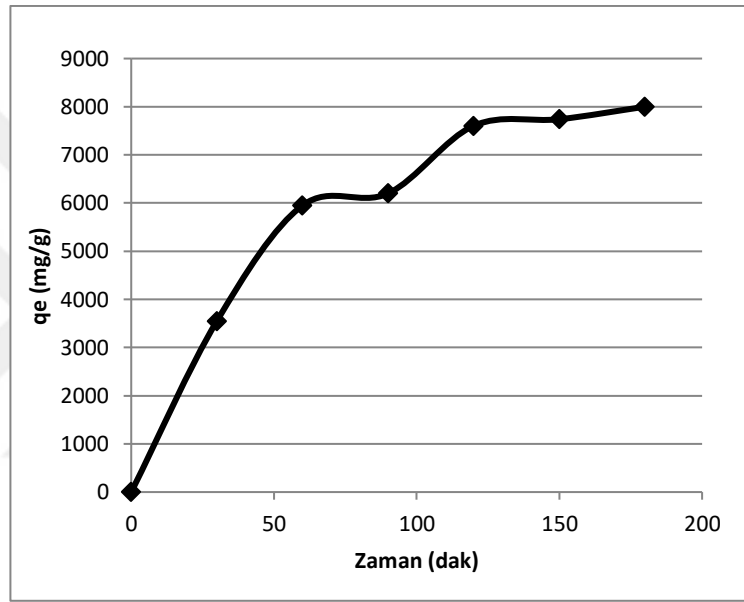
4.1.5. Tartarik Asidin MWCNT ile Adsorpsiyonu

4.1.5.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 0,01 g MWCNT ve 5 mL yaklaşık %10'luk tartarik asit çözeltisi; 30, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakika süreyle 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Zamanla asit yüzdesinin değişmediği nokta denge olarak saptanmıştır. Her 30 dakikada bir alınan örnekler volumetrik NaOH titrasyon metoduyla analiz edilerek tartarik asidin konsantrasyonu bulunmuştur. Gerçekleştirilen denemelere ait sonuçlar Tablo 4.13 ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Tablo 4.13 ve Şekil 4.13 incelendiğinde tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu ilk 60 dakikada hızlı bir şekilde artmış ve adsorpsiyon denge değerine 180 dakikada ulaştığı belirlenmiştir. Böylece optimum süre 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.13: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Zaman (dk) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 30 | 0,66 | 99,40 | 3550 | 6,67 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 60 | 0,63 | 94,60 | 5950 | 11,17 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 90 | 0,62 | 94,10 | 6200 | 11,64 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 120 | 0,61 | 91,29 | 7605 | 14,28 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 150 | 0,60 | 91,02 | 7740 | 14,54 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 180 | 0,60 | 90,50 | 8000 | 15,02 |

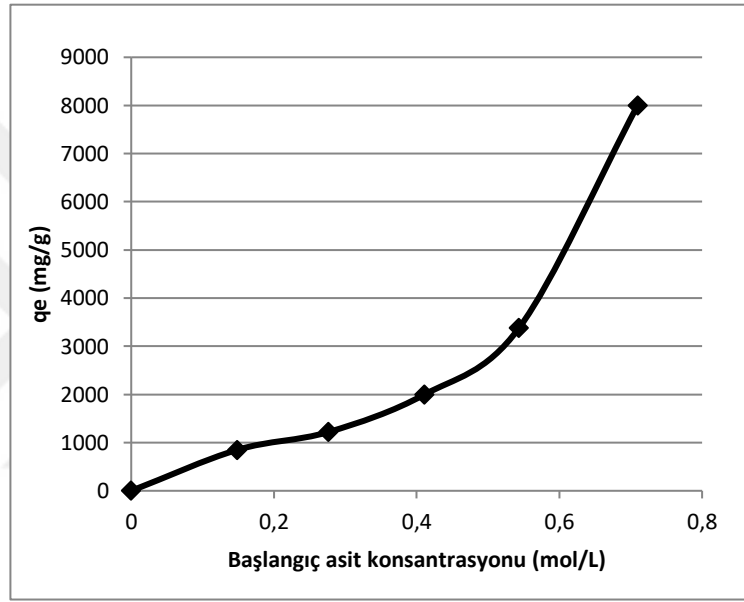
**Şekil 4.13:** Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.1.5.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Tartarik asidin başlangıç asit konsantrasyonu değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemeleri, 25⁰C’de başlangıç tartarik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan 5 ml tartarik asit çözeltileri ile 0,01 g MWCNT kullanılarak belirlenen optimum sürede gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.14’de ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde başlangıç tartarik asit konsantrasyonu arttıkça MWCNT tarafından adsorbe olan tartarik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.14: Tartarik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Sıcaklık (°C) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,15 | 2,23 | 22,30 | 25 | 0,14 | 20,60 | 850 | 7,62 |
| 0,28 | 4,14 | 41,44 | 25 | 0,26 | 39,00 | 1219 | 5,88 |
| 0,41 | 6,17 | 61,70 | 25 | 0,38 | 57,70 | 2000 | 6,48 |
| 0,54 | 8,16 | 81,56 | 25 | 0,50 | 74,80 | 3380 | 8,29 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 25 | 0,60 | 90,50 | 8000 | 15,02 |

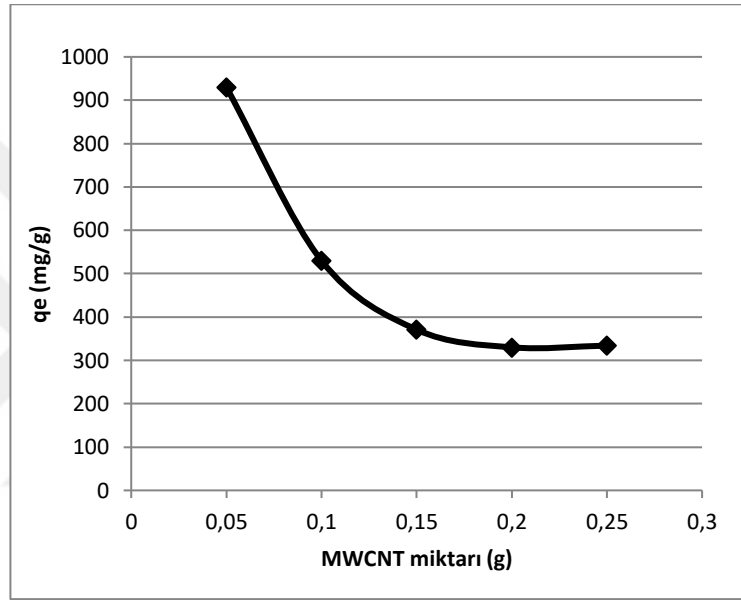
**Şekil 4.14:** Tartarik asidin başlangıç konsantrasyonunun değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

4.1.5.3. Farklı MWCNT Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi

Farklı MWCNT miktarlarının adsorpsiyona olan etkisini incelemek amacıyla 25°C’de sırasıyla 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 ve 0,25 g. MWCNT bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10’luk tartarik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.15 ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Şekil 4.15’te görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.15: Farklı MWCNT miktarlarının tartarik asit adsorpsiyonuna etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | MWCNT (g) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,05 | 0,65 | 97,20 | 830 | 8,73 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,10 | 0,64 | 95,90 | 530 | 9,95 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,15 | 0,63 | 95,38 | 371 | 10,44 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,20 | 0,62 | 93,30 | 330 | 12,39 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,25 | 0,60 | 89,80 | 334 | 15,68 |

**Şekil 4.15:** Farklı MWCNT miktarlarının tartarik asit adsorpsiyonuna etkisi.

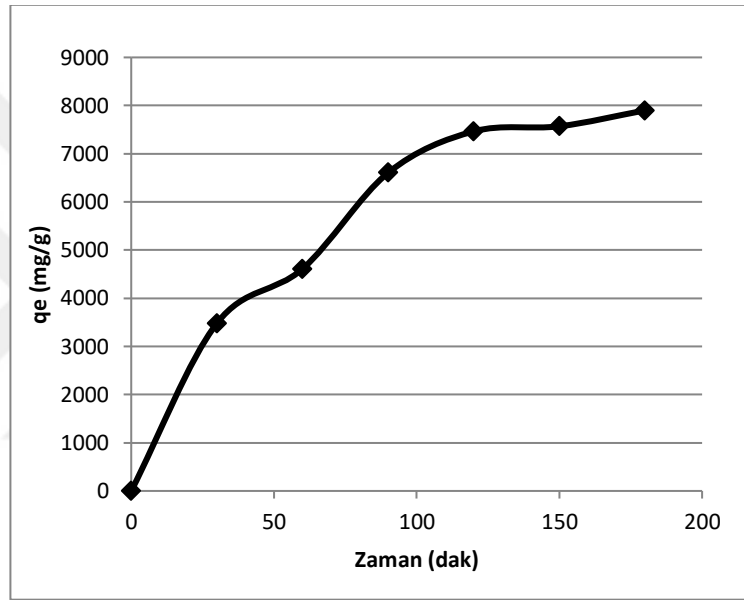
4.1.6. Tartarik Asidin Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu

4.1.6.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda dengeye gelme süresini (optimum süre) belirlemek amacıyla 0,01 g Amberlite IRA-67 ve 5 ml yaklaşık %10'luk tartarik asit çözeltisi; 30, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakika süreyle 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Zamanla asit yüzdesinin değişmediği nokta denge olarak saptanmıştır. Her 30 dakikada bir alınan örnekler volumetrik NaOH titrasyon metoduyla analiz edilerek tartarik asit konsantrasyonu bulunmuştur. Gerçekleştirilen denemelere ait sonuçlar Tablo 4.16 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Tablo 4.16 ve Şekil 4.16 incelendiğinde tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu ilk 90 dakika boyunca hızlı bir şekilde artmış ve denge değerine 180 dakikada ulaşmıştır. Böylece optimum süre 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.16: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Zaman (dk) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 30 | 0,66 | 99,54 | 3480 | 6,54 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 60 | 0,65 | 97,28 | 4610 | 8,66 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 90 | 0,62 | 93,29 | 6605 | 12,40 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 120 | 0,61 | 91,57 | 7465 | 14,02 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 150 | 0,61 | 91,36 | 7570 | 14,22 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 180 | 0,60 | 90,70 | 7900 | 14,84 |

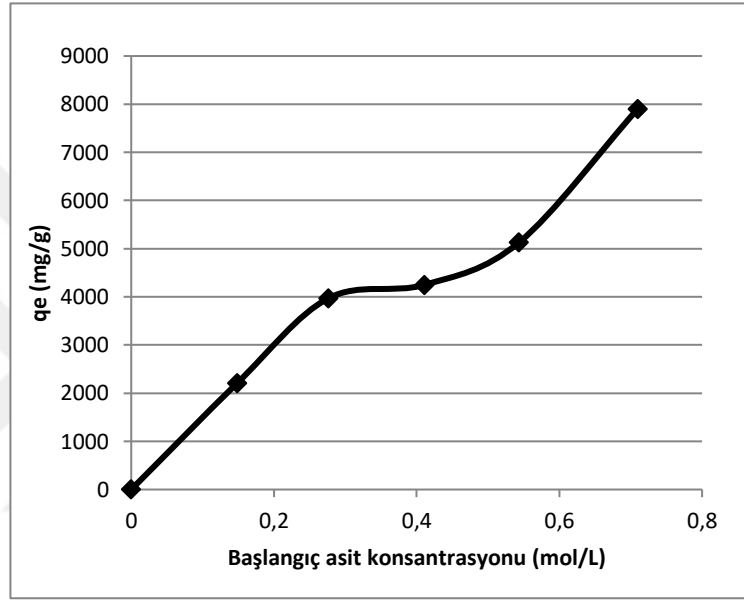
**Şekil 4.16:** Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.1.6.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Tartarik asidin başlangıç asit konsantrasyonu değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemeleri, 25°C’de başlangıç tartarik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan 5 ml tartarik asit çözeltileri ve 0,01 g Amberlite IRA-67 kullanılarak belirlenen optimum sürede gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.17’de ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde başlangıç tartarik asit konsantrasyonu arttıkça Amberlite IRA-67 tarafından adsorbe olan tartarik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.17: Tartarik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Sıcaklık (°C) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,15 | 2,23 | 22,30 | 25 | 0,12 | 17,88 | 2211 | 19,83 |
| 0,28 | 4,14 | 41,44 | 25 | 0,22 | 33,50 | 3969 | 19,16 |
| 0,41 | 6,17 | 61,70 | 25 | 0,35 | 53,20 | 4250 | 13,78 |
| 0,54 | 8,16 | 81,56 | 25 | 0,48 | 71,30 | 5130 | 12,58 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 25 | 0,60 | 90,70 | 7900 | 14,84 |

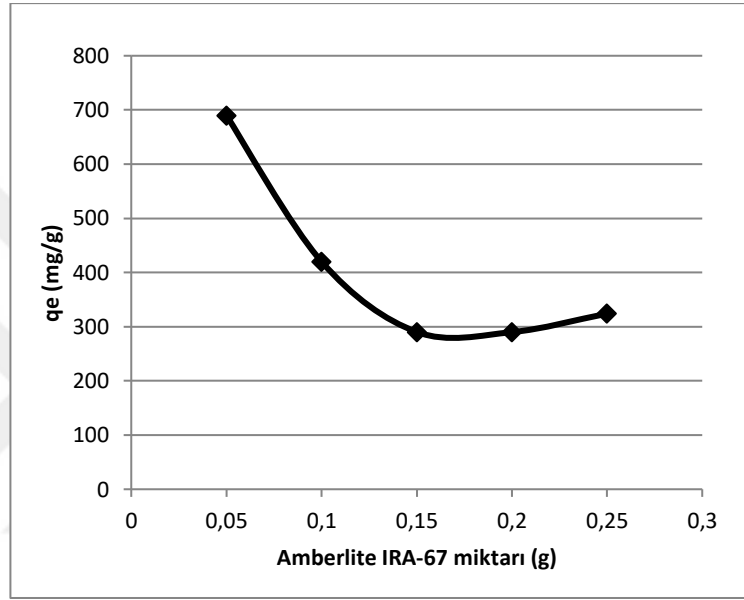
**Şekil 4.17:** Tartarik asidin başlangıç konsantrasyon değişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi.

4.1.6.3. Farklı Amberlite IRA-67 Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi

Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının adsorpsiyona olan etkisini incelemek amacıyla 25°C'de sırasıyla 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 ve 0,25 g. Amberlite IRA-67 bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10'luk tartarik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.18 ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Şekil 4.18'de görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.18: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının Tartarik asit adsorpsiyonuna etkisi.

| Başlangıç Asit Kons. (mol/L) | Başlangıç Asit Kons. (%w/w) | Başlangıç Asit Kons. (g/L) | Amberlite IRA-67 (g) | Denge Asit Kons. (mol/L) | Denge Asit Kons. (g/L) | Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g) | Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi % |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,05 | 0,66 | 99,60 | 690 | 6,48 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,10 | 0,65 | 98,10 | 420 | 7,89 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,15 | 0,65 | 97,79 | 290 | 8,18 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,20 | 0,63 | 94,90 | 290 | 10,89 |
| 0,71 | 10,65 | 106,50 | 0,25 | 0,60 | 90,30 | 324 | 15,21 |

**Şekil 4.18:** Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının tartarik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

Laktik, malik ve tartarik asidin adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri ile olan uyumu bu bölümde incelenmiştir. Bu sebeple, Langmuir, Freundlich, Temkin izoterm modellerine ait Bölüm 2.3'de açıklanan eşitliklere göre grafikler çizilmiş ve izoterm sabitleri hesaplanmıştır.

Langmuir izoterm modelinde C_e ile C_e/q_e arasında çizilen grafiklerdeki doğruların eğiminden Langmuir izoterm sabiti (b), kesim noktasından ise tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi Q_0 (mg/g), hesaplanmıştır.

Freundlich izoterm modelinde $\log C_e$ ve $\log q_e$ arasında çizilen grafiklerdeki doğruların eğiminden Freundlich izoterm sabiti (n), kesim noktasından ise adsorpsiyon kapasitesi ile ilgili bilgi veren Freundlich izoterm sabiti K_f (mg/g) hesaplanmıştır.

Temkin izoterm modelinde q_e ile $\ln C_e$ arasında çizilen grafiklerdeki doğruların eğiminden adsorpsiyon ısısı ile ilgili bilgi veren Temkin izoterm sabiti (b_t), kesim noktasından ise Temkin izoterm sabiti K_t hesaplanmıştır.

4.2.1. Laktik Asidin MWCNT Adsorpsiyonu İzotermi

Laktik asidin MWCNT ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumu Tablo 4.19-4.21'deki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.19-4.21'de gösterilmiştir. Şekil 4.19-4.21'den yararlanarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.22'de özetlenmiştir.

Tablo 4.19: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

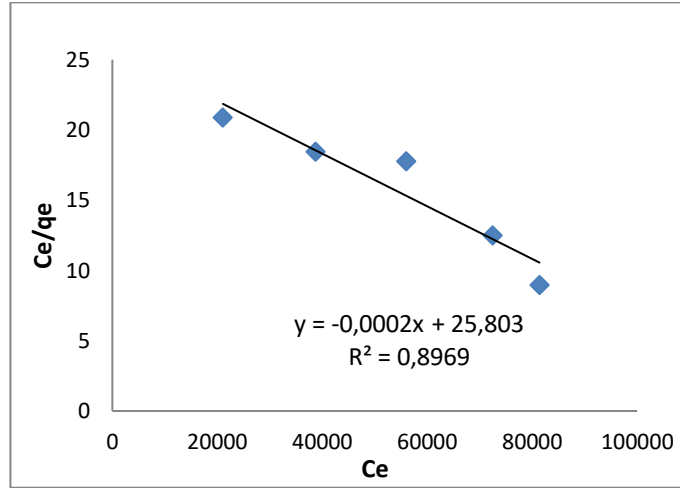
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | C_e/q_e (g/L) |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| 23100 | 21080 | 1010 | 20,87 |
| 42900 | 38700 | 2100 | 18,43 |
| 62300 | 56000 | 3150 | 17,78 |
| 84100 | 72500 | 5800 | 12,50 |
| 99600 | 81400 | 9100 | 8,95 |

Tablo 4.20: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

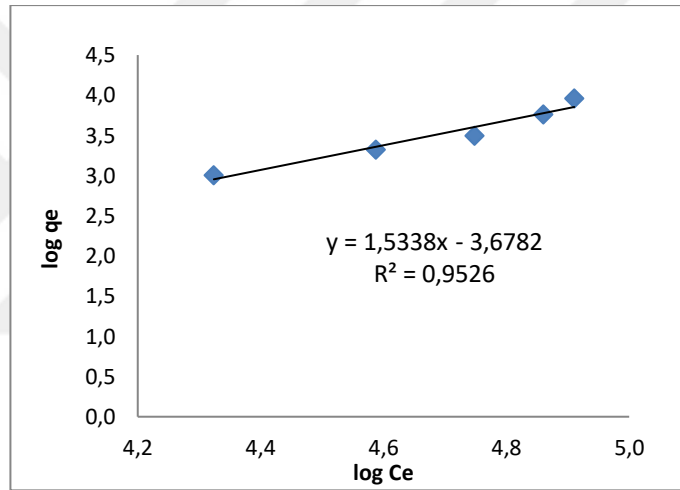
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | $\log C_e$ | $\log q_e$ |
|--------------------------------------|--------------|--------------|------------|------------|
| 23100 | 21080 | 1010 | 4,32 | 3,00 |
| 42900 | 38700 | 2100 | 4,59 | 3,32 |
| 62300 | 56000 | 3150 | 4,75 | 3,50 |
| 84100 | 72500 | 5800 | 4,86 | 3,76 |
| 99600 | 81400 | 9100 | 4,91 | 3,96 |

Tablo 4.21: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

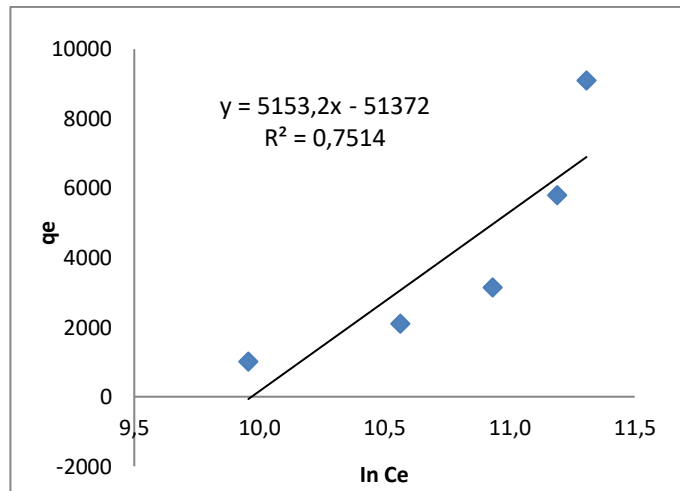
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | $\ln C_e$ |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-----------|
| 23100 | 21080 | 1010 | 9,96 |
| 42900 | 38700 | 2100 | 10,56 |
| 62300 | 56000 | 3150 | 10,93 |
| 84100 | 72500 | 5800 | 11,19 |
| 99600 | 81400 | 9100 | 11,31 |



Şekil 4.19: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi.



Şekil 4.20: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi.



Şekil 4.21: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi.

Tablo 4.22: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

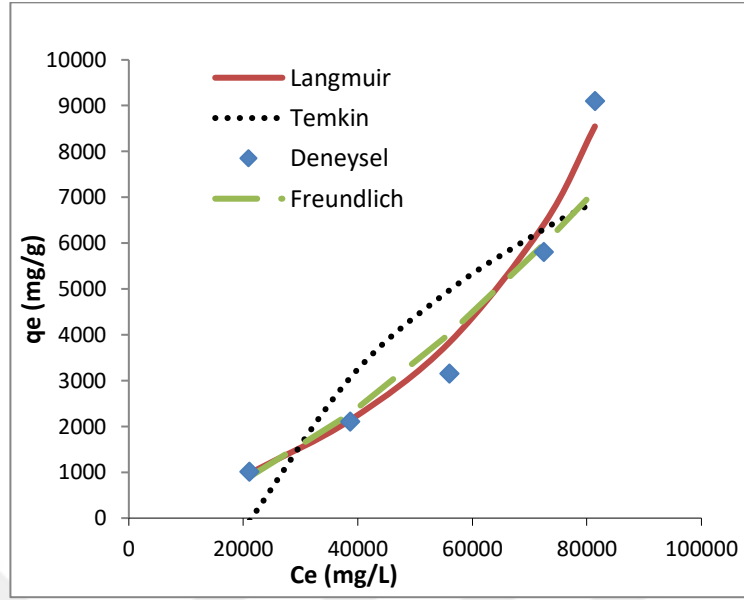
| Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri | | | Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri | | | Temkin sabitleri ve R^2 değerleri | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------|---|-------|--------|-------------------------------------|-----------------------|-------|--------|
| Q_0 | b | R^2 | K_f | n | R^2 | B | K_t | b_t | R^2 |
| -5000 | $-7,75 \times 10^{-6}$ | 0,8969 | 2.1×10^{-4} | 0,652 | 0,9526 | 5153,2 | 4.69×10^{-5} | 0.480 | 0.7514 |

Tablo 4.22’de elde edilen değerler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinde yerlerine konularak her bir izoterm modeli için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.23 ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

Tablo 4.22 incelendiğinde elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyon mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.23’de karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerlerinden faydalanılarak çizilen Şekil 4.22 incelendiğinde ise diğer izoterm modellerine göre Langmuir izoterm modelinden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e verilerine daha yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.23: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

| C_e (mg/L) | Deneysel q_e (mg/g) | Langmuir q_e (mg/g) | Freundlich q_e (mg/g) | Temkin q_e (mg/g) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 21080 | 1010 | 977 | 899 | -61 |
| 38700 | 2100 | 2143 | 2283 | 3070 |
| 56000 | 3150 | 3835 | 4023 | 4974 |
| 72500 | 5800 | 6414 | 5978 | 6305 |
| 81400 | 9100 | 8548 | 7140 | 6901 |



Şekil 4.22: Laktik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.2.2. Laktik Asidin Amberlite IRA-67 Adsorpsiyonu İzotermi

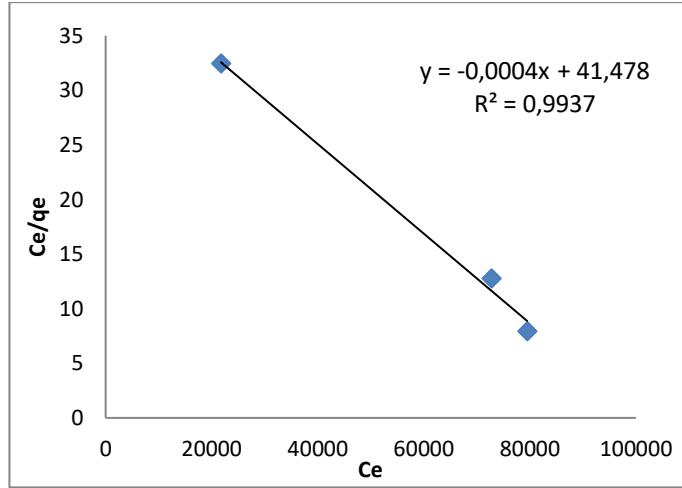
Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumu Tablo 4.24-4.26'da verilen deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.23-4.25'de gösterilmiştir. Şekil 4.23-4.25'den yararlanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.27'de özetlenmiştir.

Tablo 4.24: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri.

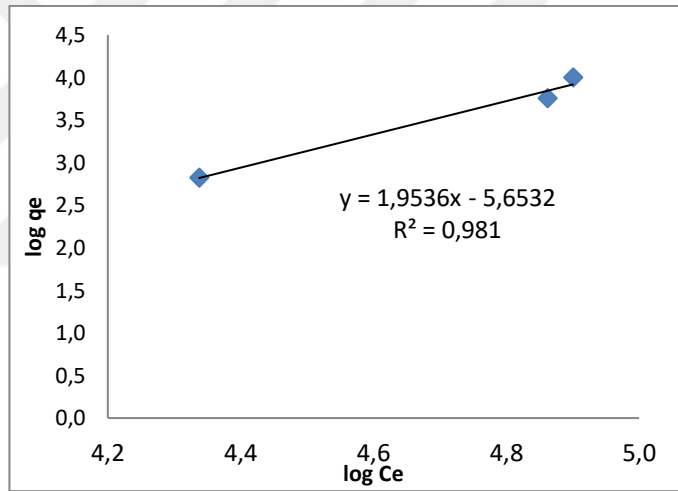
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | C_e/q_e (g/L) |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| 2310 | 21758 | 671 | 32,43 |
| 8410 | 72700 | 5700 | 12,75 |
| 9960 | 79500 | 10050 | 7,91 |

Tablo 4.25: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri.

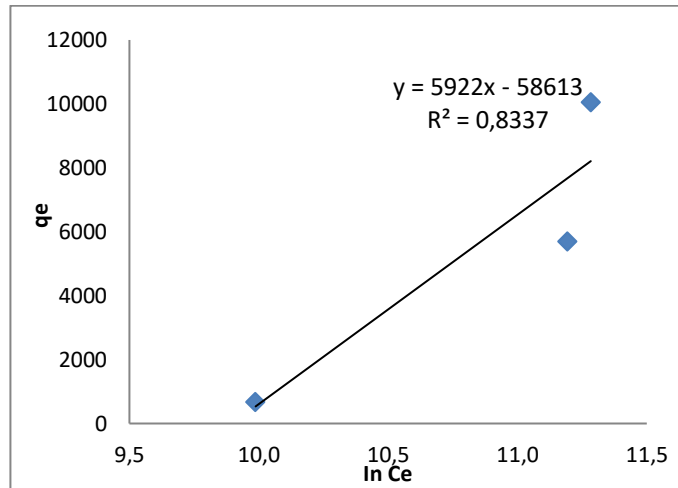
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | $\log C_e$ | $\log q_e$ |
|--------------------------------------|--------------|--------------|------------|------------|
| 2310 | 21758 | 671 | 4,34 | 2,83 |
| 8410 | 72700 | 5700 | 4,86 | 3,76 |
| 9960 | 79500 | 10050 | 4,90 | 4,00 |



Şekil 4.23: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi.



Şekil 4.24: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi.



Şekil 4.25: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi.

Tablo 4.26: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri.

| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C _e (mg/L) | q _e (mg/g) | ln C _e |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| 2310 | 21758 | 671 | 9,99 |
| 8410 | 72700 | 5700 | 11,19 |
| 9960 | 79500 | 10050 | 11,28 |

Tablo 4.27: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R² değerleri.

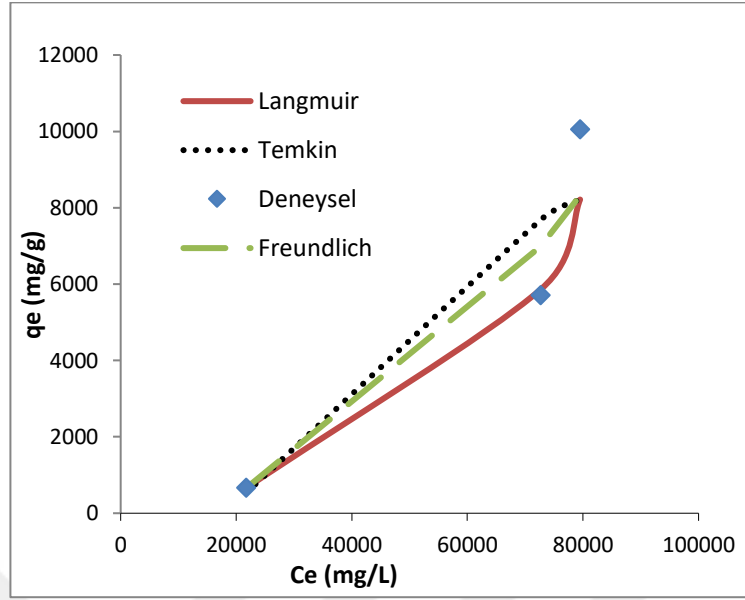
| Langmuir sabitleri ve R ² değerleri | | | Freundlich sabitleri ve R ² değerleri | | | Temkin sabitleri ve R ² değerleri | | | |
|--|------------------------|----------------|--|-------|----------------|--|-----------------------|----------------|----------------|
| Q ₀ | b | R ² | K _f | n | R ² | B | K _t | b _t | R ² |
| -2500 | -9,64x10 ⁻⁶ | 0,9937 | 2,22x10 ⁻⁶ | 0,512 | 0,981 | 5922 | 5,04x10 ⁻⁵ | 0,418 | 0,8337 |

Tablo 4.27’de elde edilen değerler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinde yerlerine konularak her bir izoterm modeli için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.28’de ve Şekil 4.26’da gösterilmiştir.

Tablo 4.27 incelendiğinde elde edilen R² değerinin yüksek olması sebebiyle laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyon mekanizmasının en iyi Langmuir izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.28’deki karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerlerinden faydalanılarak çizilen Şekil 4.26 incelendiğinde de Langmuir izoterm modelinden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e verilerine daha yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.28: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

| C _e (mg/L) | Deneysel q _e (mg/g) | Langmuir q _e (mg/g) | Freundlich q _e (mg/g) | Temkin q _e (mg/g) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 2310 | 671 | 664 | 662 | 540 |
| 8400 | 5700 | 5864 | 6987 | 7685 |
| 9960 | 10050 | 8215 | 8321 | 8171 |



Şekil 4.26: Laktik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.2.3. Malik Asidin MWCNT Adsorpsiyonu İzotermi

Malik asidin MWCNT ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumu Tablo 4.29-4.31'deki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.27-4.29'da gösterilmiştir. Şekil 4.27-4.29'dan yararlanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.32'de özetlenmiştir.

Tablo 4.29: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri.

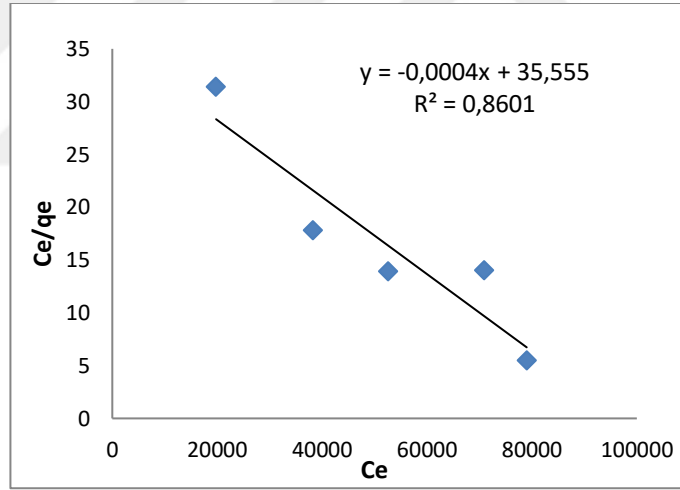
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | C_e/q_e (g/L) |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| 21050 | 19790 | 630 | 31,41 |
| 42600 | 38300 | 2150 | 17,81 |
| 60220 | 52650 | 3785 | 13,91 |
| 81000 | 70900 | 5050 | 14,04 |
| 107700 | 79000 | 14350 | 5,51 |

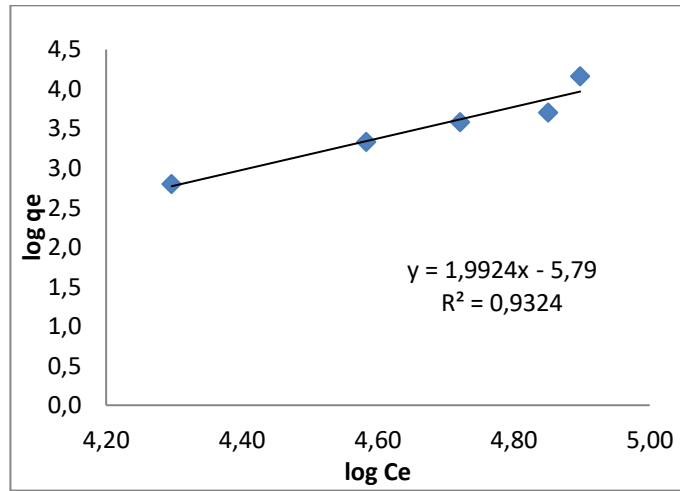
Tablo 4.30: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri.

| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C _e (mg/L) | q _e (mg/g) | log C _e | log q _e |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 21050 | 19790 | 630 | 4,30 | 2,80 |
| 42600 | 38300 | 2150 | 4,58 | 3,33 |
| 60220 | 52650 | 3785 | 4,72 | 3,58 |
| 81000 | 70900 | 5050 | 4,85 | 3,70 |
| 107700 | 79000 | 14350 | 4,90 | 4,16 |

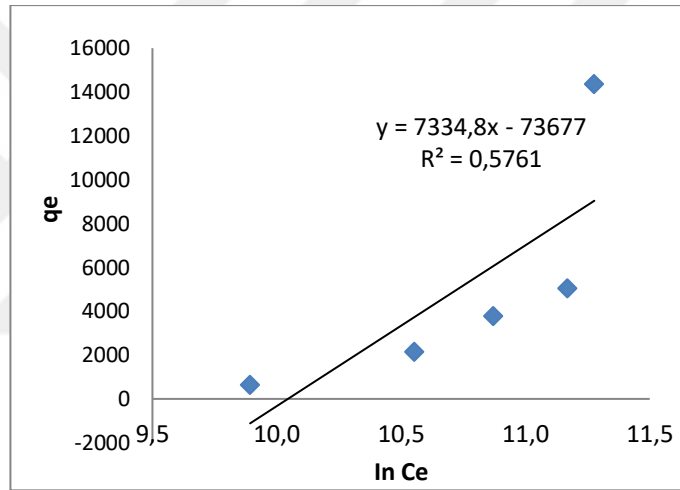
Tablo 4.31: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri.

| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C _e (mg/L) | q _e (mg/g) | ln C _e |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| 21050 | 19790 | 630 | 9,89 |
| 42600 | 38300 | 2150 | 10,55 |
| 60220 | 52650 | 3785 | 10,87 |
| 81000 | 70900 | 5050 | 11,17 |
| 107700 | 79000 | 14350 | 11,28 |

**Şekil 4.27:** Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi.



Şekil 4.28: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi.



Şekil 4.29: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi.

Tablo 4.32: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

| Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri | | | Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri | | | Temkin sabitleri ve R^2 değerleri | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------|---|-------|--------|-------------------------------------|-----------------------|-------|--------|
| Q_0 | b | R^2 | K_f | n | R^2 | B | K_t | b_t | R^2 |
| -2500 | $-1,13 \times 10^{-5}$ | 0,8601 | $1,6 \times 10^{-6}$ | 0,502 | 0,9324 | 7334,8 | $4,35 \times 10^{-5}$ | 0,338 | 0,5761 |

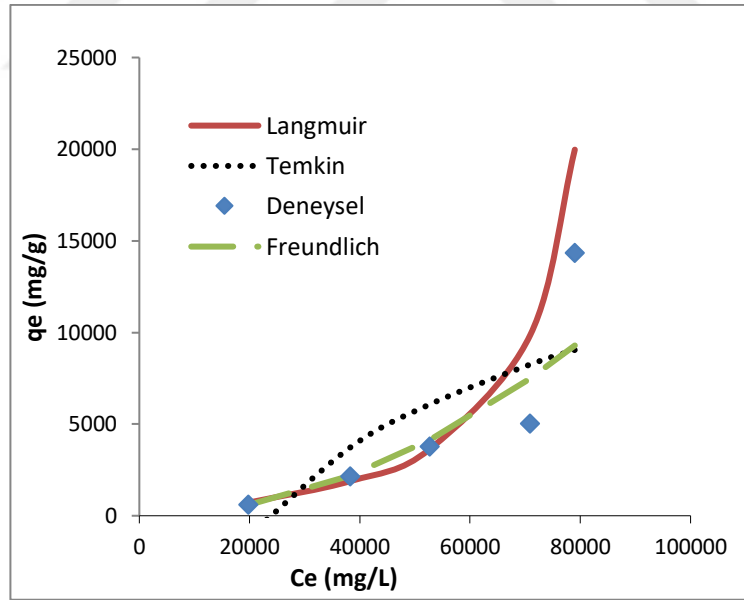
Tablo 4.32'deki elde edilen değerler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinde yerlerine konularak her bir izoterm modeli için adsorpsiyon kapasitesi (q_e)

değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.33 ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir.

Tablo 4.32 incelendiğinde elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle malik asidin MWCNT ile adsorpsiyon mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.33'teki karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerlerinden faydalanılarak çizilen Şekil 4.30 incelendiğinde de Langmuir izoterm modelinden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e verilerine daha yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.33: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

| C_e (mg/L) | Deneysel q_e (mg/g) | Langmuir q_e (mg/g) | Freundlich q_e (mg/g) | Temkin q_e (mg/g) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 19790 | 630 | 716 | 589 | -1107 |
| 38300 | 2150 | 1893 | 2196 | 3736 |
| 52650 | 3785 | 3632 | 4139 | 6070 |
| 70900 | 5050 | 9854 | 7489 | 8253 |
| 79000 | 14350 | 19975 | 9290 | 9047 |



Şekil 4.30: Malik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.2.4. Malik Asidin Amberlite IRA-67 Adsorpsiyonu İzotermeleri

Malik asidin Amberlite IRA-67 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumu Tablo 4.34-4.36'daki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.31-4.33'de gösterilmiştir. Şekil 4.31-

4.33'dan yararlanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) Tablo 4.37'de özetlenmiştir.

Tablo 4.34: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri.

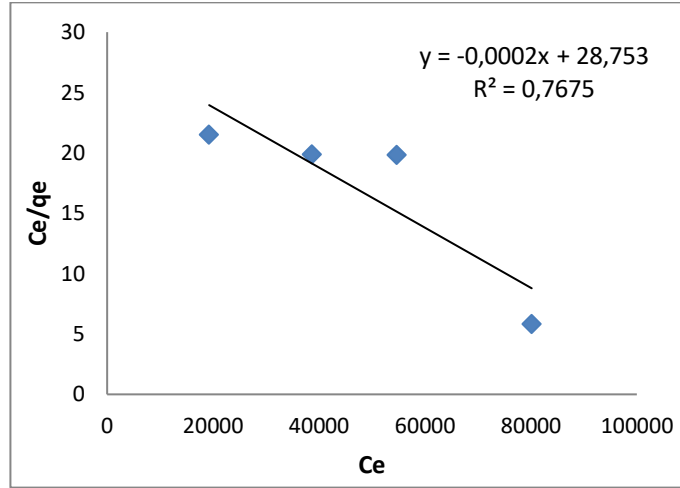
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | C_e/q_e (g/L) |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| 21050 | 19258 | 896 | 21,49 |
| 42600 | 38700 | 1950 | 19,85 |
| 60220 | 54700 | 2760 | 19,82 |
| 107700 | 80150 | 13775 | 5,82 |

Tablo 4.35: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri.

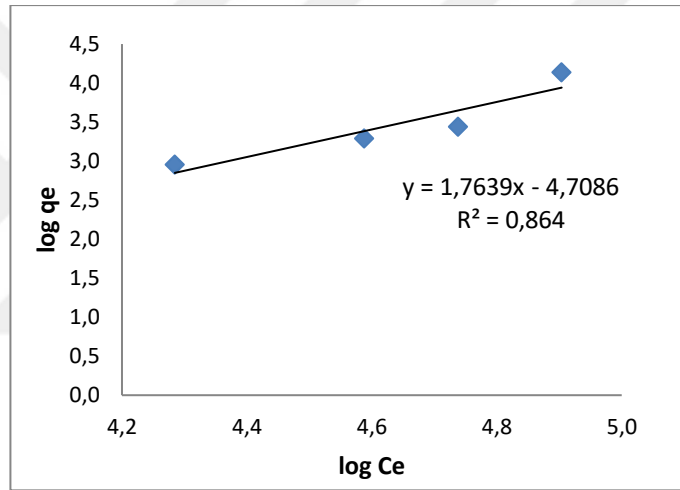
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | $\log C_e$ | $\log q_e$ |
|--------------------------------------|--------------|--------------|------------|------------|
| 21050 | 19256 | 896 | 4,28 | 2,95 |
| 42600 | 38700 | 1950 | 4,59 | 3,29 |
| 60220 | 54700 | 2760 | 4,74 | 3,44 |
| 107700 | 80150 | 13375 | 4,90 | 4,14 |

Tablo 4.36: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri.

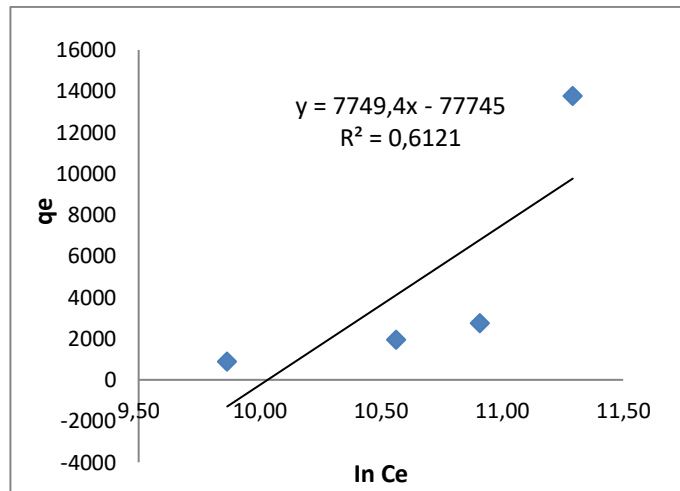
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | $\ln C_e$ |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-----------|
| 21050 | 19258 | 896 | 9,87 |
| 42600 | 38700 | 1950 | 10,56 |
| 60220 | 54700 | 2760 | 10,91 |
| 107700 | 80150 | 13775 | 11,29 |



Şekil 4.31: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi.



Şekil 4.32: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi.



Şekil 4.33: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi.

Tablo 4.37: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

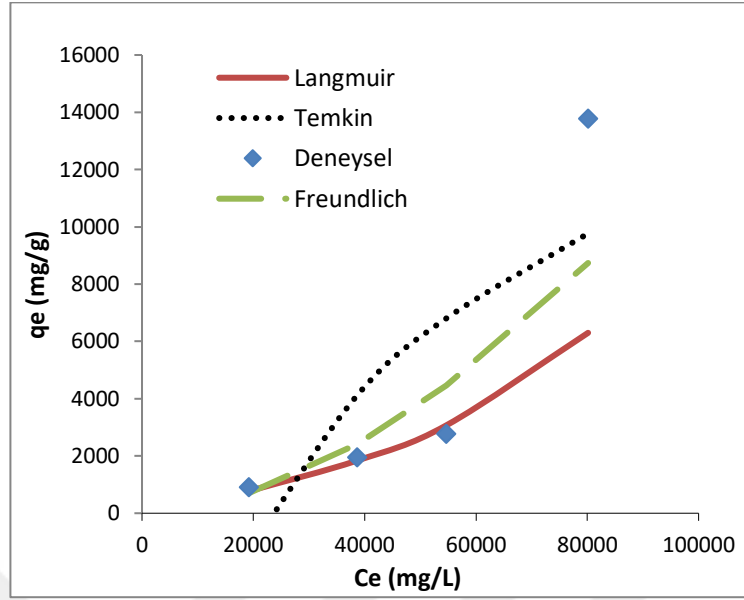
| Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri | | | Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri | | | Temkin sabitleri ve R^2 değerleri | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------|---|-------|-------|-------------------------------------|-----------------------|-------|--------|
| Q_0 | b | R^2 | K_f | n | R^2 | B | K_t | b_t | R^2 |
| -5000 | $-6,96 \times 10^{-6}$ | 0,7675 | $1,96 \cdot 10^{-5}$ | 0,567 | 0,864 | 7749,4 | $4,40 \times 10^{-5}$ | 0,320 | 0,6121 |

Tablo 4.37’de elde edilen değerler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinde yerlerine konularak her bir izoterm modeli için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırılmalı olarak Tablo 4.38 ve Şekil 4.34’de gösterilmiştir.

Tablo 4.38 incelendiğinde elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyon mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.38’deki karşılaştırılmalı olarak verilen q_e değerleri incelendiğinde ise diğer izoterm modellerine göre Langmuir izoterm modelinden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e verilerine daha yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.38: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

| C_e (mg/L) | Deneysel q_e (mg/g) | Langmuir q_e (mg/g) | Freundlich q_e (mg/g) | Temkin q_e (mg/g) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 19258 | 896 | 773 | 706 | -1284 |
| 38700 | 1950 | 1842 | 2419 | 4125 |
| 54700 | 2760 | 3071 | 4454 | 6806 |
| 80150 | 13775 | 6300 | 8738 | 9767 |



Şekil 4.34: Malik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.2.5. Tartarik Asidin MWCNT Adsorpsiyonu İzotermi

Tartarik asidin MWCNT ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumu Tablo 4.39-4.41'deki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.35-4.37'de gösterilmiştir. Şekil 4.35-4.37'den yararlanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.42'de özetlenmiştir.

Tablo 4.39: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri.

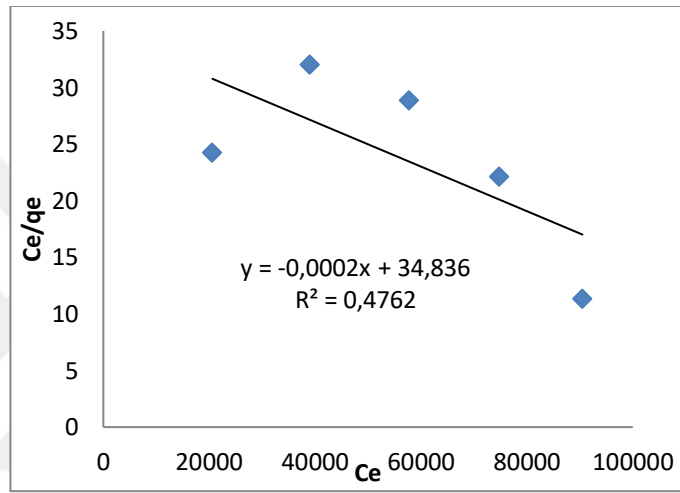
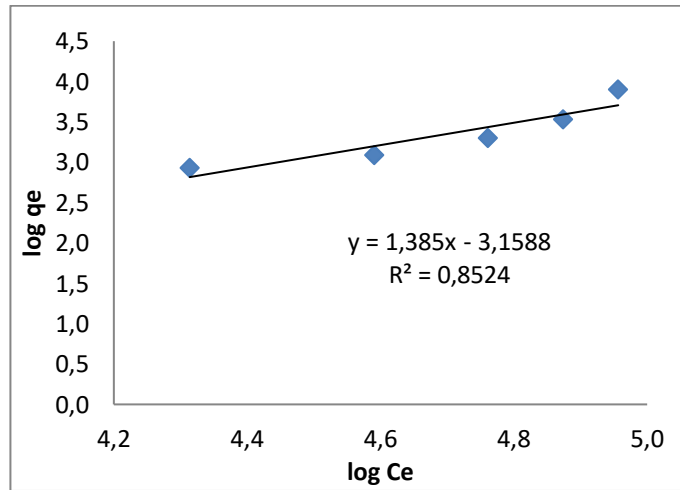
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | C_e/q_e (g/L) |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| 22300 | 20600 | 850 | 24,24 |
| 41438 | 39000 | 1219 | 31,99 |
| 61700 | 57700 | 2000 | 28,85 |
| 81560 | 74800 | 3380 | 22,13 |
| 106500 | 90500 | 8000 | 11,31 |

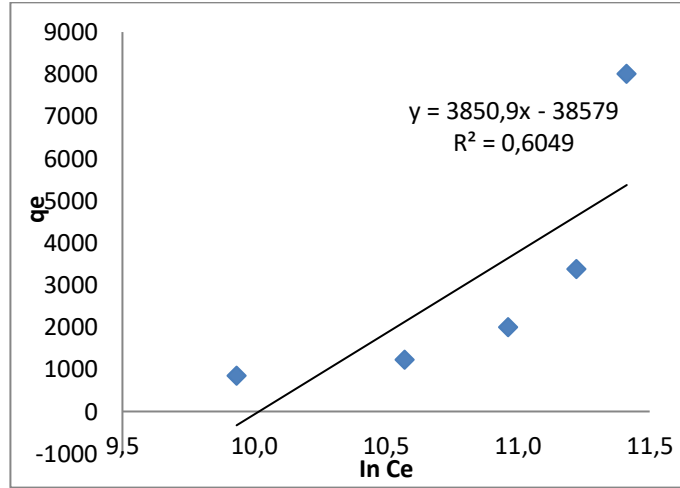
Tablo 4.40: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri.

| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C_e (mg/L) | q_e (mg/g) | $\log C_e$ | $\log q_e$ |
|--------------------------------------|--------------|--------------|------------|------------|
| 22300 | 20600 | 850 | 4,31 | 2,93 |
| 41438 | 39000 | 1219 | 4,59 | 3,09 |
| 61700 | 57700 | 2000 | 4,76 | 3,30 |
| 81560 | 74800 | 3380 | 4,87 | 3,53 |
| 106500 | 90500 | 8000 | 4,96 | 3,90 |

Tablo 4.41: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri.

| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C _e (mg/L) | q _e (mg/g) | ln C _e |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| 22300 | 20600 | 850 | 9,93 |
| 41438 | 39000 | 1219 | 10,57 |
| 61700 | 57700 | 2000 | 10,96 |
| 81560 | 74800 | 3380 | 11,22 |
| 106500 | 90500 | 8000 | 11,41 |

**Şekil 4.35 :** Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi.**Şekil 4.36:** Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi.



Şekil 4.37: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi.

Tablo 4.42: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

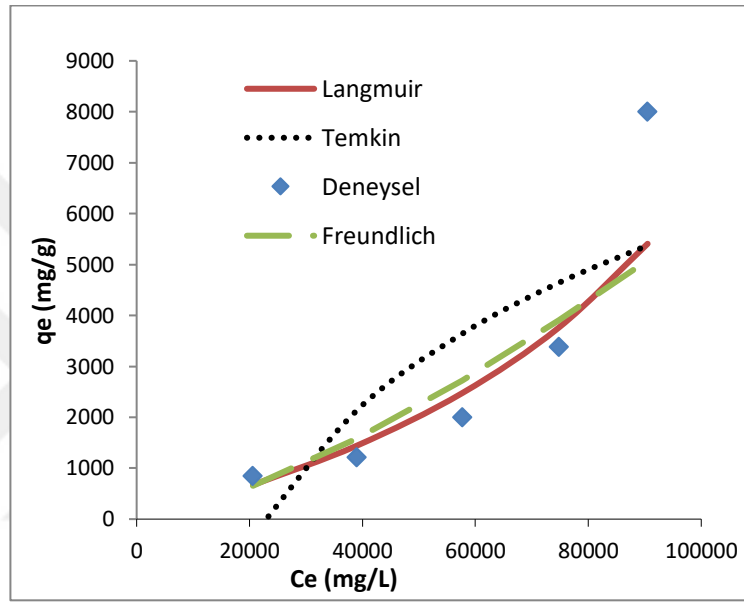
| Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri | | | Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri | | | Temkin sabitleri ve R^2 değerleri | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------|---|-------|--------|-------------------------------------|-----------------------|-------|--------|
| Q_0 | b | R^2 | K_f | n | R^2 | B | K_t | b_t | R^2 |
| -5000 | $-5,74 \times 10^{-6}$ | 0,4762 | $6,9 \times 10^{-4}$ | 0,722 | 0,8524 | 3850,9 | $4,46 \times 10^{-5}$ | 0,643 | 0,6049 |

Tablo 4.42’de elde edilen değerler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinde yerlerine konularak her bir izoterm modeli için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.43’de ve Şekil 4.38’de gösterilmiştir.

Tablo 4.42 incelendiğinde elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyon mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.43’deki karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerleri incelendiğinde de Freundlich ve Langmuir izoterm modelinden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e verilerine yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.43: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

| C_e (mg/L) | Deneysel q_e (mg/g) | Langmuir q_e (mg/g) | Freundlich q_e (mg/g) | Temkin q_e (mg/g) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 20600 | 850 | 671 | 654 | -324 |
| 39000 | 1219 | 1443 | 1584 | 2134 |
| 57700 | 2000 | 2477 | 2725 | 3642 |
| 74800 | 3380 | 3763 | 3904 | 4642 |
| 90500 | 8000 | 5408 | 5083 | 5376 |



Şekil 4.38: Tartarik asidin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.2.6. Tartarik Asidin Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu

Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumu Tablo 4.44-46'daki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.39-4.41'de gösterilmiştir. Şekil 4.39-4.41'den yararlanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.47'de özetlenmiştir.

Tablo 4.44: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri.

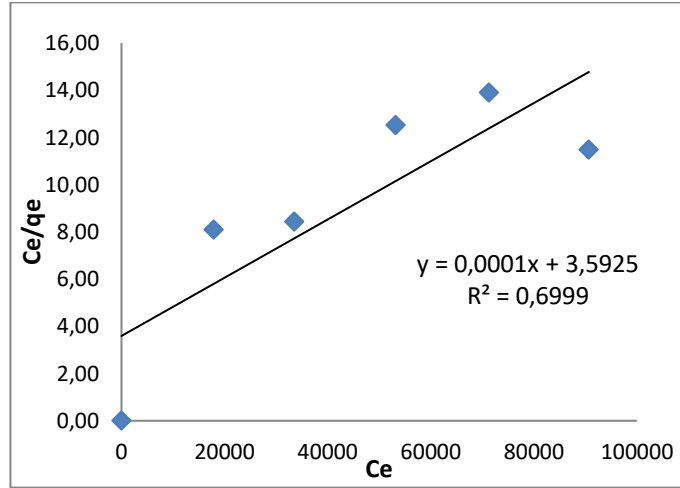
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C _e (mg/L) | q _e (mg/g) | C _e /q _e (g/L) |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 22300 | 17878 | 2211 | 8,09 |
| 41438 | 33500 | 3969 | 8,44 |
| 61700 | 53200 | 4250 | 12,52 |
| 81560 | 71300 | 5130 | 13,90 |
| 106500 | 90700 | 7900 | 11,48 |

Tablo 4.45: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri.

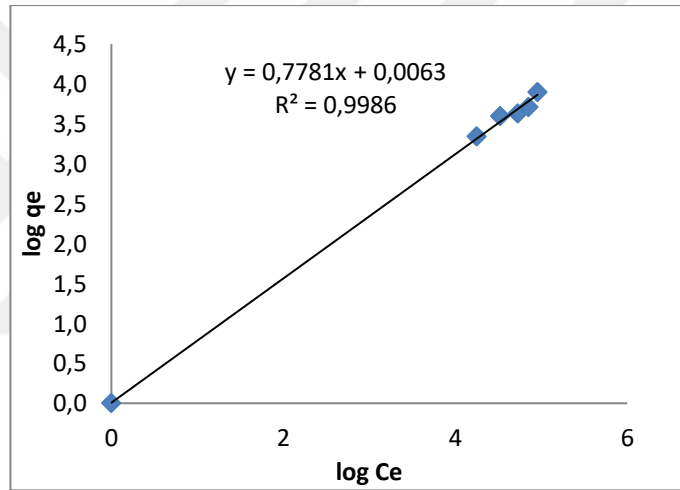
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C _e (mg/L) | q _e (mg/g) | log C _e | log q _e |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 22300 | 17878 | 2211 | 4,25 | 3,34 |
| 41438 | 33500 | 3969 | 4,53 | 3,60 |
| 61700 | 53200 | 4250 | 4,73 | 3,63 |
| 81560 | 71300 | 5130 | 4,85 | 3,71 |
| 106500 | 90700 | 7900 | 4,96 | 3,90 |

Tablo 4.46: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izoterm verileri.

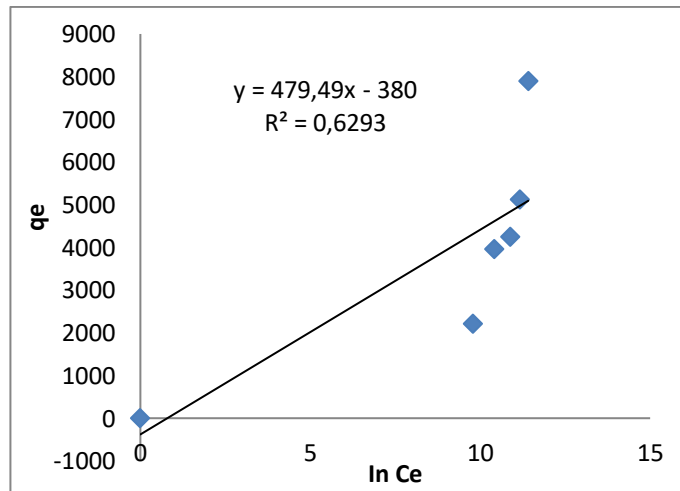
| Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L) | C _e (mg/L) | q _e (mg/g) | ln C _e |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| 22300 | 17878 | 2211 | 9,79 |
| 41438 | 33500 | 3969 | 10,42 |
| 61700 | 53200 | 4250 | 10,88 |
| 81560 | 71300 | 5130 | 11,17 |
| 106500 | 90700 | 7900 | 11,42 |



Şekil 4.39: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi.



Şekil 4.40: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi.



Şekil 4.41: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Temkin izotermi.

Tablo 4.47: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

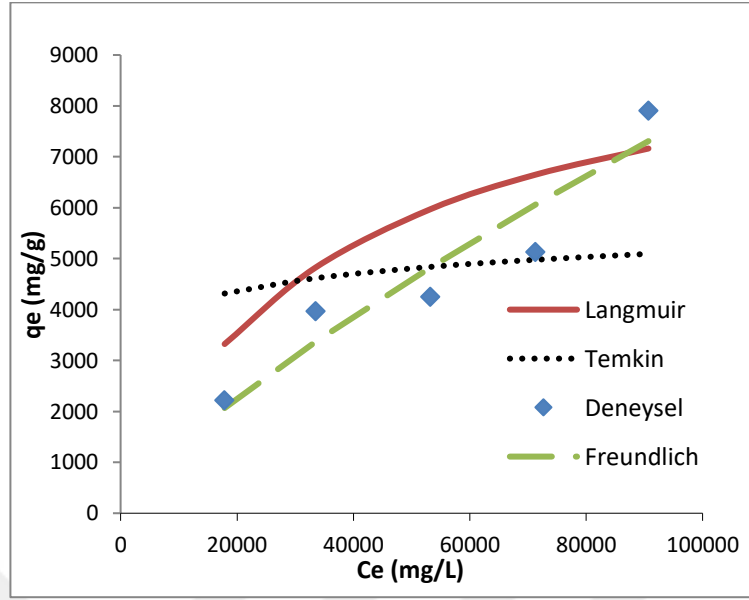
| Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri | | | Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri | | | Temkin sabitleri ve R^2 değerleri | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|--------|---|-------|--------|-------------------------------------|-----------------------|-------|--------|
| Q_0 | b | R^2 | K_f | n | R^2 | B | K_t | b_t | R^2 |
| 10000 | $2,78 \times 10^{-5}$ | 0,6999 | 1,015 | 1,285 | 0,9986 | 479,49 | $4,53 \times 10^{-1}$ | 5,167 | 0,6293 |

Tablo 4.47’de elde edilen değerler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinde yerlerine konularak her bir izoterm modeli için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.48 ve Şekil 4.42’de gösterilmiştir.

Tablo 4.47 incelendiğinde elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyon mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.48’deki karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerleri incelendiğinde ise diğer izoterm modellerine göre Freundlich izoterm modelinden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e verilerine daha yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.48: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

| C_e (mg/L) | Deneysel q_e (mg/g) | Langmuir q_e (mg/g) | Freundlich q_e (mg/g) | Temkin q_e (mg/g) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 17878 | 2211 | 3323 | 2066 | 4315 |
| 33500 | 3969 | 4825 | 3367 | 4616 |
| 53200 | 4250 | 5969 | 4825 | 4838 |
| 71300 | 5130 | 6650 | 6060 | 4978 |
| 90700 | 7900 | 7163 | 7308 | 5094 |



Şekil 4.42: Tartarik asidin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasının amacı, farklı özellikte iki adsorban (Amberlite IRA-67 ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüp, MWCNT) kullanılarak sulu çözeltilerden üç farklı alfa hidroksi asidin (laktik asit, malik asit, tartarik asit) adsorpsiyonunun araştırılmasıdır. Bu kapsamda, yapılan deneysel çalışmaların ilk kısmında öncelikle laktik, malik ve tartarik asitlerin yaklaşık %10'luk sulu çözeltileri hazırlanmış ve her bir adsorban için dengeye gelme süreleri belirlenmiştir. Bundan sonraki aşamada, tespit edilen bu sürede farklı başlangıç asit konsantrasyonlarında (%2, %4, %6, %8 ve %10'luk) denemeler gerçekleştirilmiş, adsorbat konsantrasyonunun adsorpsiyon kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Daha sonra farklı adsorban miktarının (0,05; 0,1; 0,15; 0,2 ve 0,25 g) adsorpsiyon üzerindeki etkisi incelenerek optimum adsorban miktarı belirlenmiştir. Denemeler sonucunda elde edilen veriler tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçların Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerinin olan uyumu incelenmiş, Langmuir, Freundlich, Temkin izoterm modellerine ait eşitliklere göre grafikler çizilmiş ve izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmıştır. Elde edilen izoterm sabitleri, Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinde tekrar yerlerine konularak her bir izoterm modeli için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmaların sonuçları incelendiğinde her bir asit ve adsorban için adsorpsiyonun denge değerine 180 dakikada ulaştığı belirlenmiştir. Başlangıç asit konsantrasyonu değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemeleri sonuçları incelendiğinde ise başlangıç asit konsantrasyonu arttıkça Amberlite IRA-67 ve MWCNT tarafından adsorbe olan asit miktarı artmıştır. Farklı adsorban miktarlarının adsorpsiyona olan etkisinin incelendiği denemelerde ise tüm sistemler için optimum adsorban miktarı 0,05 g olarak bulunmuştur.

Elde edilen korelasyon sonuçlarına göre alfa hidroksi asitlerin MWCNT ve Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonlarının genel olarak Freundlich izoterm modeli uyduğu belirlenmiştir. Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinden elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri karşılaştırıldığında ise tüm sistemler için elde edilen

deneysel qe verilerinin Langmuir izoterm modelinden elde edilen qe değerlerine daha yakın olduğu görülmüştür. Böylece, alfa hidroksi asitlerin MWCNT ve Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonlarının en iyi Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri ile uyum sağladığı, Temkin izoterm modeline ise uymadığı anlaşılmaktadır.

Adsorbanların adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırıldığında alfa hidroksi asitler için Amberlite IRA-67'nin adsorpsiyon kapasitesi MWCNT göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, Amberlite IRA-67 ve MWCNT tarafından en çok malik asit, en az tartarik asit adsorplanmıştır.



KAYNAKLAR

- [1]. Weber, W.J.,1972, Physicochemical Processes: For Water Quality Control, *Wiley Interscience*, NY,199-255.
- [2]. Sarıkaya,Y., 1993, *Fizikokimya*, Gazi Büro Kitabevi, Ankara, ISBN: 975-7313-009.
- [3]. Atkins, P.W., 2001, *Fizikokimya*, Bilim Yayıncılık, Ankara.
- [4]. Berkem, A.R., Baykut S. Ve Berkem M.L., 1994, *Fizikokimya*, 2. Cilt, İ.Ü. Basımevi, İstanbul.
- [5]. Baylan, N., 2013, *Bentonit ve üzüm çekirdeği aktif karbonunun tekli ve çoklu iyon sistemlerindeki adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6]. Li, W., Zhang, L., Peng, J., Li, N., Zhang, S., and Guo, S., 2008, Tobacco stems as a low cost adsorbent for the removal of Pb(II) from wastewater: equilibrium and kinetic studies, *Industrial Crops and Products*, 28, 294–302.
- [7]. Sarıdağ, M., 2008, *Adsorpsiyona etki eden faktörler*, Seminer Sunumu, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8]. Dinçer, A., 2007, *Sepiyolit ve genleşmiş perlit üzerine katyonik poliakrilamid adsorpsiyonu*,Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9]. Başural, Y., 1996, *Çeşitli adsorbanlarla fosfat giderilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10]. Zahoor, M., 2011, *Bazı organik maddelerin adsorpsiyon-filtrasyon ve adsorpsiyon-membran hibrid sistemleri ile sulardan uzaklaştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11]. Onyancha, D., Mavura, W., Ngila, J. C., Ongoma, P., and Chacha, J., 2008, Studies of chromium removal from tannery wastewaters by algaebiosorbents, *Journal of Hazardous Materials*, 158 , 605–614.
- [12]. Beler Baykal, B., Adsorption and ion exchange in environmental engineering, *Environmental Sciences and Engineering Programme (ders notu)*, İTÜ.
- [13]. Sarıkaya, Y., 2003, *Fizikokimya*, 4. Baskı, Gazi Kitapevi, Ankara.

- [14]. Dinçyürek, Ö., 2006, *Termik santral ve uçucu kül tiplerinin atık sularındaki fenolün adsorpsiyon yöntemi ile giderim etkinliklerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [15]. Módenes, A.N., Espinoza-Quiñones, F.R., Trigueros, D.E.G., Lavarda, F.L., Colombo, A. and Mora, N.D., 2011, Kinetic and equilibrium adsorption of Cu(II) and Cd(II) ions on eichhornia crassipes in single and binary systems, *Chemical Engineering Journal*, 168, 44–51.
- [16]. Bayazit, Ş.S. and İnci, İ., 2013, Adsorption of Pb(II) ions from aqueous solutions by carbon nanotubes oxidized different methods, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19, 2064–2071.
- [17]. Azizian, S., Haerifar, M. and Bashiri, H., 2009, Adsorption of methyl violet onto granular activated carbon: equilibrium, kinetics and modeling, *Chemical Engineering Journal*, 146, 36–41.
- [18]. Condon, J.B., 2006, *Surface area and porosity determinations by physisorption measurements and theory*, Elsevier, Netherlands.
- [19]. Machida, M., Aikawa, M., and Tatsumoto, H., 2005, Prediction of simultaneous adsorption of Cu(II) and Pb(II) onto activated carbon by conventional langmuir type equations, *Journal Hazardous Materials*, B120, 271-275.
- [20]. Yener, J., ve Aksu, Z., 1999, Atık sularındaki fenol ve klorofenollerin aktif karbon ve kurutulmuş aktif çamura adsorpsiyonu, *Engineering and Environmental Science*, 23, 93-104.
- [21]. Eren, E., 2009, Removal of lead ions by unye (turkey) bentonite in iron and magnesium oxide-coated form, *Journal Hazardous Materials*, 165,63-70.
- [22]. Florence, A.T. and Siepmann, J., 2009, Modern pharmaceutics volume 1: basic principles and systems, 5. Baskı, *Informa Healthcare*, Newyork, ABD.
- [23]. Biçer İ.Ö., 2004, *Bazı pestisitlerin hindistan cevizi kabuğundan elde edilen adsorbanda adsorplanarak sulu ortamdan uzaklaştırılması*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- [24]. Dağlı, S., ve Akça, L., 2007, Yapay sulak alan sisteminde fosfor giderimine ortam malzemesinin etkisi, *itüdergisi / e-mühendislik*, 17, 51-59.
- [25]. Nunes, A. A., Franca, A. S., and Oliveira, L. S., 2009, Activated carbons fromwaste biomass: an alternative us efor biodiesel production solid residues, *Bioresource Technology*, 100, 1786-1792.
- [26]. Hameed, B. H. and Daud, F. B. M., 2008, Adsorption studies of basic dye on activated carbon derived from agricultural waste: hevea brasiliensis seed coat, *Chemical Engineering Journal*, 139, 48-55.

- [27]. Yetim, A., 2011, *Karbon nanotüpler*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28]. Oral, A., 2005, Taramalı uç mikroskobu: atomlarda magnetik girdaplarda görüntüleme, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 23(1-2), 2-10.
- [29]. Arslanoğlu, N., 2009, *Karbon nanotüplerin adsorpsiyon işlemlerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30]. Cenger, Y., 2006, *Nanoteknoloji ve Karbon nano yapılar*, Bitirme Ödevi, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.
- [31]. Golet E.M., Alder A.C. and Giger W., 2002, Environmental exposure and risk assessment of fluoroquinolone antibacterial agents in wastewater and river water of the glatt valley watershed, Switzerland, *Enviromental Scence. Technology*, 36, 3645-3651.
- [32]. Balasubramanian, K. ve Burghard, M., 2005, Chemically functionalized carbonnanotubes, *Small* 1(2), 180-192.
- [33]. Arslanoğlu, N., 2009, *Karbon nanotüplerin adsorpsiyon işlemlerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [34]. Inagaki, M., ve diğ., 2004, Nanocarbons recent research in Japan, *Carbon*, 42 (89) 1401-1417.
- [35]. Sevi, A.H., 2006, *Nanoteknolojide karbon nanotüplerin dayanıklılık simülasyonları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [36]. Erol, G., 2014, *Karbon nanotüplerde karboksilli asitlerin adsorpsiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi.
- [37]. Ceylaner, E., 2014, *İtanoik asidin karbon nanotüplerde adsorpsiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [38]. Kumar, S. and Babu, B. V., 2014, Process intensification for seperation of carboxylic acids from fermentation broths using reactive extraction, *Birla Institute of Technology and Science*.
- [39]. Halilibrahimoğlu, N., Kirazlı, A. ve Şengüler, S., 2014, *Laktik asit üretimi*, Bitirme Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [40]. Wee, Y. J., Kim, J. N. and Ryu, H. W., 2006, Biotechnological production of lactic acid and its recent applications. food techno., *Biotechnology*, 44(2), 163-172.
- [41]. Riberau- Gayan, P., Maujean, A. and Dubourdieu, D., 2006, *The Handbook of enology*, Vol.2, Johns and Wiley(ed), Newyork, 406.

- [42]. Loewus, F.A., 1988, *Ascorbic acid and its metabolic products in the biochemistry of plants*, Vol.14, Preiss, J.(ed), Academic Press.
- [43]. Usseglio- Tomasset, L., 1995, *Chimica enologica*, AEB, 431, Bressia.
- [44]. Lamikanra, O., 1997, Changes in organic acid composition during fermentation and aging of noble muscadine wine, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 935-937.
- [45]. Asada, K., 1992, Ascorbate peroxidase-hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants, *Physiologia plantarum*, 85, 235-241.
- [46]. Loewus, F. A., 1999, Biosynthesis and metabolism of ascorbic acid in plants and of analogs ascorbic acid in fungi, *Phytochemistry*, 52, 193-210.
- [47]. Saito, K., Ohmoto, J. and Kuriha, N., 1997, Incorporation of 18O into oxalic acid, L-threonic and L-tartaric acids during cleavage of L-ascorbic and 5-keto-D-gluconic acids in plants, *Phytochemistry*, 44, 805-809.

ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|------------------|--|
| Adı Soyadı | İrem İLALAN |
| Doğum Yeri | Bakırköy |
| Doğum Tarihi | 28.07.1990 |
| Uyruğu | <input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer: |
| Telefon | 0533 355 75 05 |
| E-Posta Adresi | iremilalan@gmail.com |
| Web Adresi | - |



| Eğitim Bilgileri | |
|------------------|--------------------------|
| Lisans | |
| Üniversite | Namık Kemal Üniversitesi |
| Fakülte | Fen Edebiyat Fakültesi |
| Bölümü | Kimya |
| Mezuniyet Yılı | 2012 |

| Yüksek Lisans | |
|------------------|--|
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi |
| Enstitü Adı | Fen Bilimleri Enstitüsü |
| Anabilim Dalı | Kimya Mühendisliği |
| Programı | Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı |
| Mezuniyet Tarihi | - |

| Bildiriler | |
|---|--|
| İlalan, İ., İnci, İ., Baylan, N., 2016, Sustainability industrial effluent water quality by removal of tartaric acid with a nanotechnological material, <i>International Sustainability Congress</i> , 1-3 Aralık 2016, İstanbul, Türkiye, 126-128. | |
| İlalan, İ., İnci, İ., Baylan, N., 2016, Purification of water from lactic acid by Amberlite IRA-67 adsorption, <i>International Sustainability Congress</i> , 1-3 Aralık 2016, İstanbul, Türkiye, 120-122. | |
| İlalan, İ., İnci, İ., Baylan, N., 2016, Separation of lactic acid by multiwall carbon nanotube adsorption from water, <i>3rd International Conference on Recycling and Reuse</i> , 28-30 Eylül 2016, İstanbul, Türkiye, 177-178. | |

İlalan, İ., İnci, İ., Baylan, N., 2016, Removal of tartaric acid by Amberlite IRA-67, *3rd International Conference on Recycling and Reuse*, 28-30 Eylül 2016, İstanbul, Türkiye, 189-190.

İlalan, İ., İnci, İ., Baylan, N., 2016, Malik asidin sulu çözeltilerinden çok duvarlı karbon nanotüpler kullanılarak ayrılmasının incelenmesi, *12. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, 23-26 Ağustos 2016, İzmir, Türkiye, 231-231.

