



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LAKTİK ASİTİN ADSORPSİYON ve İYON DEĞİŞİMİ
YÖNTEMLERİ ile SULU ÇÖZELTİLERİNDEN AYRILMASI**

Nevriye HALİLİBRAHİMOĞLU

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. İsmail İNCİ**

Haziran, 2017

İSTANBUL

Bu çalışma 12.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Temel İşlemler ve Termodinamik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

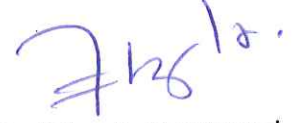
Tez Jürisi




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



Prof. Dr. Mehmet BİLGİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Süheyla ÇEHRELİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Şahika Sena BAYAZİT
Beykent Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi



Yrd. Doç. Dr. İ. Metin HASDEMİR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik 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 aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 20671 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi birikimi ve tecrübeleriyle yanımda olan ve görüşleri ile çalışmalarına yön veren saygıdeğer hocam Prof. Dr. İsmail İNCİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tezimin ilerlemesinde bana daima destek olan, bilgi ve ilgisini esirgemeyen Arş. Gör. Nilay BAYLAN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini her zaman hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Haziran 2017

Nevriye HALİLİBRAHİMOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. ADSORPSİYON	3
2.2. ADSORPSİYON TÜRLERİ	4
2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon.....	4
2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon	4
2.3. İYON DEĞİŞİMİ	5
2.4. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ.....	6
2.4.1. Langmuir İzoterm Modeli	6
2.4.2. Freundlich İzoterm Modeli	7
2.4.3. Temkin İzoterm Modeli	8
2.5. ADSORPSİYON KİNETİĞİ.....	9
2.5.1. Pseudo Birinci Mertebe Kinetik Model	9
2.5.2. Pseudo İkinci Mertebe Kinetik Model	9
2.5.3. Partikül İçi Difüzyon Modeli	9
3. MALZEME VE YÖNTEM	11
3.1. LAKTİK ASİT.....	11
3.1.1. Laktik Asitin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri.....	11
3.1.2. Laktik Asit Üretim Yöntemleri	13
3.1.2.1. Kimyasal Yöntem.....	13
3.1.2.2. Mikrobiyal Yöntem	14

3.1.3. Laktik Asitin Kullanım Alanları	16
3.1.3.1. Gıda Sektörü.....	16
3.1.3.2. Polimer Sanayi.....	17
3.1.3.3. Solventler.....	17
3.1.3.4. Diğer Kullanım Alanları	17
3.2. ADSORPSİYONDA KULLANILAN ADSORBANLAR.....	18
3.2.1. Aktif Karbon	18
3.2.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (MWCNT).....	19
3.3. İYON DEĞİŞTİRİCİ OLARAK KULLANILAN REÇİNELER	20
3.3.1. Amberlite IRA-67	20
3.3.2. Amberlite IRA-96	21
3.3.3. Amberlite IRA-400	21
3.4. DENEYSEL YÖNTEM.....	22
4. BULGULAR	24
4.1. ADSORPSİYON DENEMELERİ.....	24
4.1.1. Laktik Asitin Aktif Karbon ile Adsorpsiyonu.....	24
4.1.1.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi	24
4.1.1.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi.....	25
4.1.1.3. Farklı Aktif Karbon Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi	26
4.1.1.4. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi.....	27
4.1.2. Laktik Asitin MWCNT ile Adsorpsiyonu.....	28
4.1.2.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi	28
4.1.2.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi.....	29
4.1.2.3. Farklı MWCNT Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi.....	30
4.1.2.4. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi.....	31
4.2. İYON DEĞİŞİMİ DENEMELERİ.....	32
4.2.1. Laktik Asitin Amberlite IRA-67 ile İyon Değişimi	32
4.2.1.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi	32
4.2.1.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin İyon Değişimine Etkisi ...	33
4.2.1.3. Farklı Amberlite IRA-67 Miktarlarının İyon Değişimine Etkisi	34
4.2.1.4. Sıcaklık Değişiminin İyon Değişimine Etkisi	35
4.2.2. Laktik Asitin Amberlite IRA-96 ile İyon Değişimi	36
4.2.2.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi	36
4.2.2.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin İyon Değişimine Etkisi ...	37

4.2.2.3. Farklı Amberlite IRA-96 Miktarlarının İyon Değişimine Etkisi	38
4.2.2.4. Sıcaklık Değişiminin İyon Değişimine Etkisi	39
4.2.3. Laktik Asitin Amberlite IRA-400 ile İyon Değişimi	40
4.2.3.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi	40
4.2.3.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin İyon Değişimine Etkisi ...	41
4.2.3.3. Farklı Amberlite IRA-400 Miktarlarının İyon Değişimine Etkisi	42
4.2.3.4. Sıcaklık Değişiminin İyon Değişimine Etkisi	43
4.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ.....	44
4.3.1. Laktik Asitin Aktif Karbon Adsorpsiyonu İzotermi.....	45
4.3.2. Laktik Asitin MWCNT Adsorpsiyonu İzotermi.....	48
4.3.3. Laktik Asitin Amberlite IRA-67 İyon Değişimi İzotermi	51
4.3.4. Laktik Asitin Amberlite IRA-96 İyon Değişimi İzotermi	55
4.3.5. Laktik Asitin Amberlite IRA-400 İyon Değişimi İzotermi	58
4.4. ADSORPSİYON KİNETİĞİ.....	61
4.4.1. Laktik Asitin Aktif Karbon ile Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi	62
4.4.2. Laktik Asitin MWCNT ile Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi	63
4.4.3. Laktik Asitin Amberlite IRA-67 ile İyon Değişimi Kinetiğinin İncelenmesi.....	65
4.4.4. Laktik Asitin Amberlite IRA-96 ile İyon Değişimi Kinetiğinin İncelenmesi.....	67
4.4.5. Laktik Asitin Amberlite IRA-400 ile İyon Değişimi Kinetiğinin İncelenmesi.....	69
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	72
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1: Laktik asitin yapısal formülü.....	11
Şekil 3.2: L(+)- laktik asit.....	12
Şekil 3.3: D(-)- laktik asit.....	12
Şekil 3.4: Aktif karbonun gözenek yapısı – Taramalı elektron mikroskobu [39].	18
Şekil 3.5: (a) Tek duvarlı karbon nanotüp , (b) Çok duvarlı karbon nanotüp.	19
Şekil 3.6: Çok duvarlı karbon nanotüp – Taramalı elektron mikroskobu [42]......	20
Şekil 4.1: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.	25
Şekil 4.2: Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin aktif karbon adsorpsiyonuna etkisi.....	26
Şekil 4.3: Farklı aktif karbon miktarlarının adsorpsiyona etkisi.	27
Şekil 4.4: Sıcaklık değişiminin aktif karbon adsorpsiyonuna etkisi.....	28
Şekil 4.5: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.	29
Şekil 4.6: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin MWCNT adsorpsiyonuna etkisi.....	30
Şekil 4.7: Farklı MWCNT miktarlarının adsorpsiyona etkisi.	31
Şekil 4.8: Sıcaklık değişiminin MWCNT adsorpsiyonuna etkisi.....	32
Şekil 4.9: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminin zamanla değişimi.	33
Şekil 4.10: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin Amberlite IRA-67 iyon değişimine etkisi.	34
Şekil 4.11: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının iyon değişimine etkisi.....	35
Şekil 4.12: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-67 iyon değişimine etkisi.	36
Şekil 4.13: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminin zamanla değişimi ...	37
Şekil 4.14: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimine etkisi.	38

Şekil 4.15: Farklı Amberlite IRA-96 miktarlarının iyon değişimine etkisi.....	39
Şekil 4.16: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-96 iyon değişimine etkisi.	40
Şekil 4.17: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminin zamanla değişimi.....	41
Şekil 4.18: Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin Amberlite IRA-400 iyon değişimine etkisi.	42
Şekil 4.19: Farklı Amberlite IRA-400 miktarlarının iyon değişimine etkisi.....	43
Şekil 4.20: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-400 iyon değişimine etkisi.	44
Şekil 4.21: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.	46
Şekil 4.22: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.	46
Şekil 4.23: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.	46
Şekil 4.24: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	48
Şekil 4.25: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.....	49
Şekil 4.26: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.	49
Şekil 4.27: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.....	50
Şekil 4.28: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	51
Şekil 4.29: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.	52
Şekil 4.30: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.	53
Şekil 4.31: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.	53

Şekil 4.32: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	54
Şekil 4.33: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.	56
Şekil 4.34: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.	56
Şekil 4.35: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.	56
Şekil 4.36: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	58
Şekil 4.37: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.	59
Şekil 4.38: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.	59
Şekil 4.39: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.	60
Şekil 4.40: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	61
Şekil 4.41: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının pseudo birinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.	62
Şekil 4.42: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının pseudo ikinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.	62
Şekil 4.43: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.	63
Şekil 4.44: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının pseudo birinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.	64
Şekil 4.45: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının pseudo ikinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.	64
Şekil 4.46: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.	64
Şekil 4.47: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo birinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.	65

Şekil 4.48: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo ikinci merteye kinetik modeli ile uyumu.	66
Şekil 4.49: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.	66
Şekil 4.50: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo birinci merteye kinetik modeli ile uyumu.	67
Şekil 4.51: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo ikinci merteye kinetik modeli ile uyumu.	68
Şekil 4.52: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.	68
Şekil 4.53: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo birinci merteye kinetik modeli ile uyumu.	69
Şekil 4.54: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo ikinci merteye kinetik modeli ile uyumu.	70
Şekil 4.55: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.	70

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Laktik asitin özellikleri.	13
Tablo 3.2: Laktik Asit Üreten Bakteriler [35].	14
Tablo 3.3: Amberlite IRA-67'nin Özellikleri.	21
Tablo 3.4: Amberlite IRA-96'nın Özellikleri.	21
Tablo 3.5: Amberlite IRA-400'ün Özellikleri.....	22
Tablo 4.1: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.	25
Tablo 4.2: Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin aktif karbon adsorpsiyonuna etkisi.	26
Tablo 4.3: Farklı aktif karbon miktarlarının adsorpsiyona etkisi.	27
Tablo 4.4: Sıcaklık değişiminin aktif karbon adsorpsiyonuna etkisi.	28
Tablo 4.5: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.	29
Tablo 4.6: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin MWCNT adsorpsiyonuna etkisi.	30
Tablo 4.7: Farklı MWCNT miktarlarının adsorpsiyona etkisi.	31
Tablo 4.8: Sıcaklık değişiminin MWCNT adsorpsiyonuna etkisi.	32
Tablo 4.9: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminin zamanla değişimi.	33
Tablo 4.10: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin Amberlite IRA-67 iyon değişimine etkisi.	34
Tablo 4.11: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının iyon değişimine etkisi.	35
Tablo 4.12: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-67 iyon değişimine etkisi.	36
Tablo 4.13: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminin zamanla değişimi.	37
Tablo 4.14: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimine etkisi.	38
Tablo 4.15: Farklı Amberlite IRA-96 miktarlarının iyon değişimine etkisi.	39

Tablo 4.16: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-96 iyon değişimine etkisi.....	40
Tablo 4.17: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminin zamanla değişimi.....	41
Tablo 4.18: Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin Amberlite IRA-400 iyon değişimine etkisi.	42
Tablo 4.19: Farklı Amberlite IRA-400 miktarlarının iyon değişimine etkisi.	43
Tablo 4.20: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-400 iyon değişimine etkisi.....	44
Tablo 4.21: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	45
Tablo 4.22: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	45
Tablo 4.23: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	45
Tablo 4.24: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.	47
Tablo 4.25: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	47
Tablo 4.26: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	48
Tablo 4.27: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	48
Tablo 4.28: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	49
Tablo 4.29: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.	50
Tablo 4.30: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	51
Tablo 4.31: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	51
Tablo 4.32: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	52

Tablo 4.33: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	52
Tablo 4.34: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.	53
Tablo 4.35: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	54
Tablo 4.36: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	55
Tablo 4.37: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	55
Tablo 4.38: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	55
Tablo 4.39: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.	57
Tablo 4.40: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	57
Tablo 4.41: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	58
Tablo 4.42: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde ilişkin Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	58
Tablo 4.43: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde ilişkin Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.	59
Tablo 4.44: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.	60
Tablo 4.45: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.	61
Tablo 4.46: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.	63
Tablo 4.47: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.	65
Tablo 4.48: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.	67

Tablo 4.49: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.....	69
Tablo 4.50: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.....	71



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
C_0	: Başlangıç konsantrasyonu (mg L^{-1})
C_e	: Denge konsantrasyonu (mg L^{-1})
q_e	: Denge anında adsorplanan madde miktarı (mg g^{-1})
q_t	: t anında adsorplanan madde miktarı (mg g^{-1})
t	: Zaman (dak)
Q_0	: 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
$^{\circ}\text{C}$: Celcius
K	: Kelvin

Kisaltmalar	Açıklama
MWCNT	: Multi-walled carbon nanotubes
SWCNT	: Single-walled carbon nanotubes

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LAKTİK ASİTİN ADSORPSİYON ve İYON DEĞİŞİMİ YÖNTEMLERİ ile SULU ÇÖZELTİLERİNDEN AYRILMASI

Nevriye HALİLİBRAHİMOĞLU

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. İsmail İNCİ

Ticari olarak ilk kez ekşi sütte elde edilen laktik asit önemli bir biyoteknolojik asittir. Gıda ve ilaç endüstrisinde kendisine geniş bir yer bulan L(+) ve yüksek miktarlarının insan vücudu için tehlike teşkil ettiği D(-) olarak iki farklı formda karşımıza çıkmaktadır. Gıda, ilaç ve polimer endüstrilerinde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan laktik asitin günümüzdeki en önemli kullanım alanlarından biri de “yeşil polimer” olarak bilinen polilaktik asit (PLA) üretimidir. Polilaktik asit kullanımı arttıkça buna bağlı olarak da laktik asit üretiminin önemi artmaktadır.

Laktik asit üretiminin yaklaşık %90’lık kısmı fermantasyon yoluyla gerçekleşmektedir. Bu üretim sonucunda elde edilen, safsızlıklar, organik ve inorganik maddelerden oluşan karışımdan laktik asitin etkili ve yüksek oranda ayrılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada literatürde önerilen diğer yöntemlere kıyasla daha kısa sürede ve daha az çevresel atık oluşumuna neden olan adsorpsiyon ve iyon değiştirme yöntemleri tercih edilmiştir. Bu amaçla laktik asitin iki farklı adsorban (Aktif Karbon ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüp) ve üç farklı iyon değiştirici reçine (Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96 ve Amberlite IRA-400) yardımıyla sulu ortamdan ayrılması incelenmiştir. Adsorpsiyonu etkileyen parametreler göz önüne alınarak başlangıç asit konsantrasyonu, adsorban miktarı ve sıcaklık etkisi deneysel olarak irdelenmiş ve adsorpsiyon prosesinin Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermi ile uyumu incelenmiştir. Deneysel veriler yardımıyla elde edilen izoterm modellerinden en uygun olan izoterm modelinin

Freundlich izoterm modeli olduğu tespit edilmiştir. Son olarak adsorpsiyon prosesinin kinetiği; pseudo birinci mertebe kinetik model, pseudo ikinci derece kinetik model ve partikül içi difüzyon modeli olmak üzere üç farklı model üzerinden incelenmiş ve deneysel sonuçlar ile uygunlukları araştırılmıştır.

Haziran 2017, 98 sayfa.

Anahtar kelimeler: Laktik asit, adsorpsiyon, iyon değişimi



SUMMARY

M.Sc. THESIS

SEPARATION OF LACTIC ACID FROM AQUEOUS SOLUTIONS with ADSORPTION and ION EXCHANGE METHODS

Nevriye HALİLİBRAHİMOĞLU

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Chemical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. İsmail İNCİ

Lactic acid which obtained first time commercially from sour milk is an important biotechnological acid. There are two different forms, L(+), which finds a large place in the food and drug industry, and D (-), which is dangerous in high amounts for the human body, In today, one of the most important uses of lactic acid which used widely in food, pharmaceutical and polymer industries is the production of polylactic acid (PLA), also known as "green polymer". As the use of polylactic acid increases, the importance of lactic acid production increases accordingly.

Approximately 90% of lactic acid production is achieved by fermentation. As a result of this production, it is of great importance that separation of lactic acid in high efficiency from media includes impurities, organic and inorganic substances. In this study, adsorption and ion exchange methods, which cause less environmental waste and shorter time than other methods suggested in the literature, have been investigated. For this purpose, the separation of lactic acid from aqueous media by two different adsorbents (Activated Carbon and Multi-walled Carbon Nanotube) and three different ion exchange resins (Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96 and Amberlite IRA-400) was investigated. Considering the parameters affecting the adsorption, the initial acid concentration, the amount of adsorbent and the temperature effect were investigated experimentally and the consistency of the adsorption process with Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms were investigated. It has been determined that the most suitable isotherm model obtained

from experimental isotherm models is Freundlich isotherm model. Finally, the kinetics of the adsorption process; the pseudo first order kinetics model, the pseudo second order kinetics model and the intra-particle diffusion model were investigated and their suitability with the experimental results were investigated.

June 2017, 98 pages.

Keywords: Lactic acid, adsorption, ion exchange



1. GİRİŞ

1780 yılında C.W. Sheele tarafından keşfedilen ve ilk kez ticari olarak ekşi sütte 19. yüzyılın sonlarında elde edilen laktik asit önemli bir biyoteknolojik asittir. Gıda, ilaç ve polimer endüstrilerinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir ve alfa hidroksipropoik asit olarak da bilinir. Yapısında bir hidroksil ve bir karboksil grubu bulunan yani bir monohidroksi monokarboksilik asit olan laktik asitin L(+) ve D(-) şeklinde isimlendirilen iki izomeri bulunmaktadır. Bu izomerlerden L(+) formu gıda ve ilaç endüstrilerinde kullanılır. D(-) formu ise insanlar için zararlı olduğundan diğer sanayi dallarında kullanılmaktadır. Günümüzde laktik asitin en önemli ve popüler kullanım alanlarından biri de, sentetik polimerlere göre çok daha hızlı bozunabilen ve dolayısıyla “yeşil polimer” olarak adlandırılan polilaktik asit (PLA) üretimidir. Polilaktik asitin kullanımı yaygınlaştıkça laktik asitin üretimi ve önemi de artmaktadır. Polilaktik asitin üretimindeki en önemli ve maliyeti en çok etkileyen adım laktik asit üretimidir.

Laktik asit üretimi günümüzde çok büyük oranda fermantasyon yöntemi ile yapılmaktadır (Yaklaşık %90). Fermantasyon sonucu elde edilen karışımlarda yaklaşık %10 civarında laktik asit bulunur. Laktik asit yanında çeşitli safsızlıklar ve farklı organik ve inorganik maddeler içeren bu karışımlardan laktik asitin etkili ve yüksek oranda ayrılması ve saflaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla destilasyon, ekstraksiyon, kimyasal çöktürme, membranla ayırma gibi yöntemler literatürde önerilmiştir. Fakat destilasyon yöntemi karışımın kaynama sıcaklığına kadar ısıtılmasını gerektirir ve dolayısıyla yüksek enerji maliyetine yol açar. Laktik asitin ekstraksiyon ayrılması için ise genellikle organik solventler kullanılır, gıda ve ilaç sanayisinde kullanılacak laktik asitin ayrılmasında toksik etkisi olabilecek organik solventlerin kullanılması dezavantajdır. Kimyasal çöktürme yönteminde ise fermentasyon sonucu oluşan karışıma kalsiyum hidroksit katılarak kalsiyum laktat şeklinde bir çökelti elde edilir. Bu çökeltiye H₂SO₄ ilave edilerek laktik asit saflaştırılarak ayrılmış olur. Fakat bu proses sırasında yüksek miktarda oluşan kalsiyum sülfat çevresel açıdan ciddi problemlere yol açar. Yarı geçirgen bir membran yardımıyla ayırma işlemi olan membranla ayırmada ise yüksek ayırma etkinliğine rağmen uzun ayırma süreleri gerekmektedir. Adsorpsiyon ve iyon değiştirme

yöntemleri ise çevresel bir atık oluşturmadan ve relatif olarak daha kısa sürelerde yüksek bir ayırma sağlar. Adsorpsiyon bir maddenin başka bir maddenin sınır yüzeyindeki tutunması olayıdır. İyon değişimi ise çözeltilerde bulunan iyonların, katı bir yüzeyde bulunan yüklü fonksiyonel gruplara elektrostatik kuvvetlerle bağlanması ve tutunması olayıdır. Farklı kimyasal ve fiziksel yapıdaki adsorbanlar ve iyon değiştiriciler farklı mekanizmalarla laktik asiti sulu çözeltilerden adsorbe ederler. Bu çalışmada laktik asitin sulu çözeltilerinden farklı adsorban ve iyon değiştirici reçinelerle adsorpsiyonu ve iyon değişimi incelenmiştir. Bu amaçla iki farklı adsorban (aktif karbon, çok duvarlı karbon nanotüp) ve üç farklı iyon değiştirici (Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96 ve Amberlite IRA-400) kullanılmıştır.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. ADSORPSİYON

Adsorpsiyon iki faz arasında yer alan sınır yüzeyinde gerçekleşen konsantrasyon değişimidir [1]. Adsorpsiyonda iyon veya moleküller bir yüzeyde tutunurlar. Adsorpsiyonda adsorplayan madde adsorban, adsorplanan madde ise adsorbat olarak adlandırılır. Bir adsorbatın bir adsorban yüzeyinde tutunduktan yani adsorpsiyon olayı gerçekleştikten sonra tutunan madde (adsorbat), adsorban yüzeyinden ayrılması olayına desorpsiyon denir [2,3]. Aynı adsorban tarafından bazı kimyasal maddelerin yüksek oranda, bazı kimyasal maddelerin ise düşük oranda adsorplanması adsorpsiyon olayının “seçimli” olduğunun bir göstergesidir [4].

Adsorpsiyon çok sayıda endüstriyel uygulamada ve çok yaygın olarak kullanılır. Atık su ve gazların toksik maddelerden ayrılması adsorpsiyon yönteminin çevresel ve en önemli kullanım alanlarından birisidir. Örneğin; atık sulardan ağır metallerin, organik solventlerin ve boyar maddelerin uzaklaştırılması, atık gazlar içerisinde CO₂ ve SO₂'nin giderilmesi [5].

Adsorpsiyon olayı çeşitli faktörler tarafından etkilenir. Adsorpsiyonu etkileyen en önemli faktörler:

- Ortamın sıcaklığı
- Ortamın asitliği
- Konsantrasyon (gazlarda basınç)
- Temas süresi
- Adsorbatın moleküler yapısı
- Adsorbanın özellikleri

Genellikle çoğu adsorpsiyon olayında adsorpsiyon sıcaklıkla azalır. Yani çoğu adsorpsiyon olayı ekzotermiktir. Daha az sayıdaki adsorpsiyon işleminde ise sıcaklığın artışı ile adsorpsiyon artar. Yani endotermik bir adsorpsiyon gerçekleşir [6]. Ortamın asitliği çözeltide bulunan H⁺ iyonlarının derişimine bağlıdır. Düşük pH değerlerinde ortamda bulunan adsorplayıcı maddenin yani adsorbanın yüzeyi pozitif yüklenir.

Dolayısıyla bu şartlarda negatif iyonlar kolaylıkla adsorbe olurlar. Yüksek pH değerlerinde ise adsorplayıcı maddenin yüzeyi negatif yüklenir. Bu şartlarda negatif yüklü adsorban pozitif yüklü iyonları kolaylıkla adsorbe eder [4]. Adsorpsiyon etkileyen bir diğer faktör ise sıvı çözeltiler için konsantrasyon ve buna eşdeğer olarak gazlar için ise basınçtır. Sıvı çözeltilerinde konsantrasyon arttıkça adsorpsiyon artar ve yine buna eşdeğer olarak gazlarda basıncın artmasıyla adsorpsiyon artar. Bu artışlar ancak bir limit noktasına kadar devam eder. Bu noktaya doygunluk noktası denir [5]. Temas süresi de adsorpsiyon üzerine önemli bir etkiye sahip değişkendir. Aynı şekilde denge noktası olarak adlandırılan bir sınır noktasına kadar temas süresinin artması adsorpsiyonu artırır. Denge noktasına ulaşıldıktan sonra temas süresindeki artış artık adsorpsiyonu etkilemez [7]. Adsorbe olan madde yani adsorbatın moleküler yapısı büyüdükçe adsorban içine daha yavaş difüzyonlanır. Yine adsorplayıcı maddenin yüzey büyüklüğü arttıkça daha fazla miktarda adsorbatı tutacaktır [4].

2.2. ADSORPSİYON TÜRLERİ

Literatürde farklı sınıflandırmalar bulunmakla birlikte adsorpsiyon işlemi genellikle ikiye ayrılabilir. Bunlar fiziksel ve kimyasal adsorpsiyondur.

2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon

Adsorplayıcı madde yani adsorban ve adsorplanan madde yani adsorbat Van der Waals kuvvetleri sonucunda birbirine bağlanır ve bu şekilde bir tutunma olayı meydana gelirse fiziksel adsorpsiyon gerçekleşir. Fiziksel adsorpsiyonda bir elektron transferi ya da elektronların ortak kullanımı mevcut değildir [8]. Fiziksel adsorpsiyonda adsorbat molekülleri adsorban yüzeyinde sabit değil hareketli bir şekilde bulunurlar. Bu nedenle bu adsorpsiyon türü tersinirdir [9]. Genellikle adsorpsiyon ısısı yüksek değildir ve 35 kJ/mol'den daha düşüktür [4]. Diğer bir ifadeyle fiziksel adsorpsiyon için bir aktivasyon enerjisi gerekmez ve bunun sonucu olarak düşük sıcaklıklarda dahi yüksek oranda fiziksel adsorpsiyon gerçekleşir [10]. Fiziksel adsorpsiyonun bu özellikleri yani yüksek sıcaklık gerektirmemesi ve tersinir olması birçok sanayi dalında yaygın olarak kullanılmasını sağlar [11].

2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyonda tutunmayı sağlayıcı etki zayıf Van der Waals kuvvetleridir. Van der Waals kuvvetleri atomlar arasındaki geçici yük dağılımları sonucu oluşur ve önemli

birçok fiziksel sonuca yol açmasına rağmen son derece zayıftır. Adsorban ve adsorbat arasında daha kuvvetli bir etkileşim ve tutunma için daha kuvvetli kimyasal bağların oluşması gerekir. Adsorban ve adsorbat arasındaki iyonik veya kovalent bağların oluşması ile gerçekleşen adsorpsiyon türü kimyasal adsorpsiyondur. İyonik bağlar atamlar arasındaki elektron transferi, kovalent bağlar atomlar arasındaki elektronların ortak kullanımı sonucu oluşurlar ve zayıf Van der Waals kuvvetlerine göre çok daha güçlü bir çekim meydana getirirler [12]. Bu adsorpsiyon türünde bir kimyasal tepkimenin söz konusu olması nedeniyle adsorplayan ve adsorplanan maddelerin kimyasal yapıları da değişir ve fiziksel adsorpsiyonun tersine tersinmez bir işlem söz konusu olur [13]. Yine fiziksel adsorpsiyonun tersine kimyasal adsorpsiyon 35 kJ/mol'ün üzerinde yüksek adsorpsiyon ısılarına ihtiyaç duyar. Bununla ilişkili olarak kimyasal adsorpsiyonun bir aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyması ve gerçekleşmesi için yüksek sıcaklıkların gerekliliği söz konusudur. Çoğunlukla kimyasal adsorpsiyonun adsorplama kapasitesi fiziksel adsorpsiyona göre daha düşüktür [4].

2.3. İYON DEĞİŞİMİ

Literatürde bazı kaynaklar iyon değişimini iyonik adsorpsiyon ya da değişim adsorpsiyonu olarak da adlandırır. İyonik değişim aslında elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisiyle oluşan bir sorpsiyon türü olduğundan bu yaklaşım yanlış değildir. Fakat etki mekanizmasındaki farklılık nedeniyle bu prosesi çoğu kaynak iyon değişimi olarak adlandırır.

İyon değişimi çözültide bulunan iyonların, yüzeyinde yüklü fonksiyonel gruplar bulunan bir katıya elektrostatik kuvvetlerle tutunmasıdır [14]. İyon değiştirici maddede bulunan yüklü fonksiyonel gruplar katı yüzeyinde bulunan yüklü gruplarla yer değiştirir. Birçok organik ve inorganik maddenin iyon değiştirme özelliği bulunmasına rağmen en yaygın kullanılan maddeler iyon değiştirici reçinelerdir. Sentetik iyon değiştiriciler genel olarak bir hidrokarbon radikalleri şebekesinden oluşur ve bu hidrokarbon radikalleri şebekesine bağlı çözünebilir iyonik yapılar içerir. Çözünebilir bu iyonik fonksiyonel yapılar reçinenin iyon değiştirme özelliklerini belirler. İyon değiştirici reçinenin birim ağırlığı başına düşen toplam fonksiyonel grup sayısı, reçinenin iyon değiştirme kapasitesi olarak ifade edilir. Diğer taraftan bu fonksiyonel grupların cinsi de iyon değiştiricinin değişim

dengeğini ve seçiciliğini belirler. İyon değiştiriciler sahip oldukları fonksiyonel grupların cinsine göre ikiye ayrılırlar:

- Katyon değiştiriciler
- Anyon değiştiriciler

Yaygın olarak kullanılan katyon değiştiriciler sülfonik (R-SO₃H), fenolik (R-OH), karboksilik (R-COOH) ve fosforik (R-PO₃H₂) fonksiyonel gruplarını içerirler. Benzer şekilde yaygın anyon değiştiriciler de primer (R-NH₂), sekonder (R-RNH) ve tersiyer (R₂N) amin ve kuarternar amonyum (R-R₃N⁺OH⁻) grubu içerirler [15,16].

2.4. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon prosesini açıklamak üzere geliştirilmiş matematiksel modellerdir. Adsorpsiyon izoterm eşitlikleri, adsorplanan madde miktarının adsorbat konsantrasyonu ile değişiminin dengede ve sabit sıcaklık koşulunda ifadesidir [1]. Literatürde birçok örneği karşımıza çıkan adsorpsiyon izotermi adsorpsiyonun türü, adsorbanın kapasitesi ve adsorpsiyonda adsorplayan ve adsorplanan madde arasındaki ilişki hakkında bilgi verir [17]. Yaptığımız bu çalışmada gerçekleşen adsorpsiyon prosesi Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermi kullanılarak yorumlanmıştır. Kullanılan izoterm modelleri yine bu bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.4.1. Langmuir İzoterm Modeli

Yaygın olarak kimyasal adsorpsiyon mekanizmasını açıklamada kullanılan Langmuir izoterm modeli yüzey kimyası alanındaki çalışmalarını ile tanınan Irwing Langmuir tarafından 1916 yılında geliştirilmiştir. Bu modelden kimyasal adsorpsiyon mekanizmasının yanında tek tabakalı fiziksel adsorpsiyon mekanizmasının açıklanmasında da yararlanılabilmektedir [18].

Langmuir izoterm modeli bazı kabuller yapılarak geliştirilmiştir. Bunlar [18-20]:

- Adsorplayan madde yüzeyinin tamamını aynı özellikleri sergiler, diğer bir deyişle adsorplayan maddenin yüzeyi homojen olup aynı enerjiye sahiptir.
- Adsorplanan moleküllerin kendi içlerinde bir etkileşimi bulunmamaktadır.
- Tüm adsorpsiyon prosesi aynı mekanizmayı takip eder.

- Adsorpsiyon sadece yüzeydeki aktif bölgelerde gerçekleştiğinden dolayı tek tabaka ile sınırlanmıştır.
- Sabit sıcaklıkta denge anında adsorpsiyon hızı desorpsiyon hızına eşittir.

Katı-sıvı adsorpsiyon sistemleri için Langmuir denklemi [21,22],

$$q_e = \frac{Q_0 * b * C_e}{1 + b * C_e} \quad (2.1)$$

şeklinindedir. Bu eşitlikte q_e adsorbanın yüzeyindeki adsorplanan maddenin denge konsantrasyonu (mg/g), C_e denge anındaki sıvı fazda bulunan adsorplanan maddenin konsantrasyonu (mg/L), Q_0 birim ağırlıktaki adsorban yüzeyinin tamamen dolması için gerekli adsorbat miktarı ya da adsorbanın tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi (mg/g), son olarak b Langmuir sabitidir.

(2.2) ve (2.3) numaralı eşitlikler Langmuir denkleminin lineerleştirilmesiyle elde edilmiştir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b * Q_0} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (2.2)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_0} + \left(\frac{1}{b * Q_0} \right) * \left(\frac{1}{C_e} \right) \quad (2.3)$$

$1/q_e$ ile $1/C_e$ ya da C_e ile C_e/q_e arasında grafikler çizilerek adsorpsiyonun Langmuir modeline olan uygunluğu incelenmektedir.

2.4.2. Freundlich İzoterm Modeli

Langmuir izoterm modeline kıyasla daha gerçekçi olan Freundlich izoterm modeli Alman kimyacı Herbert Max Finley Freundlich tarafından 1907 yılında geliştirilmiştir [23]. Adsorplanan maddenin tek tabakaya bağlandığı ve aktif merkezlerin tamamının adsorplanan maddeye karşı aynı ilgiye sahip olduğu kabulünün haricinde Freundlich izoterm modeli de Langmuir modelinin kabullerini kapsar [24].

Langmuir izotermi adsorban ve adsorbat arasındaki kuvvetli bağlar sonucu oluşan kimyasal adsorpsiyonu açıklarken, Freundlich izotermi fiziksel adsorpsiyonu açıklamada kullanılmaktadır [25].

Freundlich izoterm modelinde katı-sıvı faz adsorpsiyonunda kullanılan denklem aşağıdaki gibidir:

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

Bu denklemde yer alan q_e , denge halindeki birim ağırlıktaki adsorbanın adsorpladığı madde miktarı (mg/g) ve C_e adsorbatın sıvı fazdaki derişimi (mg/L), K_f ve n ise Freundlich izoterm sabitlerini ifade etmektedir [6].

Denklem (2.5) Freundlich denkleminin lineerleştirilmiş şeklidir.

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

$\log q_e$ ile $\log C_e$ arasında çizilen grafikten yararlanarak adsorpsiyon kapasitesi ve yoğunluk hakkında bilgi veren K_f ve n sabitleri elde edilmektedir.

2.4.3. Temkin İzoterm Modeli

Adsorplayan maddenin yüzeyindeki aktif merkezlerin doldukça adsorpsiyon enerjisinin doğrusal bir azalma eğiliminde olduğu varsayımında bulunan Temkin izoterm modeli Temkin ve Pyzhev tarafından 1941 yılında geliştirilmiştir [26]. Bu modelin Langmuir izoterm modelinin özelliklerinin taşıdığı kabul edilmektedir [27]. Fakat bu modelde adsorbanın farklı adsorpsiyon enerjisine sahip parçalardan oluştuğu kabul edilmektedir.

Temkin izoterm denklemi aşağıdaki gibidir:

$$q_e = \frac{R*T}{b} * \ln(K_t * C_e) \quad (2.6)$$

(2.6) numaralı denklemde q_e denge anında birim ağırlıktaki adsorbanın adsorpladığı madde miktarını (mg/g), b Temkin sabitini (J/mol), R ideal gaz sabitini (8,314 J/mol K), T ortam sıcaklığını (K), K_t Temkin izoterm sabitini (L/g) ifade etmektedir.

(2.7) numaralı denklem lineerleştirilmiş Temkin izoterm denklemdir:

$$q_e = B * \log K_t + B * \ln C_e, \quad B = \frac{R*T}{b} \quad (2.7)$$

q_e ile $\ln C_e$ arasında çizilen grafikten adsorpsiyon ısısı ile ilgili bilgi veren b ve K_t Temkin izoterm sabitleri elde edilir.

2.5. ADSORPSİYON KİNETİĞİ

Adsorpsiyon kinetiği ile adsorban - adsorbat arasındaki temas süresi belirlenmesinin yanında adsorpsiyonun hızının adsorpsiyonun hangi basamağı tarafından belirlendiği tespit edilebilmektedir [28].

Bu çalışmada incelenen kinetik modeller pseudo birinci mertebe kinetik model (Lagergen Denklemi), pseudo ikinci mertebe kinetik model ve partikül içi difüzyon modelidir.

2.5.1. Pseudo Birinci Mertebe Kinetik Model

Lagergen tarafından geliştirilen bu model aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir [29]:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e + \frac{k_1}{2,303} t \quad (2.8)$$

Burada q_e denge anında adsorplanan madde miktarını (mg/g), q_t t zaman sonra adsorplanan madde miktarını (mg/g), k_1 ise adsorpsiyonun birinci mertebe hız sabitini (dak^{-1}) ifade etmektedir.

2.5.2. Pseudo İkinci Mertebe Kinetik Model

Ho tarafından geliştirilen bu model aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir [30]:

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

Burada q_e denge anında adsorplanan madde miktarını (mg/g), q_t t zaman sonra adsorplanan madde miktarını (mg/g), k_2 ise adsorpsiyonun ikinci mertebe hız sabitini (g/mgdak) ifade etmektedir.

2.5.3. Partikül İçi Difüzyon Modeli

Weber ve Morris tarafından geliştirilen bu model aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir [1,31]:

$$q_t = k_{id} * t^{\frac{1}{2}} + C \quad (2.10)$$

Burada q_t t zaman sonra adsorplanan madde miktarını (mg/g), k_i ise partikül içi difüzyon hız sabitini (g/mgdak^2), c ise kayım noktasını ifade etmektedir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Laktik asitin sulu çözeltisinden adsorpsiyon yoluyla ayrılması prosesinin incelendiği bu çalışmada kullanılan adsorbana ait özellikler, analizlerde kullanılan malzeme ile izlenen yöntem bu bölümde açıklanmıştır.

Adsorban olarak bu çalışmada aktif karbon, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT); iyon değiştirici olarak ise Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96 ve Amberlite IRA-400 kullanılmıştır.

3.1. LAKTİK ASİT

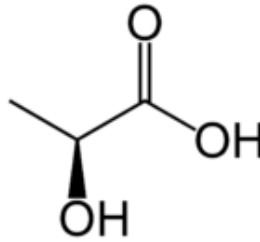
Laktik asit ilk kez İsveçli kimyager C.W.Scheele tarafından ekşi sütten elde edilmiştir. Günümüze kadar gelen endüstriyel üretimini ise ilk kez kimyager Charles Avery gerçekleştirmiştir [32].

Laktik asit ilk yıllarda ticari olarak sütten üretildiğinden dolayı süt asiti olarak da bilinmektedir. Süt içerisindeki laktozdan laktik bakteriler yardımıyla laktik asit elde edilmektedir.

3.1.1. Laktik Asitin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

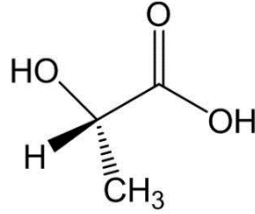
Teknik adı α -hidroksipropiyonik asit olan laktik asit bir hidroksi karboksilik asittir. Saf ve susuz formu beyaz kristal yapıda karşımıza çıkmakla birlikte; saf halde eldesindeki zorluklardan dolayı genellikle renksiz, kokusuz konsantre sıvı çözelti olarak bulunur [33].

Su çekici özelliğinin yanı sıra su, alkol ve eterle her oranda karışır.

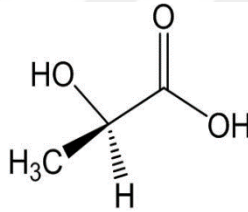


Şekil 3.1: Laktik asitin yapısal formülü.

Sahip olduğu asimetrik karbon atomundan dolayı çözeltisi optikçe aktiftir. Bundan dolayı üç farklı izomer halinde bulunur. Bunlardan ikisi polarize ışığı sağı çeviren L(+)-laktik asit ve sola çeviren D(-)-laktik asittir. Bu iki optik izomer arasında kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından ciddi farklılıklar bulunmamaktadır. Üçüncü izomer ise L(+), D(-) veya ikisinin karışımından oluşan ve polarize ışığı sağı, sola çevirmeyen rasemik halidir.



Şekil 3.2: L(+)- laktik asit.



Şekil 3.3: D(-)- laktik asit.

L(+)-laktik asit insan ve hayvan vücudunda glukoz ve glikojenin metabolik dönüşümü sonucunda üretilir. Bu asit kaslar, karaciğer ve beyin için değerli bir enerji kaynağıdır. Bununla birlikte D(-)-laktik asit ise insan vücudunda metabolize edilememektedir [34].

Laktik asitin fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1: Laktik asitin özellikleri.

IUPAC İsmi	2-hidroksipropanoik asit
Kimyasal Formülü	C ₃ H ₆ O ₃
Molar Ağırlığı	90.08 g mol ⁻¹
Yoğunluğu (20 °C)	1.215 g/cm ³ (20 °C)
Erime Noktası	53 °C
Kaynama Noktası	122 °C (12 mmHg)
Asitlik (pKa)	3.86
pH değeri	≈2.8 (10 g/l, H ₂ O, 20°C)

3.1.2. Laktik Asit Üretim Yöntemleri

Laktik asit kimyasal ve mikrobiyal yöntem olmak üzere iki yöntemle üretilebilmektedir. Mikrobiyal yöntem ile istenen optik formda üretim yapılabilmeyle birlikte kimyasal yöntemle sadece rasemik laktik asit elde edilebilmektedir. Mikrobiyal yöntemin yaklaşık %90'ını kapsamaktadır. Hem L(+)-laktik asit hem de D(-)-laktik asit Lactobacilli geninin farklı türlerini içeren homolaktik organizmalar ile karbonhidratlardan fermantasyon yoluyla elde edilebilmektedir [32].

3.1.2.1. Kimyasal Yöntem

Kimyasal yöntem laktonitrilin güçlü asitlerle hidrolizi prensibine dayanmaktadır. Hidrojensiyanidin sıvı fazda yüksek atmosfer basıncında baz varlığında asetaldehide katılması ile laktonitril elde edilir. Elde edilen ham laktonitrilin geri kazanımı ve saflaştırılması destilasyon ile sağlanır. Bunun ardından derişik HCl veya H₂SO₄ ile hidroliz edilerek laktik asit ve amonyum tuzu elde edilir. Meydana gelen laktik asitin metanol ile esterleşmesi sonucunda metil laktat oluşur. Metil laktatın destilasyon saflaştırılıp asit katalizliğinde su ile hidrolizi sonucu laktik asit ve metanol elde edilir [34].

Bu proseste gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir:

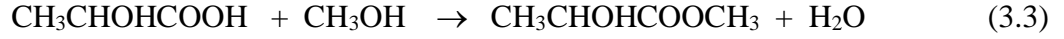
(a) Laktonitril oluşumu



(b) H₂SO₄ ile hidroliz



(c) Esterleşme



(d) H₂O ile hidroliz



3.1.2.2. Mikrobiyal Yöntem

Kimyasal yöntem ile rasemik laktik asit elde edilirken şeker içerikli hammaddelerin fermantasyonu ile kullanılan mikroorganizmaya bağlı olarak istenilen laktik asit üretimi elde edilir. Tablo 3.2’de laktik asit üretiminde kullanılan mikroorganizmalar verilmiştir.

Tablo 3.2: Laktik Asit Üreten Bakteriler [35].

Mikroorganizma	D(-) Laktik Asit	L(+) Laktik Asit	D/L- Laktik Asit
<i>L. acidophilus</i>			+
<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>Lactis</i>	+		
<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>delbrueckii</i>	+		
<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	+		
<i>L. helveticus</i>			+
<i>L. casei</i>		+	
<i>L. paracasei</i> subsp. <i>tolerans</i>		+	
<i>L. paracasei</i> subsp. <i>paracasei</i>		+	
<i>L. rhamnosus</i>		+	
<i>Lc. lactis</i>		+	

Laktik asit üretiminde en fazla kullanılan hammadde melastır. Melas şeker pancarı fabrikalarında sakkarozun kristal halde elde edilmesi için yapılan kademeli işlemlerin en sonunda kalan kıvamlı, koyu kahverengi şuruptur. İçeriğinde % 50 oranında şeker barındırmaktadır. Denklem 3.5 dikkate alındığında, teorik laktik asit verimi fermente edilebilir heksoz şekerine göre %100'dür [36].



Gerçekte bu verim ticari çalışmalarda %85 civarındadır. Bu kaybın sebepleri arasında şekerin bir kısmının mikroorganizmanın kendi metabolizması için harcaması ve diğer proses basamakları sayılabilir.

İstenilen verim ve kaliteye göre yapılan hesaplamalarla hammadde ve yardımcı madde miktarları belirlenir. Belirlenen hammadde, yardımcı maddeler ve fermantasyonu gerçekleştirecek olan mikroorganizma olan örneğin, *Lactobacillus delbrueckii* fermentöre alınır. Fermantasyon sıcaklığı 45-50°C'a ayarlanarak ortama CaCO₃ eklenir. Bu pH değerinin 5,5 - 6,5 arasında korunmasını sağlar. Ortam havalandırılmadan kalsiyum karbonatı süspansiyon halinde tutup karıştırma ile fermantasyon sırasında oluşmuş laktik asit reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda kalsiyum laktat eldesinin yanında asit ortamdan uzaklaştırılmış ve pH yükseltilmiş olur. Mikroorganizmanın belirli asit oranının üzerinde faaliyetini durdurması pH ın önemini arttırmaktadır.



Fermantasyon süresi genellikle 6 gündür. *Lactobacillus delbrueckii* ile laktik asit fermantasyonlarında yüksek inkübasyon sıcaklığı kontaminasyonun özel bir sorun oluşturmasına izin vermez. Laktik asit bakterilerinin üreme sıcaklığı olan 45 °C ve üzeri sıcaklıklarda fermantasyon için etkin olan kontaminantların çoğu üreyemezler.

Sürekli fermantasyon sırasında kısmen fermente olmuş ortamda bulunan şekerin laktik asitin kazanılmasında zorluklar yaratmasından dolayı sürekli laktik asit fermantasyonları ticari ölçüde sınırlı kullanılmaktadır.

Fermantasyon sonunda pH yaklaşık 10'a getirmek amacıyla ortama fazladan CaCO₃ ilavesi yapılır ve fermantasyon sıvısı filtre edilir. Bu işlemle birlikte bütün laktik asit

kalsiyum laktata dönüşür, bakteriler ölür, ortamdaki proteinler koagüle edilir, aşırı kalsiyum karbonat giderilir ve ortamda kalan şeker bozunur.

Kalsiyum laktatı kristallendirmek için süzölmüş fermantasyon sıvısının yoğunlaştırılmasının ardından, kalsiyumu gidermek amacıyla H₂SO₄ ilave edilir.



Buharlaştırıcı yardımı ile üretilen laktik asit çözeltisinin fazla suyu uzaklaştırılarak istenilen derişiklik elde edilir. Laktik asit depolanırken aşındırma etkisi göz önünde tutularak uygun malzemelerden üretilen tanklar kullanılmaktadır. Bu yöntem kesikli bir yöntemdir. Ek olarak kalsiyum laktat kaybı ve çevreye zararlı kimyasal atık atılması gibi sonuçlarından dolayı yerini ekstraktif fermantasyon, adsorpsiyon ve elektrodializ gibi yöntemler almıştır [32].

3.1.3. Laktik Asitin Kullanım Alanları

Laktik asit iyi çözücü olması, kolay polimerleşebilmesi gibi özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Esas kullanım alanını gıda ve gıda ilişkili uygulamalar oluşturmaktadır.

3.1.3.1. Gıda Sektörü

Bakteriyel bozunmalara karşı asitleyici, tatlandırıcı, pH tampon maddesi veya inhibitörü olarak çeşitli alanlarda görev yapmaktadır. Şekerler, ekmek ve unlu mamuller, şerbetler, reçeller, mandıra ürünleri ve diğer işlenmiş gıdalarda kullanılmaktadır. Bu sektördeki en geniş kullanım alanı ise süt endüstrisi ve fermente gıdalardır.

Laktik asit %50 – 90 derişimlerde sıvı halde asitlik düzenleyici olarak kullanılmaktadır. Peynir, yoğurt gibi birçok fermente gıdada doğal ürün olarak bulunan laktik asitin işlevi kolaylıkla anlaşılmiştir. Asetik asit ile birlikte turşularda mikrobiyal stabiliteyi arttırmada, soslarda koruyucu olarak kullanılmaktadır.

Şekerleme endüstrisinde laktik asitin toz formu tercih edilmektedir. Genellikle malik ve sitrik asitle birlikte istenilen tat dengesini oluşturmada ve aroma arttırmada kullanılmaktadır.

Gıdada kullanılan ilk asitliği dzenleyicilerden olan laktik asit ve tuzları diğerlerine kıyasla daha yksek koruyuculuğa sahip olmasının yanında asidik bir tada sahiptir [32].

3.1.3.2. Polimer Sanayi

Laktik asitin polimerleri, biyolojik parçalanabilme özelliğine sahiptir. Bu polimerler seffaftır ve özellikleri bakımından petrol türevi olan plastiklere yaklaşırlar.

Polimerik polilaktik asitler, çeşitli reçinelerin üretiminde ve yapıştırıcı formülasyonlarında yer almaktadırlar. Polilaktik asit laktik asit polimerizasyonu ile elde edilen ve doğada bozunması birkaç ay süren bir biyopolimerdir. Bu polimer basit bir şekilde ester bağlarının hidrolizi ile bozunur ve hidrolizi katalizleyecek herhangi bir enzime ihtiyaç duymaz. Amorf formdaki polilaktik asitin bozunma süresi birkaç hafta iken yüksek kristallikteki yapının bozunmasının aylar hatta yıllar alabileceği yapılan çalışmalar ile gözlenmiştir [37].

Medikal uygulamalar, elyaflar, solventler ve paketleme malzemeleri laktik asit polimerlerinin esas kullanım alanlarıdır. Gerilme direnci, saflık, viskozite gibi özellikleri medikal uygulamalarda önem kazanmaktadır. Örneğin; kemiklerdeki boşlukları doldurmada, dikiş malzemesi üretiminde ve ince deriyi birleştirmede kullanılmaktadır.

3.1.3.3 Solventler

Laktik asitin yüksek sıcaklıkta kaynayan, zehirli olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilen etil laktat, bütül laktat gibi esterleri yeşil dostu çözücüler olarak kullanılmaktadır. Bu solventlerin bazıları elektronik ve temizlik ürünlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş ve ticarileştirilmiştir.

3.1.3.4. Diğer Kullanım Alanları

İnşaat sanayinde betonun asitlik derecesini ayarlama da laktik asitin L(+) formu kullanılmaktadır ve sitrik asit ile kıyaslandığında daha uzun süre etki etmektedir.

Teknik laktik asit dericilikte deriyi kabartmak ve kirecini uzaklaştırmak amacıyla; tuzları ise boyacılıkta kullanılmaktadır. Potasyum laktatın renksiz, konsantre çözeltisi ise bazen gliserinin yerini almaktadır.

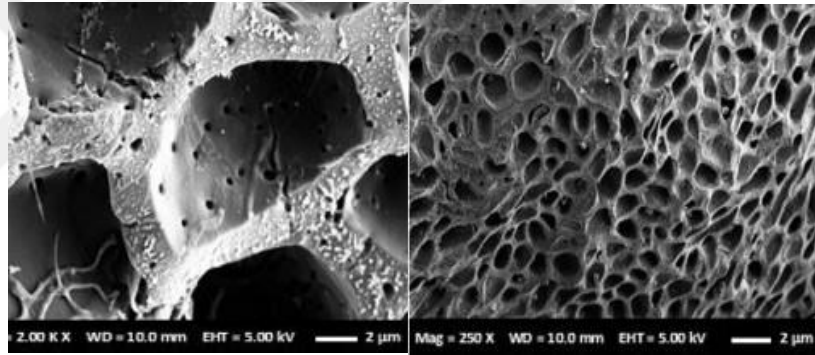
Saflaştırılmış laktik asit asetik asit yerine şurup ve gazoz yapımında kullanılmaktadır.

Kozmetikte kullanımı ise ağırlıklı olarak eczacılık ile ilgilidir. Antibiyotik tedavisinden sonra bağırsak florasını düzenlemenin yanı sıra merhem formülasyonlarında, losyonlarda, akne önleyici çözeltilerde ve diyaliz uygulamalarında kullanılmaktadır.

3.2. ADSORPSİYONDA KULLANILAN ADSORBANLAR

3.2.1. Aktif Karbon

Aktif karbon; yüksek gözeneklilik ve yüzey alanına sahip, herhangi bir yapısal formül ya da kimyasal analiz ile karakterize edilemeyen, grafitleştirilemeyen karbonlu yapılar olarak tanımlanmaktadır. Sahip oldukları geniş yüzey alanları ve yüksek gözenek yapıları nedeniyle süngerimsi karbonlu yapılar olarak da bilinirler (Şekil 3.4). Gaz veya sıvılardan adsorpsiyon yoluyla istenmeyen moleküllerin uzaklaştırılmasında da bu özelliklerinden yararlanır [38].



Şekil 3.4: Aktif karbonun gözenek yapısı – Taramalı elektron mikroskobu [39].

M.Ö. 3750 yılına dayanan kaynaklara sahip olan aktif karbon, günümüze kadar birçok farklı alanda kullanılmıştır. Adsorpsiyon yetenekleri sayesinde saflaştırma, ağartma, filtreleme ve ayrıştırma gibi birçok fiziksel ve kimyasal proseste kendine yer edinmiştir. Tercih edilmesinde ön plana çıkan özellikleri arasında geniş yüzey alanına sahip olması, yüksek yüzey aktivitesi, gözenek dağılımının uygun olması ve mekanik dayanımı (aşınmaya karşı direnç ve sertlik) sayılabilir [38].

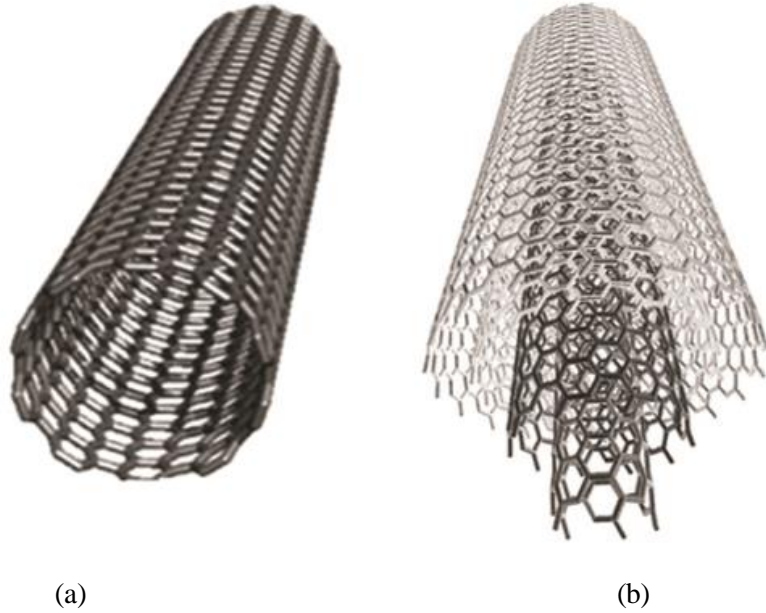
Karbon içeren birçok maddeden aktif karbon üretilebilmektedir. Ticari olarak aktif karbon üretiminde kömürden, odunsu ve bitkisel yapılardan yararlanılmaktadır. Bunun sebebi ise bu malzemelerin düşük inorganik madde içeriğine sahip olmalarının yanında yüksek karbon içermeleri ve kimyasal aktiviteleridir. Üretim yöntemlerinin patentleri ise

1900'lü yıllarda alınmıştır. Kimyasal aktivasyon ve gaz aktivasyonu olmak üzere iki farklı üretim yöntemi bulunmaktadır [40].

Bu çalışmada kullanılan laktik asit ile aktif karbon arasında fiziksel adsorpsiyon meydana gelmektedir.

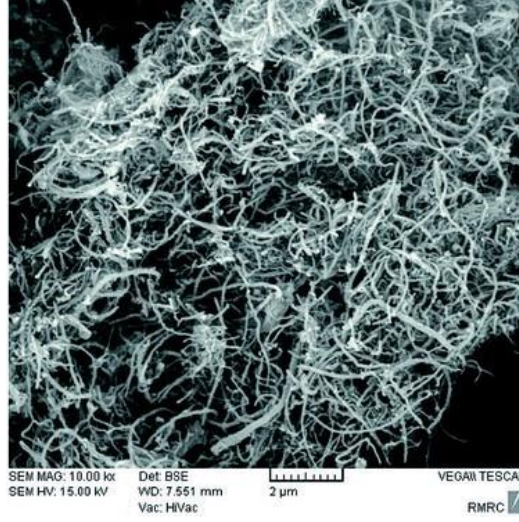
3.2.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (MWCNT)

Karbon nanotüp, karbon atomlarının uzun silindirik yapıda kovalent bağlanması sonucu oluşmaktadır. Tek duvarlı karbon nanotüp ve çok duvarlı karbon nanotüp olmak üzere iki farklı şekilde bulunmaktadır. Tek grafit tabakasının silindir şeklinde sarılması ile tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT) oluşur. Çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ise iç içe geçmiş eş eksenli grafit silindirlerinden oluşmaktadır [41]. Tek duvarlı karbon nanotüp ile çok duvarlı karbon nanotüp Şekil 3.5' te gösterilmiştir.



Şekil 3.5: (a) Tek duvarlı karbon nanotüp , (b) Çok duvarlı karbon nanotüp.

Karbon nanotüpler aynı grafit tabakasına sahip olsalar dahi iletken veya yarı iletken özellik taşıyabilirler. Bunu oluşturan etken ise geometrik yapılarıdır.



Şekil 3.6: Çok duvarlı karbon nanotüp – Taramalı elektron mikroskobu [42].

Bu yapılar; telekomünikasyon, piller, tıbbi görüntüleme, bilgisayar, kompozit maddeler ve kimyasal prosesler de dahil olmak üzere birçok alanda kendine yer edinmiştir. Kullanım alanının çeşitliliğini arttırıcı özellikleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Elektronik özelliklerinin iyi olması,
- Elektriksel ve termal iletkenliğinin yüksek olması,
- Kimyasal ve termal kararlılığının iyi olması,
- Kimyasal depolama kapasitesinin yüksek olması,
- Sorpsiyon kapasitesinin yüksek olması.

Sorpsiyon kapasitesinin yüksek olması birçok araştırmacının adsorpsiyon çalışmalarında yer edinmesini sağlamıştır.

3.3. İYON DEĞİŞTİRİCİ OLARAK KULLANILAN REÇİNELER

3.3.1. Amberlite IRA-67

Amberlite IRA-67, akrilik matrikse sahip jel yapılı bir zayıf bazik anyon değiştirici reçinedir. Adsorpsiyon ve desorpsiyonda etkili olmasında esnek akrilik yapısı rol oynamaktadır [44]. Amberlite IRA-67'nin özellikleri Tablo 3.3'te sunulmuştur.

Tablo 3.3: Amberlite IRA-67'nin Özellikleri.

Fiziksel Şekli	Şeffaf beyaz küresel tanecikler
Matriks	Çapraz bağlı akrilik jel
Fonksiyonel grup	Tersiyer Amin
İyonik hal	Serbest baz
Toplam Değişim Kapasitesi	1,6 meq/mL
Nem Tutma Kapasitesi	%56-64
Ortalama tanecik boyutu	0,50-0,75 mm

3.3.2. Amberlite IRA-96

Amberlite IRA-96, makroretteküler yapılu bir zayıf bazik anyon değiştirici reçinedir. Karboksilik asitlerin sulu çözeltilerinden adsorbe edilmesinde etkili iyon değiştirici adsorban olarak kullanılmaktadır. Amberlite IRA-96'nın özellikleri Tablo 3.4'te sunulmuştur [43].

Tablo 3.4: Amberlite IRA-96'nın Özellikleri.

Fiziksel Şekli	Sarımsı kahverengi opak küresel tanecikler
Matriks	Stiren divinilbenzen kopolimeri
Fonksiyonel grup	Tersiyer Amin
İyonik hal	Serbest baz
Toplam Değişim Kapasitesi	1,25 meq/mL
Nem Tutma Kapasitesi	%57-63
Ortalama tanecik boyutu	0,55-0,75 mm

3.3.3. Amberlite IRA-400

Amberlite IRA-400, jel yapılu bir güçlü bazik anyon değiştirici reçinedir. Sahip olduğu gözenek yapısı ve yüksek adsorpsiyon kapasitesinden dolayı tercih edilmektedir [45].

Amberlite IRA-400'ün özellikleri Tablo 3.5'te sunulmuştur:

Tablo 3.5: Amberlite IRA-400'ün Özellikleri.

Fiziksel Şekli	Şeffaf altın sarısı küresel tanecikler
Matriks	Polistiren DVB
Fonksiyonel grup	Kuarterner amonyum
İyonik hal	Cl ⁻
Toplam Değişim Kapasitesi	2,6 meq/mL
Nem Tutma Kapasitesi	%42-48
Ortalama tanecik boyutu	0,3-0,8 mm

3.4. DENEYSEL YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada; laktik asitin sulu çözeltilerinden beş farklı adsorban kullanılarak adsorpsiyonuna, adsorban miktarı, laktik asitin başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Kullanılan adsorbanlar; aktif karbon, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT), Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96 ve Amberlite IRA- 400'dür.

Deneysel çalışmalarda ilk olarak laktik asitin beş farklı başlangıç konsantrasyonunda (%2, %4, %6, %8 ve %10) çözeltileri hazırlanmıştır. Adsorpsiyon denemeleri için bu laktik asit çözeltilerinden 5 mL alınarak erlenlere konulmuş ve üzerine adsorban ilave edilerek adsorpsiyon dengeye gelme süreleri belirlenmiştir. Bu amaçla aynı konsantrasyonda hazırlanmış yedi erlen karıştırılmalı su banyosunda sabit sıcaklıkta karıştırma işlemine tabi tutulmuş ve periyodik olarak her yarım saatte bir erlenden örnek alınarak laktik asit miktarı analiz edilmiştir. Denge sürelerinin farklı adsorbanlar için 90-210 dakika aralığında değiştiği bulunmuştur. Bu veriler ayrıca kinetik modelleme amacıyla da kullanılmıştır. Her bir adsorban için bulunan denge süreleri literatürdeki benzer çalışmalarda bulunan sonuçlarla karşılaştırılarak uyumlu olduğu görülmüş ve daha sonraki adsorpsiyon denemelerinde denge süreleri olarak kullanılmıştır.

İzotermilerin elde edilmesi amacıyla, laktik asitin beş farklı başlangıç konsantrasyonunda (%2, %4, %6, %8 ve %10) çözeltileri kullanılarak adsorpsiyon denemeleri yapılmıştır. Adsorban miktarının adsorpsiyon üzerine etkisinin görülmesi için ise kullanılan adsorbanlardan (aktif karbon, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT), Amberlite IRA - 67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA- 400) beş farklı miktarda (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5

g) alınarak adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca laktik asitin her bir adsorban için üç farklı sıcaklıkta (298, 318, 338 K) adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilerek sıcaklığın adsorpsiyon üzerine etkisi belirlenmiştir. Laktik asit analizleri, literatürde ve benzer çalışmalarda olduğu gibi 0,1 N NaOH çözeltisi kullanılarak fenolftalein indikatörlüğünde titrimetrik yöntemle gerçekleştirilmiştir.



4. BULGULAR

Laktik asitin farklı adsorbanlar ve iyon değiştiriciler kullanılarak gerçekleştirilen denemelerine ait sonuçlar bu bölümde sunulmuştur.

4.1. ADSORPSİYON DENEMELERİ

Aktif karbon ve MWCNT kullanılarak farklı koşullarda adsorpsiyon denemeleri gerçekleştirilmiş ve bu denemelere ait sonuçlar bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu denemelerde; başlangıçta laktik asitin bu adsorbanlarla dengeye gelme süreleri (optimum süre) tespit edilmiştir. Tespit edilen bu optimum sürede başlangıç asit konsantrasyonları, adsorban miktarı ve sıcaklık gibi parametrelerin aktif karbon ve MWCNT adsorpsiyon kapasitesine etkileri belirlenmiştir.

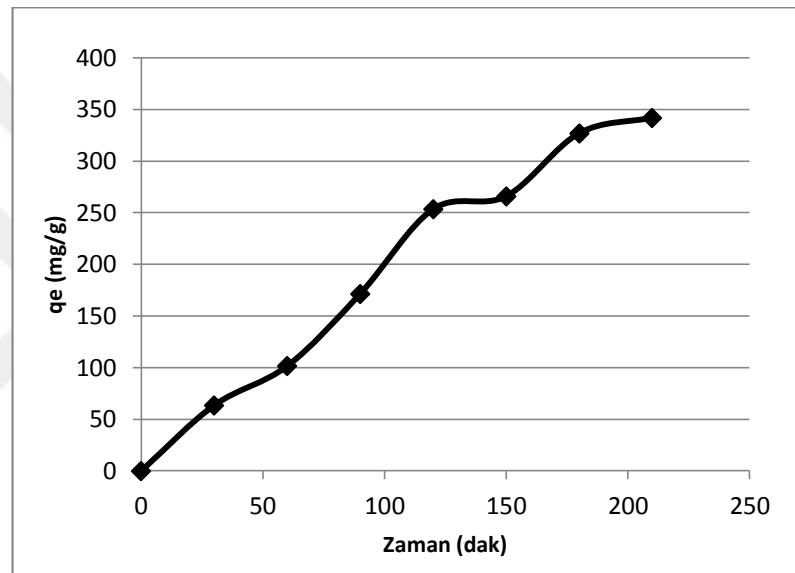
4.1.1. Laktik Asitin Aktif Karbon ile Adsorpsiyonu

4.1.1.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

0,1 g aktif karbon ve 5 mL %10'luk laktik asit ozeltisi kullanılarak yapılan denemelerde 30, 60, 90, 120, 150, 180 ve 210 dakika süreyle 25°C'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiş ve adsorbe edilen asit yüzdesinin değişmediği nokta dengeye gelme süresi (optimum süre) olarak belirlenmiştir. Yapılan denemelere ait sonuçlar Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu ilk 120 dakikada hızlı bir Şekilde artmış, en yüksek değere 210 dakikada ulaşmış ve bu değerden sonra pek değişmediği gözlemlenmiş ve dengeye gelme süresi 210 dakika olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1: Laktik asitin aktif karbon 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 %
1,10	9,89	98,90	30	1,08	97,63	63,50	1,28
1,10	9,89	98,90	60	1,07	96,87	101,50	5,05
1,10	9,89	98,90	90	1,06	95,47	171,50	3,46
1,10	9,89	98,90	120	1,04	93,83	253,50	5,12
1,10	9,89	98,90	150	1,03	93,58	266,00	5,37
1,10	9,89	98,90	180	1,02	92,36	327,00	6,61
1,10	9,89	98,90	210	1,02	92,06	342,00	6,92

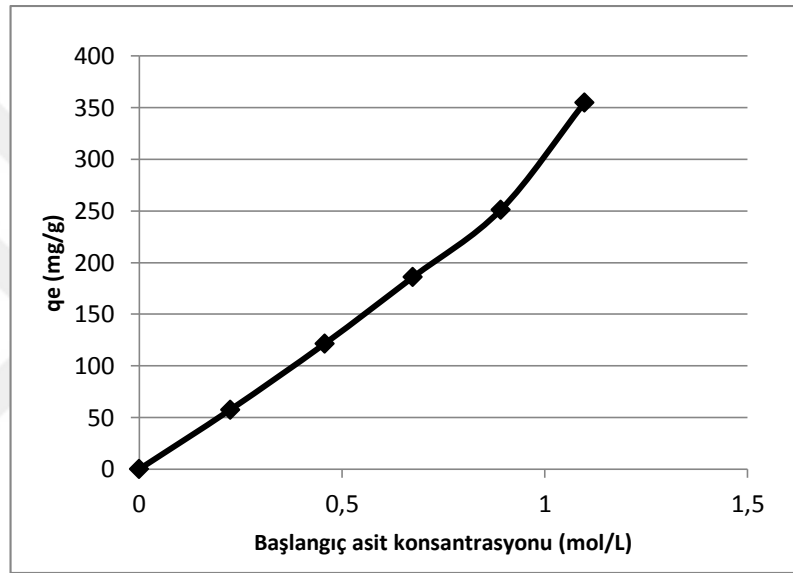
**Şekil 4.1:** Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.1.1.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin incelendiği bu denemelerde belirlenen denge süresinde (210 dakika) başlangıç laktik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan çözeltiler hazırlanarak 0,1 g aktif karbon ile 25°C’de çalışılmıştır. Çalışılan denemelere ait veriler Tablo 4.2’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Şekil 4.2’den açıkça görülebileceği gibi, başlangıç laktik asit konsantrasyonu arttıkça aktif karbon tarafından adsorplanan laktik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.2: Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin aktif karbon adsorpsiyonuna 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 %
0,22	2,02	20,20	25	0,21	19,05	57,50	5,69
0,46	4,12	41,20	25	0,43	38,77	121,50	5,89
0,67	6,08	60,80	25	0,63	57,08	186,00	6,11
0,89	8,03	80,30	25	0,83	75,24	251,00	6,25
1,10	9,89	98,90	25	1,01	91,80	355,00	7,17

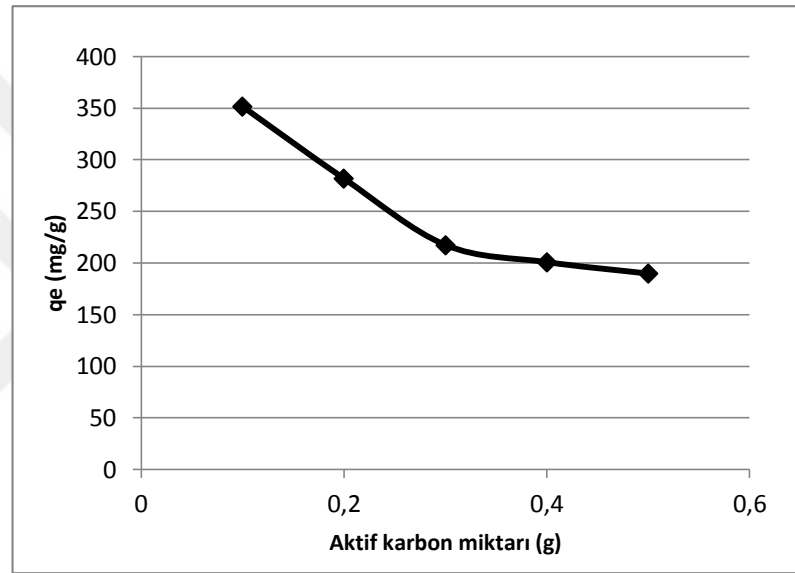
**Şekil 4.2:** Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin aktif karbon adsorpsiyonuna etkisi.

4.1.1.3. Farklı Aktif Karbon Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi

Farklı aktif karbon miktarlarının adsorpsiyona olan etkisini incelemek amacıyla 25°C'de sırasıyla 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g aktif karbon 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 0,1 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.3: Farklı aktif karbon miktarlarının adsorpsiyona etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Aktif Karbon (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,10	9,89	98,90	0,10	1,02	91,87	352	7,10
1,10	9,89	98,90	0,20	0,97	87,63	282	11,40
1,10	9,89	98,90	0,30	0,95	85,85	218	13,20
1,10	9,89	98,90	0,40	0,92	82,83	201	16,25
1,10	9,89	98,90	0,50	0,89	79,92	190	19,19

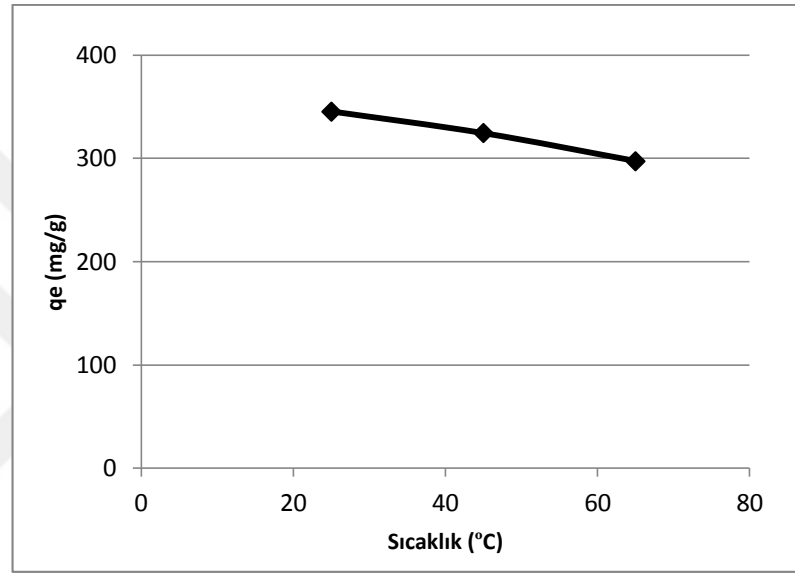
**Şekil 4.3:** Farklı aktif karbon miktarlarının adsorpsiyona etkisi.

4.1.1.4. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu yaklaşık %10 olan laktik asit çözeltileri kullanılarak, aktif karbon miktarının 0,1 g olduğu koşulda belirlenen optimum sürede sıcaklık değişiminin adsorpsiyona olan etkisi incelenmiştir. Adsorpsiyon sıcaklık değerleri 25°C, 45°C ve 65°C olarak seçilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.4 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı gözlenmektedir. Sıcaklığın artması ile adsorpsiyon kapasitesinin azalması aktif karbon adsorpsiyonunun ekzotermik olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.4: Sıcaklık değişiminin aktif karbon adsorpsiyonuna 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 %
1,11	9,96	99,60	25	1,02	92,69	345,50	6,94
1,11	9,96	99,60	45	1,03	93,11	324,50	6,52
1,11	9,96	99,60	65	1,04	93,65	297,50	5,97

**Şekil 4.4:** Sıcaklık değişiminin aktif karbon adsorpsiyonuna etkisi.

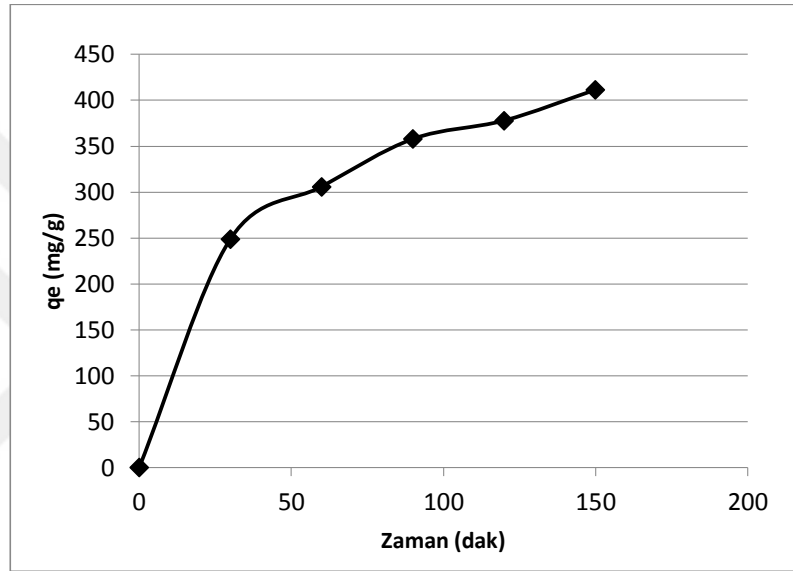
4.1.2. Laktik Asitin MWCNT ile Adsorpsiyonu

4.1.2.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

0,1 g MWCNT ve 5 mL yaklaşık %10'luk laktik asit çözeltisi kullanılarak yapılan denemelerde 30, 60, 90, 120 ve 150 dakika süreyle 25°C'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiş ve adsorbe edilen asit yüzdesinin değişmediği nokta dengeye gelme süresi (optimum süre) olarak belirlenmiştir. Yapılan denemelere ait sonuçlar Tablo 4.5 ve Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu en yüksek değere 150 dakikada ulaşmış ve bu değerden sonra pek değişmediği gözlemlenmiş ve dengeye gelme süresi 150 dakika olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.5: Laktik asitin 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 %
1,10	9,93	99,30	30	1,04	94,32	249,00	5,02
1,10	9,93	99,30	60	1,03	93,18	306,00	6,16
1,10	9,93	99,30	90	1,02	92,14	358,00	7,21
1,10	9,93	99,30	120	1,01	91,74	378,00	7,61
1,10	9,93	99,30	150	1,01	91,07	411,50	8,28

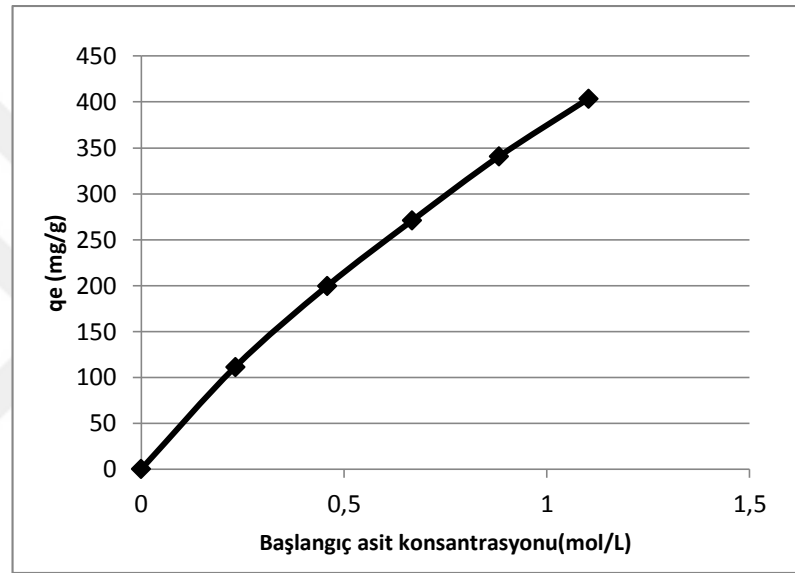
**Şekil 4.5:** Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.1.2.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin incelendiği bu denemelerde belirlenen denge süresinde (150 dakika) başlangıç laktik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan çözeltiler hazırlanarak 0,1 g MWCNT ile 25°C’de çalışılmıştır. Çalışılan denemelere ait veriler Tablo 4.6’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.6’de gösterilmiştir. Şekil 4.6’dan açıkça görülebileceği gibi, başlangıç laktik asit konsantrasyonu arttıkça MWCNT tarafından adsorplanan laktik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.6: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin MWCNT adsorpsiyonuna 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 %
0,23	2,09	20,90	25	0,21	18,67	111,50	10,67
0,46	4,13	41,30	25	0,41	37,31	199,50	9,66
0,67	6,02	60,20	25	0,61	57,78	271,00	9,00
0,88	7,94	79,42	25	0,81	72,61	340,50	8,57
1,10	9,93	99,30	25	1,01	91,23	403,50	5,13

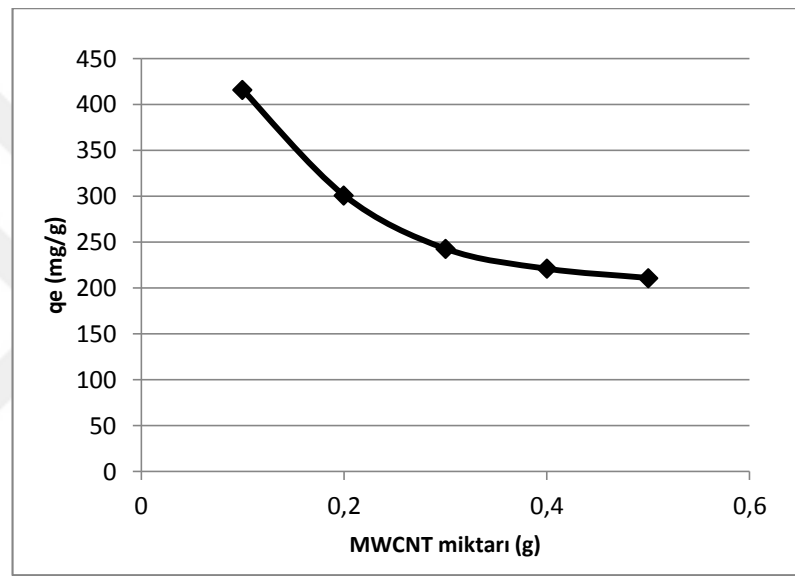
**Şekil 4.6:** Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin MWCNT adsorpsiyonuna etkisi.

4.1.2.3. Farklı MWCNT Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi

Farklı MWCNT miktarlarının adsorpsiyona olan etkisini incelemek amacıyla 25°C’de sırasıyla 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g MWCNT bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10’luk laktik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.7 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Şekil 4.7’de açıkça görülebileceği gibi, optimum MWCNT miktarı 0,1 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.7: Farklı MWCNT miktarlarının adsorpsiyona 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 %
1,10	9,93	99,30	0,10	1,01	90,98	416,00	8,38
1,10	9,93	99,30	0,20	0,97	87,26	301,00	12,12
1,10	9,93	99,30	0,30	0,94	84,73	243,00	14,67
1,10	9,93	99,30	0,40	0,91	81,62	221,00	17,80
1,10	9,93	99,30	0,50	0,87	78,21	211,00	21,24

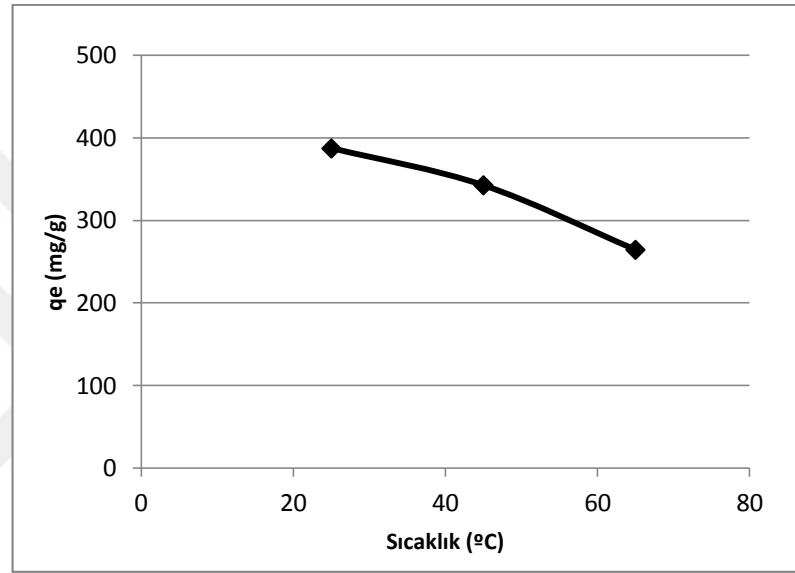
**Şekil 4.7:** Farklı MWCNT miktarlarının adsorpsiyona etkisi.

4.1.2.4. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu yaklaşık %10 olan laktik asit çözeltisi kullanılarak, MWCNT miktarının 0,1 g olduğu koşulda belirlenen optimum sürede sıcaklık değişiminin adsorpsiyona olan etkisi incelenmiştir. Adsorpsiyon sıcaklık değerleri 25°C, 45°C ve 65°C olarak seçilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.8 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı gözlenmektedir. Sıcaklığın artması ile adsorpsiyon kapasitesinin azalması MWCNT adsorpsiyonunun ekzotermik olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.8: Sıcaklık değişiminin MWCNT adsorpsiyonuna 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 %
1,11	9,96	99,60	25	1,02	91,85	387,50	7,78
1,11	9,96	99,60	45	1,03	92,75	342,50	6,88
1,11	9,96	99,60	65	1,04	94,31	264,50	5,31

**Şekil 4.8:** Sıcaklık değişiminin MWCNT adsorpsiyonuna etkisi.

4.2. İYON DEĞİŞİMİ DENEMELERİ

İyon değişimi denemelerini gerçekleştirmek amacıyla iyon değiştirici adsorban olarak Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96 ve Amberlite IRA-400 kullanılmış ve bu denemelere ait sonuçlar bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu denemelerde, başlangıçta laktik asitin bu adsorbanlarla dengeye gelme süreleri (optimum süre) tespit edilmiştir. Tespit edilen bu optimum sürede başlangıç asit konsantrasyonu, adsorban miktarı ve sıcaklık gibi parametrelerin iyon değişimi kapasitesine etkileri belirlenmiştir.

4.2.1. Laktik Asitin Amberlite IRA-67 ile İyon Değişimi

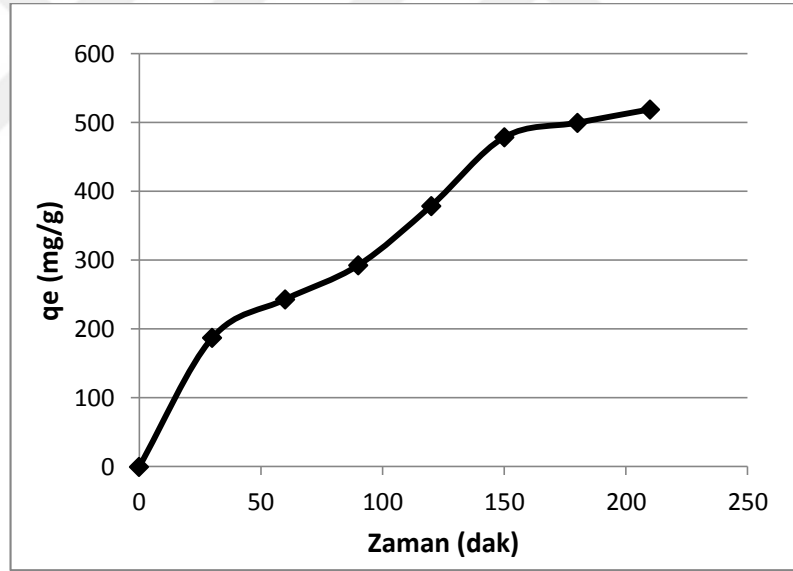
4.2.1.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

0,1 g Amberlite IRA-67 ve 5 mL %10'luk laktik asit çözeltisi kullanılarak yapılan denemelerde 30, 60, 90, 120, 150, 180 ve 210 dakika süreyle 25°C'de iyon değişimi işlemi gerçekleştirilmiş ve adsorbe edilen asit yüzdesinin değişmediği nokta dengeye gelme

süresi (optimum süre) olarak belirlenmiştir. Yapılan denemelere ait sonuçlar Tablo 4.9 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde laktik asitin Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu en yüksek değere 210 dakikada ulaşmış ve bu değerden sonra pek değişmediği gözlemlenmiş ve dengeye gelme süresi 210 dakika olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.9: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminin 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	9,98	99,80	30	1,06	96,06	187,00	3,75
1,11	9,98	99,80	60	1,05	94,94	243,00	4,87
1,11	9,98	99,80	90	1,04	93,95	292,50	5,86
1,11	9,98	99,80	120	1,02	92,22	379,00	7,59
1,11	9,98	99,80	150	1,00	90,23	478,50	9,59
1,11	9,98	99,80	180	0,99	89,81	499,50	10,01
1,11	9,98	99,80	210	0,99	89,42	519,00	10,40



Şekil 4.9: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminin zamanla değişimi.

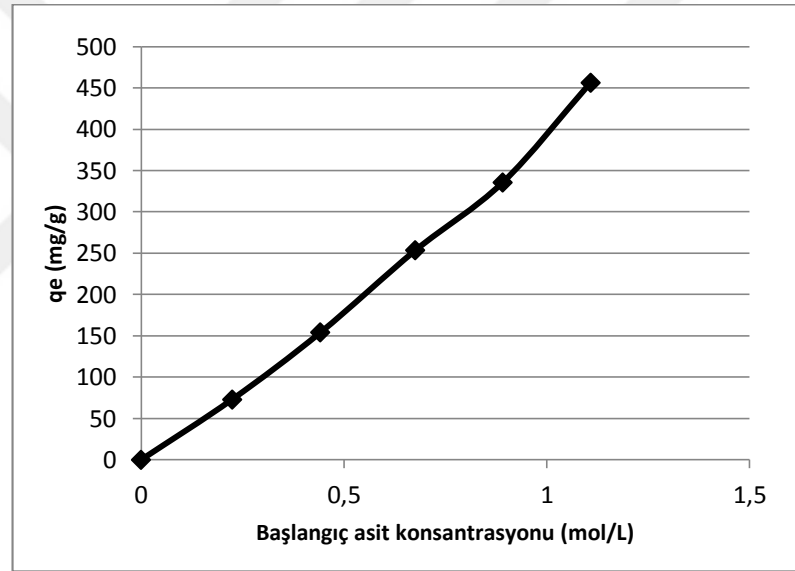
4.2.1.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin İyon Değişimine Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin incelendiği bu denemelerde belirlenen denge süresinde (210 dakika) başlangıç laktik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan çözeltiler hazırlanarak 0,1 g Amberlite IRA-67 ile 25°C'de çalışılmıştır. Çalışılan denemelere ait veriler Tablo 4.10'da ve grafiksel olarak ise Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Şekil 4.10'dan açıkça görülebileceği gibi, başlangıç laktik asit

konsantrasyonu arttıkça Amberlite IRA-67 tarafından adsorplanan laktik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.10: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin Amberlite IRA-67 iyon değişimine 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 %
0,22	2,02	20,20	25	0,20	18,74	73,00	7,23
0,44	3,98	39,80	25	0,41	36,72	154,00	7,74
0,68	6,09	60,90	25	0,62	55,83	253,50	8,33
0,89	8,03	80,30	25	0,82	73,55	335,50	8,36
1,11	9,98	99,80	25	1,01	90,67	456,50	9,15



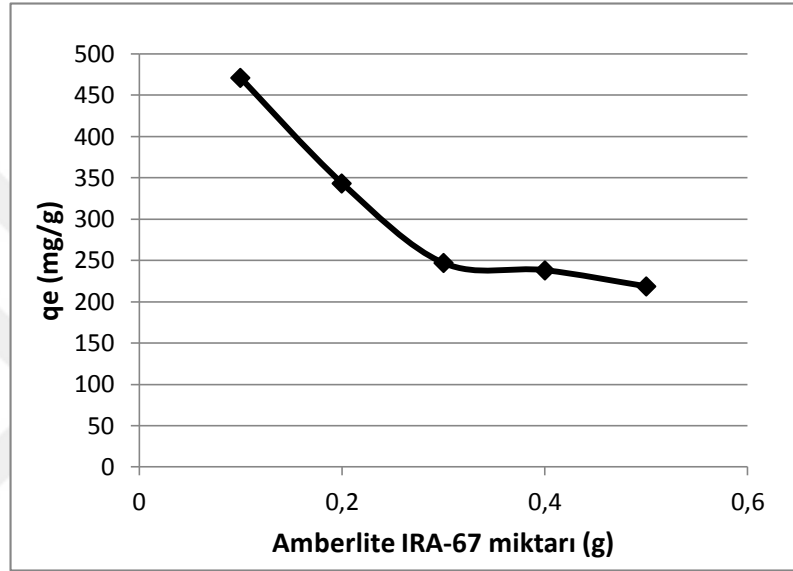
Şekil 4.10: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin Amberlite IRA-67 iyon değişimine etkisi.

4.2.1.3. Farklı Amberlite IRA-67 Miktarlarının İyon Değişimine Etkisi

Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının iyon değişimine olan etkisini incelemek amacıyla 25°C'de sırasıyla 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g. Amberlite IRA-67 bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10'luk laktik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.11 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekil 4.11'de açıkça görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,1 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.11: Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının iyon değişimine 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 %
1,11	9,98	99,80	0,10	1,00	90,38	471	9,44
1,11	9,98	99,80	0,20	0,96	86,06	344	13,77
1,11	9,98	99,80	0,30	0,94	84,98	247	14,85
1,11	9,98	99,80	0,40	0,89	80,74	238	19,09
1,11	9,98	99,80	0,50	0,87	77,93	219	21,91

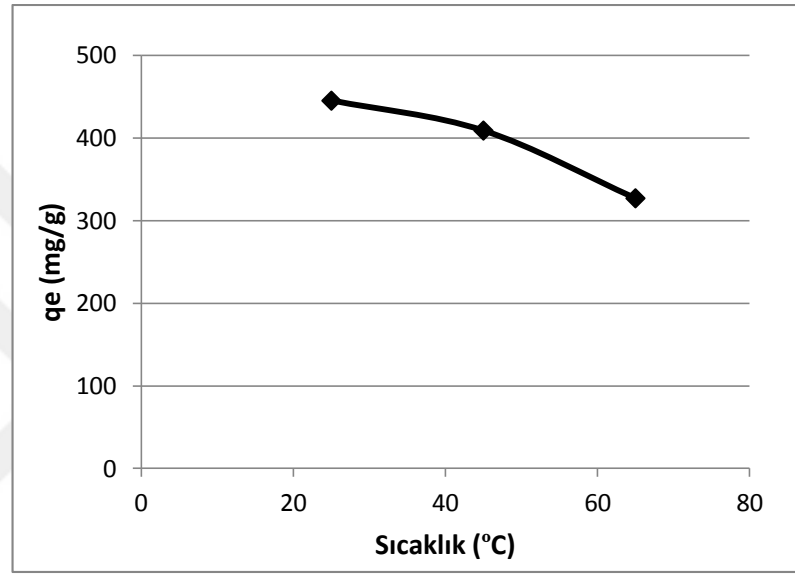
**Şekil 4.11:** Farklı Amberlite IRA-67 miktarlarının iyon değişimine etkisi.

4.2.1.4. Sıcaklık Değişiminin İyon Değişimine Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu yaklaşık %10 olan laktik asit çözeltisi kullanılarak, Amberlite IRA-67 miktarının 0,1 g olduğu koşulda belirlenen optimum sürede sıcaklık değişiminin iyon değişimine olan etkisi incelenmiştir. Sıcaklık değerleri 25°C, 45°C ve 65°C olarak seçilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.12 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla iyon değişim kapasitesinin azaldığı gözlenmektedir.

Tablo 4.12: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-67 iyon değişimine 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 %
1,11	9,96	99,60	25	1,01	90,69	445,50	8,94
1,11	9,96	99,60	45	1,02	91,42	409,00	8,21
1,11	9,96	99,60	65	1,03	93,06	327,00	6,57

**Şekil 4.12:** Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-67 iyon değişimine etkisi.

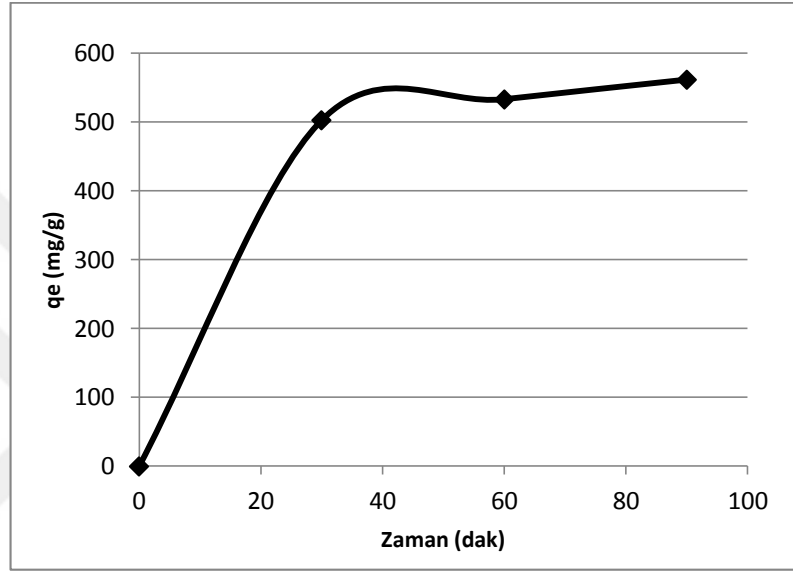
4.2.2. Laktik Asitin Amberlite IRA-96 ile İyon Değişimi

4.2.2.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

0,1 g Amberlite IRA-96 ve 5 mL yaklaşık %10'luk laktik asit çözeltisi kullanılarak yapılan denemelerde 30, 60 ve 90 dakika süreyle 25°C'de iyon değişimi işlemi gerçekleştirilmiş ve adsorbe edilen asit yüzdesinin değişmediği nokta dengeye gelme süresi (optimum süre) olarak belirlenmiştir. Yapılan denemelere ait sonuçlar Tablo 4.13 ve Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde laktik asitin Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonu ilk 90 dakika hızlı bir şekilde artmış ve en yüksek değere ulaşmış ve bu değerden sonra pek değişmediği gözlemlenmiş ve dengeye gelme süresi 90 dakika olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.13: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminin 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 %
1,14	10,29	102,90	30	1,03	92,85	502,50	9,77
1,14	10,29	102,90	60	1,02	92,24	533,00	10,36
1,14	10,29	102,90	90	1,01	91,67	561,50	10,91

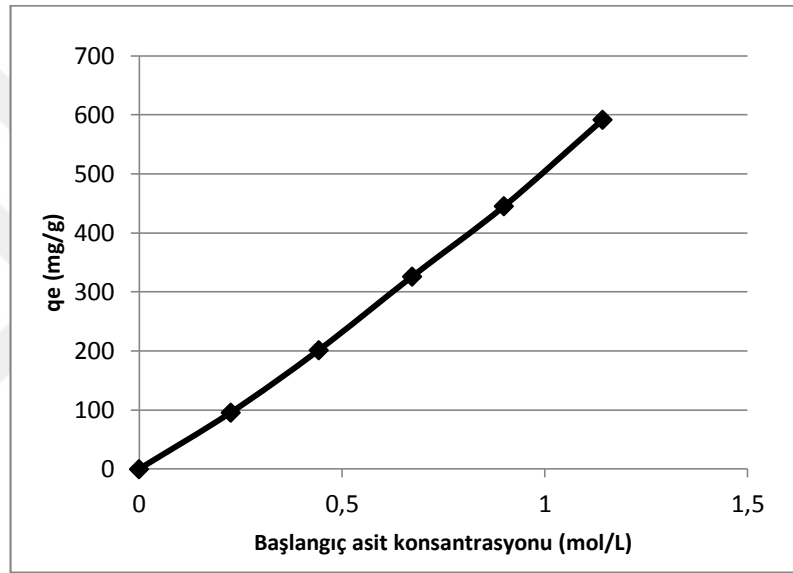
**Şekil 4.13:** Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminin zamanla değişimi.

4.2.2.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin İyon Değişimine Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin incelendiği bu denemelerde belirlenen denge süresinde (90 dakika) başlangıç laktik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan çözeltiler hazırlanarak 0,1 g Amberlite IRA-96 ile 25°C’de çalışılmıştır. Çalışılan denemelere ait veriler Tablo 4.14’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Şekil 4.14’den açıkça görülebileceği gibi, başlangıç laktik asit konsantrasyonu arttıkça Amberlite IRA-96 tarafından adsorplanan laktik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.14: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimine 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 %
0,23	2,03	20,30	25	0,20	18,39	95,00	9,41
0,44	3,99	39,90	25	0,39	35,87	202,00	10,10
0,67	6,06	60,60	25	0,60	54,08	326,00	10,76
0,90	8,10	81,00	25	0,80	72,10	445,00	10,99
1,14	10,29	102,90	25	1,01	91,07	591,50	11,50



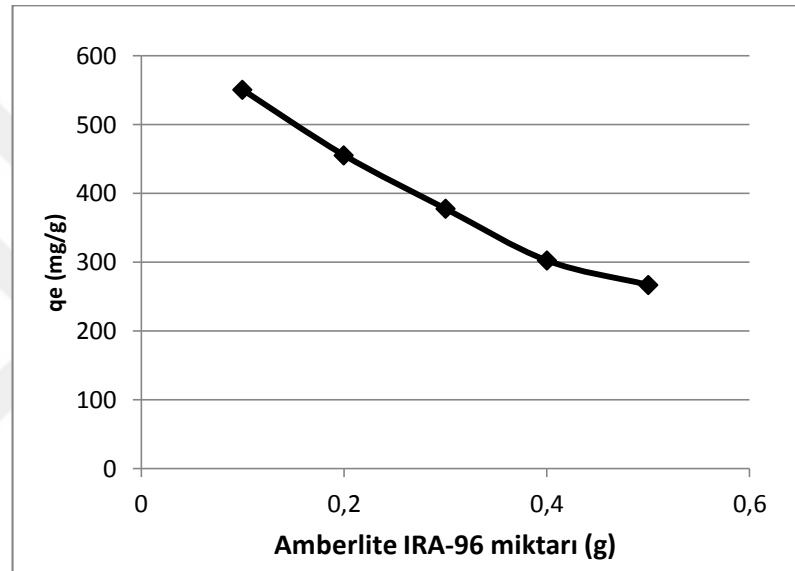
Şekil 4.14: Başlangıç asit konsantrasyon değişiminin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimine etkisi.

4.2.2.3. Farklı Amberlite IRA-96 Miktarlarının İyon Değişimine Etkisi

Farklı Amberlite IRA-96 miktarlarının iyon değişimine olan etkisini incelemek amacıyla 25°C'de sırasıyla 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g. Amberlite IRA-96 bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10'luk laktik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.15 ve Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Şekil 4.15'de açıkça görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,1 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.15: Farklı Amberlite IRA-96 miktarlarının iyon değişimine etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Amberlite IRA-96 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,14	10,29	102,90	0,10	1,02	91,89	550	10,70
1,14	10,29	102,90	0,20	0,94	84,68	456	17,71
1,14	10,29	102,90	0,30	0,89	80,23	378	22,03
1,14	10,29	102,90	0,40	0,87	78,69	303	23,53
1,14	10,29	102,90	0,50	0,85	76,19	267	25,96

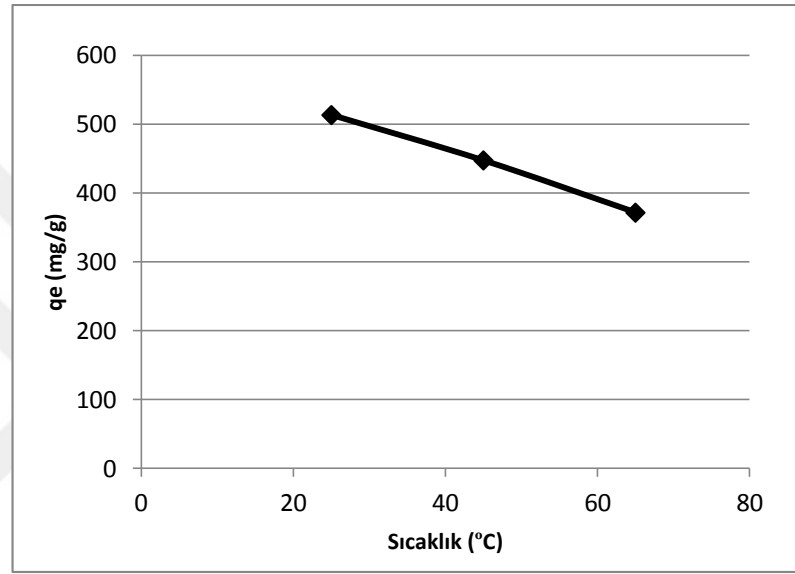
**Şekil 4.15:** Farklı Amberlite IRA-96 miktarlarının iyon değişimine etkisi.

4.2.2.4. Sıcaklık Değişiminin İyon Değişimine Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu yaklaşık %10 olan laktik asit çözeltileri kullanılarak, Amberlite IRA-96 miktarının 0,1 g olduğu koşulda belirlenen optimum sürede sıcaklık değişiminin iyon değişimine olan etkisi incelenmiştir. Sıcaklık değerleri 25°C, 45°C ve 65°C olarak seçilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.16 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla iyon değişim kapasitesinin azaldığı gözlenmektedir.

Tablo 4.16: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-96 iyon değişimine 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 %
1,11	9,96	99,60	25	0,99	89,33	513,50	10,31
1,11	9,96	99,60	45	1,01	90,65	447,50	8,99
1,11	9,96	99,60	65	1,02	92,16	372,00	7,47

**Şekil 4.16:** Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-96 iyon değişimine etkisi.

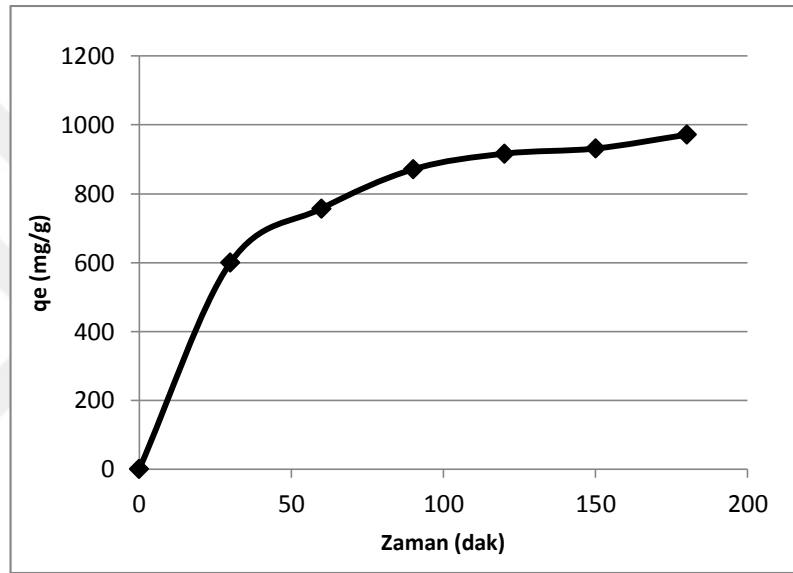
4.2.3. Laktik Asitin Amberlite IRA-400 ile İyon Değişimi

4.2.3.1. Dengeye Gelme Süresinin Belirlenmesi

0,1 g Amberlite IRA-400 ve 5 mL yaklaşık %10'luk laktik asit çözeltisi kullanılarak yapılan denemelerde 30, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakika süreyle 25°C'de iyon değişimi işlemi gerçekleştirilmiş ve adsorbe edilen asit yüzdesinin değişmediği nokta dengeye gelme süresi (optimum süre) olarak belirlenmiştir. Yapılan denemelere ait sonuçlar Tablo 4.17 ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde laktik asitin Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonu en yüksek değere 180 dakikada ulaşmış ve bu değerden sonra pek değişmediği gözlemlenmiş ve dengeye gelme süresi 180 dakika olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.17: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminin 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 %
1,17	10,51	105,10	30	1,03	93,10	600,00	11,42
1,17	10,51	105,10	60	0,99	89,95	757,50	14,41
1,17	10,51	105,10	90	0,97	87,68	871,00	16,57
1,17	10,51	105,10	120	0,96	86,77	916,50	17,44
1,17	10,51	105,10	150	0,96	86,47	931,50	17,73
1,17	10,51	105,10	180	0,95	85,67	971,50	18,49

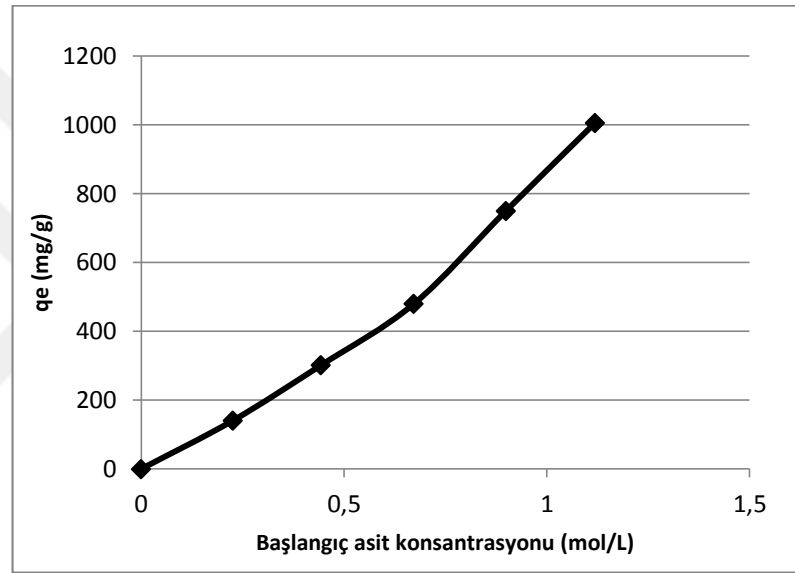
**Şekil 4.17:** Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminin zamanla değişimi.

4.2.3.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin İyon Değişimine Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin incelendiği bu denemelerde belirlenen denge süresinde (180 dakika) başlangıç laktik asit konsantrasyonları yaklaşık %2, %4, %6, %8 ve %10 olan çözeltiler hazırlanarak 0,1 g Amberlite IRA-400 ile 25°C’de çalışılmıştır. Çalışılan denemelere ait veriler Tablo 4.18’de, grafiksel olarak ise Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Şekil 4.18’den açıkça görülebileceği gibi, başlangıç laktik asit konsantrasyonu arttıkça Amberlite IRA-400 tarafından adsorplanan laktik asit miktarı artmıştır.

Tablo 4.18: Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin Amberlite IRA-400 iyon değişimine 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 %
0,23	2,03	20,30	25	0,19	17,50	140,00	13,79
0,44	3,99	39,90	25	0,38	33,88	301,00	15,09
0,67	6,06	60,55	25	0,57	50,96	479,50	15,84
0,90	8,01	80,96	25	0,73	65,98	749,00	18,50
1,12	10,08	100,81	25	0,89	80,70	1005,50	19,95



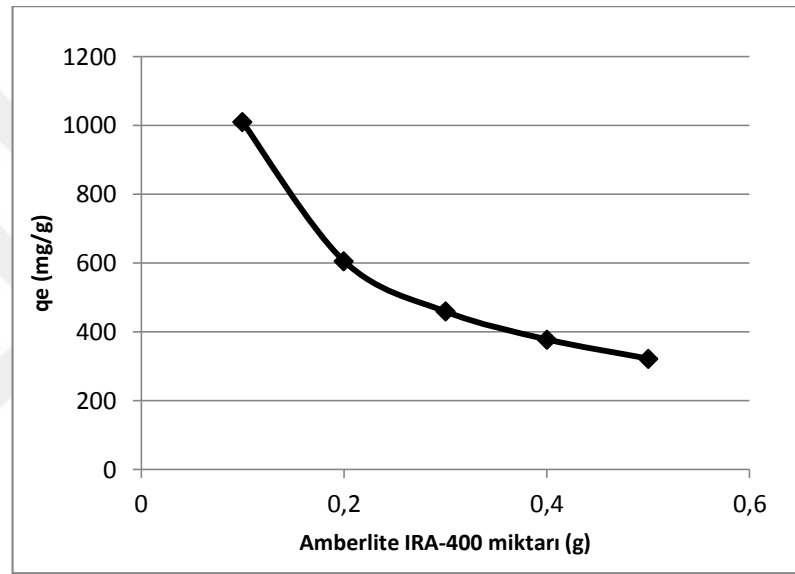
Şekil 4.18: Başlangıç asit konsantrasyonu değişiminin Amberlite IRA-400 iyon değişimine etkisi.

4.2.3.3. Farklı Amberlite IRA-400 Miktarlarının İyon Değişimine Etkisi

Farklı Amberlite IRA-400 miktarlarının iyon değişimine olan etkisini incelemek amacıyla 25°C'de sırasıyla 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g. Amberlite IRA-400 bulunan erlenlere, hazırlanan yaklaşık %10'luk laktik asit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu denemelere ait sonuçlar Tablo 4.19 ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Şekil 4.19'da açıkça görülebileceği gibi, optimum adsorban miktarı 0,1 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.19: Farklı Amberlite IRA-400 miktarlarının iyon değişimine etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Amberlite IRA-400 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,12	10,08	100,81	0,10	0,89	80,62	1010	20,03
1,12	10,08	100,81	0,20	0,85	76,58	606	24,04
1,12	10,08	100,81	0,30	0,81	73,26	459	27,33
1,12	10,08	100,81	0,40	0,78	70,55	378	30,02
1,12	10,08	100,81	0,50	0,76	68,58	322	31,98

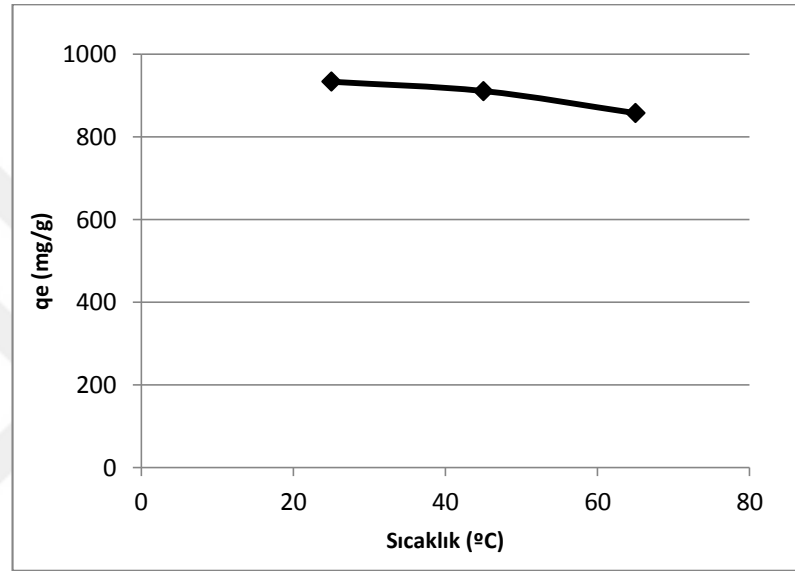
**Şekil 4.19:** Farklı Amberlite IRA-400 miktarlarının iyon değişimine etkisi.

4.2.3.4. Sıcaklık Değişiminin İyon Değişimine Etkisi

Başlangıç asit konsantrasyonu yaklaşık %10 olan laktik asit çözeltisi kullanılarak, Amberlite IRA-400 miktarının 0,1 g olduğu koşulda belirlenen optimum sürede sıcaklık değişiminin iyon değişimine olan etkisi incelenmiştir. Sıcaklık değerleri 25°C, 45°C ve 65°C olarak seçilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.20 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla iyon değişim kapasitesinin azaldığı gözlenmektedir.

Tablo 4.20: Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-400 iyon değişimine 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 %
1,11	9,96	99,60	25	0,89	80,93	933,50	18,75
1,11	9,96	99,60	45	0,90	81,38	911,00	18,29
1,11	9,96	99,60	65	0,92	82,45	857,50	17,22

**Şekil 4.20:** Sıcaklık değişiminin Amberlite IRA-400 iyon değişimine etkisi.

4.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

Bu bölümde, laktik asitin adsorpsiyon ve iyon değişimi denemelerine ait sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri ile olan uyumu araştırılmıştır. Bu amaçla, Bölüm 2’de açıklanan Langmuir, Freundlich, Temkin izoterm modellerine ait lineerleştirilmiş eşitliklere [(2.3), (2.5) ve (2.7)] göre grafikler çizilmiş ve bu izoterm modellerine ait izoterm sabitleri hesaplanmıştır.

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

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

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

4.3.1. Laktik Asitin Aktif Karbon Adsorpsiyonu İzotermeleri

Laktik asitin aktif karbon adsorpsiyonu deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumları Tablo 4.21-4.23'deki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.21-4.23'de gösterilmiştir. Şekil 4.21-4.23'den yararlanarak hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) Tablo 4.24'de özetlenmiştir.

Tablo 4.21: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

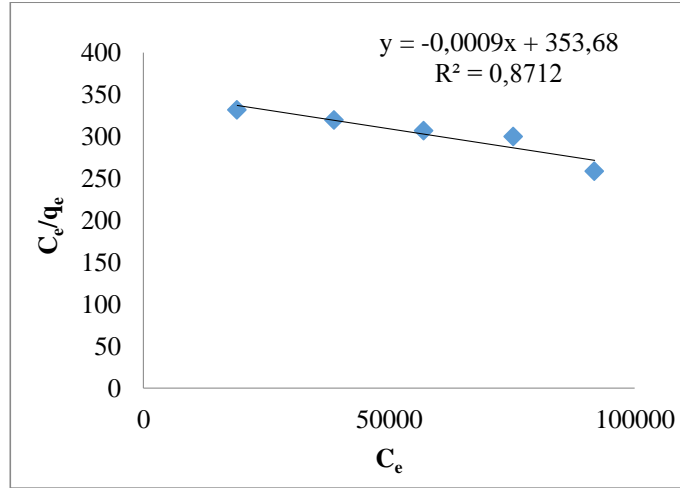
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)
20200	19050	57,50	331,30
41200	38770	121,50	319,20
60800	57080	186,00	306,88
80260	75250	251,00	299,76
98900	91800	355,00	258,59

Tablo 4.22: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

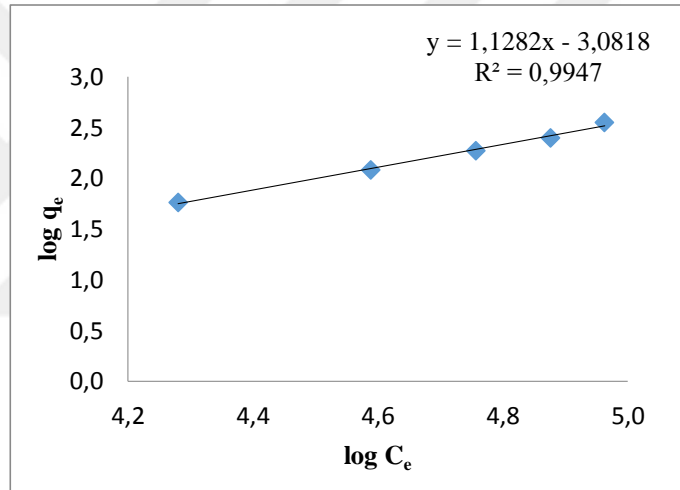
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log C_e$	$\log q_e$
20200	19050	57,50	4,28	1,76
41200	38770	121,50	4,59	2,08
60800	57080	186,50	4,76	2,27
80260	75240	251,00	4,88	2,40
98900	91800	355,00	4,96	2,55

Tablo 4.23: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

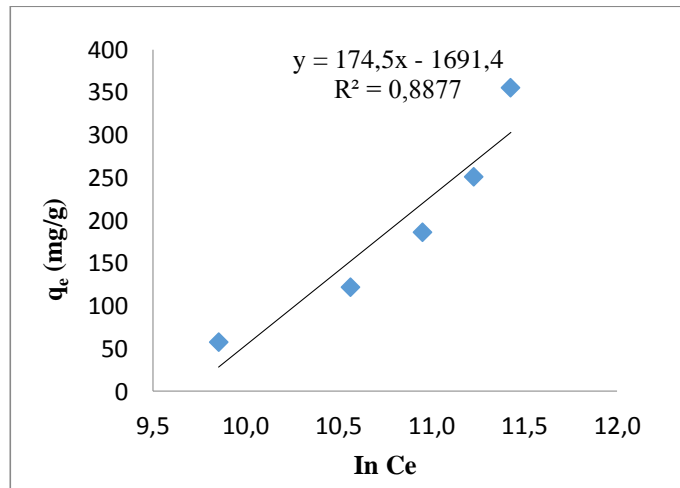
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\ln C_e$
20200	19050	57,50	9,85
41200	38770	121,50	10,57
60800	57080	186,00	10,95
80260	75240	251,00	11,23
98900	91800	355,00	11,43



Şekil 4.21: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.



Şekil 4.22: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.



Şekil 4.23: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.

Tablo 4.24: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

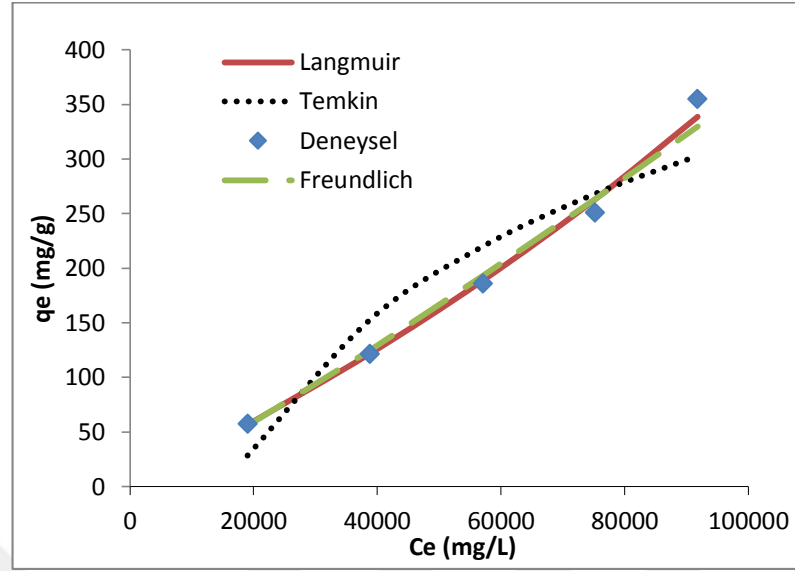
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri			Temkin sabitleri ve R^2 değerleri			
Q_0	b	R^2	K_f	n	R^2	B	K_t	b_t	R^2
-1111,1	$-2,54 \times 10^{-6}$	0,8712	$8,3 \times 10^{-4}$	0,886	0,9947	174,5	$6,17 \times 10^{-5}$	14,19	0.8877

Tablo 4.24'te verilen değerler (2.1), (2.4) ve (2.6) numaralı eşitliklerde yerlerine konularak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.25'te özetlenmiş ve Şekil 4.24'te ise grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.24'de özetlenen R^2 değerleri incelendiğinde laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyon mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.25'te karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerlerinden faydalanılarak çizilen Şekil 4.24 incelendiğinde ise Freundlich izoterm modelinin yanında Langmuir izoterm modelinin de deneysel verilerle uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.25: Laktik asitin aktif karbon 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)
19050	57,50	57	56	28
38770	121,50	122	125	152
57080	186,00	189	193	220
75240	251,00	263	263	268
91800	355,00	339	330	303



Şekil 4.24: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.3.2. Laktik Asitin MWCNT Adsorpsiyonu İzotermeleri

Laktik asitin MWCNT adsorpsiyonu deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumları Tablo 4.26-4.28'deki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.25-4.27'de gösterilmiştir. Şekil 4.25-4.27'den yararlanarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) Tablo 4.29'da özetlenmiştir.

Tablo 4.26: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

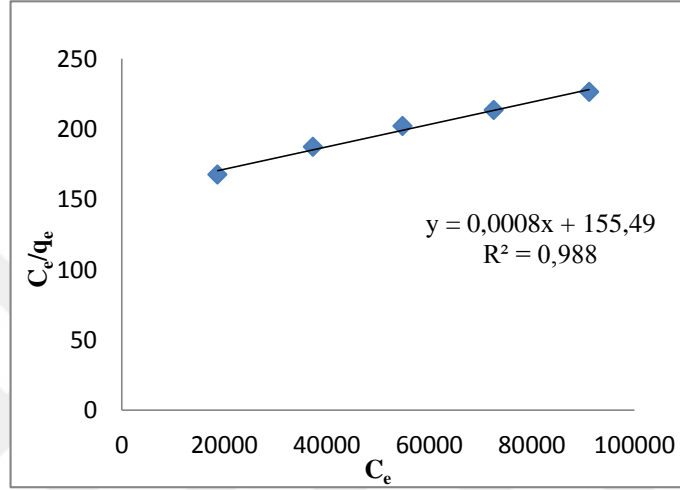
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)
20900	18670	111,50	167,44
41300	37310	199,50	187,01
60200	54780	271,00	202,14
79420	72610	340,50	213,24
99300	91230	403,50	226,09

Tablo 4.27: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

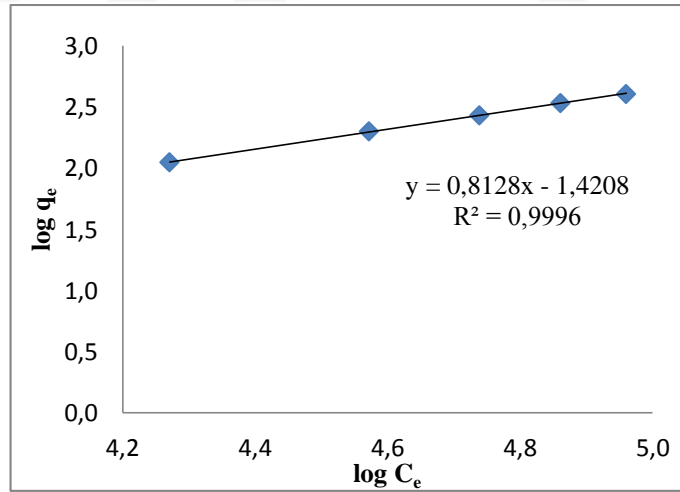
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log C_e$	$\log q_e$
20900	18670	111,50	4,27	2,04
41300	37310	199,50	4,57	2,29
60200	54780	271,00	4,74	2,43
79420	72610	340,50	4,86	2,53
99300	91230	403,50	4,96	2,61

Tablo 4.28: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

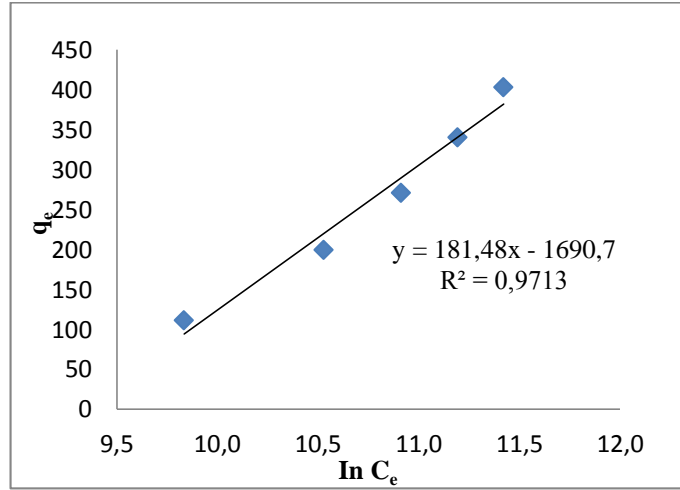
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\ln C_e$
20900	18670	111,50	9,83
41300	37310	199,50	10,53
60200	54780	271,00	10,91
79420	72610	340,50	11,19
99300	91230	403,50	11,42



Şekil 4.25: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.



Şekil 4.26: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.



Şekil 4.27: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.

Tablo 4.29: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

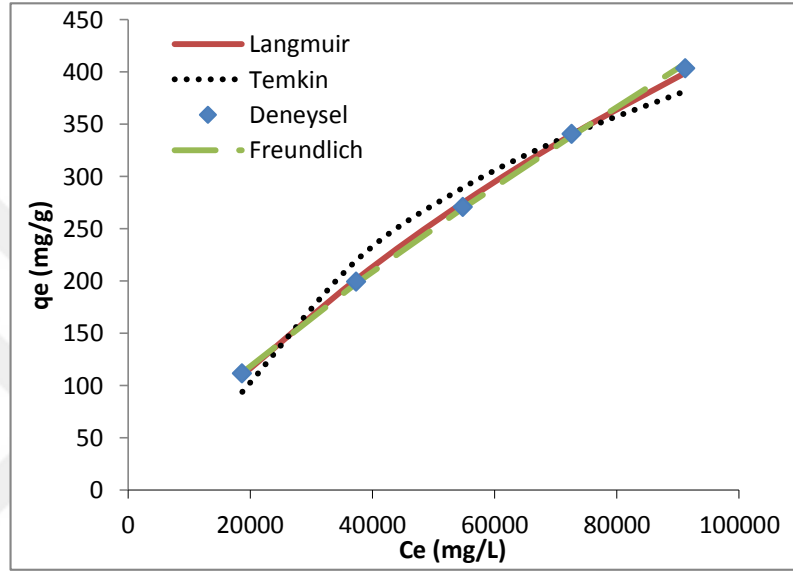
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri			Temkin sabitleri ve R^2 değerleri			
Q_0	b	R^2	K_f	n	R^2	B	K_t	b_t	R^2
1250	$5,14 \times 10^{-6}$	0,988	$3,79 \times 10^{-2}$	1,23	0,9996	181,5	$8,99 \times 10^{-5}$	13,65	0,971

Tablo 4.29'da verilen değerler (2.1), (2.4) ve (2.6) numaralı eşitliklerde yerlerine konularak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (deneysel q_e) değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.30 ve Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

Tablo 4.29'de özetlenen R^2 değerleri incelendiğinde laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyon mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.30'da karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerlerinden faydalanılarak çizilen Şekil 4.28 incelendiğinde ise Freundlich izoterm modelinin yanında Langmuir izoterm modelinin de deneysel verilerle uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.30: Laktik asitin 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)
18670	111,50	110	112	94
37310	199,50	201	197	220
54780	271,00	275	270	289
72610	340,50	340	339	341
91230	403,50	399	408	382



Şekil 4.28: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonunda, deneysel adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.3.3. Laktik Asitin Amberlite IRA-67 İyon Değişimi İzotermeleri

Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile gerçekleştirilen iyon değişimi deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumları Tablo 4.31-4.33'deki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.29-4.31'te gösterilmiştir. Şekil 4.29-4.31'ten yararlanarak hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) Tablo 4.39'te özetlenmiştir.

Tablo 4.31: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

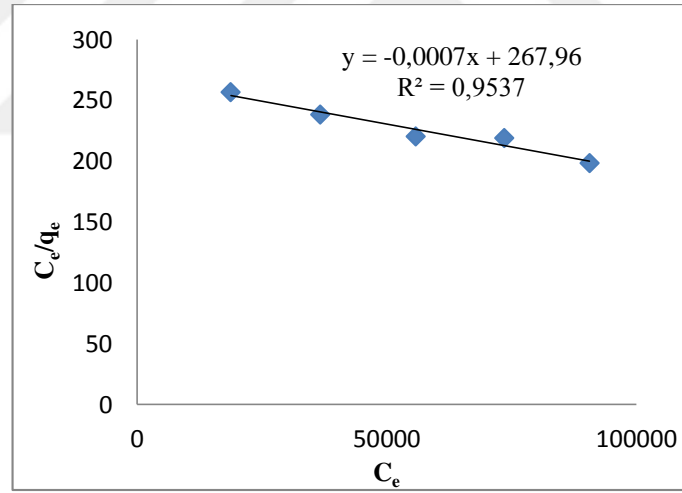
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)
20200	18740	73,0	256,71
39800	36720	154,0	238,44
60900	55830	253,5	220,23
80260	73550	335,5	219,22
99800	90670	456,5	198,61

Tablo 4.32: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

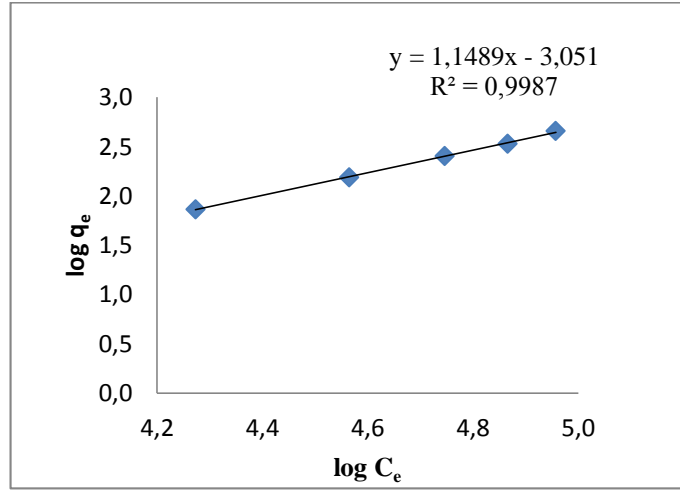
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	log C _e	log q _e
20200	18740	73,0	4,28	1,86
39800	36720	154,0	4,56	2,19
60900	55830	253,5	4,75	2,40
80260	73550	335,5	4,87	2,53
99800	90670	456,5	4,96	2,66

Tablo 4.33: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

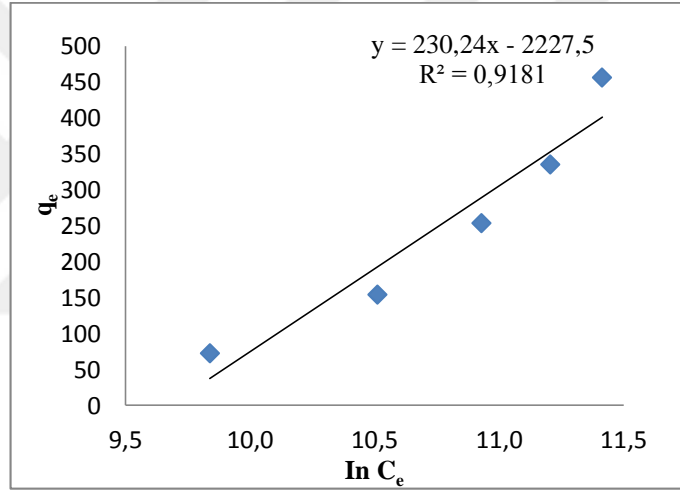
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	ln C _e
20200	18740	73,0	9,84
39800	36720	154,0	10,51
60900	55830	253,5	10,93
80260	73550	335,5	11,21
99800	90670	456,5	11,42



Şekil 4.29: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.



Şekil 4.30: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.



Şekil 4.31: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.

Tablo 4.34: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R² değerleri.

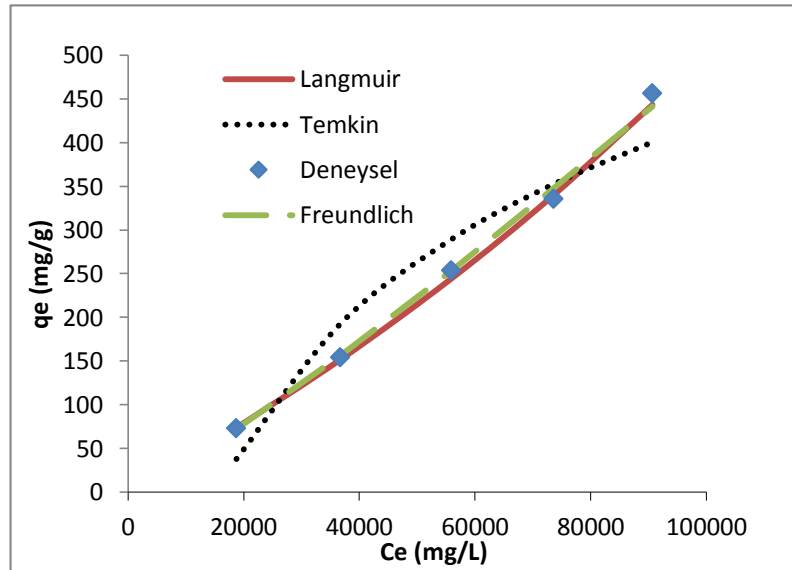
Langmuir sabitleri ve R ² değerleri			Freundlich sabitleri ve R ² değerleri			Temkin sabitleri ve R ² değerleri			
Q ₀	b	R ²	K _f	n	R ²	B	K _t	b _t	R ²
-1428,5	-2,61x10 ⁻⁶	0,9537	8,9x10 ⁻⁴	0,87	0,9987	230,24	6,29x 10 ⁻⁵	10,76	0.9181

Tablo 4.34’de verilen değerler (2.1), (2.4) ve (2.6) numaralı eşitliklerde yerlerine konularak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri için q_e değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen deneysel q_e değerleriyle karşılaştırılmalı olarak Tablo 4.35 ve Şekil 4.32’de gösterilmiştir.

Tablo 4.34’da özetlenen R^2 değerleri incelendiğinde laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.35’de karşılaştırılmalı olarak verilen q_e değerlerinden faydalanılarak çizilen Şekil 4.32 incelendiğinde ise Freundlich izoterm modelinin yanında Langmuir izoterm modelinin de deneysel verilerle uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.35: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi 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)
18740	73,0	74	72	38
36720	154,0	152	156	193
55830	253,5	244	253	289
73550	335,5	340	347	353
90670	456,5	443	442	401



Şekil 4.32: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.3.4. Laktik Asitin Amberlite IRA-96 İyon Değişimi İzotermi

Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumları Tablo 4.36-4.38'deki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.33-4.35'de gösterilmiştir. Şekil 4.33-4.35'den yararlanarak hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) Tablo 4.34'te özetlenmiştir.

Tablo 4.36: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

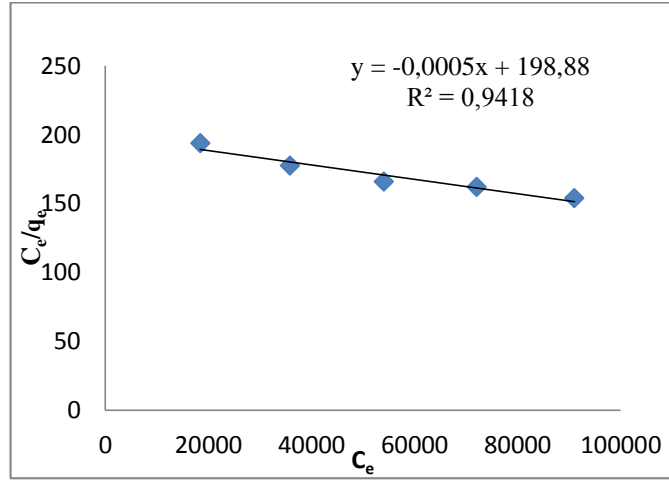
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)
20300	18390	95,0	193,57
39900	35870	202,0	177,57
60600	54080	326,0	165,88
81000	72100	445,0	162,02
102900	91070	591,5	153,96

Tablo 4.37: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

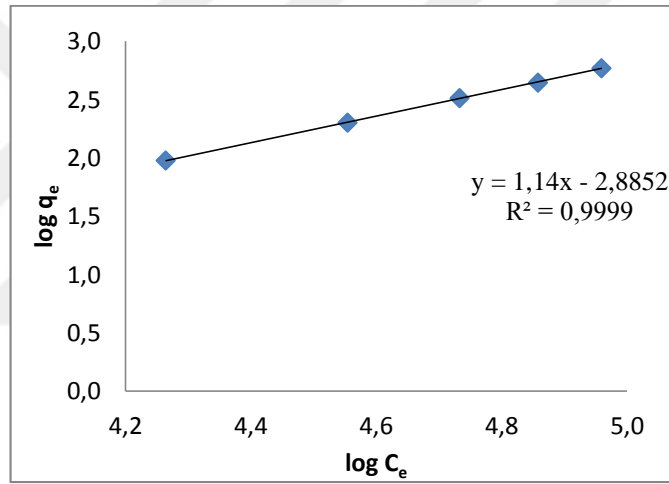
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log C_e$	$\log q_e$
20300	18390	95,0	4,26	1,98
39900	35870	202,0	4,55	2,31
60600	54080	326,0	4,73	2,51
81000	72100	445,0	4,86	2,65
102900	91070	591,5	4,96	2,77

Tablo 4.38: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

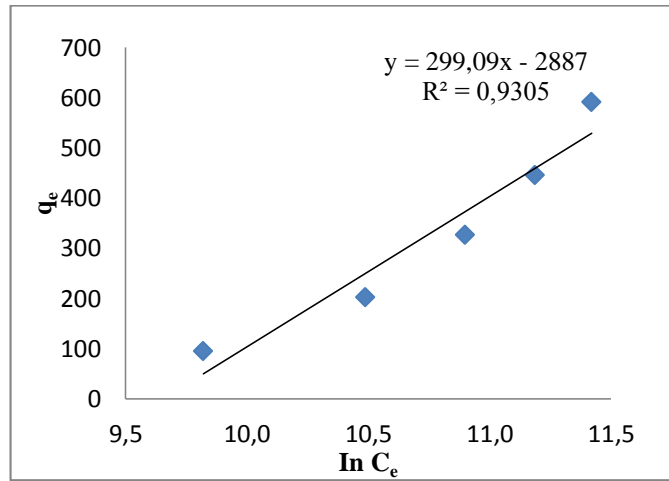
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\ln C_e$
20300	18390	95,0	9,82
39900	35870	202,0	10,49
60600	54080	326,0	10,90
81000	72100	445,0	11,19
102900	91070	591,5	11,42



Şekil 4.33: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.



Şekil 4.34: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.



Şekil 4.35: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.

Tablo 4.39: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

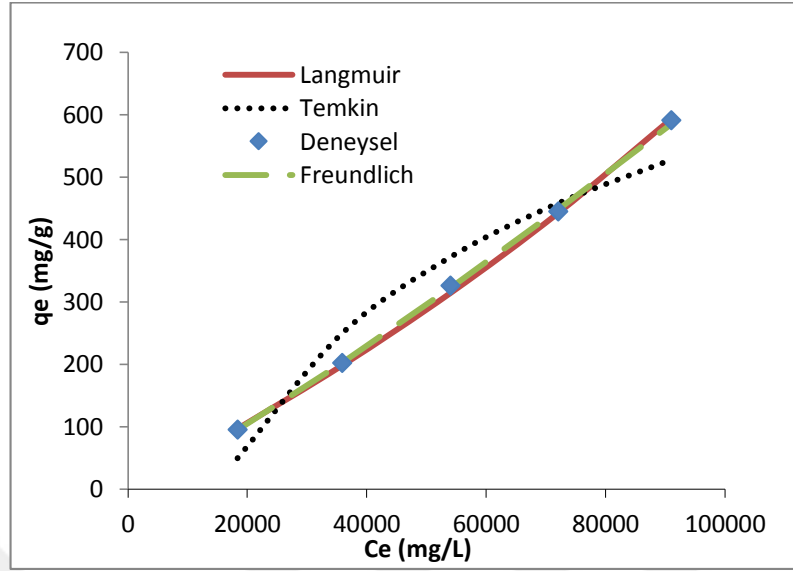
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri			Temkin sabitleri ve R^2 değerleri			
Q_0	b	R^2	K_f	n	R^2	B	K_t	b_t	R^2
-2000	$-2,52 \times 10^{-6}$	0,9418	$1,3 \times 10^{-3}$	0,87	0,9999	299,09	$6,42 \times 10^{-5}$	8,28	0.9305

Tablo 4.39’te verilen değerler (2.1), (2.4) ve (2.6) numaralı eşitliklerde yerlerine konularak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri için q_e değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen deneysel q_e değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.40 ve Şekil 4.36’de gösterilmiştir.

Tablo 4.39 zetlenen R^2 değerleri incelendiğinde laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.40’te karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerlerinden faydalanılarak çizilen Şekil 4.36 incelendiğinde ise Freundlich izoterm modelinin yanında Langmuir izoterm modelinin de deneysel verilerle uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.40: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi 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)
18390	95,0	97	95	50
35870	202,0	198	202	250
54080	326,0	315	323	373
72100	445,0	443	449	459
91070	591,5	594	586	528



Şekil 4.36: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.3.5. Laktik Asitin Amberlite IRA-400 İyon Değişimi İzotermi

Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile gerçekleştirilen iyon değişimi deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle olan uyumları Tablo 4.41-4.43'teki deneysel veriler kullanılarak çizilen Şekil 4.37-4.39'da gösterilmiştir. Şekil 4.37-4.39'dan yararlanarak hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) Tablo 4.44'te özetlenmiştir.

Tablo 4.41: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

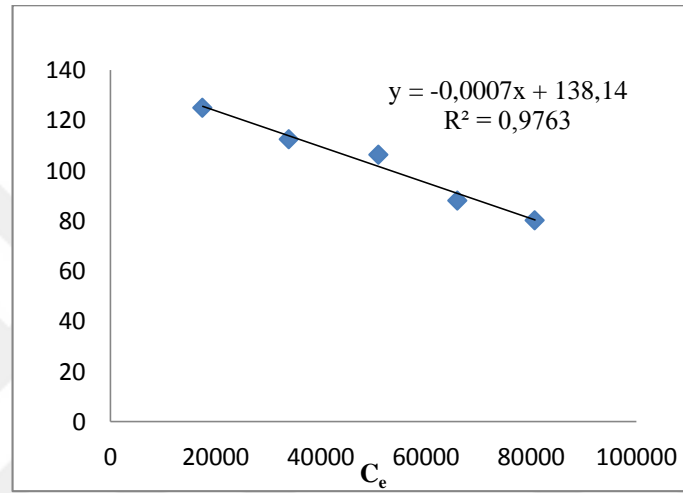
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)
20300	17500	140,0	125
39900	33880	301,0	113
60550	50960	479,5	106
80960	65980	749,0	88
100810	80700	1005,5	80

Tablo 4.42: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde ilişkin Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

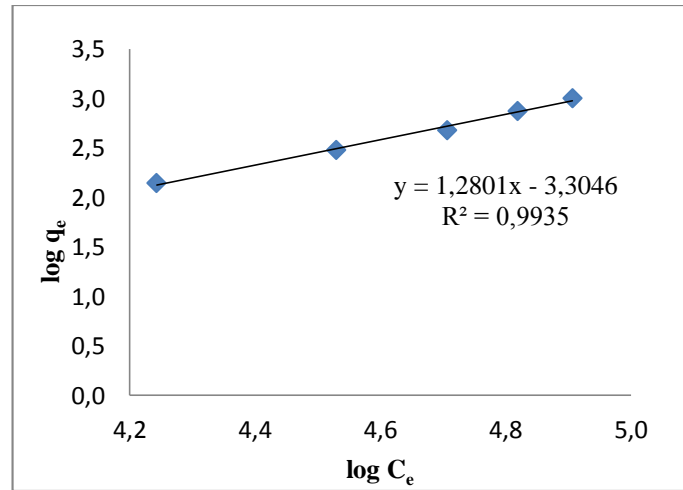
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log C_e$	$\log q_e$
20300	17500	140,0	4,24	2,14
39900	33880	301,0	4,53	2,48
60550	50960	479,5	4,71	2,68
80960	65980	749,0	4,82	2,87
100810	80700	1005,5	4,91	3,00

Tablo 4.43: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde ilişkin Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

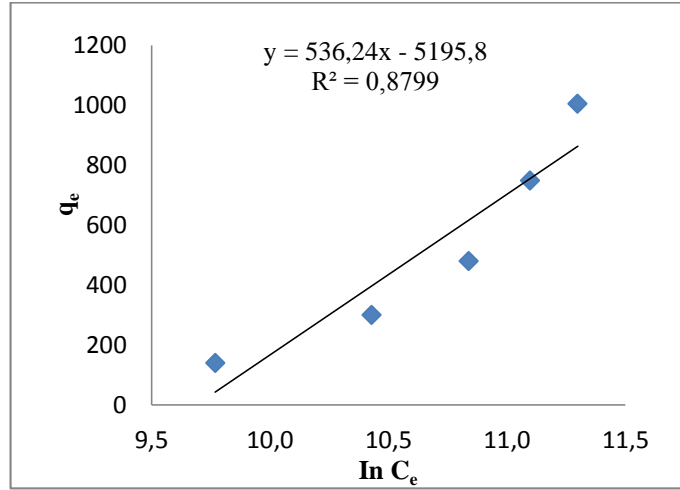
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\ln C_e$
20300	17500	140,0	9,77
39900	33880	301,0	10,43
60550	50960	479,5	10,84
80960	65980	749,0	11,09
100810	80700	1005,5	11,30



Şekil 4.37: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının Langmuir izotermi ile uyumu.



Şekil 4.38: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının Freundlich izotermi ile uyumu.



Şekil 4.39: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının Temkin izotermi ile uyumu.

Tablo 4.44: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R^2 değerleri.

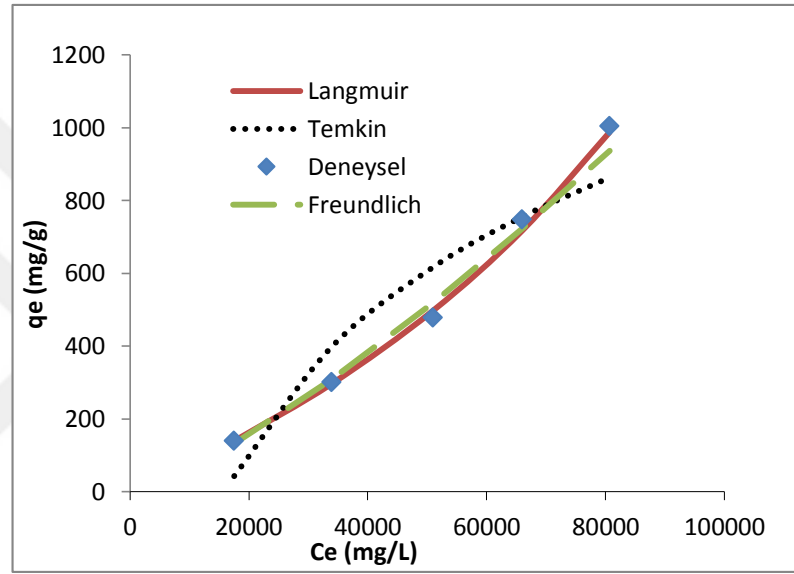
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri			Temkin sabitleri ve R^2 değerleri			
Q_0	b	R^2	K_f	n	R^2	B	K_t	b_t	R^2
-1428,5	$-5,06 \times 10^{-6}$	0,9763	$4,9 \times 10^{-4}$	0,78	0,9935	536,24	$6,19 \times 10^{-5}$	4,62	0.8799

Tablo 4.44'te verilen değerler (2.1), (2.4) ve (2.6) numaralı eşitliklerde yerlerine konularak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri için q_e değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen deneysel q_e değerleriyle karşılaştırmalı olarak Tablo 4.45 ve Şekil 4.40'ta gösterilmiştir.

Tablo 4.44 özetlenen R^2 değerleri incelendiğinde laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi mekanizmasının en iyi Freundlich izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Tablo 4.45'te karşılaştırmalı olarak verilen q_e değerlerinden faydalanılarak çizilen Şekil 4.40 incelendiğinde ise Langmuir izoterm modelinden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e verileriyle daha uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.45: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi 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)
17500	140,0	139	132	43
33880	301,0	296	308	397
50960	479,5	497	520	616
65980	749,0	717	724	755
80700	1005,5	988	936	863



Şekil 4.40: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişiminde, deneysel iyon değişimi kapasitesi değerlerinin izoterm modellerinden hesaplanan değerler ile karşılaştırılması.

4.4. ADSORPSİYON KİNETİĞİ

Bu bölümde, laktik asitin adsorpsiyon ve iyon değişimi denemelerine ait sonuçlarının kinetik modelleri ile uyumu araştırılmıştır. Bu amaçla, Bölüm 2’de açıklanan kinetik model eşitliklerine [(2.8), (2.9) ve (2.10)] göre grafikler çizilmiş ve hız sabiti değerleri hesaplanmıştır.

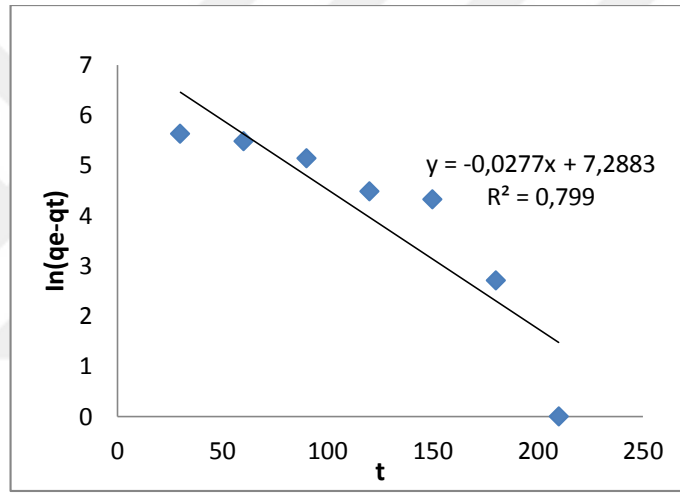
Pseudo birinci mertebe kinetik modelinde adsorpsiyon sürelerine (t) karşılık gelen $\ln(q_e - q_t)$ değerleri hesaplanarak çizilen grafiklerin eğiminden adsorpsiyon hız sabiti (k_1), ordinatı kesen kayım değerinden adsorpsiyon kapasitesi (q_e) hesaplanmıştır.

Pseudo ikinci mertebe kinetik modelinde adsorpsiyon sürelerine (t) karşılık gelen t/q_t değerleri hesaplanarak çizilen grafiklerin eğiminden adsorpsiyon kapasitesi (q_e), ordinatı kesen kayım değerinden adsorpsiyon hız sabiti (k_2) hesaplanmıştır.

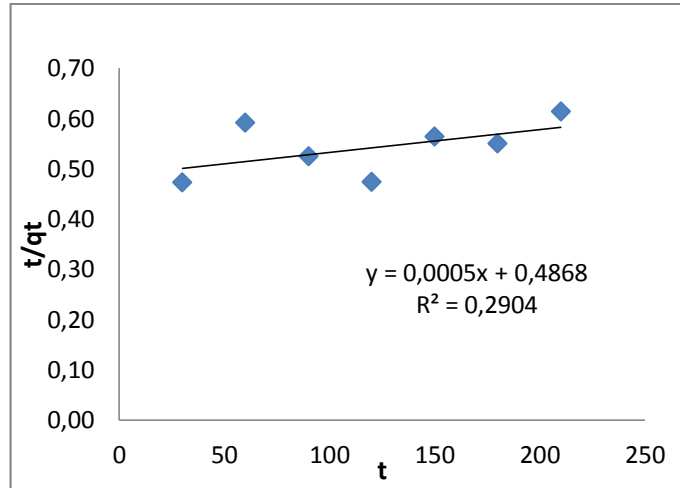
Partikül içi difüzyon modelinde adsorpsiyon sürelerine ($t^{1/2}$) karşılık gelen q_t değerleri hesaplanarak çizilen grafiklerin eğiminden tanecik içerisine difüzyon hız sabiti (k_i) hesaplanmıştır.

4.4.1. Laktik Asitin Aktif Karbon ile Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi

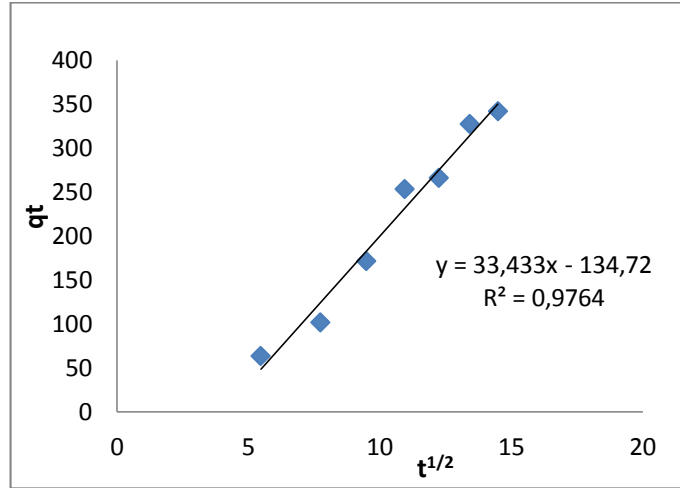
Laktik asitin aktif karbon adsorpsiyonu deney sonuçlarının yukarıda özetlenen kinetik modelleri ile olan uyumları Şekil 4.41-4.43'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden hesaplanan hız sabiti değerleri, q_e değerleri ve R^2 değerleri Tablo 4.46'da özetlenmiştir. Ayrıca Tablo 4.46'da hesaplanan q_e ile deneysel q_e değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.41: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının pseudo birinci mertbe kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.42: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının pseudo ikinci mertbe kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.43: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.

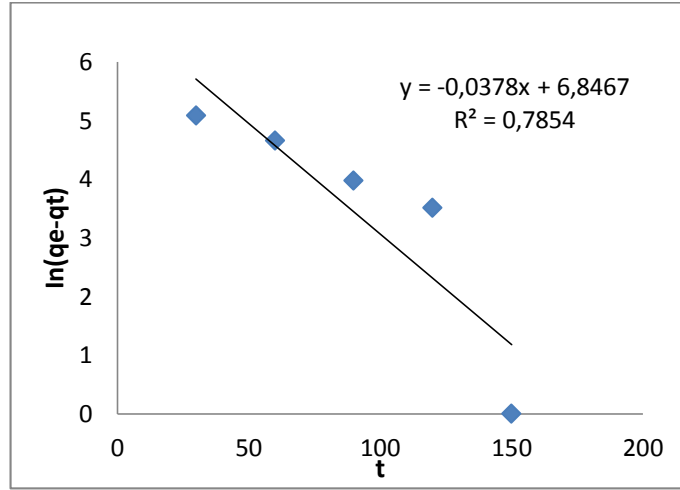
Tablo 4.46’da görüldüğü gibi hesaplanan q_e değerlerinin deneysel q_e değerlerine çok yakın olması ve elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu partikül içi difüzyon modeline uymaktadır.

Tablo 4.46: Laktik asitin aktif karbon ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.

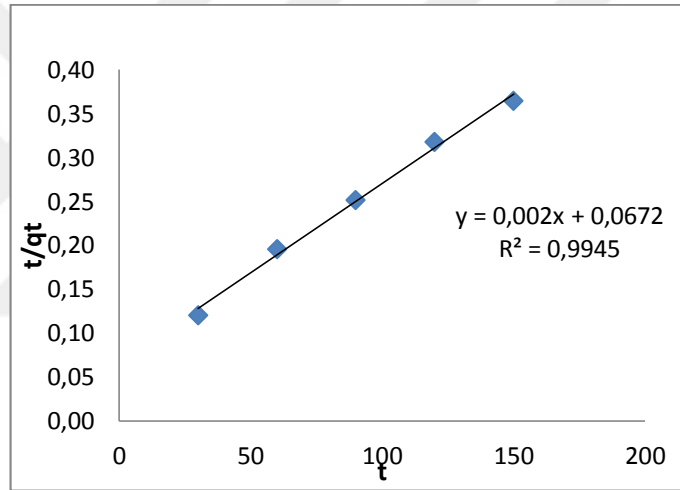
Pseudo Birinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Pseudo İkinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Partikül İçi Difüzyon Modeli Katsayıları	
k_1 (dk^{-1})	q_e (mg/g)	R^2	k_2 ($g/mg.dk$)	q_e (mg/g)	R^2	k_i (mg/gdk^2)	R^2
0,0277	1463	0,7990	5×10^{-7}	2000	0,2904	33,43	0,9964

4.4.2. Laktik Asitin MWCNT ile Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi

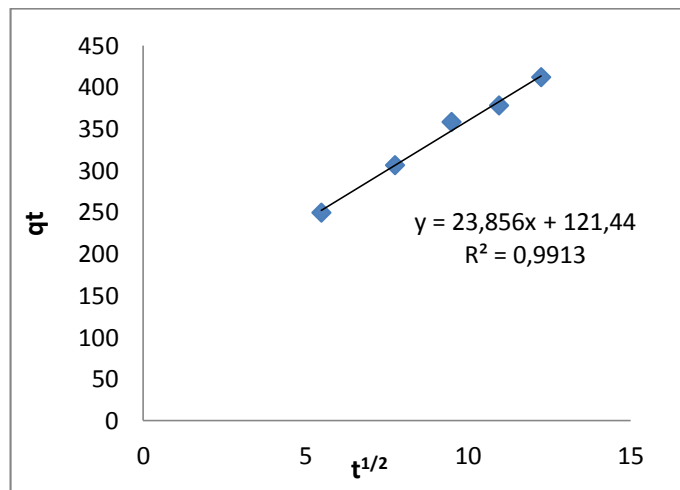
Laktik asitin MWCNT adsorpsiyonu deney sonuçlarının yukarıda özetlenen kinetik modelleri ile olan uyumları Şekil 4.44-4.46’da grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden hesaplanan hız sabiti değerleri, q_e değerleri ve R^2 değerleri Tablo 4.47’de özetlenmiştir. Ayrıca Tablo 4.47’de hesaplanan q_e ile deneysel q_e değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.44: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının pseudo birinci mertebeye kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.45: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının pseudo ikinci mertebeye kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.46: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.

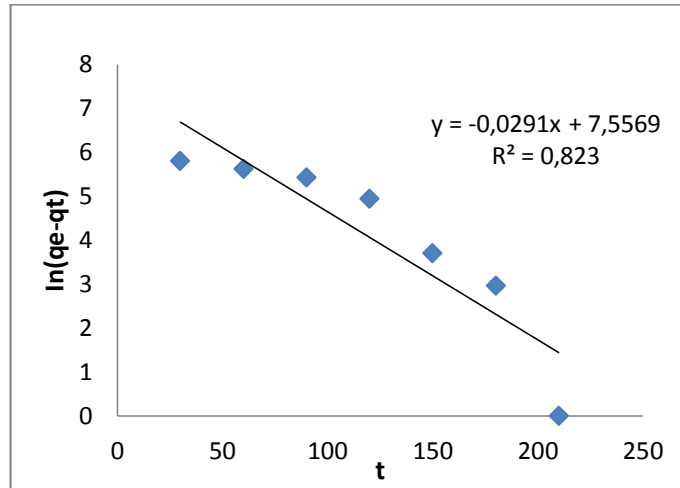
Tablo 4.47’de görüldüğü gibi hesaplanan q_e değerlerinin deneysel q_e değerlerine çok yakın olması ve elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu pseudo ikinci mertebe kinetik modeline uymaktadır.

Tablo 4.47: Laktik asitin MWCNT ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.

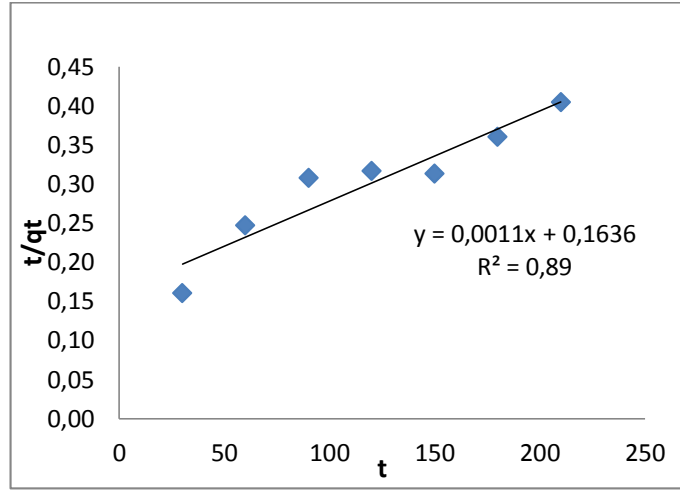
Pseudo Birinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Pseudo İkinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Partikül İçi Difüzyon Modeli Katsayıları	
k_1 (dk^{-1})	q_e (mg/g)	R^2	k_2 ($g/mg.dk$)	q_e (mg/g)	R^2	k_i (mg/gdk^2)	R^2
0,0378	940	0,7854	$5,9 \times 10^{-5}$	500	0,9945	23,85	0,9913

4.4.3. Laktik Asitin Amberlite IRA-67 ile İyon Değişimi Kinetiğinin İncelenmesi

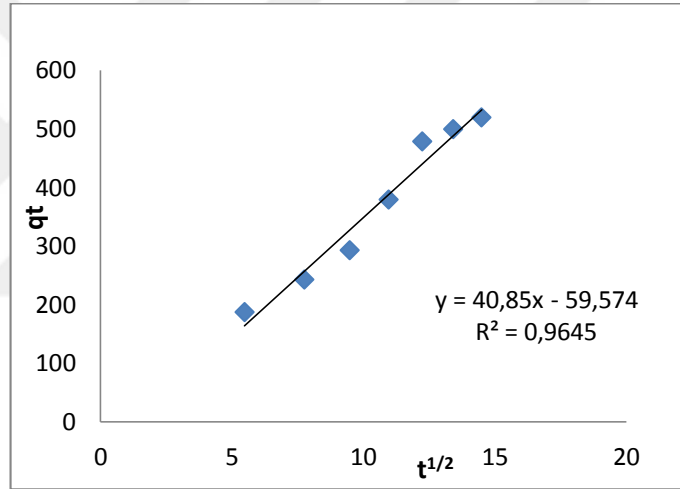
Laktik asitin Amberlite IRA-67 iyon değişimi deney sonuçlarının yukarıda özetlenen kinetik modelleri ile olan uyumları Şekil 4.47 - 4.49’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden hesaplanan hız sabiti değerleri, q_e değerleri ve R^2 değerleri Tablo 4.48’de özetlenmiştir. Ayrıca Tablo 4.48’de hesaplanan q_e ile deneysel q_e değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.47: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo birinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.48: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo ikinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.49: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.

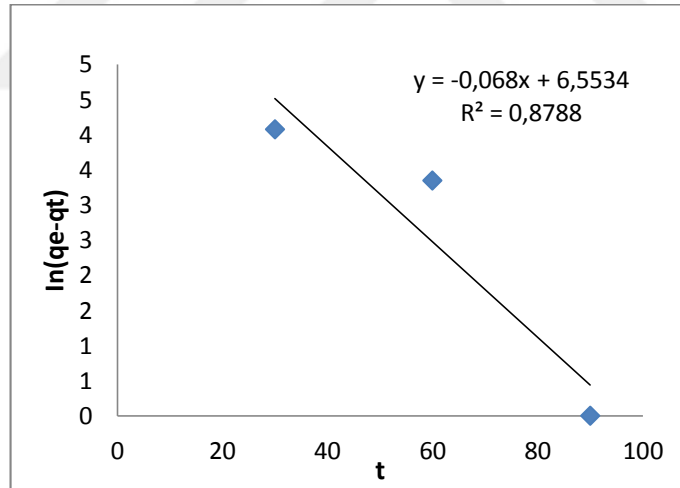
Tablo 4.48’de görüldüğü gibi hesaplanan q_e değerlerinin deneysel q_e değerlerine çok yakın olması ve elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi partikül içi difüzyon modeline uymaktadır.

Tablo 4.48: Laktik asitin Amberlite IRA-67 ile iyon değişimi için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.

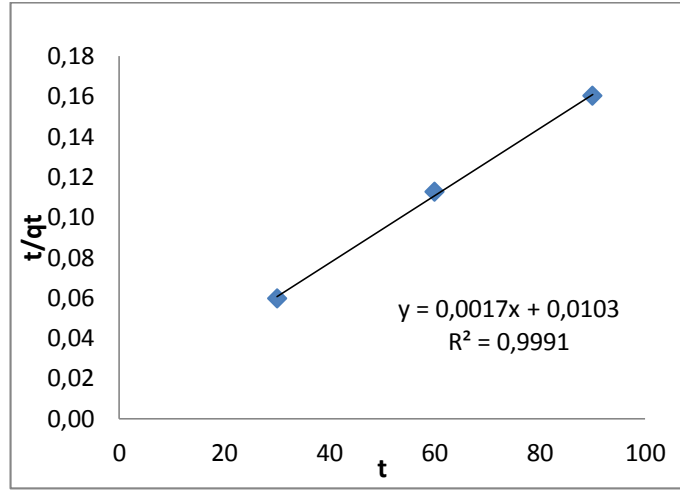
Pseudo Birinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Pseudo İkinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Partikül İçi Difüzyon Modeli Katsayıları	
k_1 (dk^{-1})	q_e (mg/g)	R^2	k_2 ($g/mg.dk$)	q_e (mg/g)	R^2	k_i (mg/gdk^2)	R^2
0,0291	1914	0,823	$7,3 \times 10^{-6}$	909	0,890	40,85	0,9645

4.4.4. Laktik Asitin Amberlite IRA-96 ile İyon Değişimi Kinetiğinin İncelenmesi

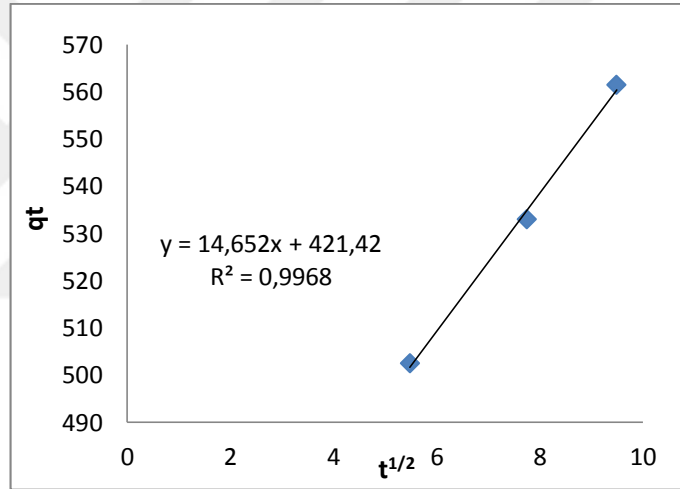
Laktik asitin Amberlite IRA-96 iyon değişimi deney sonuçlarının yukarıda özetlenen kinetik modelleri ile olan uyumları Şekil 4.50 - 4.52'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden hesaplanan hız sabiti değerleri, q_e değerleri ve R^2 değerleri Tablo 4.49'da özetlenmiştir. Ayrıca Tablo 4.49'da hesaplanan q_e ile deneysel q_e değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.50: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo birinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.51: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo ikinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.52: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.

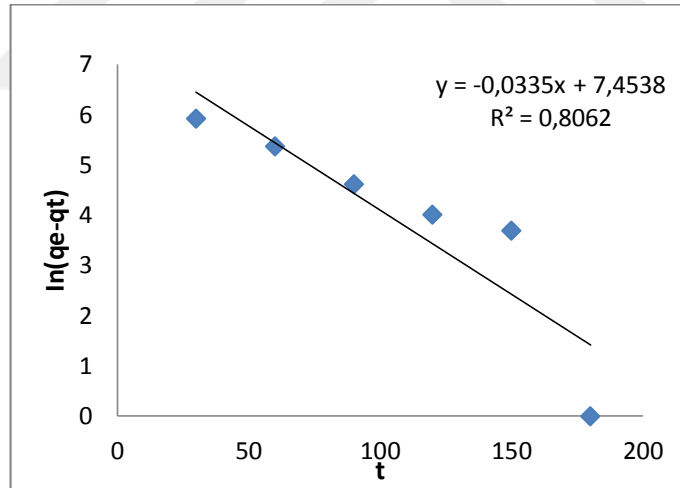
Tablo 4.48'de görüldüğü gibi hesaplanan q_e değerlerinin deneysel q_e değerlerine çok yakın olması ve elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle laktik asitin Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonu pseudo ikinci mertebe kinetik modeline uymaktadır.

Tablo 4.49: Laktik asitin Amberlite IRA-96 ile iyon değişimi için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.

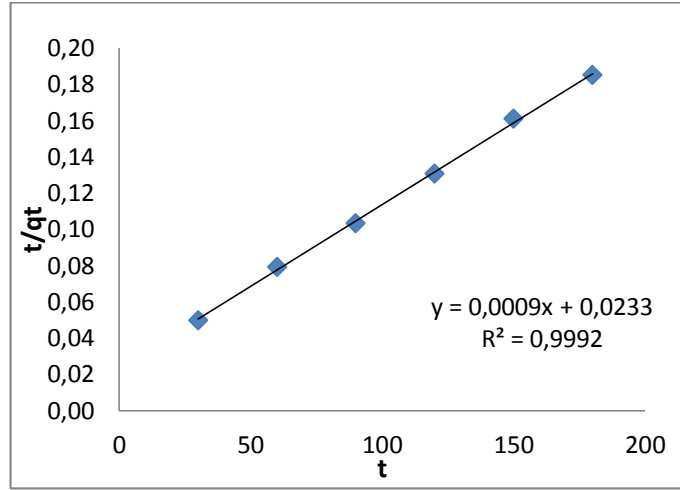
Pseudo Birinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Pseudo İkinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Partikül İçi Difüzyon Modeli Katsayıları	
k_1 (dk^{-1})	q_e (mg/g)	R^2	k_2 (g/mg.dk)	q_e (mg/g)	R^2	k_i (mg/gdk ²)	R^2
0,068	702	0,8788	2×10^{-4}	588	0,9991	14,65	0,9968

4.4.5. Laktik Asitin Amberlite IRA-400 ile İyon Değişimi Kinetiğinin İncelenmesi

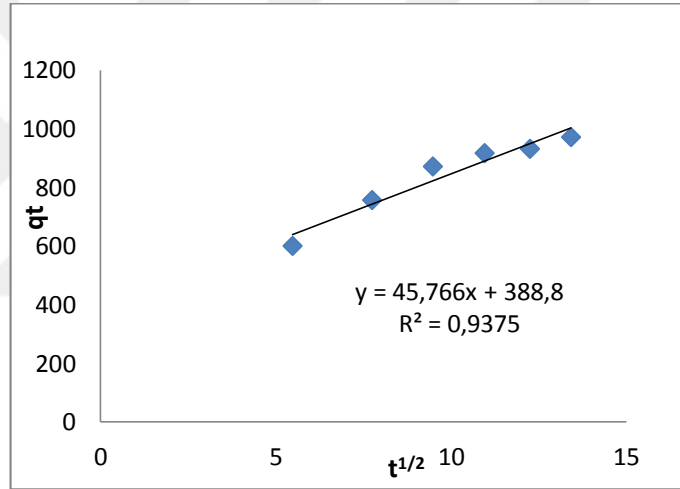
Laktik asitin Amberlite IRA-400 iyon değişimi deney sonuçlarının yukarıda özetlenen kinetik modelleri ile olan uyumları Şekil 4.53 - 4.55'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden hesaplanan hız sabiti değerleri, q_e değerleri ve R^2 değerleri Tablo 4.50'de özetlenmiştir. Ayrıca Tablo 4.50'de hesaplanan q_e ile deneysel q_e değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.53: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo birinci mertebe kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.54: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının pseudo ikinci merteye kinetik modeli ile uyumu.



Şekil 4.55: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi sonuçlarının partikül içi difüzyon modeli ile uyumu.

Tablo 4.50'de görüldüğü gibi hesaplanan q_e değerlerinin deneysel q_e değerlerine çok yakın olması ve elde edilen R^2 değerinin yüksek olması sebebiyle laktik asitin Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonu pseudo ikinci merteye kinetik modeline uymaktadır.

Tablo 4.50: Laktik asitin Amberlite IRA-400 ile iyon değişimi için hesaplanan kinetik model katsayıları ve R^2 değerleri.

Pseudo Birinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Pseudo İkinci Mertebe Kinetik Model Katsayıları			Partikül İçi Difüzyon Modeli Katsayıları	
k_1 (dk^{-1})	q_e (mg/g)	R^2	k_2 ($g/mg.dk$)	q_e (mg/g)	R^2	k_i (mg/gdk^2)	R^2
0,0335	1726	0,806	$3,4 \times 10^{-5}$	1111	0,9992	45,76	0,9375

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, laktik asitin iki farklı adsorban (Aktif Karbon ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüp) ve üç farklı iyon değıştirici reçine (Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400) kullanılarak sulu çözeltilisinden ayrılması incelenmiştir. Bu ayırma işleminde; başlangıç asit konsantrasyonunun, adsorban miktarının ve sıcaklığın etkisi deneysel olarak belirlenmiş ve elde edilen bu deneysel veriler kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin adsorpsiyon izotermi çizilmiştir. Ayrıca yine elde edilen deneysel verilere üç ayrı kinetik model denklem uygulanmıştır. Elde edilen deneysel veriler, tablolar ve grafikler halinde sunulmuş; bu deneysel sonuçların Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uyumu incelenerek, bu üç izoterm modellerine ait denklemlere göre grafikler çizilmiş, korelasyon katsayıları (R^2) ve izoterm sabitleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu bulunan izoterm sabitleri, tekrar Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitliklerinde yerlerine konulmuş, bu izoterm modellerinin her biri için adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri teorik olarak hesaplanmıştır. Teorik olarak bulunan bu adsorpsiyon kapasitesi (q_e) değerleri, deneysel olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ana başlıklar halinde aşağıdaki gibi sunulabilir.

- Kesikli adsorpsiyon denemeleri sonucunda belirlenen adsorpsiyon denge süreleri, Aktif Karbon, MWCNT, Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96 ve Amberlite IRA-400 için sırasıyla 210, 150, 210, 90 ve 180 dak. olarak belirlenmiştir. Bu değerler literatürde mevcut, benzer çalışmalarda elde edilen adsorpsiyon denge süreleriyle uyumludur.
- Başlangıç asit konsantrasyonunun, adsorpsiyon prosesi üzerinde oldukça etkili bir değişken olduğu gözlenmiştir. Artan laktik asit konsantrasyonu ile adsorpsiyon kapasitesinin de arttığı gözlenmiştir.
- Adsorban miktarının artışı ile q_e değerinin azaldığı gözlenmiştir.

- 25, 45 ve 65°C'lerde yapılan denemeler sonunda adsorpsiyon sıcaklığının artmasıyla adsorpsiyon kapasitesinin az miktarda azaldığı görülmüştür. Bunun sonucu olarak laktik asitin adsorpsiyonunun ekzotermik olduğu söylenebilir.
- Üç farklı iyon değiştirici reçine ve iki farklı adsorbanın kullanıldığı bu çalışmada, denge durumundaki deneysel veriler yardımıyla türetilen Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine ait R^2 'ler incelendiğinde ayırma prosesinin Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
- Adsorpsiyon kinetiği kısmında önce adsorpsiyon kapasitesinin zamanla değişimi incelenmiş ve hızı belirleyen adım tespit edilmiştir. Deneysel verilerden yararlanılarak hesaplanan R^2 değerlerinden laktik asitin, Aktif Karbon ve Amberlite IRA-67 ile ayrılmasının partikül içi kinetik model ile uyumlu olduğu, laktik asitin MWCNT, Amberlite IRA-96 ve Amberlite IRA-400 ile ayrılmasının ise pseudo ikinci mertebe kinetik modelle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

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, İstanbul Teknik Üniversitesi, 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, İstanbul Teknik Üniversitesi, 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, *spirogyra condensata* and *rhizoclonium hieroglyphicum*, *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)*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [13]. Sarıkaya, Y., 2003, *Fizikokimya*, 4. Baskı, Gazi Kitapevi, Ankara.

- [14]. Alacabey, İ. 2006, *Bazı ağır metallerin (kobalt, krom, kadmiyum) doğal ve aktive edilmiş Çaldıran Diatomiti (Çaldıran/Van) üzerindeki adsorpsiyon denge çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [15]. Fırat B., 2007, *Atık sulardan kurşun (II) ve bakır(II) iyonlarının yumurta kabuğu ile uzaklaştırılması ve optimum koşulların belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [16]. Üstün. G.E., 2006, *Bursa Organize Sanayi Bölgesi (Bosb) Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının geri kazanılabilirliğinin araştırılması*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17]. Dinçyürek, Ö., 2006, *Termik santral ve uçucu kül tiplerinin atık sulardaki fenolün adsorpsiyon yöntemi ile giderim etkinliklerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [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 sulardaki 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 pharmaceuticals volume 1: basic principles and systems, 5. Baskı, *Informa Healthcare*, Newyork, ABD.
- [23]. Erbil, Y.H.,2006, *Surface Chemistry of Solid and Liquid Interfaces*,Blackwell Publishing, India, ISBN-10:1-4051-1968-3.
- [24]. Biçer İ.Ö., 2004, *Bazı pestisitlerin hindistan cevizi kabuğundan elde edilen adsorbanda adsorplanarak sulu ortamdan uzaklaştırılması*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- [25]. Dağlı, S., ve Akça, L., 2007, Yapay sulak alan sisteminde fosfor giderimine ortam malzemesinin etkisi, *itüdergisi / e-mühendislik*, 17, 51-59.
- [26]. 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.

- [27]. 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.
- [28]. Koçer, O., 2013, *Zeytin posası (pirina) üzerine malaşit yeşili'nin sulu çözeltiden adsorpsiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29]. Acemioğlu, B., 2004, Removal of Fe (II) ions from aqueous solution by calabrian pinebark wastes, *Bioresource Technology*, 93, 99-102.
- [30]. Ho, Y.S., Mackay, G., 1999, Pseudo Second Order model for sorption process, *Biochemistry* 34, 451-465.
- [31]. Doğan, M., Alkan, M., 2003, Adsorption kinetics of methyl violet onto perlite, *Chemosphere* 50(4), 517-528.
- [32]. Halilibrahimoğlu, N., Kirazlı, A. ve Şengüler, S., 2014, *Laktik asit üretimi*, Bitirme Tezi, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.
- [33]. Göksungur, Y., 1998, *Melastan laktik asit üretiminde farklı üretim tekniklerinin kullanılabilirliği ve ortam şartlarının optimizasyonu*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [34]. Eldeleklioğlu, B., 2009, *Peyniraltı suyundan laktik asit üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35]. 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.
- [36]. Bayazit, Ş.S., 2008, *Fermantasyonla üretilen organik asitlerin ayırma yöntemlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [37]. Garlotta, D., 2002, A literature review of poly(lactic acid), *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 9, No.2
- [38]. Gerçek, B., 2015, *Toluenin çeşitli aktif karbon filtrelerle adsorpsiyonunun incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39]. Aboua, N. K., 2015, Investigation of dye adsorption onto activated carbon from the shells of Macore fruit, *Journal of Environmental Management*, 156, 10-14.
- [40]. Menendez-Diaz, J. A., Martin-Gullon, 2006, Activated carbon surfaces in environmental remediation-chapter 1: types of activated carbon adsorbents and their production. *Elsevier Science & Technology*, Amsterdam.

- [41]. Kulaç, Z.E., 2016, *Çok duvarlı karbon nanotüpün nbr ve nr-br kauçuk kompozitlerinin reolojik ve mekanik özelliklerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [42]. Farhadian, M, Sangpour, P. and Hosseinzadeh, G, 2016, Preparation and photocatalytic activity of WO₃-MWCNT nanocomposite for degradation of naphthalene under visible light irradiation, *Royal Society of Chemistry*, 6, 39063-39073.
- [43]. <http://www.lenntech.com/Data-sheets/Amberlite-IRA-96-L.pdf>
- [44]. <http://www.lenntech.com/Data-sheets/Amberlite-IRA-67-L.pdf>
- [45]. Chabani, M., Amrane, A. and Bensmaili, A., 2009, Equilibrium sorption isotherms for nitrate on resin Amberlite IRA-400 , *Journal of Hazardous Materials*, 165, 27-33.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nevriye HALİLİBRAHİMOĞLU
Doğum Yeri	Bulgaristan
Doğum Tarihi	05.04.1992
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0555 851 78 05
E-Posta Adresi	nevriye.halilibrahim@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Kimya Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Kimya Mühendisliği
Programı	Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2017

Makale ve Bildiriler	
Halilibrahimoğlu N., İnci İ., Baylan N., "Laktik asitin Amberlite IRA-96 adsorpsiyonu ile sulu çözeltilerinden ayrılmasının incelenmesi ", <i>12. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi</i> , 23-26 Ağustos 2016, İzmir, Türkiye, 226-227.	