T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

METAL OKSİTLERİN SENTEZİ VE AKRİLİK ASİT ADSORPSİYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

İrem İLALAN YILDIRIM

DANIŞMAN
Prof. Dr. İsmail İNCİ

II. DANIŞMAN
Doç. Dr. Nilay BAYLAN GÜLSOY

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Programı

Aralık, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

İrem İLALAN YILDIRIM tarafından, **Prof. Dr. İsmail İNCİ** danışmanlığında hazırlanan **"METAL OKSİTLERİN SENTEZİ ve AKRİLİK ASİT ADSORPSİYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **22/12/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. İsmail İNCİ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Mehmet BİLGİN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Fatma Jale GÜLEN Yıldız Teknik Üniversitesi Proses ve Reaktör Tasarım Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Nil ACARALI Yıldız Teknik Üniversitesi Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Aslı Gök İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

İrem İLALAN YILDIRIM

(İmza)

Bütün aileme ve hocalarıma ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

METAL OKSİTLERİN SENTEZİ ve AKRİLİK ASİT ADSORPSİYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bütün doktora eğitimim sürecinde ve öncesinde yüksek lisans eğitimimde tecrübeleri ve bilgileriyle bana her zaman yol gösteren, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. İsmail İNCİ' ye ve Doç. Dr. Nilay BAYLAN GÜLSOY'a çok teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında maddi, manevi yanımda olduklarını her zaman hissettiğim anneme, babama, kardeşlerime ve eşime çok teşekkür ederim

Aralık 2022 İrem İLALAN YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **x**
TABLO LİSTESİ ..... **xv**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xx**
ÖZET ..... **xxii**
ABSTRACT ..... **xxiv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **3**
2.1. ADSORPSİYON NEDİR? 3
2.2. ADSORPSİYON TÜRLERİ NELERDİR? 4
2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon 4
2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon 4
2.2.3. İyon Değişim Adsorpsiyonu 4
2.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ NELERDİR? 5
2.3.1. Langmuir İzoterm Modeli 5
2.3.2. Freundlich İzoterm Modeli 6
2.3.3. Temkin İzoterm Modeli 7
2.4. ADSORPSİYON KİNETİĞİ 7
2.4.1. Birinci Mertebeden Kinetik Model 7
2.4.2. İkinci Mertebeden Kinetik Model 8
2.4.3. Elovich Kinetik Modeli 9
2.4.4. Partikül İçi Difüzyon Kinetik Modeli 9
2.5. ADSORPSİYON TERMODİNAMİĞİ 9
3. YÖNTEM **11**

3.1. MALZEMELER 11
3.1.1. Reçineler 11
3.1.2. Karboksilli Asitler 11
3.1.3. Metal Oksitler 12
3.2. DENEYSEL YÖNTEM 13
3.2.1. Metal Oksitlerin Sentezi 13
4. BULGULAR 18
4.1. METAL OKSİTLERİN KARAKTERİZASYONU 18
4.1.1. SnO_2 Karakterizasyonu 18
4.1.2. CaO Karakterizasyonu 21
4.1.3. Fe_2O_3 Karakterizasyonu 23
4.1.4. $MnFe_2O_4$ Karakterizasyonu 25
4.1.5. Al_2O_3 Karakterizasyonu 27
4.1.6. Bi_2O_3 Karakterizasyonu 29
4.1.7. Amberlite IRA 67 Karakterizasyonu 30
4.1.8. Amberlite IRA 96 Karakterizasyonu 32
4.1.9. Amberlite IRA 400 Karakterizasyonu 34
4.1.10. Amberlite IRA 958 Karakterizasyonu 36
4.2. ADSORPSİYON DENEMELERİ 38
4.2.1. Akrilik Asidin SnO_2 ile Adsorpsiyon Süreci 39
4.2.2. Akrilik Asidin CaO ile Adsorpsiyon Süreci 42
4.2.3. Akrilik Asidin Fe_2O_3 ile Adsorpsiyon Süreci 46
4.2.4. Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ ile Adsorpsiyon Süreci 50
4.2.5. Akrilik Asidin Al_2O_3 ile Adsorpsiyon Süreci 54
4.2.6. Akrilik Asidin Bi_2O_3 ile Adsorpsiyon Süreci 58
4.2.7. Akrilik Asidin IRA 67 Amberlite Reçinesi ile Adsorpsiyon Süreci 62
4.2.8. Akrilik Asidin IRA 96 Amberlite Reçinesi ile Adsorpsiyon Süreci 66
4.2.9. Akrilik Asidin IRA 400 Amberlite Reçinesi ile Adsorpsiyon Süreci 70
4.2.10. Akrilik Asidin IRA 958 Amberlite Reçinesi ile Adsorpsiyon Süreci 74
4.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ 78
4.3.1. Akrilik Asidin SnO_2 Adsorpsiyonu İzotermleri 78
4.3.2. Akrilik Asidin CaO Adsorpsiyonu İzotermleri 80
4.3.3. Akrilik Asidin Fe_2O_3 Adsorpsiyonu İzotermleri 81
4.3.4. Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ Adsorpsiyonu İzotermleri 83

4.3.5. Akrilik Asidin Al_2O_3 Adsorpsiyonu İzotermleri 84
4.3.6. Akrilik Asidin Bi_2O_3 Adsorpsiyonu İzotermleri 86
4.3.7. Akrilik Asidin Amberlite IRA 67 ile Adsorpsiyonu İzotermleri 87
4.3.8. Akrilik Asidin Amberlite IRA 96 ile Adsorpsiyonu İzotermleri 88
4.3.9. Akrilik Asidin Amberlite IRA 400 ile Adsorpsiyonu İzotermleri 90
4.3.10. Akrilik Asidin Amberlite IRA 958 ile Adsorpsiyonu İzotermleri 91
4.4. ADSORPSİYON KİNETİK MODELLERİ 93
4.4.1. Akrilik Asidin SnO_2 Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri 93
4.4.2. Akrilik Asidin CaO Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri 94
4.4.3. Akrilik Asidin Fe_2O_3 Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri 95
4.4.4. Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri 96
4.4.5. Akrilik Asidin Al_2O_3 Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri 97
4.4.6. Akrilik Asidin Bi_2O_3 Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri 99
4.4.7. Akrilik Asidin Amberlite IRA 67 Adsorpsiyonunun Kinetik Modelleri 100
4.4.8. Akrilik Asidin Amberlite IRA 96 Adsorpsiyonunun Kinetik Modelleri 101
4.4.9. Akrilik Asidin Amberlite IRA 400 Adsorpsiyonunun Kinetik Modelleri 102
4.4.10. Akrilik Asidin Amberlite IRA 958 Adsorpsiyonunun Kinetik Modelleri 103
4.5. ADSORPSİYON TERMODİNAMİK ÇALIŞMALARI 104
4.5.1. Akrilik Asidin SnO_2 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 105
4.5.2. Akrilik Asidin CaO Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 106
4.5.3. Akrilik Asidin Fe_2O_3 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 107
4.5.4. Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 108
4.5.5. Akrilik Asidin Al_2O_3 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 109
4.5.6. Akrilik Asidin Bi_2O_3 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 111
4.5.7. Akrilik Asidin Amberlite IRA 67 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 112
4.5.8. Akrilik Asidin Amberlite IRA 96 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 113
4.5.9. Akrilik Asidin Amberlite IRA 400 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 114
4.5.10. Akrilik Asidin Amberlite IRA 958 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları 115
5. TARTIŞMA 117
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 119
KAYNAKLAR 120
ETİK KURUL İZİN YAZISI 127
KURUM İZNİ YAZILARI 128
ÖZGEÇMİŞ 129

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1: SnO_2 FTIR spektrumu. 18

Şekil 4.2: SnO_2 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 19

Şekil 4.3: SnO_2 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası SEM görüntüleri. 19

Şekil 4.4: SnO_2 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. 20

Şekil 4.5: CaO FTIR spektrumu..... 21

Şekil 4.6: CaO metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 21

Şekil 4.7: CaO metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası SEM görüntüleri. 22

Şekil 4.8: CaO metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. 22

Şekil 4.9: Fe_2O_3 FTIR spektrumu. 23

Şekil 4.10: Fe_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 23

Şekil 4.11: Fe_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri. 24

Şekil 4.12 : Fe_2O_3 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. .. 24

Şekil 4.13: $MnFe_2O_4$ FTIR spektrumu. 25

Şekil 4.14: $MnFe_2O_4$ metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 25

Şekil 4.15: $MnFe_2O_4$ metal oksitlerinin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri. 26

Şekil 4.16: $MnFe_2O_4$ metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. 26

Şekil 4.17: Al_2O_3 FTIR spektrumu. 27

Şekil 4.18: Al_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 27

Şekil 4.19: Al_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri. 28

Şekil 4.20: Al_2O_3 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. ... 28

Şekil 4.21: Bi_2O_3 FTIR spektrumu..... 29

Şekil 4.22: Bi_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 29

Şekil 4.23: Bi_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri. 30

Şekil 4.24: Bi_2O_3 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. ... 30

Şekil 4.25: Amberlite IRA 67 FTIR spektrumu. 31

Şekil 4.26: Amberlite IRA 67'nin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 31

Şekil 4.27: Amberlite IRA 67'nin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri. 32

Şekil 4.28: Amberlite IRA 67'nin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. 32

Şekil 4.29: Amberlite IRA 96 FTIR spektrumu. 33

Şekil 4.30: Amberlite IRA 96'nın adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 33

Şekil 4.31: Amberlite IRA 96'nın adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri. 34

Şekil 4.32: Amberlite IRA 96'nın akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. 34

Şekil 4.33: Amberlite IRA 400 FTIR spektrumu. 35

Şekil 4.34: Amberlite IRA 400'ün adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 35

Şekil 4.35: Amberlite IRA 400'ün adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri. 36

Şekil 4.36: Amberlite IRA 400'ün akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. 36

Şekil 4.37: Amberlite IRA 958 FTIR spektrumu. 37

Şekil 4.38: Amberlite IRA 958'in adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri. 37

Şekil 4.39: Amberlite IRA 958'in adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri. 38

Şekil 4.40: Amberlite IRA 958'in akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri. 38

Şekil 4.41: SnO_2 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zaman içinde değişimi. 39

Şekil 4.42: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 40

Şekil 4.43: SnO_2 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 41

Şekil 4.44: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 42

Şekil 4.45: CaO ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 43

Şekil 4.46: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 44

Şekil 4.47: CaO dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 45

Şekil 4.48: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 46

Şekil 4.49: Fe_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 47

Şekil 4.50: Akrilik asit derişiminin artışının etkisi. 48

Şekil 4.51: Fe_2O_3 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 49

Şekil 4.52: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 50

Şekil 4.53: $MnFe_2O_4$ ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 51

Şekil 4.54: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 52

Şekil 4.55: $MnFe_2O_4$ dozlarının etkisi. 53

Şekil 4.56: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 54

Şekil 4.57: Al_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 55

Şekil 4.58: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 56

Şekil 4.59: Al_2O_3 dozlarının etkisi. 57

Şekil 4.60: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 58

Şekil 4.61: Bi_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 59

Şekil 4.62: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 60

Şekil 4.63: Bi_2O_3 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 61

Şekil 4.64: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 62

Şekil 4.65: IRA 67 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 63

Şekil 4.66: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 64

Şekil 4.67: IRA 67 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 65

Şekil 4.68: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 66

Şekil 4.69: IRA 96 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 67

Şekil 4.70: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 68

Şekil 4.71: IRA 96 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 69

Şekil 4.72: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 70

Şekil 4.73: IRA 400 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 71

Şekil 4.74: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 72

Şekil 4.75: IRA 400 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 73

Şekil 4.76: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 74

Şekil 4.77: IRA 958 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 75

Şekil 4.78: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 76

Şekil 4.79: IRA 958 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 77

Şekil 4.80: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 78

Şekil 4.81: Akrilik Asidin SnO_2 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin İzotermi. 79

Şekil 4.82: Akrilik Asidin CaO ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich İzotermi, (c) Temkin İzotermi. 81

Şekil 4.83: Akrilik Asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin İzotermi. 82

Şekil 4.84: Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir izotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin İzotermi. 84

Şekil 4.85: Akrilik Asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir izotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin izotermi. 85

Şekil 4.86: Akrilik Asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir iotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin izotermi. 87

Şekil 4.87: Akrilik Asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir izotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin izotermi. 88

Şekil 4.88: Akrilik Asidin Amberlit IRA 96 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich İzotermi, (c) Temkin İzotermi. 89

Şekil 4.89: Akrilik Asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir izotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin izotermi. 91

Şekil 4.90: Akrilik Asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich İzotermi, (c) Temkin İzotermi. 92

Şekil 4.91: Akrilik Asidin SnO_2 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu. 93

Şekil 4.92: Akrilik Asidin CaO üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu. 95

Şekil 4.93: Akrilik Asidin Fe_2O_3 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu. 96

Şekil 4.94: Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu. 97

Şekil 4.95: Akrilik Asidin Al_2O_3 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu. 98

Şekil 4.96: Akrilik Asidin Bi_2O_3 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu. 99

Şekil 4.97: Akrilik Asidin Amberlite IRA 67 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.....101

Şekil 4.98: Akrilik Asidin Amberlite IRA 96 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.....102

Şekil 4.99: Akrilik Asidin Amberlite IRA 400 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.....103

Şekil 4.100: Akrilik Asidin Amberlite IRA 958 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.....104

Şekil 4.101: Akrilik Asidin SnO_2 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.....105

Şekil 4.102: Akrilik Asidin CaO ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.....106

Şekil 4.103: Akrilik Asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği. 107

Şekil 4.104: Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği. 109

Şekil 4.105: Akrilik Asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği. 110

Şekil 4.106: Akrilik Asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.....111

Şekil 4.107: Akrilik Asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği. 112

Şekil 4.108: Akrilik Asidin Amberlit IRA 96 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği. 113

Şekil 4.109: Akrilik Asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği. 115

Şekil 4.110: Akrilik Asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği. 116

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: SnO_2 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zaman içinde değişimi. 39

Tablo 4.2: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 40

Tablo 4.3: SnO_2 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 41

Tablo 4.4: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 41

Tablo 4.5: CaO ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 42

Tablo 4.6: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 43

Tablo 4.7: CaO dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 44

Tablo 4.8: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 45

Tablo 4.9: Fe_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 46

Tablo 4.10: Akrilik asit derişiminin artışının etkisi. 47

Tablo 4.11: Fe_2O_3 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 48

Tablo 4.12: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 49

Tablo 4.13: $MnFe_2O_4$ ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 50

Tablo 4.14: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 51

Tablo 4.15: $MnFe_2O_4$ dozlarının etkisi. 52

Tablo 4.16: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 53

Tablo 4.17: Al_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 54

Tablo 4.18: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 55

Tablo 4.19: Al_2O_3 dozlarının etkisi. 56

Tablo 4.20: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi. 57

Tablo 4.21: Bi_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 58

Tablo 4.22: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi. 59

Tablo 4.23: Bi_2O_3 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....60

Tablo 4.24: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....61

Tablo 4.25: IRA 67 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 62

Tablo 4.26: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.....63

Tablo 4.27: IRA 67 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....64

Tablo 4.28: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....65

Tablo 4.29: IRA 96 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 66

Tablo 4.30: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.....67

Tablo 4.31: IRA 96 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....68

Tablo 4.32: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....69

Tablo 4.33: IRA 400 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 70

Tablo 4.34: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.....71

Tablo 4.35: IRA 400 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....72

Tablo 4.36: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....73

Tablo 4.37: Akrilik asidin IRA 958 Amberlite ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi. 74

Tablo 4.38: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.....75

Tablo 4.39: IRA 958 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....76

Tablo 4.40: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.....77

Tablo 4.41: SnO_2 ile akrilik asidin adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.....78

Tablo 4.42: Akrilik asidin SnO_2 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.....79

Tablo 4.43: Akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.....80

Tablo 4.44: Akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.....81

Tablo 4.45: Akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.....81

Tablo 4.46: Akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri. 82

Tablo 4.47: Akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar. 83

Tablo 4.48: Akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri. 84

Tablo 4.49: Akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar. 84

Tablo 4.50: Akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri. 85

Tablo 4.51: Akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar. 86

Tablo 4.52: Akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri. 87

Tablo 4.53: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar. 87

Tablo 4.54: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri. 88

Tablo 4.55: Akrilik asidin Amberlit IRA 96 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar. 89

Tablo 4.56: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri. 90

Tablo 4.57: Akrilik asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine ait deneysel datalar. 90

Tablo 4.58: Akrilik asidin Amberlite IRA 400 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri. 91

Tablo 4.59: Akrilik asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar. 91

Tablo 4.60: Akrilik asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri. 92

Tablo 4.61: Akrilik asidin SnO_2 ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri. 94

Tablo 4.62: Akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri. 95

Tablo 4.63: Akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri. 96

Tablo 4.64: Akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri. 97

Tablo 4.65: Akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri. 98

Tablo 4.66: Akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri. 100

Tablo 4.67: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonu için bulunan kinetik model parametreleri. 101

Tablo 4.68: Akrilik asidin Amberlite IRA 96 ile adsorpsiyonu için bulunan kinetik model parametreleri. 102

Tablo 4.69: Akrilik asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonu için bulunan kinetik model parametreleri. 103

Tablo 4.70: Akrilik asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonu için bulunan kinetik model parametreleri. 104

Tablo 4.71: Akrilik asidin SnO_2 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 105

Tablo 4.72: Akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 106

Tablo 4.73: Akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 108

Tablo 4.74: Akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 109

Tablo 4.75: Akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 110

Tablo 4.76: Akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 111

Tablo 4.77: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 112

Tablo 4.78: Akrilik asidin Amberlit IRA 96 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 114

Tablo 4.79: Akrilik asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 115

Tablo 4.80: Akrilik asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri. 116

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
b	: Langmuir izoterm sabiti
b_t	: Temkin izoterm sabiti
C_0	: Başlangıç derişimi (mg L^{-1})
C_e	: Denge anındaki derişim (mg L^{-1})
C_t	: t anındaki derişim (mg L^{-1})
SnO_2	: Kalay oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
Fe_2O_3	: Demir (III) oksit
$MnFe_2O_3$	: Mangan demir oksit
Al_2O_3	: Alüminyum oksit
Bi_2O_3	: Bizmut oksit
ΔG	: Gibb's serbest enerjisi değişimi
ΔH	: Entalpi değişimi
ΔS	: Entropi değişimi
K_f	: Freundlich adsorpsiyon sabiti
K_t	: Temkin adsorpsiyon sabiti
k_1	: Birinci mertebeden hız sabiti
k_2	: İkinci mertebeden hız sabiti
k_{id}	: Partikül içi difüzyon hız sabiti
n	: Freundlich izoterm sabiti
NaOH	: Sodyum hidroksit
Q_0	: Langmuir adsorpsiyon kapasitesi (mg g^{-1})
q_e	: Denge anında adsorplanan madde miktarı (mg g^{-1})
q_t	: t anında adsorplanan madde miktarı (mg g^{-1})
t	: Zaman (dak)

Kısaltmalar	Açıklama

BET : Brunauer, Emmett ve Teller

FTIR : Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi

nm : Nanometre

SEM : Taramalı elektron misroskobu

XRD : X ışını kırınımı

ÖZET

DOKTORA TEZİ

METAL OKSİTLERİN SENTEZİ ve AKRİLİK ASİT ADSORPSİYONUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

İrem İLALAN YILDIRIM

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Programı

Danışman : Prof. Dr. İsmail İNCİ

II. Danışman : Doç. Dr. Nilay BAYLAN GÜLSOY

Son yıllarda nanoteknoloji alanındaki gelişmeler ve artan çalışmalar, nanometre düzeyinde çeşitli malzemelerin üretimlerine olanak sağlamaktadır. Böylece nanometre boyutlarda maddelerin sentezlenebilmesi, incelenmesi ve atomsal seviyede değiştirilip ileri fonksiyonel malzemeler elde edilebilmektedir. Malzeme boyutu küçüldükçe malzemenin fonksiyonel özellikleri gelişmektedir. Nano boyutlarda üretilen malzemelerin yüksek yüzey alanları ve reaktiviteleri sayesinde adsorban olarak kullanımları oldukça elverişlidir. Metal oksit ve metal peroksit gibi nanomalzemelerin adsorban olarak kullanımı, arzu edilen adsorpsiyon özelliklerini karşılaması nedeniyle büyük ilgi çekmektedir. Bu çalışmada, çeşitli metal oksitlerin sentezi yapılmıştır ve akrilik asitin ayrılmasında adsorban olarak kullanımları araştırılmıştır. Ayrıca çeşitli Amberlite reçineleri de adsorban olarak kullanılmış ve metal oksitlerin akrilik asit adsorpsiyonundaki başarısı reçinelerin adsorpsiyonuyla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle metal oksitler ekonomik bir yöntemle sentezlenmiş olup, sentezlenen partiküllerin ve Amberlite reçinelerinin çeşitli analizlerle (SEM, FTIR, XRD ve BET) karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon sonucu metal oksitlerin (SnO_2, CaO, Fe_2O_3, $MnFe_2O_4$, Al_2O_3, Bi_2O_3) ortalama tanecik çapları sırasıyla; 24,90 nm, 29,58 nm, 52,88 nm, 29,10 nm, 30,54 nm ve 20,01 nm olarak bulunmuştur. Metal oksitlerin ve Amberlite (IRA 67, IRA 96, IRA 400, IRA 958) reçinelerinin yüzey alanları sırasıyla 15,7255 m^2/g, 9,4992 m^2/g, 35,0774 m^2/g, 5,8177m^2/g, 217,4456 m^2/g, 17,8274 m^2/g, 8,6148 m^2/g, 36,0362 m^2/g, 7,7414 m^2/g ve 17,8274 m^2/g olarak bulunmuştur. Daha sonra, sentezlenen metal oksitlerin ve Amberlite reçinelerinin akrilik asitle sulu çözeltilerinden adsorpsiyon yöntemi ile ayrılmasında

incelenmiştir. Başlangıç asit konsantrasyonunun, adsorban miktarının, temas süresinin ve sıcaklığın sentezlenen metal oksitler ve Amberlite reçinelerinin ayırma etkinlikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Adsorpsiyon kapasitesinin başlangıç asit konsantrasyonu ile arttığını, adsorban dozajı ve sıcaklıkla azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca adsorpsiyon sürecinin aydınlatılması için denge, kinetik ve termodinamik çalışmaları yapılmıştır. Böylece, bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar, sentezlenen metal oksitlerin Amberlite reçinelere kıyasla, karboksilik asitlerin sulu çözeltiden ayrılmasında etkili adsorban olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Aralık 2022 , 155 sayfa.

Anahtar kelimeler: Kalay oksit, Kalsiyum oksit, Demir(III)oksit, Mangan demir oksit, Alüminyum oksit, Bizmut oksit, Amberlite IRA 67, Amberlite IRA 96, Amberlite IRA 400, Amberlite IRA 958, karakterizasyon, akrilik asit, adsorpsiyon

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

METAL OXIDES SYNTHESIS and INVESTIGATION of ITS USABILITY on ADSORPTION of ACRYLIC ACID

İrem İLALAN YILDIRIM

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Chemical Engineering

Name of Programme

Supervisor : Prof. Dr. İsmail İNCİ

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nilay BAYLAN GÜLSOY

Of late years, developments and increasing studies in the field of nanotechnology allow the production of various materials at the nanometer level. Thus, advanced functional materials can be obtained by synthesizing, examining and changing nanometer sized substance at the atomic level. As the material size gets smaller, the functional features of the material improve. To the high upper areas and reactivity of materials produced in nano sizes, their use as an adsorbent is very convenient. The use of nanomaterials such as metal oxide and metal peroxide as adsorbent attracts great attention because it meets the desired adsorption properties. In this study, Various metal oxides were manufactured and their use as adsorbent in the separation of acrylic acid was investigated. In addition various Amberlite resins were used as adsorbent and its adsorption with acrylic acid was investigated. For this purpose, metal oxides were synthesized with an economical method and synthesized metal oxides and Amberlite resins characterized with various analyzes (SEM, BET, FTIR and XRD analyzes). As a result of characterization, the average particle diameter of metal oxides (SnO_2, CaO, Fe_2O_3, $MnFe_2O_4$, Al_2O_3, Bi_2O_3) and Amberlite resins (IRA 67, IRA 96, IRA 400, IRA 958) are their surface areas were found to be 15,7255 m^2/g, 9,4992 m^2/g, 35,0774 m^2/g, 5,8177m^2/g, 217,4456 m^2/g, 17,8274 m^2/g, 8,6148 m^2/g, 36,0362 m^2/g, 7,7414 m^2/g and 17,8274 m^2/g, respectively. Then the separation of synthesized metal oxides and Amberlite resins from their aqueous solution with acrylic acids by adsorption method was researched. The effects of initial acid concentration, amount of

adsorbents, contact time and temperature on the separation efficiency of synthesized metal oxides and Amberlite resins were investigated. It was observed that the adsorption capacity increased with the initial acid concentration and decreased with the adsorbent dosage and temperature. In addition, equilibrium, kinetic and thermodynamic studies were carried out to explain the adsorption process. Thus, the results obtained from this thesis study show that the synthesized metal oxides can be used as an effective adsorbent in the separation of carboxylic acids from aqueous solution compared to Amberlite resins.

December 2022, 155 pages.

Keywords: Tin oxide, Calcium oxide, Iron(III)oxide, Manganese iron oxide, Alumina, Bismuth oxide, Amberlite IRA 67, Amberlite IRA 96, Amberlite IRA 400, Amberlite IRA 958, characterization, acrylic acid, adsorption.

1. GİRİŞ

Nanopartiküller küçük boyutları ve yüksek yüzey alanları sayesinde çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Son zamanlarda metal oksit nanopartiküller dikkat çekmeye başlamıştır [1]. Metal oksit nanopartiküller, nanoelektronik, nanocihazlar, nanosensörler, kataliz ve bilgi depolamadaki potansiyel uygulamaları için büyük ilgi görmektedir ve ayrıca ısı transfer sıvıları, piller, güneş enerjisi ve gaz sensörlerinde de kullanılmaktadır [2,3]. Son zamanlarda, nanopartiküllerin adsorban olarak kullanılması, daha yüksek yüzey alanları ve tercih edilebilir adsorpsiyon özelliklerine yol açan daha yüksek gözenekleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir [4]. Ayrıca nanopartikül boyutlardaki adsorbanların, yaygın olarak kullanılan adsorbanlara göre daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmektedir [5]. Bunun nedeni nanopartiküllerin, büyük boyutlu partiküllerle kıyaslandığında, kütle birimi başına çok daha büyük bir yüzey alanına sahip olmalarıdır [6].

Karboksilik asitler; farklı alanlarda birçok amaçla kullanılmaktadır. Örneğin; gıda sektöründe hazır maddelerin tatlandırılmasında ve korunmasının sağlanmasında, üretim süreçlerinde reaktif ortam oluşturulmasında, metalleri temizleme aşamasında ayrıca kozmetik, ilaç, deterjan ve tekstil gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Karboksilik asitler fermentasyon ile üretildiklerinde farklı türdeki karboksilik asitlerle birlikte ve sulu çözeltileri halinde elde edilmektedir. Fermentasyon işleminin sürekli olarak devam etmesi açısından asitlerin fermentasyon ortamından ayrılması gerekmektedir. Bu nedenle, hem fermentasyon süreci sonucu oluşan sulu çözeltilerinden hem de kimya sektörlerindeki atık sulardan ayrılması ve saflaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, kalay oksit (SnO_2), kalsiyum oksit (CaO), demir oksit (Fe_2O_3), mangan demir oksit ($MnFe_2O_4$), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve bizmut oksit (Bi_2O_3) partikülleri ekonomik yöntemle sentezlenmiş olup çeşitli analizlerle (SEM, FTIR, XRD ve BET) karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen bu metal oksitler adsorban olarak kullanılmıştır ve akrilik asitin sulu çözeltilerinden adsorpsiyon yöntemi ile ayırılmasında incelenmiştir. Böylece, sentezlenen metal oksitlerin özellikleri ve ayırma etkinlikleri belirlenmiş olup, adsorpsiyon mekanizmasının aydınlatılması için de denge, kinetik ve termodinamik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca sentezlenen metal oksitler dışında Amberlite IRA 67, Amberlite IRA 96, Amberlite IRA

400 ve Amberlite IRA 958 reçinelerinin de karakterizasyon işlemi gerçekleştirilmiş olup, bu reçineler akrilik asitin sulu çözeltilerden adsorpsiyon yöntemi ile ayrılmasında kullanılarak, ayırma performansları metal oksitlerle karşılaştırılmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. ADSORPSİYON NEDİR?

Adsorpsiyon işlemi, fazlar arasındaki yüzeylerde meydana gelen derişim değişmesi olayıdır ve geniş bir uygulama alanına sahiptir [8]. Başka bir deyişle, çözünmüş katının sahip olduğu atomların, moleküllerin veya iyonların sıvıdan ayrılıp katının yüzeyinde tutunduğu kütle transferi işlemidir. Tutunma işlemi farklı fazlardan oluşan yüzeylerde (örneğin; sıvı-katı, sıvı-gaz, katı-gaz veya sıvı-sıvı gibi) meydana gelebilir. İyon veya moleküllerin ara yüzeyde birikimi gerçekleşir ve böylece sınır yüzeyinde derişim değişmesi oluşur [8].

Adsorpsiyon proseslerinde; adsorbat, adsorban tarafından adsorplanan fazdır, adsorban ise adsorplayan faz olarak isimlendirilir. Adsorpsiyon işleminin tam tersi olan desorpsiyon ise, adsorplanmış moleküllerin adsorban yüzeyinden ayrılması olarak anlatılır. Adsorpsiyon "seçimsel" bir olaydır [9]. Bu seçimsel olma durumunu; her adsorbatın adsorban tarafından aynı oranda adsorplanmadığı şeklinde açıklayabiliriz.

Adsorpsiyonun sanayideki uygulamalarına örnek olarak; suların temizlenmesi, renk, tat, koku giderimi, ağır metal ve nemin uzaklaştırılması, gaz içerisindeki safsızlıkların giderilmesi (örneğin kükürtdioksit, karbondioksit uzaklaştırılması) verilebilir.

Adsorpsiyonu etkileyen faktörler arasında; molekül büyüklüğü, sıcaklık, derişim ve basınç, pH, adsorban ve adsorbatın kimyasal ve fiziksel özellikleri ve çalkalama hızı sıralanabilir[10].

Adsorpsiyonda, gaz veya sıvı fazda daha düzensiz halde bulunan tanecikler, katı yüzeyine tutunup düzenli hale geldiğinden entropisi (ΔS) ve sıcaklık, basınç sabit tutulduğunda kendi kendine gerçekleştiği için serbest enerjisi (ΔG) daima negatif (eksi) işaretlidir. Bunun sonucunda, adsorpsiyon entalpisi (ΔH)'nin de eksi işaretli olması beklenmektedir. Entalpinin eksi işaretli olması adsorpsiyonun daima ekzotermik olduğunu göstermektedir ancak, adsorpsiyon işlemi çoğunlukla ekzotermik gerçekleşmesine karşın bazı durumlarda endotermik de olabilmektedir [11].

2.2. ADSORPSİYON TÜRLERİ NELERDİR?

Adsorpsiyon işleminde; adsorban yüzeyi ile adsorplanan faz arasındaki kuvvetler dikkate alındığında üç tür adsorpsiton vardır. Bunlar;

2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon

Zayıf Van der Waals kuvvetleri etkisiyle gerçekleşen fiziksel adsorpsiyonda, adsorban ile adsorbat arasında herhangi bir elektron paylaşımı veya alışverişi söz konusu değildir. Bu sebeplerle fiziksel adsorpsiyon tersinir bir işlem olup adsorpsiyon için gerekli olan ısı 35 kj/mol'ün altındadır. Yani sıcaklık değeri düşük olsa bile adsorpsiyon meydana gelir. Fiziksel adsorpsiyonun endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmesinin sebebi de tersinir olması ve düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesidir [12].

2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyonda, adsorban yüzeyine iyonik veya kovalent bağlarla tutunan adsorbat molekülleri ile arasında elektron değişimi veya paylaşımı söz konusudur. Kimyasal adsorpsiyon sürecinde; adsorbanın üzerine tutunan molekül ya da iyonlarla arasında kimyasal tepkimeler gerçekleştiğinden, kimyasal adsorpsiyon tersinmez bir işlemdir [13]. Adsorpsiyon ısısı 200 kJ/mol'ün üzerinde olan kimyasal adsorpsiyonda, aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyulur ve kimyasal adsorpsiyonun olması için fiziksel adsorpsiyona kıyasla daha yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Ancak, fiziksel adsorpsiyona göre de daha düşük adsorplama kapasitesi vardır [10].

2.2.3. İyon Değişim Adsorpsiyonu

Genellikle iyonik adsorpsiyon olarak da adlandırılan değişim adsorpsiyonu, adsorban yüzeyinde bulunan yüklü bölgelere iyonik özellikteki adsorbatların elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisiyle tutunması temeline dayanmaktadır. Bu adsorpsiyon türünde en önemli noktalardan biri adsorpsiyon esnasında ortamda bulunan moleküllerin iyon değerleri ve gözenek yapısının boyutudur. Bir molekülün daha iyi adsorplanması için, öncelikle adsorbanla farklı yüke sahip olması gerekir ve iyon değeri daha fazla olan ve iyon çapı daha küçük olan moleküller çok daha etkili bir şekilde yüzeye tutunurlar. Eğer iyon yükleri aynı ise yüzey tarafından daha küçük çapta olan moleküller seçilir.

2.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ NELERDİR?

Bu izoterm modellerinin amacı adsorpsiyon sürecini açıklamak olup, işlemi esnasında ortamdaki serbest ve adsorplanmış moleküller dinamik denge halindedir. Sıcaklık sabit tutularak adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ile adsorbatın denge konsantrasyonunu açıklayan modellere adsorpsiyon izotermi denir. İzotermlerinden yararlanarak, adsorplanmış olan maddenin yüzeyde yönelimi, adsorplanan maddeye adsorbanın ilgisi ve adsorbanın sahip olduğu kapasite hakkında bilgi edinilir [13,14]. Bu çalışmada, süreci açıklamak için Temkin, Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri kullanılmış, grafikleri çizilmiştir.

2.3.1. Langmuir İzoterm Modeli

1916 senesinde geliştirilmiş olan Langmuir izoterm modeli Amerikalı Irwing Langmuir tarafından bulunmuştur. Çoğunlukla kimyasal adsorpsiyonu açıklamak için kullanılan Langmuir izoterm modeli, fiziksel adsorpsiyonun açıklamasında da kullanılabilir [15].

Langmuir izoterminin dayandığı hipotezler aşağıda açıklanmıştır [15,16]:

• Adsorpsiyon aktivasyon enerjisine sahip her molekülün adsorpsiyonu homojendir.

• Adsorpsiyon hızına adsorbatın bir etkisi yoktur. Bunun sebebi, adsorplanmış moleküller arasında bir etkileşim olmamasıdır.

• Belli bir mekanizmaya göre oluşan adsorpsiyon ve adsorplanan moleküller aynı yapıya sahiptir.

• Adsorpsiyon maksimum değerine, adsorbana tutunan moleküller doygun bir tabaka oluşturduğunda ve tek tabakalı oluşur.

• Desorpsiyon yani yüzeyden ayrılma hızı ise yalnız yüzeydeki madde yoğunluğuna bağlıdır.

Adsorpsiyon sistemleri katı-sıvı şeklinde olduğunda Langmuir izoterm modeli [17,18];

$$q_e = \frac{Q_0 * b * C_e}{1 + b * C_e} \tag{2.1}$$

denklemi ile gösterilir. Bu denklemde; qe, denge halinde adsorplanmış madde miktarı (mg g^{-1}), Ce, işlem sonrasında çözeltide kalan maddenin sıvı fazdaki derişimi (mg/L), Qo, adsorbanın adsorplama kapasitesi (mg g^{-1}), b, Langmuir sabitidir.

(2.1) numaralı denklemi lineerleştirdiğimizde (2.2) ve (2.3) numaralı denklemler elde geçmektedir.

$$\frac{C_e}{qe} = \frac{1}{b*Q_0} + \frac{C_e}{Q_0} \tag{2.2}$$

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

Deneysel veriler kullanılarak C_e/q_e – C_e veya $1/q_e$ – $1/C_e$ grafikleri çizilir ve bu grafiklerle adsorpsiyon prosesinin bu izoterme uygun olup olmadığı çıkarımı yapılır.

2.3.2. Freundlich İzoterm Modeli

Herbert Max Finlay Freundlich tarafından 1916 yılında benzer olmayan katı yüzey adsorpsiyonları için deneysel çalışmalara bağlı olarak türetilmiştir [19]. Freundlich izoterm modelinde de yukarıda anlatılan izoterm modeli için yapılan kabuller geçerlidir. Langmuir modelinde adsorplanan moleküllerin bir tabakaya bağlandıkları ve bütün merkezlerin adsorplanan moleküllere aynı ilgiye sahip olduğu kabul edilirken Freundlich modelinde bu kabule yer almamaktadır [20]. Kimyasal adsorpsiyon Langmuir ile, fiziksel adsorpsiyon Freundlich ile açıklanabilir [21].

Adsorpsiyon sistemi katı-sıvı faz şeklinde olduğunda Freundlich izoterm denklemi [16];

$$q_e = K_f * C_e^{\frac{1}{n}} \tag{2.4}$$

Burada; q_e, dengede adsorplanan madde miktarı (mg g^{-1}), C_e, adsorplanan maddenin sıvı haldeki konsantrasyonu (mg/L), K_f, Freundlich izoterm sabiti olup adsorpsiyon kapasitesini gösterir ve 1/n de Freundlich sabiti olup yoğunluğu ifade eder [16,18].

(2.4) numaralı denklemi lineerleştirdiğimizde (2.5) numaralı denklem elde edilir.

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n}\log C_e \tag{2.5}$$

Deneysel datalardan yararlanılarak $\log q_e$ – $\log C_e$ grafiği çizilir ve bu grafikten Freundlich sabitleri olan K_f ve n bulunarak, adsorpsiyon sürecinin Freundlich izoterm modeline uygun olup olmadığı belirlenir.

2.3.3. Temkin İzoterm Modeli

1941 yılında adsorbat ve adsorban etkileşimini adsorpsiyon ısısı ile açıklamak için Temkin ve Pyzhev tarafından Temkin izoterm modeli türetilmiştir [16]. Bu izoterm modelinde adsorbanın sahip olduğu her bir parçanın birbirinden farklı adsorpsiyon enerjisinin olduğu kabul edilir ve aynı zamanda adsorbanın birçok kısımdan oluştuğu, etkileşim halinde oldukları ve bulunan her bir kısmın homojenlik gösterip Langmuir modeli özellikleri taşıdığı kabul edilmektedir [26].

Temkin modeli denklemi adsorpsiyon sistemleri için aşağıdaki eşitlikle ifade edilir [18];

$$q_e = B * \ln(K_t * C_e); \;\; B = \frac{R*T}{b_t} \tag{2.6}$$

(2.6) numaralı denklemde yer alan q_e (mg g^{-1}), dengede adsorplanan maddeyi, b_t (J/mol), Temkin sabitini, B ise adsorpsiyon ısısı ile ilgili bilgi veren Temkin sabitini, R (8,314 J/mol K) Kelvin cinsinden ideal gaz sabitini, T (K) Kelvin cinsinden ortam sıcaklığını, K_t (L/g) Temkin izoterm sabitini göstermektedir.

(2.6) numaralı denklemi lineerleştirirsek;

$$q_e = \mathrm{B} * \log K_t + B * \ln C_e \tag{2.7}$$

Deneysel datalardan yararlanılarak q_e–ln C_e grafiği çizilir, grafikten K_t ve b Temkin sabitleri hesaplanır ve adsorpsiyon sürecinin Temkin izoterm modeline uygun olup olmadığı belirlenir.

2.4. ADSORPSİYON KİNETİĞİ

Bir bileşiğin adsorban yüzeyine tutunması esnasında üç basamak vardır. Birinci basamakta, çözeltiden adsorban yüzeyine moleküler kütle transferi gerçekleşir, daha sonra adsorban üzerine yerleştirilen adsorpsiyon bölgelerine iç moleküler difüzyon gerçekleşir, prosesin son adımında adsorpsiyon süreci tamamlanır. Adsorpsiyon kinetiğinin ve termodinamiklerin araştırılması, adsorpsiyon mekanizmasını tahmin etmek için çok önemlidir. Bu amaçla pseudo-birinci mertebe, pseudo-ikinci mertebe, parçacık içi difüzyon, sıvı film difüzyon, ve Elovich modeli gibi adsorpsiyon kinetiği modelleri adsorpsiyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [22].

2.4.1. Birinci Mertebeden Kinetik Model

Adsorpsiyon kapasitesine dayalı kinetik denklemleri çözelti konsantrasyonundan ayırt etmek için kullanılan kinetik modeldir. Modelin temelleri şu şekildedir; birinci mertebeden denklem

adsorpsiyon işleminin hızını yönetir; adsorpsiyon enerjisi, adsorban yüzeyinde bir tabaka oluşumuna bağlı değildir; adsorpsiyon sadece adsorbanın yüzeyine bağlanan spesifik bağlanma bölgelerinde meydana gelir [22].

Pseudo birinci mertebe kinetik modeli [23];

$$\frac{dq_e}{dt} = k_1(q_e - q_t) \tag{2.8}$$

denklemi ile gösterilir. Bu denklemde; t (dk) adsorpsiyon süresini, q_e ve q_t (mg g^{-1}) sırasıyla denge durumundaki ve herhangi bir t anındaki birim miktarda adsorplanan madde miktarını, k_1 ise adsorpsiyon hız sabitini ifade etmektedir.

Eşitlik (2.8) lineerleştirilirip düzenlendiğinde (2.9) numaralı denklem formuna ulaşılır.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \tag{2.9}$$

Deneysel verilerden yararlanılarak çizilen t ile $\ln(q_e\text{-}q_t)$ grafiğinden k_1 ve q_e değerleri hesaplanarak adsorpsiyon sürecinin pseudo-birinci mertebe kinetik modeline olan uygunluğu incelenmektedir.

2.4.2. İkinci Mertebeden Kinetik Model

Ho ve McKay tarafından geliştirilen bu modelin pseudo birinci kinetik modelinden tek farkı modelin oranıdır [23].

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \tag{2.10}$$

denklemi ile gösterilir. Burada, q_e ve q_t (mg g^{-1}) sıraya göre denge durumundaki ve herhangi bir t anındaki birim miktarda adsorplanan madde miktarını, k_2 ise adsorpsiyon hız sabitini ifade etmektedir.

Eşitlik (2.10) lineerleştirilip düzenlenirse (2.11) numaralı denklem elde edilir.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \tag{2.11}$$

Deneysel verilerle çizilen t/q_t ile t grafiği yardımıyla k_2 ve q_e değerleri hesaplanarak adsorpsiyon sürecinin pseudo-ikinci mertebe kinetik modeline olan uygunluğu belirlenir.

2.4.3. Elovich Kinetik Modeli

Homojen olmayan kimyasal adsorpsiyonu açıklamada kullanılan Roginsky ve Zeldovich tarafından geliştirilmiş bir kinetik modeldir [18,22].

$$\frac{dq}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t) \tag{2.12}$$

denklemi ile gösterilir. Bu denklemde, q (mg g^{-1}) t anındaki birim miktarda adsorplanan madde miktarını, α desorpsiyon sabitini, β ise başlangıç adsorpsiyon hızını ifade etmektedir.

Eşitlik (2.12) lineerleştirilip düzenlenirse (2.13) numaralı denklem elde edilir.

$$q_t = \frac{1}{\beta}\ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta}\ln t \tag{2.13}$$

Deneysel veriler yardımıyla çizilen q_t ile t grafiği ile α ve β değerleri hesaplanarak adsorpsiyon sürecinin Elovich kinetik modeline olan uygunluğu incelenmektedir.

2.4.4. Partikül İçi Difüzyon Kinetik Modeli

Weber Moris tarafından geliştirilen partikül içi difüzyon kinetik modeli;

$$q_t = k_{id} t^{\frac{1}{2}} + C \tag{2.14}$$

denklemi ile gösterilir. Burada, q_t (mg g^{-1}) t anındaki birim miktarda adsorplanan madde miktarını, k_{id} partikül içi difüzyon hız sabitini, C ise kesme noktasını belirtir. Ayrıca, C sınır tabaka kalınlığını temsil eder ve değeri ne kadar yüksek olursa, sınır tabakasının etkisi o kadar yüksek olur [23]. Ayrıca, deneysel verilerle çizilen q_t ile $t^{1/2}$ grafiği yardımıyla k_{id} değeri hesaplanarak adsorpsiyon sürecinin partikül içi difüzyon kinetik modeline olan uygunluğu incelenmektedir.

2.5. ADSORPSİYON TERMODİNAMİĞİ

Sıcaklığın etkisini adsorpsiyon işlemi üzerinde araştırmak için termodinamik çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla, adsorpsiyon işleminin temel özellikleri olan entalpi değişimi (ΔH°), Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG°) ve entropi değişimi (ΔS°) gibi çeşitli termodinamik parametreleri hesaplamak için bazı denklemler kullanılır. Adsorpsiyon işleminin doğası, bu termodinamik parametreler hesaplanarak tahmin edilebilir [24].

Adsorpsiyon prosesi genellikle kendiliğinden olan, ekzotermik bir işlemdir ve azalan entropiye sahip bir süreçtir [25]. Belirli bir sıcaklıkta $\Delta G<0$ olması adsorpsiyonun kendiliğinden olduğunu gösterir ve çoğu zaman adsorpsiyon prosesleri negatif ΔG değerine sahiptir [16]. Negatif ΔH değerleri, sürecin ekzotermik olduğunu ve fiziksel adsorpsiyon, kimyasal adsorpsiyon veya her ikisinin bir kombinasyonunu içerdiğini gösterir; buna karşılık, endotermik bir süreç ($\Delta H>0$) kimyasal adsorpsiyonun meydana geldiğini gösterir [24]. Adsorpsiyon öncesi düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunduktan sonra daha düzenli hale geldiğinden ΔS genellikle negatiftir [16]. Pozitif ΔS değerleri ise, katı/çözelti ara yüzünün daha fazla düzensizliğe sahip olduğunu gösterir [24]. Entalpi, entropi ve Gibbs serbest enerji değişimi, (2.15) ve (2.16) numaralı eşitliklerle belirlenerek adsorpsiyon süreci termodinamik olarak incelenebilmektedir.

Gibbs serbest enerjisi denklemi;

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_D = -RT \ln \left(\frac{q_e}{C_e}\right) \tag{2.15}$$

Van't Hoff eşitliği de;

$$\ln K_D = \frac{-\Delta G^0}{RT} = \frac{-\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \tag{2.16}$$

denklemleri ile gösterilmektedir.

Bu denklemlerde, $\Delta G°$ Gibbs serbest enerji değişimi (kJ/mol), $\Delta H°$ entalpi değişimi (kJ/mol), $\Delta S°$ entropi değişimi (kJ/mol.K), T mutlak sıcaklık (K), K_D denge sabiti ve R gaz sabitidir.

Deneysel veriler kullanılarak çizilen $\ln K_D$ ile 1/T grafiğinin eğiminden $\Delta H°$ ve kesim noktasından $\Delta S°$ değerleri elde edilir ve $\Delta G°$ hesaplanır. Böylece, adsorpsiyon sürecinin termodinamiği ile ilgili bilgi edinilir [26].

3. YÖNTEM

3.1. MALZEMELER

3.1.1. Reçineler

Amberlite reçineleri, fiziksel-kimyasal özellikleri ve çok çeşitli gözenek yapıları nedeniyle dikkate değer ve alternatif bir adsorban grubudur [17].

Amberlite IRA 67; jelimsi formda, zayıf sayılabilecek anyon değiştiricidir. Çeşitli organik moleküllerin sulu ortamdan etkin bir şekilde adsorpsiyonunu sağlayan yüksek kapasiteye ve mükemmel fiziksel stabiliteye sahiptir. Amberlite IRA-67, birçok karboksilik asit adsorpsiyonunda adsorban olarak kullanılmıştır. Örneğin; tartarik asit, propiyonik asit [27], pikrik asit [28], glikolik asit [29], laktik asit, asetik asit ve bütirik asit [30] adsorpsiyonlarında kullanılmıştır.

Amberlite IRA 96; zayıf bir bazik anyon değiştiricisidir [31]. Amberlite IRA 97' nin kararlı yapısı ve sınırlı tersine şişmesi ozmotik şoka karşı dirençli bir yapısı olmasında etkilidir. Bu reçinenin, yüksek derecede gözenekliliği büyük organik moleküllerin etkin bir şekilde adsorpsiyonunu sağladığı için organik kirlenmeye karşı koruma sağlamaktadır [32].

Amberlite IRA 400; büyük gözenekli ve güçlü bir bazik anyon değişim reçinesidir [33]. Amberlite IRA 400'ün fumarik asit [34], laktik asit [35] adsorpsiyonunda da kullanılmıştır.

Amberlite IRA 958; büyük gözenekli ve kuvvetli bazik bir anyon değişim reçinesidir [36].

3.1.2. Karboksilli Asitler

Karboksilli asitler, karboksil fonksiyonel grubunu (-COOH) alkil zincirine bağlı olarak içeren bileşiklere denir. Karboksil ismi, karbonil ve hidroksil gruplarından gelmektedir. Karbonil grubu karbon ile oksijen atomunun çift bağ yapması ile oluşan fonksiyonel gruptur, hidroksil grubu ise oksijenle hidrojen atomunun kovalent bağ yapması ile oluşur. Karboksilik asitler ilaç, tekstil, gıda, kozmetik, kağıt gibi çok çeşitli alanda kullanılmaktadırlar. Gıda endüstrisi alanında hazır ürünlerin antimikrobiyal olarak korunması amacıyla ve tatlandırılmasında; çeşitli kimyasal prosesinde reaktif ortam oluşturmak amacıyla, metallerin temizlenmesinde kullanılmaktadırlar [37].

3.1.2.1. Akrilik Asit

Akrilik asit, kimyasal formülü CH2 = CH- COOH ve molekül ağırlığı 72,062 g/mol olan keskin kokulu, renksiz şeffaf bir sıvıdır. Vinil formik veya 2-propenoik asit olarak da bilinir [38]. Akrilik asit ve ester türevleri polimerik malzemelerin üretiminde kullanılan ham maddelerdir. Akrilik asit ve türevlerinden üretilen polimerler şeffaflık, kolay yapışma, elastikiyet, ışığa ve hava koşullarına karşı stabiliteye sahiptir [39]. Akrilik asit endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; deterjanlar, tekstil, kağıt, cilalar, dolgu malzemeleri, yapıştırıcılar, yüzey kaplamaları ve süper adsorbanlardır [40]. Akrilik asit; propenin kısmi oksidasyonundan elde edilebilir. Bu tek aşamalı yöntemde verim %50-60 civarındadır ve büyük miktarda israfa yol açar. Akrolein kullanılarak elde edilen yöntem ise iki aşamalı olup %90'lık bir verimle gerçekleştirilir [41]. Ayrıca fermentasyon yöntemiyle de akrilik asit elde edilir. Fermentasyon enerji verimli bir süreçtir, çevre dostudur ve ayrıca yenilenebilir hammadde nedeniyle düşük maliyetlidir [42].

3.1.3. Metal Oksitler

Metal oksitler, özellikleri metallerden yarı iletkenlere ve yalıtkanlara kadar tüm aralığı kapsayan çeşitli bir malzeme sınıfını oluşturmaktadır. SnO_2 partiküller, şeffaf iletken elektrotlar, fotovoltaik cihazlar, fotosensörler, kataliz ve antistatik kaplamalar gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır [43].

Ca bazlı malzemelerin oldukça iyi adsorbanlar oldukları bilinmektedir. Son zamanlarda ise nanoboyutta sentezlendiğinde kalsiyum oksit (CaO) mükemmel bir adsorban görevi göreceği düşünülmektedir. CaO partikülleri, katalizör, optoelektronik, sensörler ve çevresel iyileştirme gibi çeşitli alanlarda kullanılan önemli bir inorganik bileşiktir. Nano CaO, gelecek vaat eden metal oksitlerden biridir. CaO, kalsiyum oksit doğada bol miktarda bulunur, ucuzdur ve üretimi kolaydır [44].

Fe_2O_3 partikülleri katalizörler, elektrotlar, gaz sensörleri, manyetik malzemeler, fotokatalitik ve korozyon önleyici koruyucu boyalar için kullanılmaktadır [45].

Mangan demir oksit ya da mangan ferrit partikülleri ($MnFe_2O_4$) büyüleyici elektronik ve çekici özelliklerinden dolayı geniş bir şekilde incelenen geniş bir malzeme sınıfına hitap etmektedir [46]. Manyetik geçiş oksit partikülleri MFe_2O_4 yapısı (M = Mn, Fe, Co, Ni, vb.) nanometre boyutundan türetilen geniş yüzey/hacim oranı, süper paramanyetik davranış ve yüksek manyetik özellik gibi bazı olağanüstü özelliklere sahiptirler. Ferrit nanopartiküllerin bu tür

benzersiz özellikleri, onları çeşitli teknolojik ve biyolojik uygulamalar için ilgi çekici kılmaktadır [47].

Alüminyum oksit veya alümina (Al_2O_3) partiküllerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, onları otomobiller ve uçaklar için alaşım toz metalurjisi parçaları, hava taşıtlarının ısı koruma kaplamaları, yansıtıcı boyalar, iletken ve dekoratif plastikler, lehimleme ve termit kaynağı, piroteknik ve askeri uygulamalar (roket yakıtı, ateşleyici) gibi çeşitli uygulamalarda önemli bir ilgiyle karşılanmasını sağlamaktadır. Özellikle nano boyutlu alüminyum parçacıklarının, geniş özgül yüzey alanına sahip olması nedeniyle çok yüksek reaktiviteye sahip yeni bir enerjik malzeme olduğu ve havacılık uygulamaları alanında uygulanması beklendiği bilinmektedir [48,49].

Bi2O3, katı oksit yakıt hücreleri, fotoelektrik malzemeler, süper iletken malzemeler, işlevsel seramikler, katalizör, fotokatalizör, ve immünosensör, gaz sensörleri ve antibakteriyel olarak birçok uygulamada, ve medikal uygulamalarda kullanılmakla birlikte, ayrıca boyalarda katkı maddesi olarak da kullanılır [50].

Literatürde de bildirildiği üzere geniş özgül yüzey alanına sahip, birçok madde için yeni adsorban olarak ilgi çekici, 6 farklı (periyodik cetvelde 6 farklı grupta yer alan metallerden oluşan) metal oksitler seçilmiştir. Böylece, kalay oksit (SnO_2; 4A grubu metal oksit), kalsiyum oksit (CaO; 2A grubu metal oksit), mangan demir oksit ve demir oksit (Fe_2MnO_4 ve Fe_2O_3 geçiş metal oksit), alüminyum oksit (Al_2O_3; 3A grubu metal oksit), ve bizmut oksit (Bi_2O_3; 5A grubu metal oksit) bu çalışma kapsamında sentezlenmiştir.

3.2. DENEYSEL YÖNTEM

3.2.1. Metal Oksitlerin Sentezi

Bu çalışma kapsamında, metal oksitler (SnO_2, CaO, Fe_2O_3, $MnFe_2O_4$, Al_2O_3, ve Bi_2O_3), oda sıcaklığında, uygulanabilirliği kolay, ekipman ve yüksek enerji gerektirmeyen bir çökelme tekniği kullanılarak sentezlenmiştir. Bu teknikte düşük maliyetli öncü metal tuzları, yine pahalı ve toksik olmayan çökeltici bir ajan olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve oldukça küçük boyutlu ve homojen tozlar elde etmek amacıyla da yine pahalı olmayan ve daha önce literatürde test edilmemiş yeşil bir stabilizatör olarak etilen glikol kullanılmıştır. Çökeltici ajan olarak NaOH, ağır metalleri çökeltme kapasitesine sahiptir ve FDA'ya göre; NaOH, güvenli olarak tanınan doğrudan bir gıda olarak kabul edilir. Etilen glikol ise kimya endüstrisinde yenilenebilir

biyokütleden üretilebilen bol bir kaynaktır ve kokusuz, uçucu olmayan, yeşil bir çözücü olarak karşımıza çıkmaktadır [51]. Böylece, bu çalışmada, çevreye zarar vermeyen yeşil çökeltici ajan/stabilizatör kombinasyonu olarak NaOH/etilen glikol kullanarak yeşil sentez yoluyla 6 farklı metal-oksit aşağıdaki detayları belirtilen yöntemlerle sentezlenmiştir.

SnO_2 Sentezi:

SnO_2 metal oksit sentezi için öncelikle 33.85 gram (0.15 mol) $SnCl_2.2H_2O$ (Kalay klorür dihidrat) 150 mL damıtılmış suda çözülmüştür. Çözünmenin homojen bir şekilde olması için 15 dakika süreyle ultrasonik bir ses banyosuna yerleştirilmiştir. Daha sonra çözeltiye 150 mL etilen glikol ilave edilmiştir. Çözelti, 350 rpm'de manyetik bir karıştırıcı ile karıştırılırken, bu çözeltiye damla damla pH 10-11 civarına gelene kadar 1 M NaOH ilave edilmiş ve solüsyonun renk değişimi takip edilmiştir. SnO_2 partiküllerinin oluşumu gösteren siyah renkli bir süspansiyon oluşumu gerçekleşerek parçacıkların yavaş yavaş çöktüğü gözlemlenmiştir. Renkteki değişim, metal oksitlerin oluştuğunu göstermektedir. Bu çözelti 24 saat karıştırmaya bırakılmış, 24 saatin sonunda oluşan çökelti süzülerek, elde edilen süzüntünde, reaksiyona girmemiş bileşenleri uzaklaştırmak için damıtılmış su ve etanolle 3 kez yıkanmıştır. Elde edilen çökelti 105 °C' lik bir etüvde 2 saat kurutulmuştur. Daha sonra 250 °C' lik bir fırında 2 saat boyunca kalsinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, elde edilen tozlar havan ve tokmak yardımıyla iyice ezilmiştir. Bu sentez sırasında meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

$$SnCl_2 .2H_2O_{(suda)} + 2\ NaOH_{(suda)} \longrightarrow 2NaCl_{(suda)} + SnO + 3H_2O_{(s)} \quad (3.1)$$

$$SnO + 1/2O_2 \longrightarrow SnO_{2(k)\ (siyah)} \quad (3.2)$$

CaO Sentezi:

CaO metal oksit sentezi için öncelikle 22.053 gram (0.15 mol) $CaCI_2.2H_2O$ (kalsiyum klorür dihidrat) 150 mL damıtılmış suda çözülmüştür. Çözelti, çözünmesi için 15 dakika süreyle ultrasonik bir ses banyosuna yerleştirilmiştir. Daha sonra çözeltiye 150 mL etilen glikol ilave edilmiştir. Çözelti, 350 rpm' de manyetik bir karıştırıcı ile karıştırılırken, bu çözeltiye damla damla pH 10-11 civarına gelene kadar 1 M NaOH ilave edilmiş ve solüsyonun renk değişimi takip edilmiştir. CaO partiküllerinin oluşumu gösteren beyaz renkli bir süspansiyon oluşumu gerçekleşerek parçacıkların yavaş yavaş çöktüğü gözlemlenmiştir. Renkteki değişim, metal oksit partiküllerinin oluştuğunu göstermektedir. Bu çözelti 24 saat karıştırmaya bırakılmış olup,

24 saatin sonunda oluşan çökelti süzülerek, elde edilen süzüntünde, reaksiyona girmemiş bileşenleri uzaklaştırmak için damıtılmış su ve etanol kullanılarak üç kez yıkanacaktır. Elde edilen çökelti 105 °C 'lik bir etüvde 2 saat kurutulmuştur. Daha sonra 250 °C' lik bir fırında 2 saat boyunca kalsinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, elde edilen tozlar havan ve tokmak yardımıyla iyice ezilmiştir. Bu sentez sırasında meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

$$CaCl_2 .2H_2O_{(suda)} + 2\ NaOH_{(suda)} \longrightarrow 2NaCl_{(suda)} + Ca(OH)_{2(k)} + 2H_2O_{(s)} \quad (3.3)$$

$$Ca(OH)_{2(k)} \longrightarrow CaO_{(k)\ (beyaz)} + H_2O_{(s)} \quad (3.4)$$

Fe_2O_3 Sentezi:

Fe_2O_3 metal oksit sentezi için öncelikle 24.330 gram (0.15 mol) $FeCl_3$ (demir(III)klorür) 150 mL damıtılmış suda çözülmüştür. Çözelti, çözünmesi için 15 dakika süreyle ultrasonik bir ses banyosuna yerleştirilmiştir. Daha sonra çözeltiye 150 mL etilen glikol ilave edilmiştir. Çözelti, 350 rpm'de manyetik bir karıştırıcı ile karıştırılırken, bu çözeltiye damla damla pH 10-11 civarına gelene kadar 1 M NaOH ilave edilmiş ve solüsyonun renk değişimi takip edilmiştir. Fe_2O_3 partiküllerinin oluşumu gösteren kahve-siyah renkli bir süspansiyon oluşumu gerçekleşerek parçacıkların yavaş yavaş çöktüğü gözlemlenmiştir. Renkteki değişim, metal oksit partiküllerinin oluştuğunu göstermektedir. Bu çözelti 24 saat karıştırmaya bırakılmış olup, 24 saatin sonunda oluşan çökelti süzülerek, elde edilen süzüntünde, reaksiyona girmemiş bileşenleri uzaklaştırmak için damıtılmış su ve etanol kullanılarak üç kez yıkanacaktır. Elde edilen çökelti 105 °C'lik bir etüvde 2 saat kurutulmuştur. Daha sonra 250 °C'lik bir fırında 2 saat boyunca kalsinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, elde edilen tozlar havan ve tokmak yardımıyla iyice ezilmiştir. Bu sentez sırasında meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

$$FeCl_{3\ (suda)} + 3\ NaOH_{(suda)} \longrightarrow 3NaCl_{(suda)} + Fe(OH)_{3(k)} \quad (3.5)$$

$$2\ Fe(OH)_{3(k)} \longrightarrow Fe_2O_{3\ (k)} + 3\ H_2O_{(s)} \quad (3.6)$$

$MnFe_2O_4$ Sentezi:

$MnFe_2O_4$ metal oksit sentezi için öncelikle 32.44 gram $FeCl_3$ (Demir (III) Klorür) ve 33.804 gram $MnSO_4.H_2O$ (Mangan Sülfat Monohidrat) 200 mL damıtılmış suda çözülmüştür. Çözelti, çözünmesi için 15 dakika süreyle ultrasonik bir ses banyosuna yerleştirilmiştir. Daha sonra

çözeltiye 150 mL etilen glikol ilave edilmiştir. Çözelti, 350 rpm' de manyetik bir karıştırıcı ile karıştırılırken, bu çözeltiye damla damla pH 10-11 civarına gelene kadar 1 M NaOH ilave edilmiş ve solüsyonun renk değişimi takip edilmiştir. $MnFe_2O_4$ partiküllerinin oluşumu gösteren kahve-siyah renkli bir süspansiyon oluşumu gerçekleşerek parçacıkların yavaş yavaş çöktüğü gözlemlenmiştir. Renkteki değişim, metal oksit partiküllerinin oluştuğunu göstermektedir. Bu çözelti 24 saat karıştırmaya bırakılmış olup, 24 saatin sonunda oluşan çökelti süzülerek, elde edilen süzüntünde, reaksiyona girmemiş bileşenleri uzaklaştırmak için damıtılmış su ve etanol kullanılarak üç kez yıkanacaktır. Elde edilen çökelti 105 °C' lik bir etüvde 2 saat kurutulmuştur. Daha sonra 600 °C' lik bir fırında 2 saat boyunca kalsinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, elde edilen tozlar havan ve tokmak yardımıyla iyice ezilmiştir. Bu sentez sırasında meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

$$MnSO_4.H_2O_{(suda)}+2FeCl_{3(suda)}+8NaOH_{(suda)} \longrightarrow Fe_2MnO_{4(k)}+6NaCl_{(suda)}+Na_2SO_{4(suda)}+5H_2O_{(S)} \quad (3.7)$$

Al_2O_3 Sentezi:

Al_2O_3 metal oksitlerinin sentezi için öncelikle 99.96 gram (0.15 mol) $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ (Alüminyum Sülfat Oktadekahidrat) 150 mL damıtılmış suda çözülmüştür. Çözelti, çözünmesi için 15 dakika süreyle ultrasonik bir ses banyosuna yerleştirilmiştir. Daha sonra çözeltiye 150 mL etilen glikol ilave edilmiştir. Çözelti, 350 rpm' de manyetik bir karıştırıcı ile karıştırılırken, bu çözeltiye damla damla pH 10-11 civarına gelene kadar 1 M NaOH ilave edilmiş ve solüsyonun renk değişimi takip edilmiştir. Al_2O_3 partiküllerinin oluşumu gösteren beyaz renkli bir süspansiyon oluşumu gerçekleşerek parçacıkların yavaş yavaş çöktüğü gözlemlenmiştir. Renkteki değişim, metal oksit partiküllerinin oluştuğunu göstermektedir. Bu çözelti 24 saat karıştırmaya bırakılmış olup, 24 saatin sonunda oluşan çökelti süzülerek, elde edilen süzüntünde, reaksiyona girmemiş bileşenleri uzaklaştırmak için damıtılmış su ve etanol kullanılarak üç kez yıkanacaktır. Elde edilen çökelti 105 °C 'lik bir etüvde 2 saat kurutulmuştur. Son olarak, elde edilen tozlar havan ve tokmak yardımıyla iyice ezilmiştir. Bu sentez sırasında meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

$$Al_2(SO_4)_3.18H_2O_{(suda)} + 6\ NaOH_{(suda)} \longrightarrow 2Al(OH)_{3(k)} + 3Na_2SO_{4\ (suda)} + 18H_2O_{(s)} \quad (3.8)$$

$$2Al(OH)_{3(k)} \longrightarrow Al_2O_{3(k)\ (beyazımsı)} + 3\ H_2O_{(s)} \quad (3.9)$$

Bi_2O_3 Sentezi:

Bi_2O_3 metal oksitlerinin sentezi için öncelikle 72.76 gram (0.15 mol) $Bi_2(NO_3)_3.5H_2O$ (Bizmut Nitrat Pentahidrat) 150 mL damıtılmış suda çözülmüştür. Çözelti, çözünmesi için 15 dakika süreyle ultrasonik bir ses banyosuna yerleştirilmiştir. Daha sonra çözeltiye 150 mL etilen glikol ilave edilmiştir. Çözelti, 350 rpm'de manyetik bir karıştırıcı ile karıştırılırken, bu çözeltiye damla damla pH 10-11 civarına gelene kadar 1 M NaOH ilave edilmiş ve solüsyonun renk değişimi takip edilmiştir. Al_2O_3 partiküllerinin oluşumu gösteren sarımtırak renkli bir süspansiyon oluşumu gerçekleşerek parçacıkların yavaş yavaş çöktüğü gözlemlenmiştir. Renkteki değişim, metal oksit partiküllerinin oluştuğunu göstermektedir. Bu çözelti 24 saat karıştırmaya bırakılmış olup, 24 saatin sonunda oluşan çökelti süzülerek, elde edilen süzüntünde, reaksiyona girmemiş bileşenleri uzaklaştırmak için damıtılmış su ve etanol kullanılarak üç kez yıkanacaktır. Elde edilen çökelti 105 °C' lik bir etüvde 2 saat kurutulmuştur. Son olarak, elde edilen tozlar havan ve tokmak yardımıyla iyice ezilmiştir. Bu sentez sırasında meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

$$Bi(NO_3).5H_2O_{(suda)} + 3\ NaOH_{(suda)} \longrightarrow Bi(OH)_{3(k)} + 3NaNO_{3\ (suda)} + 5H_2O_{(s)} \quad (3.10)$$

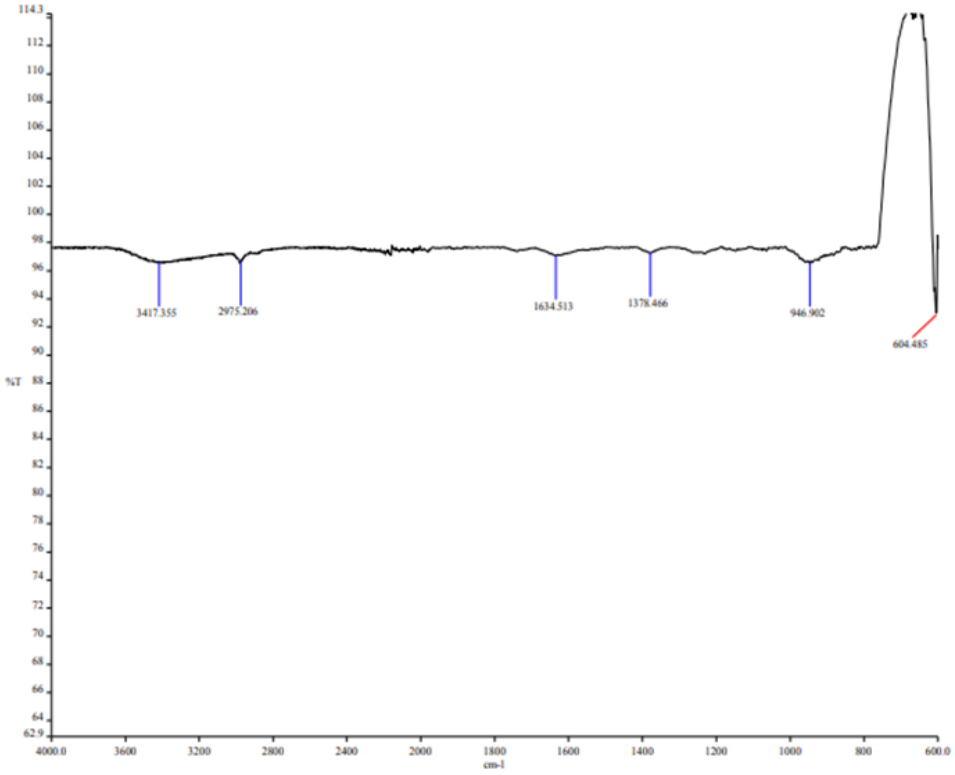
$$2Bi(OH)_{3(k)} \longrightarrow Bi_2O_{3(k)\ (açık\ sarı)} + 3H_2O_{(s)} \quad (3.11)$$

4. BULGULAR

4.1. METAL OKSİTLERİN KARAKTERİZASYONU

Sentezlenen SnO_2, CaO, Fe_2O_3, $MnFe_2O_4$, Al_2O_3, Bi_2O_3 metal oksitleri ile, Amberlite IRA 67, Amberlite IRA 96, Amberlite IRA 400 ve Amberlite IRA 958 reçineleri çeşitli analiz yöntemleri kullanılarak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, SEM, FTIR, XRD ve BET analizleri yapılmış olup, sonuçlar bu bölümde sunulmuştur. Daha sonra, sentezlenen metal oksitler ve reçineler kullanılarak akrilik asitle sulu çözeltilerinden adsorpsiyon yöntemiyle ayrılması incelenmiştir.

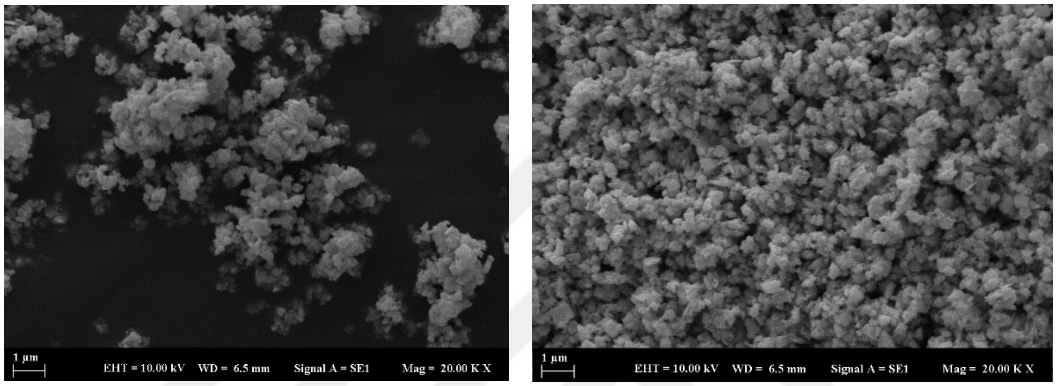
4.1.1. SnO_2 Karakterizasyonu



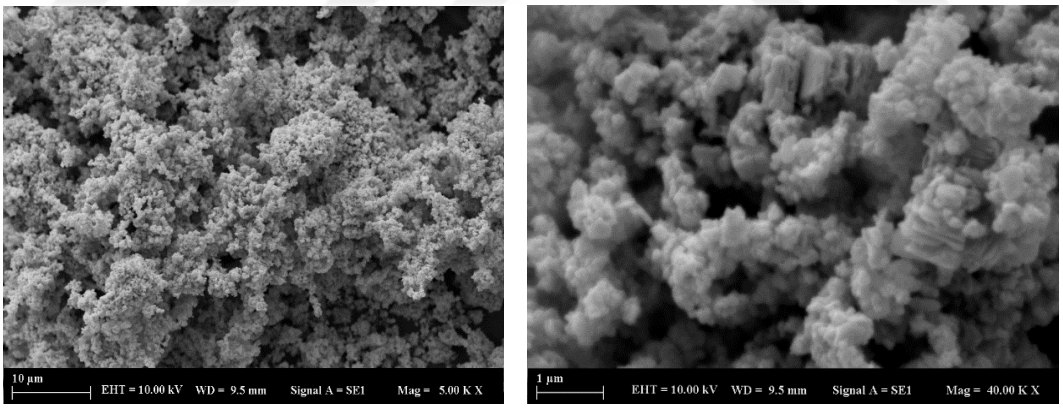
Şekil 4.1: SnO_2 FTIR spektrumu.

SnO_2 metal oksitlerine ait FTIR spektrumu Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Bu şekil üzerinde, 3417 ve 2975 cm-1'deki adsorpsiyon zirvesi olarak tanımlanan bantlar SnO_2 'nin yüzeyinde adsorbe edilen su moleküllerine karşılık gelmektedir. 1634 ve 1378 cm-1'deki bantlar SnO_2 üzerindeki hidroksil gruplarının bükülme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. 604 cm-1'deki pik ise O–Sn–O gruplarının oluştuğunu göstermektedir [52].

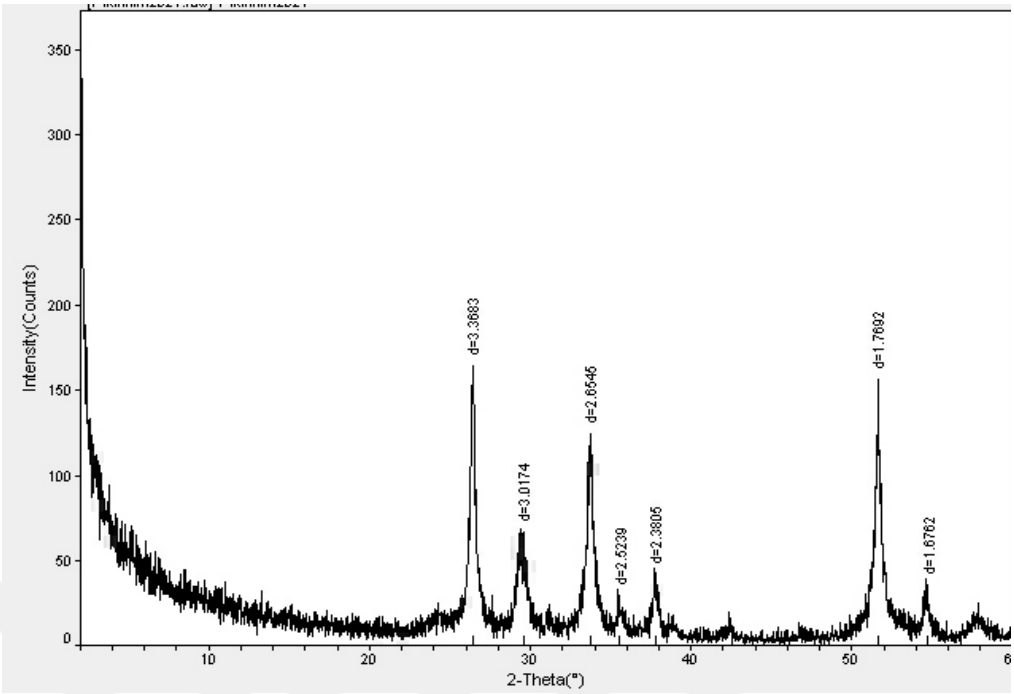
Sentezlenen SnO_2 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.2'de görülmektedir. Şekil 4.3 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.2: SnO_2 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



Şekil 4.3: SnO_2 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası SEM görüntüleri.



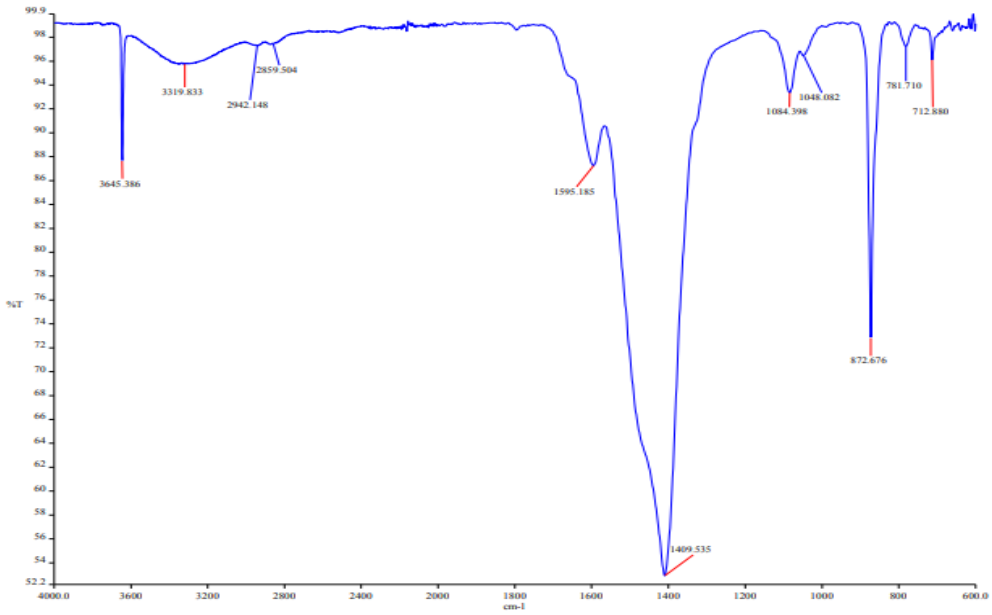
Şekil 4.4: SnO_2 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

Şekil 4.4'de XRD analiz sonuçları görülmektedir. Taramalar, 2θ'da, Cu X-ray (λ = 0.15406 nm) radyasyonu kullanılarak, 0.02'lik artışlarla 20-60˚ aralığında 2˚ dakika^{-1} tarama hızı kullanılarak yapılmıştır. SnO_2'nin ortalama parçacık boyutunu (D) belirlemek için Debye-Scherrer denklemi (4.1) kullanılmıştır [53]:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{4.1}$$

Bu denklemde k (0,9) Debye-Scherrer sabiti, λ (0,15406 nm) X ışını radyasyonun dalga boyu, θ radyan cinsinden Bragg açısı ve β en yoğun tepe noktasındaki yarı genişliktir. Debye-Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanan ortalama partikül boyutu 24,90 nm olarak bulunmuştur. SnO_2 metal oksitlerinin yüzey alanı ise BET analizi ile 15,7255 m^2/g olarak ölçülmüştür.

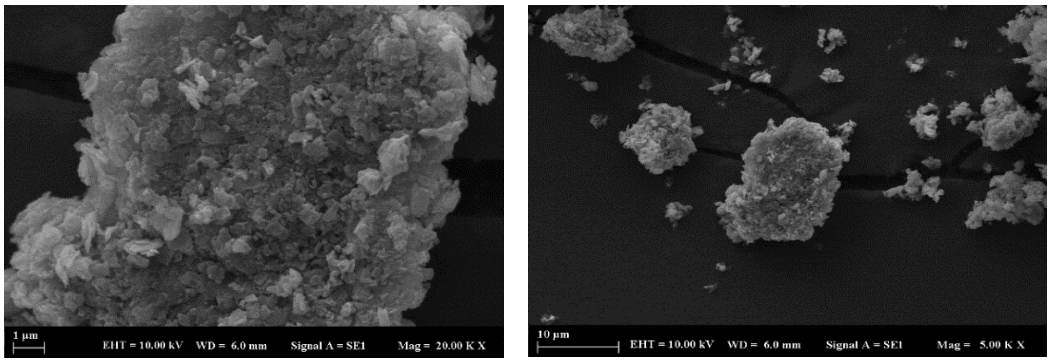
4.1.2. CaO Karakterizasyonu



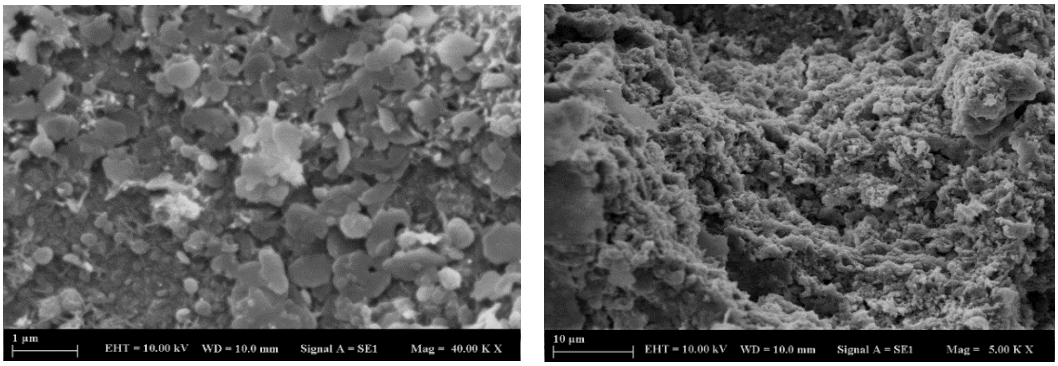
Şekil 4.5: CaO FTIR spektrumu.

CaO metal oksitlerine ait FTIR spektrumu Şekil 4.5'deki gibidir. Aynı şekil üzerinde 3645 cm^{-1}'deki bantların CaO 'nun yüzeyindeki su moleküllerinden kaynaklı hidroksil bağlarına karşılık geldiği görülmektedir. 1595, 1409 ve 1048 cm^{-1}'deki bantlar karboksilik grup, aminler ve amidlerin varlığını göstermekle birlikte CaO metal oksidinin stabilizasyonunu arttırmaktadır [54]. 872 cm^{-1}'de ki pik O–Ca–O bağını 712 cm^{-1}'deki pik Ca–O bağını göstermektedir.

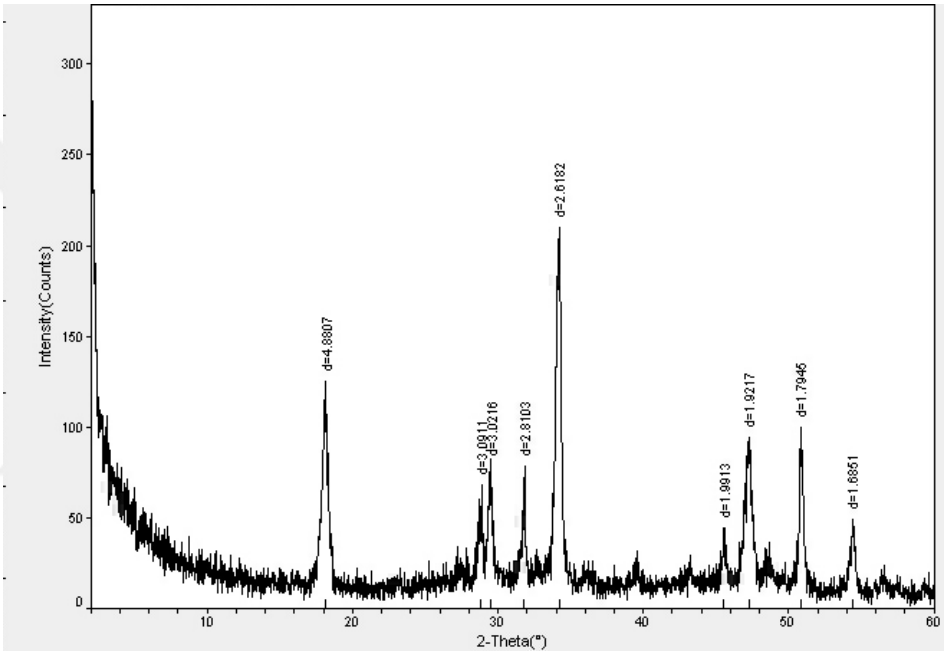
Sentezlenen CaO metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.6'da görülmektedir. Şekil 4.7 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.6: CaO metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri**.**



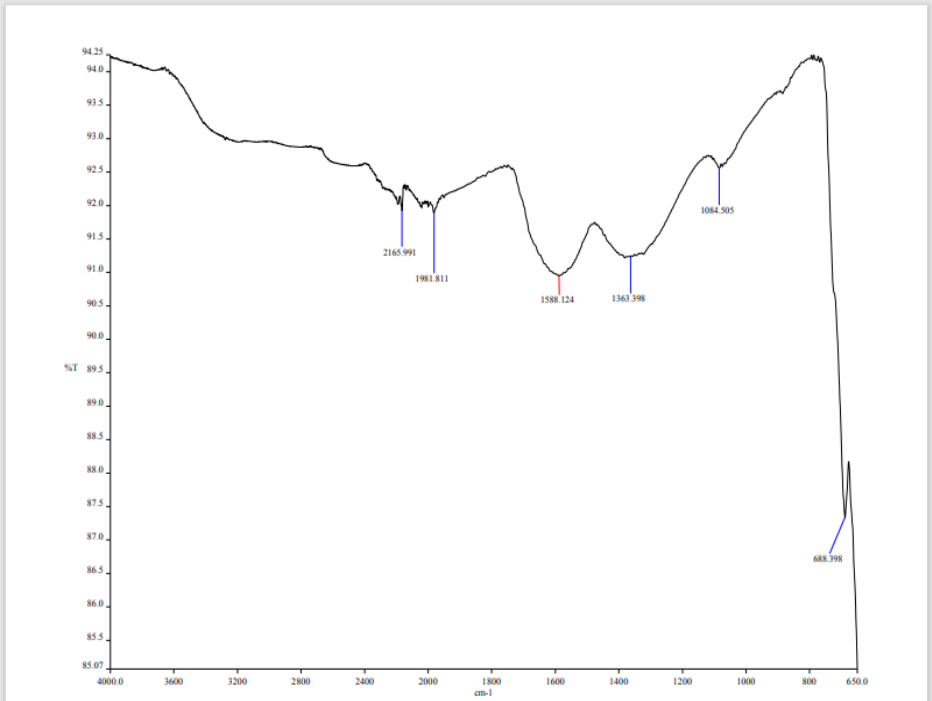
Şekil 4.7: CaO metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası SEM görüntüleri.



Şekil 4.8: CaO metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

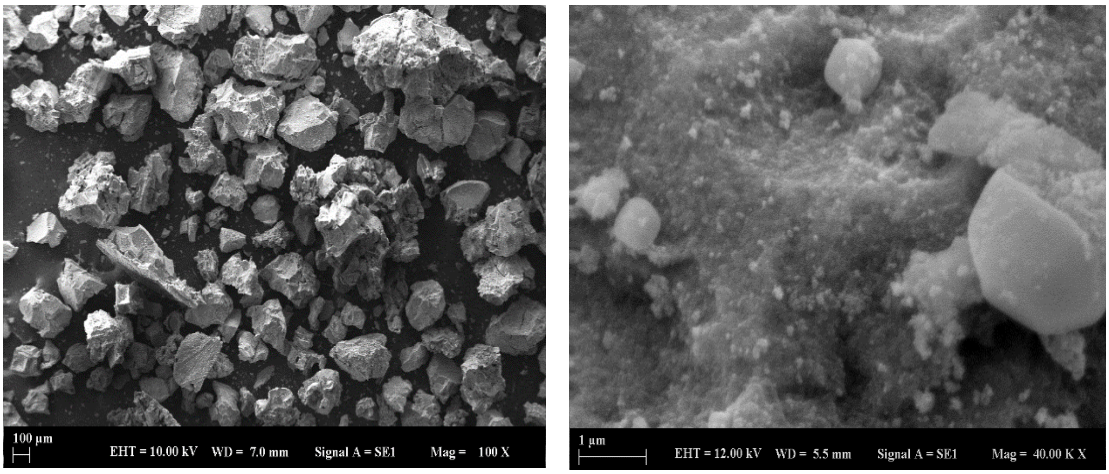
Şekil 4.8'de XRD analiz sonuçları görülmektedir. CaO 'nun ortalama parçacık boyutunu (D) Debye-Scherrer denklemi kullanılarak 29,58 nm olarak bulunmuştur. CaO metal oksitlerinin yüzey alanı ise BET analizi ile 9,4992 m^2/g olarak ölçülmüştür.

4.1.3. Fe_2O_3 Karakterizasyonu

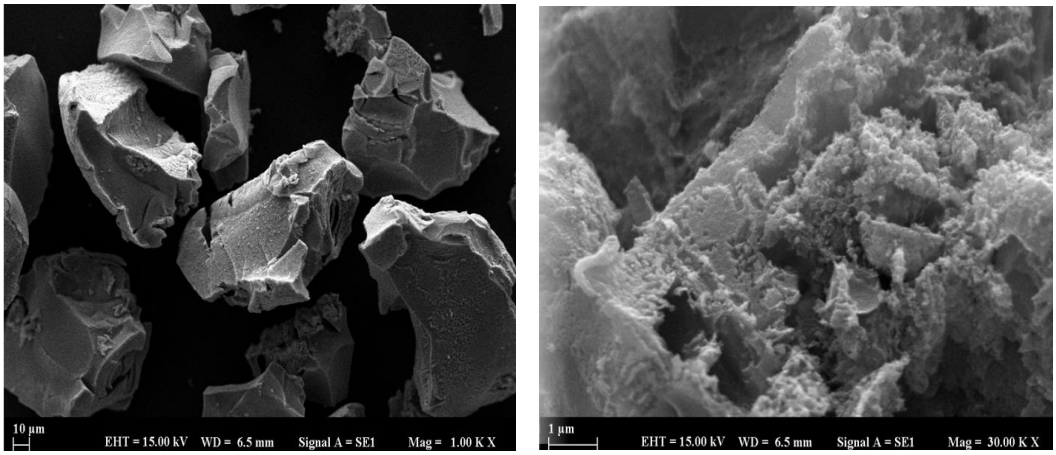


Şekil 4.9: Fe_2O_3 FTIR spektrumu.

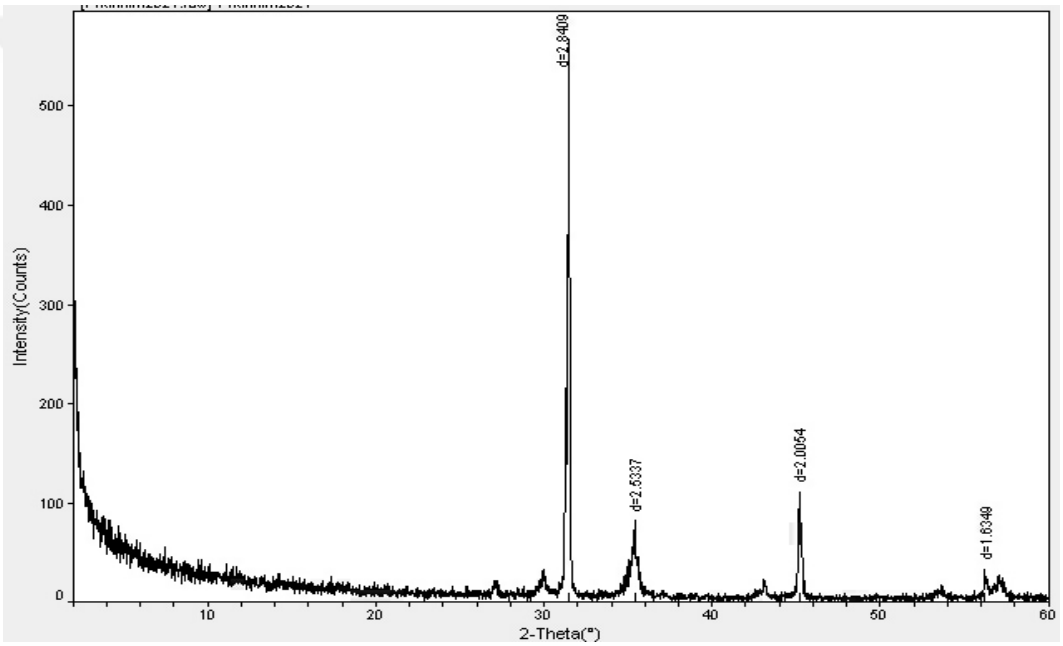
Fe_2O_3 metal oksitlerine ait FTIR spektrumu Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Aynı şekile göre, 2165 cm^{-1}'deki ve 1588 cm-1'deki bantları Fe_2O_3'ün yüzeyindeki su moleküllerindeki hidroksil grubuna karşılık gelmektedir. 688 cm^{-1}'deki bant, Fe–O bağını göstermektedir [55]. Sentezlenen Fe_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.10'da görülmektedir. Şekil 4.11 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.10: Fe_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



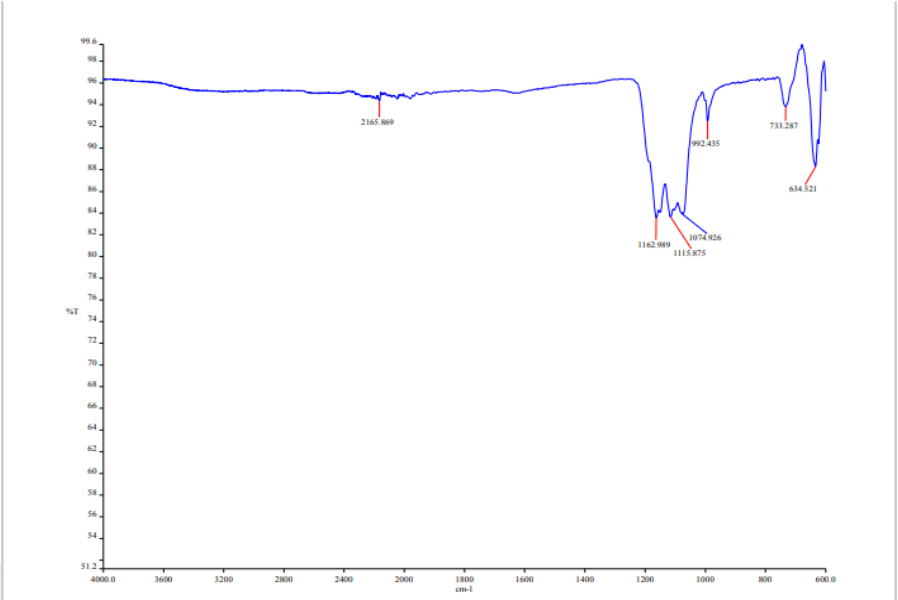
Şekil 4.11: Fe_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.



Şekil 4.12 : Fe_2O_3 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

Şekil 4.12'de XRD analiz sonuçları görülmektedir. Fe_2O_3 'ün ortalama parçacık boyutunu (D) Debye-Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanan ortalama partikül boyutu 52,88 nm olarak bulunmuştur. Fe_2O_3 metal oksitlerinin yüzey alanı ise BET analizi ile 35,0774 m^2/g olarak ölçülmüştür.

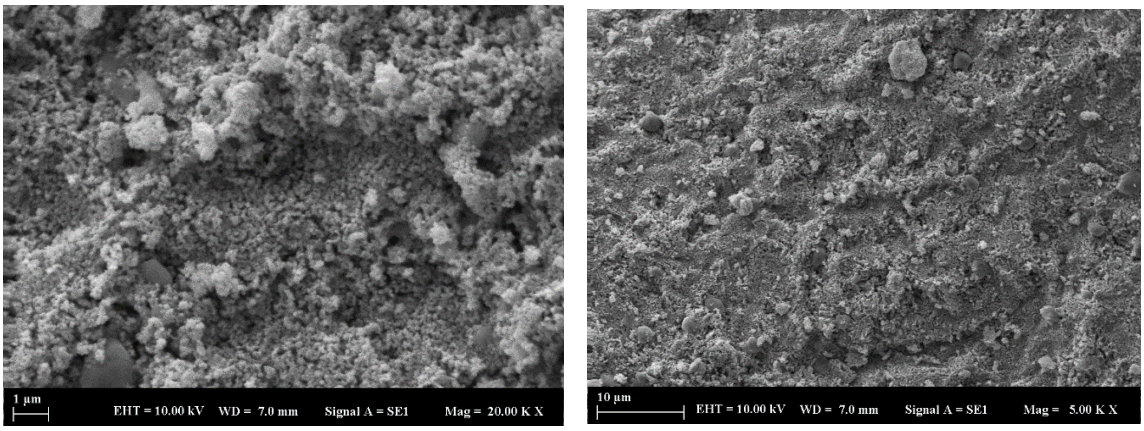
4.1.4. $MnFe_2O_4$ Karakterizasyonu



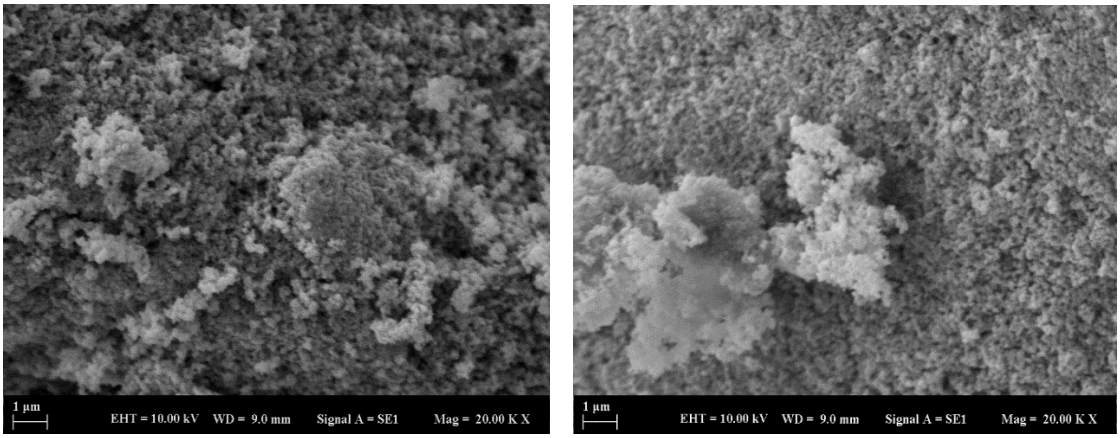
Şekil 4.13: $MnFe_2O_4$ FTIR spektrumu.

$MnFe_2O_4$ metal oksitlerine ait FTIR spektrumu Şekil 4.13'te gösterilmektedir. Aynı şekile göre, 2165 cm^{-1} 'deki bant $MnFe_2O_4$ 'ün yüzeyindeki su moleküllerindeki hidroksil grubuna karşılık gelmektedir. Ferritlerin belirgin adsorpsiyon bantları 1000 cm^{-1} 'in altında bulunmuştur. 733 **ve** 634 cm^{-1}' deki bantlar Fe-O ve Mn-O bağlarına karşılık gelmektedir[56].

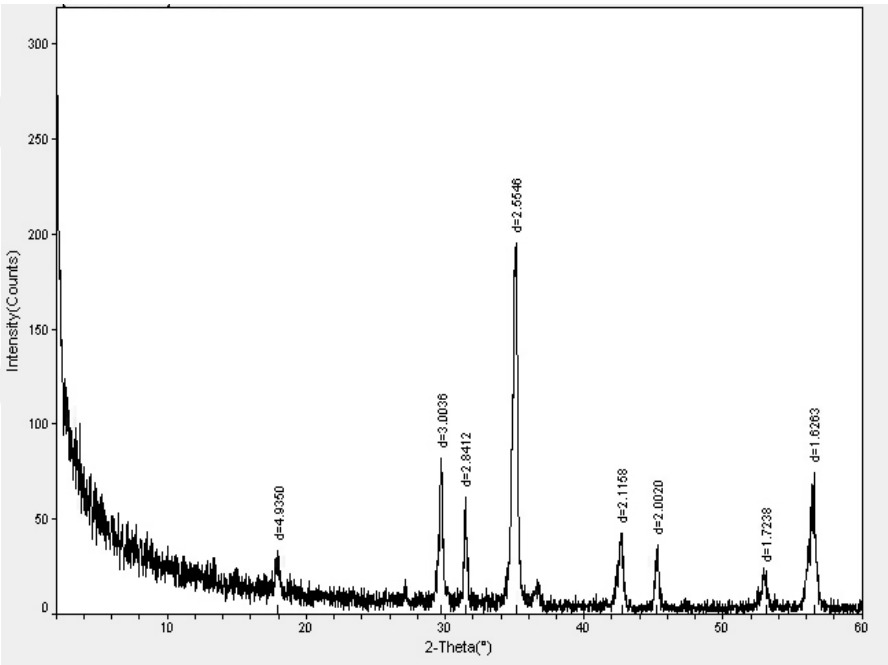
Sentezlenen $MnFe_2O_4$ metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.14'te görülmektedir. Şekil 4.15 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.14: $MnFe_2O_4$ metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



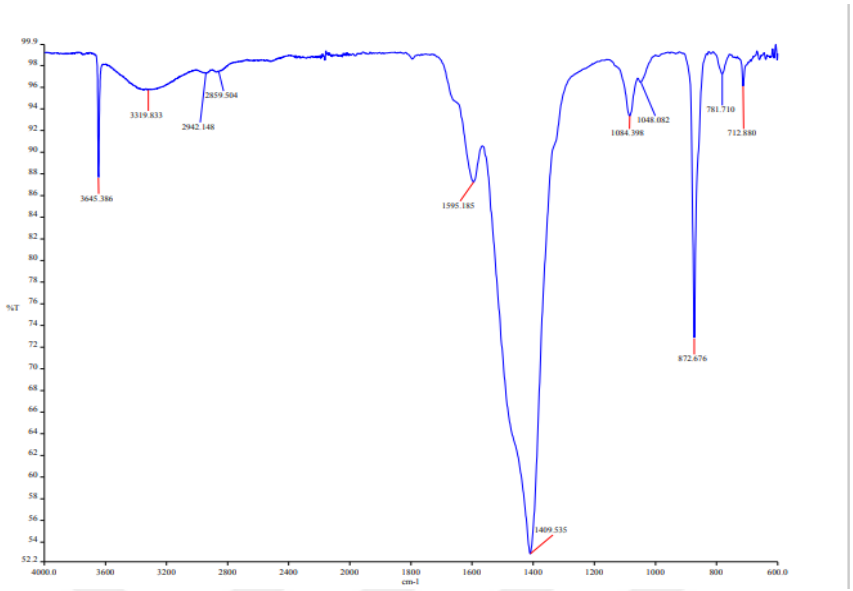
Şekil 4.15: $MnFe_2O_4$ metal oksitlerinin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.



Şekil 4.16: $MnFe_2O_4$ metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

Şekil 4.16'da XRD analiz sonuçları görülmektedir. $MnFe_2O_4$'ün ortalama parçacık boyutu (D) Debye-Scherrer denklemi kullanılarak 29,10 nm olarak bulunmuştur. $MnFe_2O_4$ metal oksitlerinin yüzey alanı ise BET analizi ile 5,8177 m^2/g olarak ölçülmüştür.

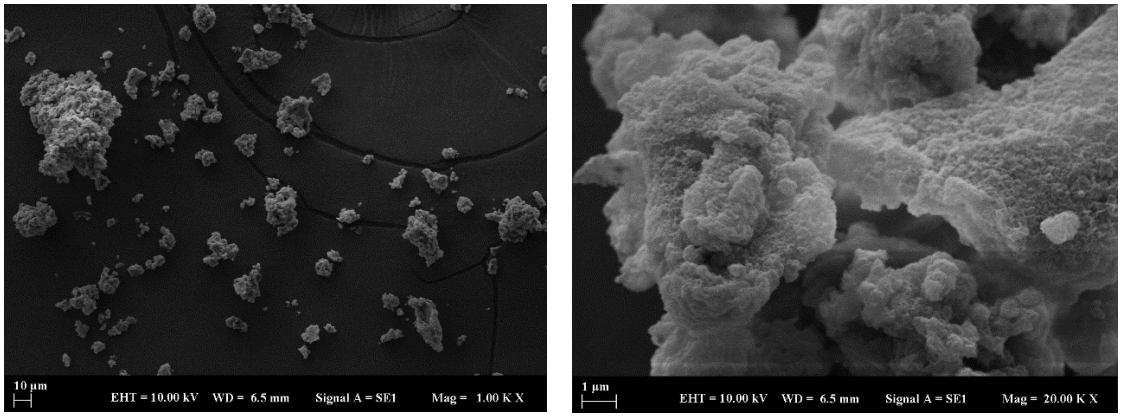
4.1.5. Al_2O_3 Karakterizasyonu



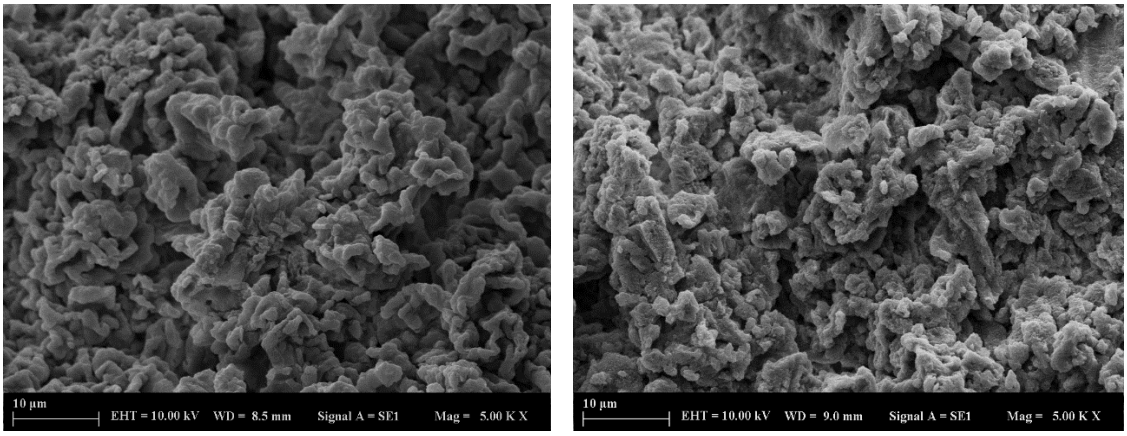
Şekil 4.17: Al_2O_3 FTIR spektrumu.

Al_2O_3 metal oksitlerine ait FTIR spektrumu Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Aynı şekile göre, 3645 ve 3319 cm^{-1}'deki bantları hidroksil iyonuna karşılık gelmektedir. 1595 cm^{-1}'deki bant Al-OH, 1409 cm^{-1}'deki pik Al-O bağına ve 872 ve 712 cm^{-1}'deki bağlar ise Al–O-Al bağını göstermektedir[57].

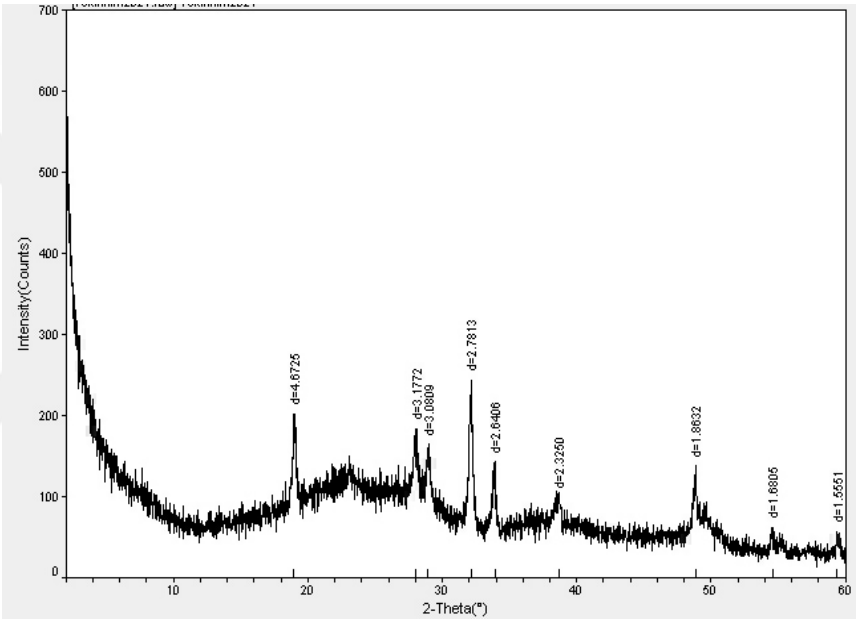
Sentezlenen Al_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.19'da görülmektedir. Şekil 4.20 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.18: Al_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



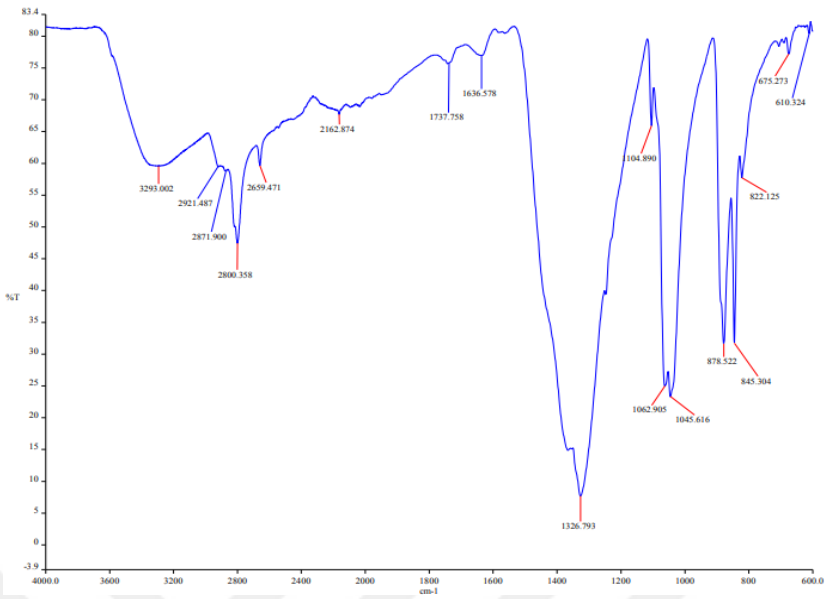
Şekil 4.19: Al_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.



Şekil 4.20: Al_2O_3 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

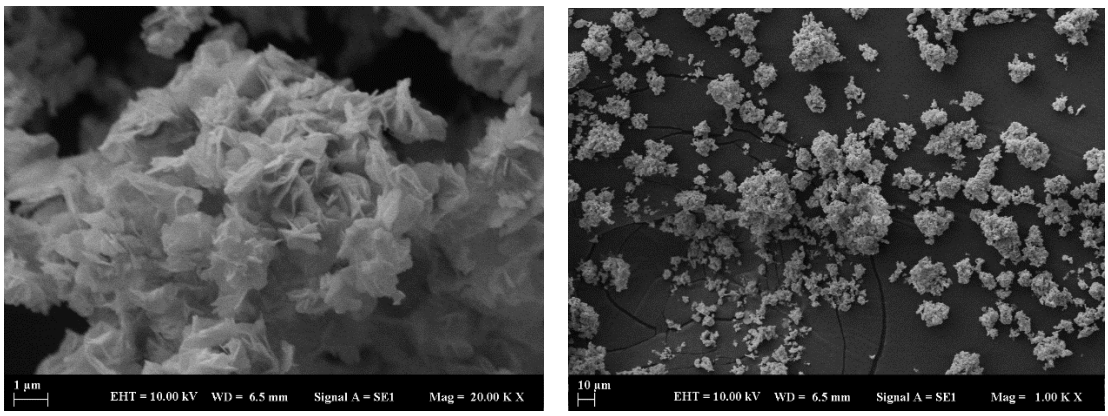
Şekil 4.20'de XRD analiz sonuçları görülmektedir. Al_2O_3 'ün ortalama parçacık boyutu (D) Debye-Scherrer denklemi kullanılarak 30,54 nm olarak bulunmuştur. Al_2O_3 metal oksitlerinin yüzey alanı ise BET analizi ile 217,4456 m^2/g olarak ölçülmüştür.

4.1.6. Bi_2O_3 Karakterizasyonu

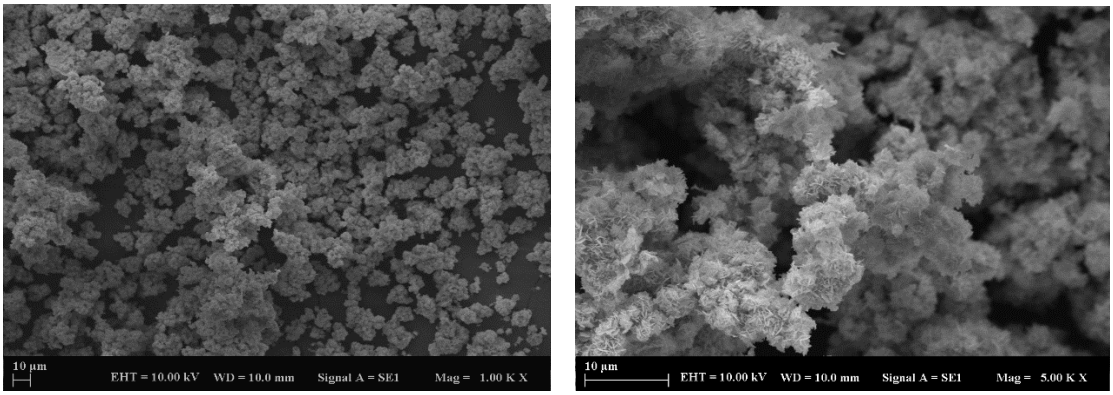


Şekil 4.21: Bi_2O_3 FTIR spektrumu.

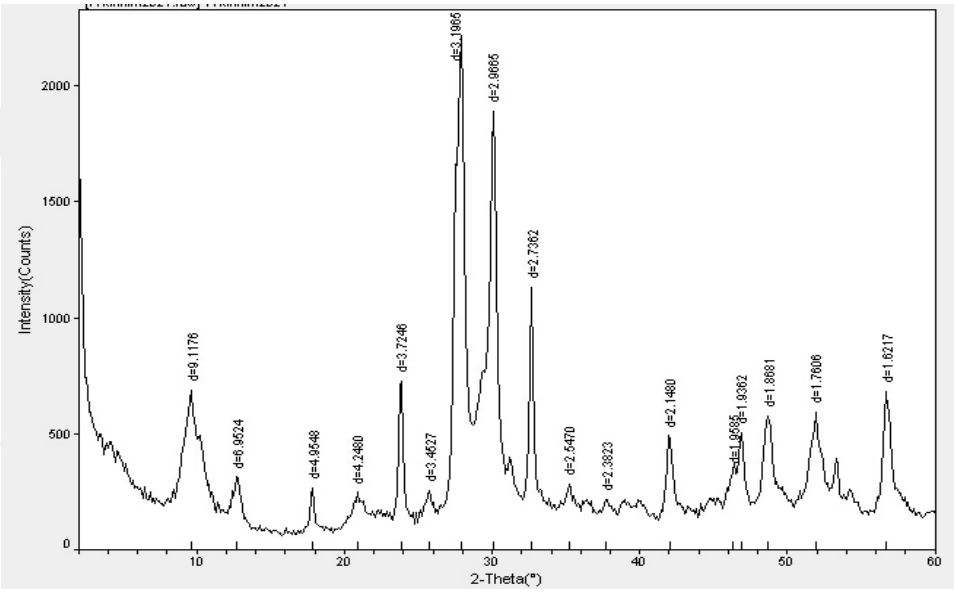
Bi_2O_3 metal oksitlerine ait FTIR spektrumu Şekil 4.21'de gösterilmektedir. Aynı şekile göre, 3293 ve 2800 cm^{-1}'deki bantları Bi_2O_3 'ün yüzeyindeki su moleküllerine karşılık gelmektedir. 675 cm^{-1}'deki pik Bi-O bağını; 878, 845 ve 822 cm^{-1}'deki bantlar, Bi-O-Bi bağını göstermektedir[58,59]. Sentezlenen Bi_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.22'da görülmektedir. Şekil 4.23 akrilik asit ile adsorpsiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.22: Bi_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



Şekil 4.23: Bi_2O_3 metal oksitlerinin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.



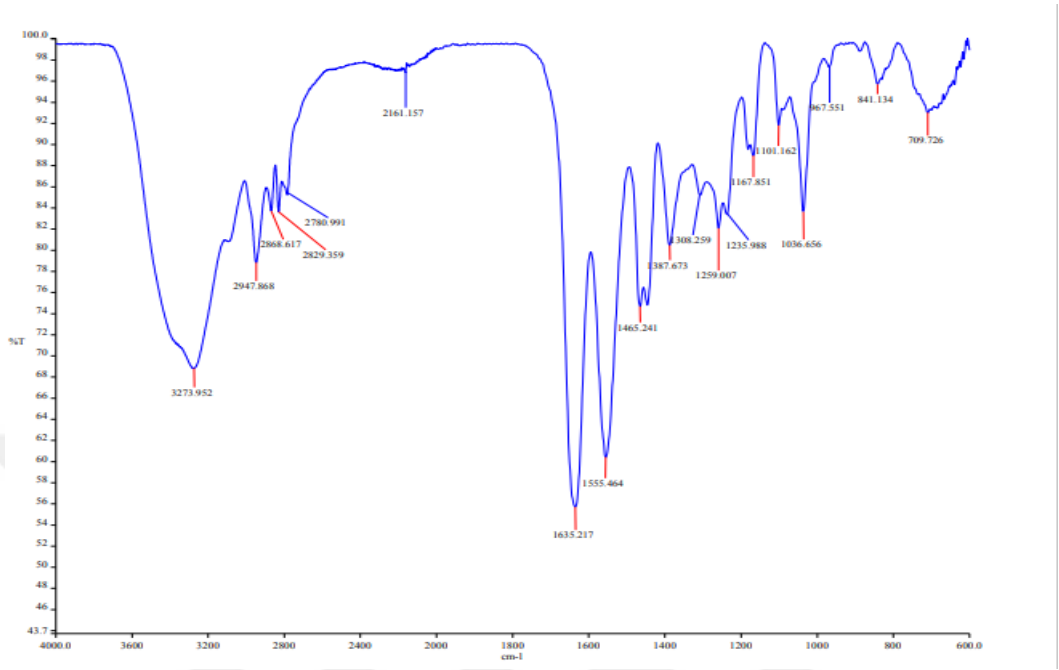
Şekil 4.24: Bi_2O_3 metal oksitlerinin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

Şekil 4.24'de XRD analiz sonuçları görülmektedir. Bi_2O_3 'ün ortalama parçacık boyutu (D) Debye-Scherrer denklemi kullanılarak 20,01 nm olarak bulunmuştur. Bi_2O_3 metal oksitlerinin yüzey alanı ise BET analizi ile 17,8274 m^2/g olarak ölçülmüştür.

4.1.7. Amberlite IRA 67 Karakterizasyonu

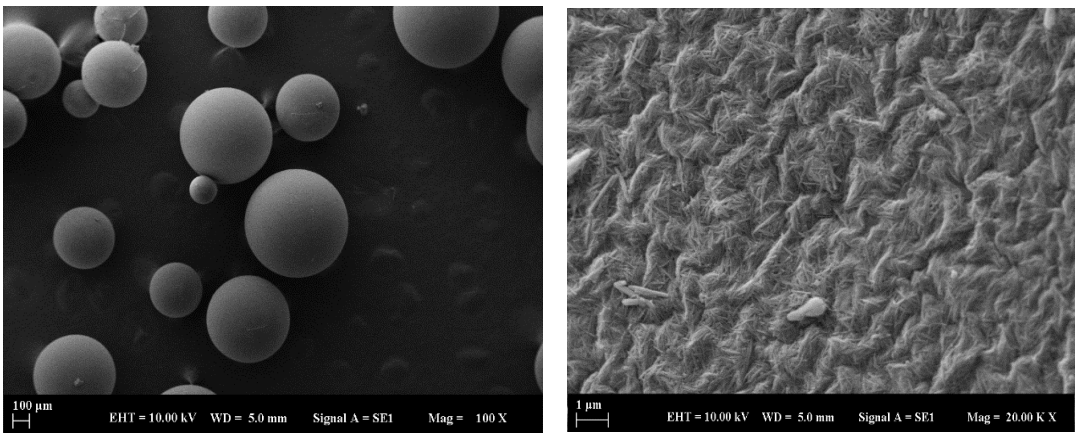
Amberlite IRA 67 reçinesine ait FTIR spektrumu Şekil 4.25'te gösterilmektedir. Amberlite IRA 67'nin bazı karakteristik bantları vardır. Şekil 4.25 incelendiğinde, 3273 cm^{-1}'deki bant O-H gruplarına, 2947, 2868 ve 2829 cm^{-1}'deki bantlarda C-H alkan gruplarına denk gelmektedir. 1635 cm^{-1}'deki pik amitin C-O gerilmesine, 1555 cm^{-1}'deki pik N-H gerilmesine ve 1465 cm^{-1}'deki pik CH_2 bağını göstermektedir. Amberlite IRA 67 reçinelerinin spektrumda 1387 cm^{-1}'deki pik alkan gruplarının CH_3 bükülmesini gösterirken, 1259, 1235 ve 1167 cm^{-1}'deki pikler

üçüncül alifatik aminin C-N gerilimini göstermektedir. 1036, 801 ve 709 cm^{-1}'deki bantlar esterlerin veya karboksilli asidin C-O bağlarının gerilmesine atfedilir[60,61].

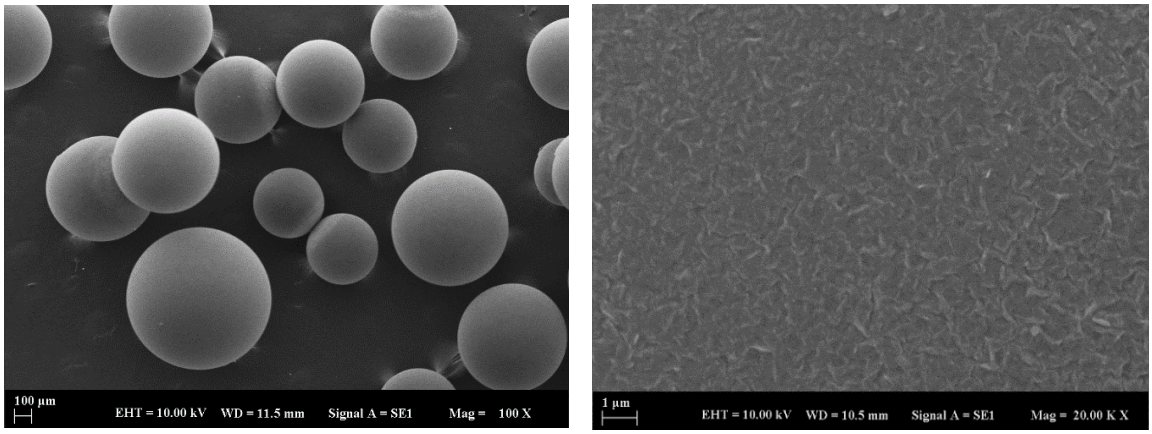


Şekil 4.25: Amberlite IRA 67 FTIR spektrumu.

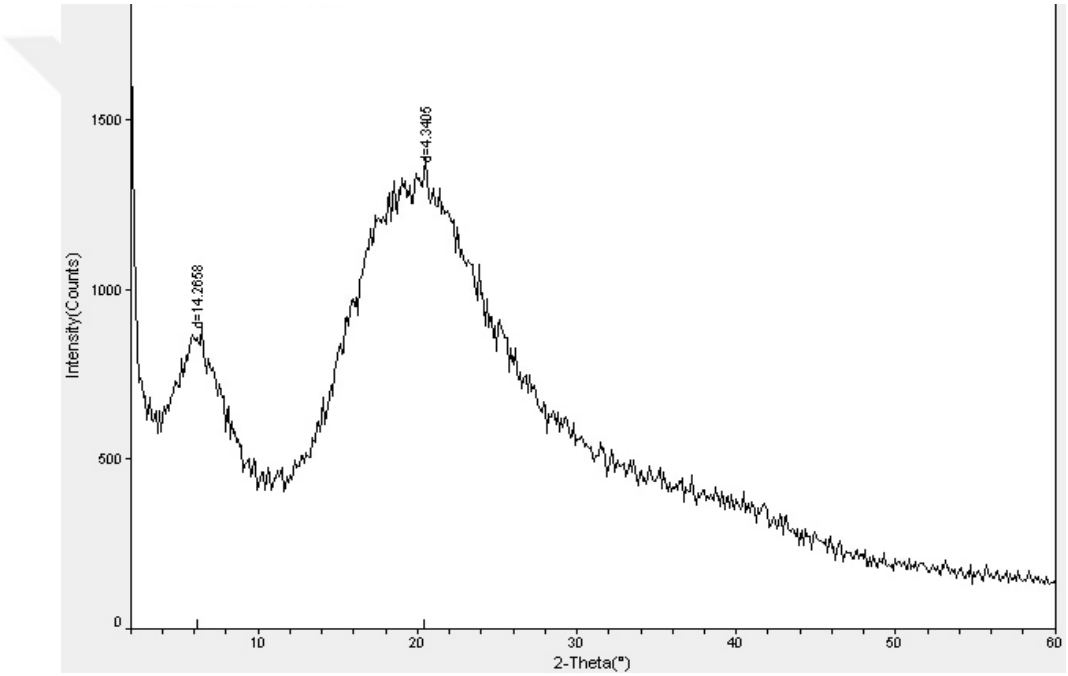
Amberlite IRA 67 reçinesinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.26'da görülmektedir. Şekil 4.27 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.26: Amberlite IRA 67'nin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



Şekil 4.27: Amberlite IRA 67'nin adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.



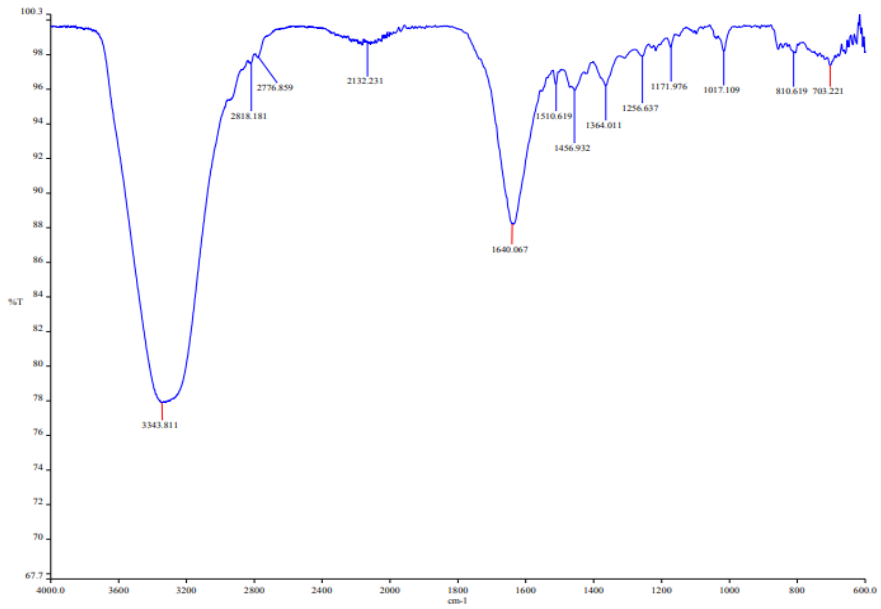
Şekil 4.28: Amberlite IRA 67'nin akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

Şekil 4.28'de XRD analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 4.28'den Amberlite IRA 67'nin kristal yapıya karşılık gelen karakteristik kırınım pikleri gibi 6.19° ve 20.44° (2θ) olduğu gözlendi. Amberlite IRA 67'nin yüzey alanı ise BET analizi ile 8,6148 m^2/g olarak ölçülmüştür.

4.1.8. Amberlite IRA 96 Karakterizasyonu

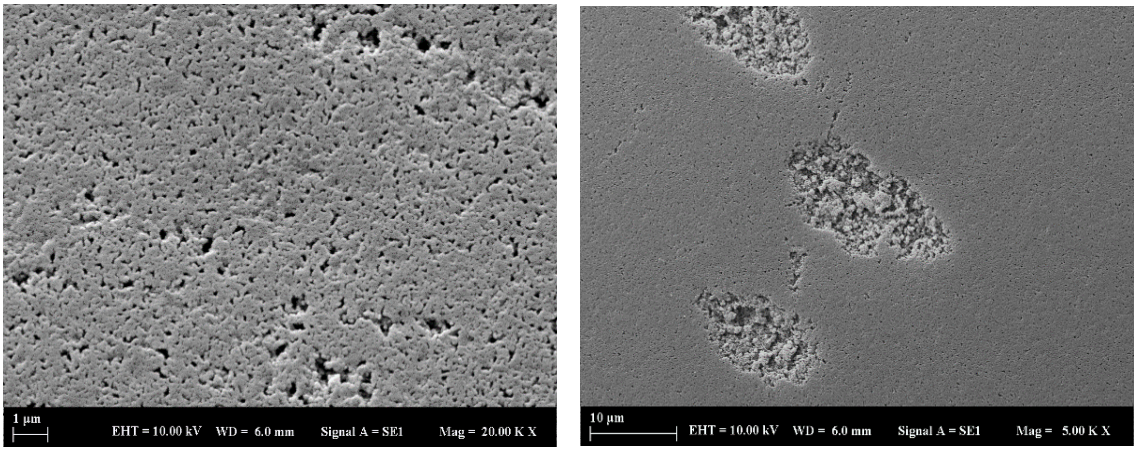
Amberlite IRA 96 reçinesine ait FTIR spektrumu Şekil 4.29'da gösterilmektedir. Amberlite IRA 96'nın bazı karakteristik bantları vardır. Şekil 4.29 incelendiğinde, 3343 cm^{-1}'deki bant O-H gruplarına, 2818 cm^{-1}'deki bant da C-H alkan gruplarına denk gelmektedir. 1640 cm^{-1}'deki pik amitin C-O gerilmesine, 1510 cm^{-1}'daki pik N-H gerilmesine ve 1456 cm^{-1}'daki pik CH_2

bağını göstermektedir. Amberlite IRA 96 reçinelerinin spektrumda 1364 cm^{-1}'deki pik alkan gruplarının CH_3 bükülmesini gösterirken, 1256 ve 1171 cm^{-1}'deki pikler üçüncül alifatik aminin C-N gerilimini göstermektedir. 1017 cm^{-1}'deki bantlar esterlerin veya karboksilli asidin C-O bağlarının gerilmesine atfedilir[60,61].

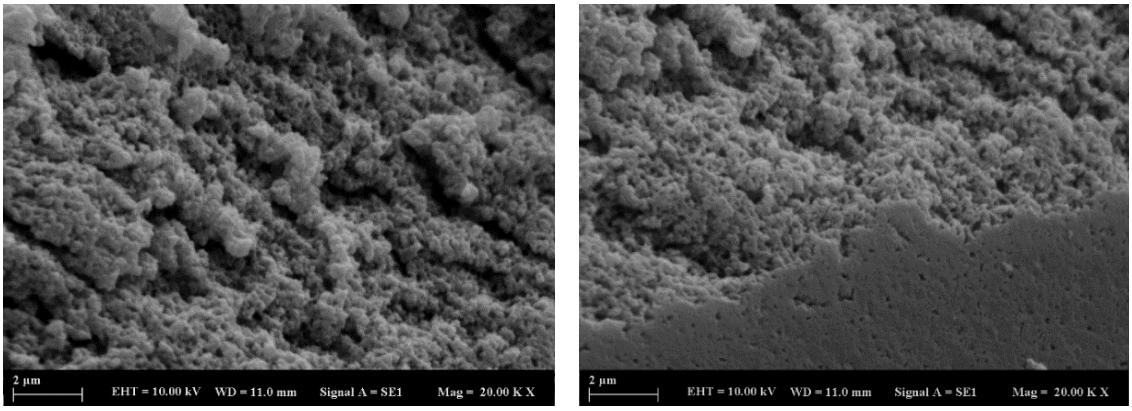


Şekil 4.29: Amberlite IRA 96 FTIR spektrumu.

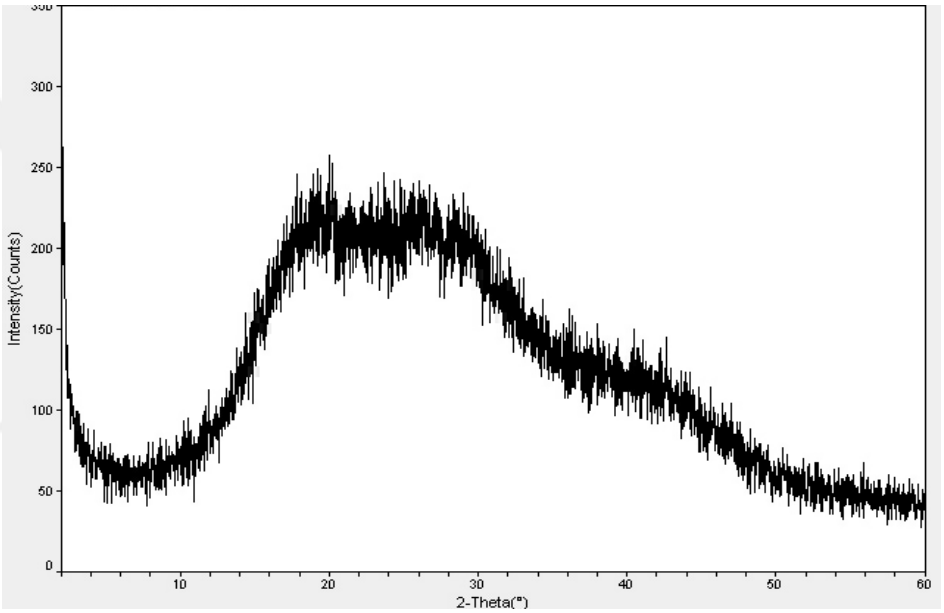
Amberlite IRA 96 reçinesinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.30'da görülmektedir. Şekil 4.31 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.30: Amberlite IRA 96'nın adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



Şekil 4.31: Amberlite IRA 96'nın adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.



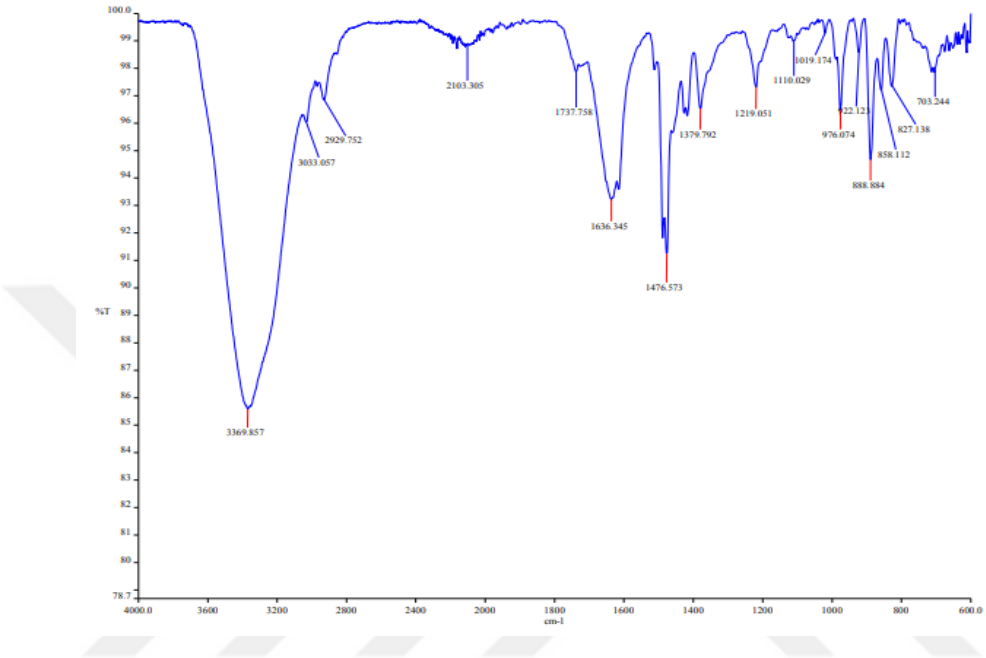
Şekil 4.32: Amberlite IRA 96'nın akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

Şekil 4.32'de XRD analiz sonuçları görülmektedir**.** Şekil 4.32'de Amberlite IRA 96 için belirgin bir kırınım modeli gözlenmediği için, bu durum Amberlite IRA 96'nın kristal yapıya sahip olmadığını ve amorf olduğunu göstermektedir**.** Amberlite IRA 96'nın yüzey alanı ise BET analizi ile 36,0362 m^2/g olarak ölçülmüştür.

4.1.9. Amberlite IRA 400 Karakterizasyonu

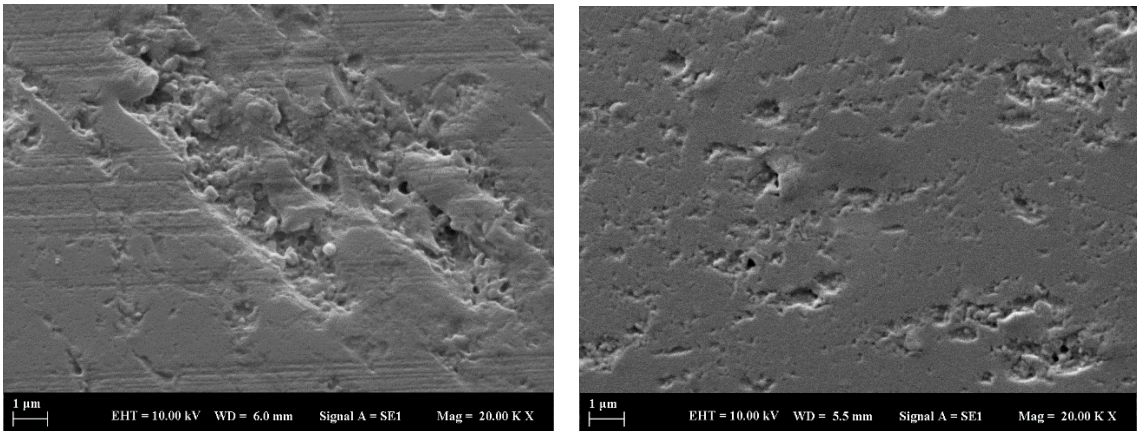
Amberlite IRA 400 reçinesine ait FTIR spektrumu Şekil 4.33'te gösterilmektedir. Amberlite IRA 400'ün bazı karakteristik bantları vardır. Şekil 4.33 incelendiğinde, 3369 cm^{-1}'deki bant O-H gruplarına, 3033 ve 2929 cm^{-1}'deki bantlar da C-H alkan gruplarına denk gelmektedir. 1636 cm^{-1}'deki pik amitin C-O gerilmesine ve 1476 cm^{-1}'deki pik CH_2 bağını göstermektedir. Amberlite IRA 400 reçinelerinin spektrumda 1379 cm^{-1}'deki pik alkan gruplarının CH_3

bükülmesini gösterirken, 1219 ve 1110 cm^{-1}'deki pikler üçüncül alifatik aminin C-N gerilimini göstermektedir. 1019 ve 976 cm^{-1}'deki bantlar esterlerin veya karboksilli asidin C-O bağlarının gerilmesine atfedilir [60–62].

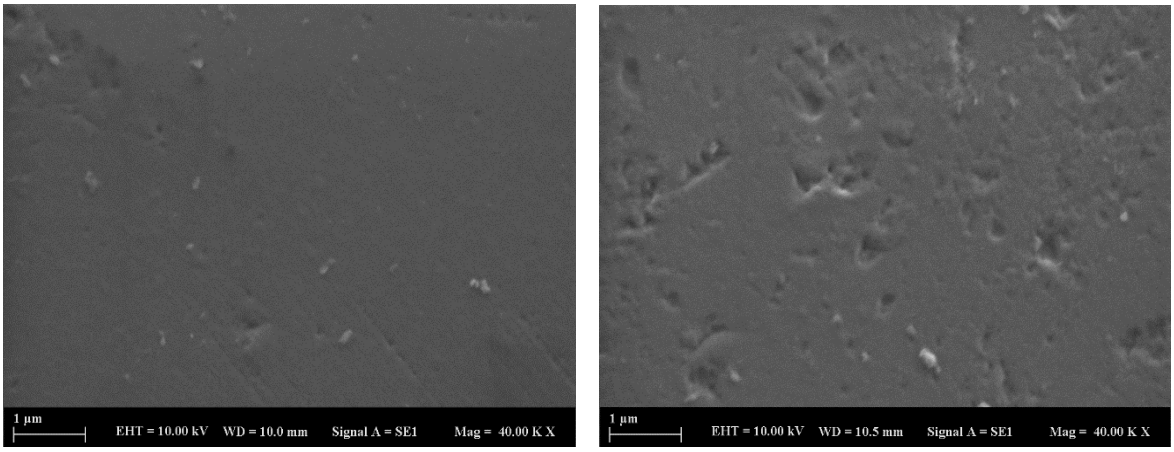


Şekil 4.33: Amberlite IRA 400 FTIR spektrumu.

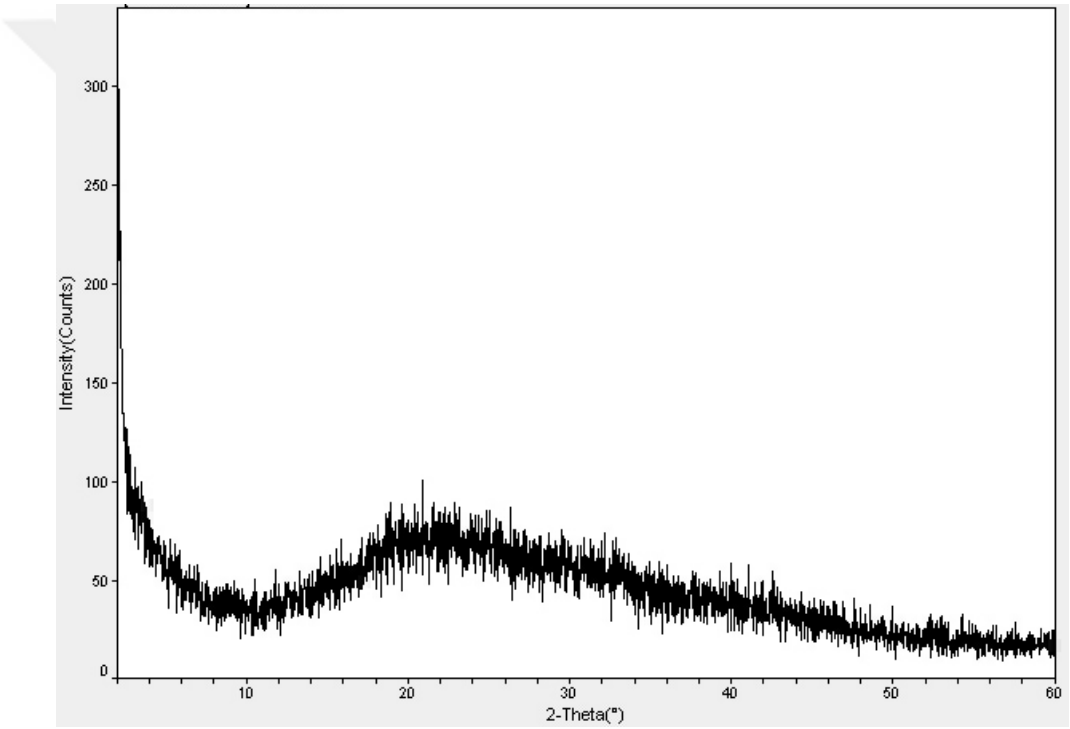
Amberlite IRA 400 reçinesinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.34'te görülmektedir. Şekil 4.35 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.34: Amberlite IRA 400'ün adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



Şekil 4.35: Amberlite IRA 400'ün adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.



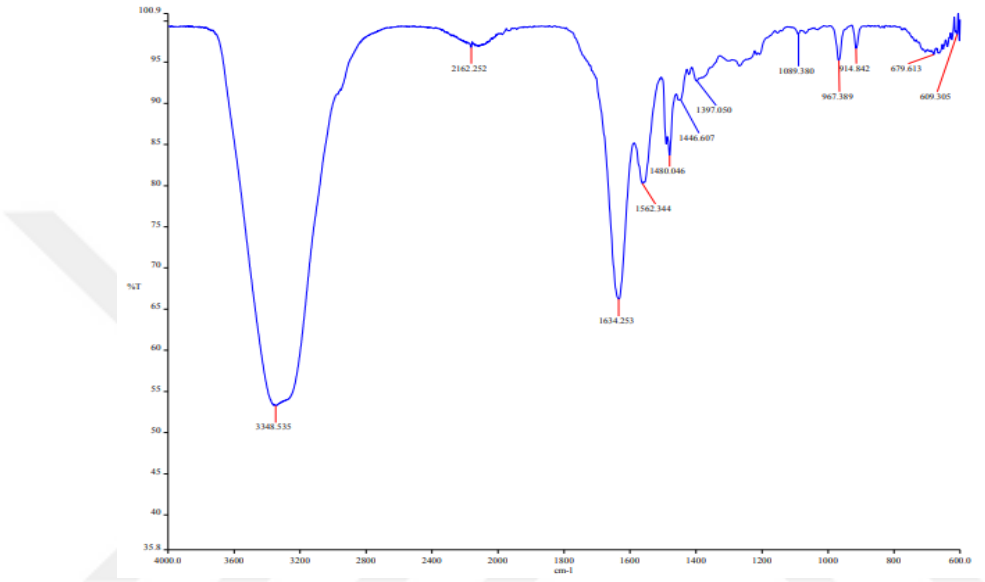
Şekil 4.36: Amberlite IRA 400'ün akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

Şekil 4.36'da XRD analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 4.36'da Amberlite IRA 400 için belirgin bir kırınım modeli gözlenmediği için, bu durum Amberlite IRA 96'nın kristal yapıya sahip olmadığını ve amorf olduğunu göstermektedir. Amberlite IRA 400'ün yüzey alanı ise BET analizi ile 7,7414 m^2/g olarak ölçülmüştür.

4.1.10. Amberlite IRA 958 Karakterizasyonu

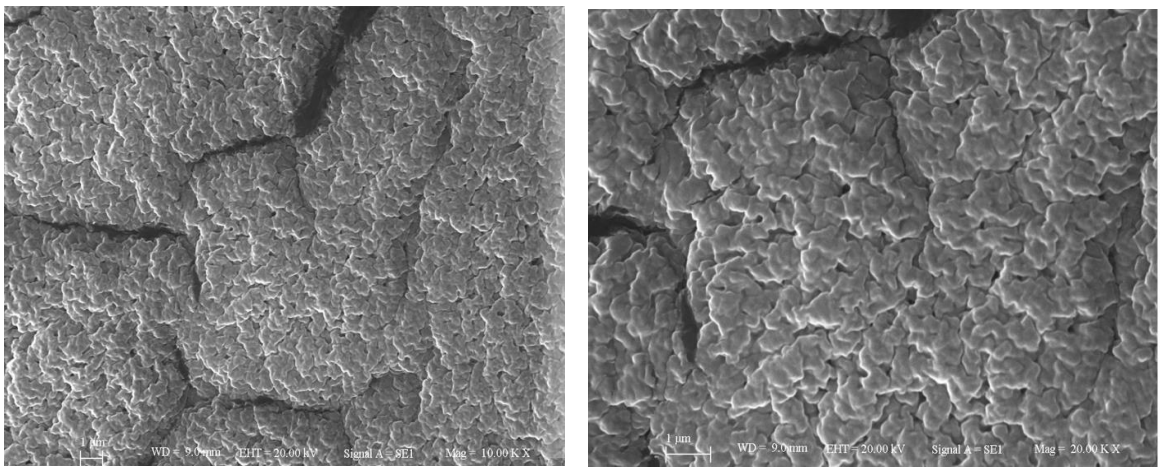
Amberlite IRA 958 reçinesine ait FTIR spektrumu Şekil 4.37'de gösterilmektedir. Amberlite IRA 958'in bazı karakteristik bantları vardır. Şekil 4.37 incelendiğinde, 3348 cm^{-1}'deki bant O-

H gruplarına, C-H bağları için keskin bir tepe gözlenmemiştir. 1634 cm^{-1}'deki pik amitin C-O gerilmesine, 1562 cm^{-1}'deki pik amidin N-H bağının bükülmesine ve 1480, 1446 cm^{-1}'deki pikler CH_2 bağına atfedilir. Amberlite IRA 958 reçinelerinin spektrumda 1397 cm^{-1}'deki pik alkan gruplarının CH_3 bükülmesini gösterirken, 1089 cm^{-1}'deki pik üçüncül alifatik aminin C-N gerilimini göstermektedir. 967 ve 914 cm^{-1}'deki bantlar esterlerin veya karboksilli asidin C-O bağlarının gerilmesine atfedilir[60,61].

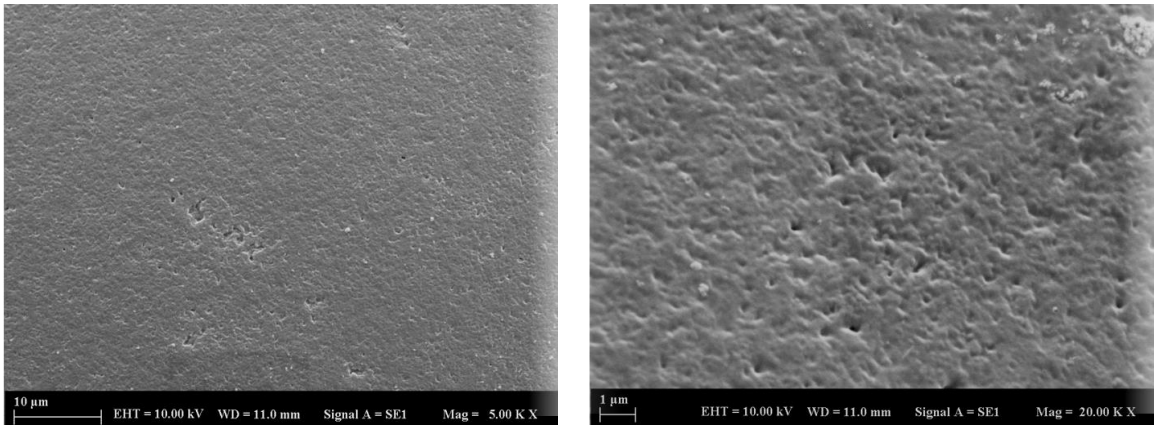


Şekil 4.37: Amberlite IRA 958 FTIR spektrumu.

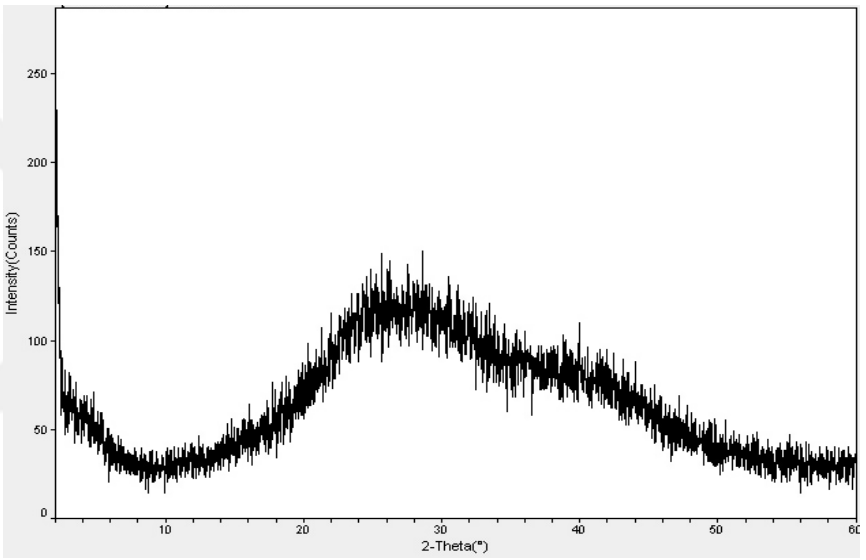
Amberlite IRA 958 reçinesinin adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri Şekil 4.38'de görülmektedir. Şekil 4.39 akrilik asit ile adsorpiyon sonrası SEM görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.38: Amberlite IRA 958'in adsorpsiyon öncesi SEM görüntüleri.



Şekil 4.39: Amberlite IRA 958'in adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.



Şekil 4.40: Amberlite IRA 958'in akrilik asitle adsorpsiyonu sonrası XRD görüntüleri.

Şekil 4.40'ta XRD analiz sonuçları görülmektedir. XRD sonuçları incelendiğinde, Amberlite IRA 958 modelinde kristal yapıya karşılık gelen 39.98'de karakteristik bir kırınım zirvesi gözlenmiştir. Bu durum Amberlite 958'nin kristal yapıda olduğunu gösterir. Amberlite IRA 958'in yüzey alanı ise BET analizi ile 17,8274 m^2/g olarak ölçülmüştür.

4.2. ADSORPSİYON DENEMELERİ

Adsorpsiyon denemelerinde ilk önce akrilik asit ile sentezlenen her bir adsorban için ve reçineler için optimum denge süreleri bulunmuş, sonrasında bulunan bu optimum denge sürelerinde farklı başlangıç asit konsantrasyonlarında akrilik asit çözeltileri hazırlanarak denemeler gerçekleştirilmiş, adsorplanan madde derişiminin adsorpsiyona etkisi gözlemlenmiştir. Sonra adsorban dozları değiştirilerek adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiş ve

optimum adsorban bulunmuştur. Ayrıca bulunan optimum denge süresinde, farklı sıcaklıklar seçilerek adsorpsiyon denemeleri yapılmıştır.

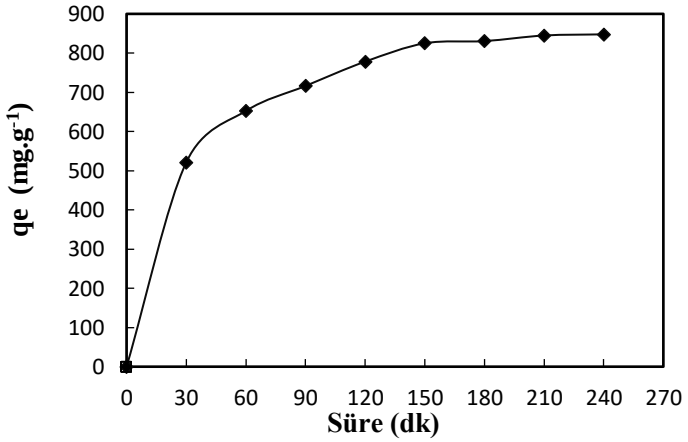
4.2.1. Akrilik Asidin SnO_2 ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.1.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, sentezlenen ve 250 ^{0}C'de kalsine edilmiş SnO_2 ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g SnO_2; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar tablo ve şekil çizilerek gösterilmiştir. Tablo 4.1 ve Şekil 4.41'de belirtildiği gibi, akrilik asidin SnO_2 ile adsorpsiyonu ilk 120 dakikada hızlıca arttığı gözlemlenmiş ve adsorpsiyonun optimum dengesine 210 dakikada ulaştığı görülmüştür. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 210 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1: SnO_2 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zaman içinde 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 %
1,31	9,47	94,70	30	1,24	89,21	520,97	5,80
1,31	9,47	94,70	60	1,22	88,27	652,30	6,79
1,31	9,47	94,70	90	1,21	87,31	716,19	7,81
1,31	9,47	94,70	120	1,20	86,89	778,14	8,25
1,31	9,47	94,70	150	1,19	86,31	824,92	8,86
1,31	9,47	94,70	180	1,19	86,11	830,57	9,07
1,31	9,47	94,70	210	1,20	86,48	844,82	8,68
1,31	9,47	94,70	240	1,19	86,28	847,78	8,89



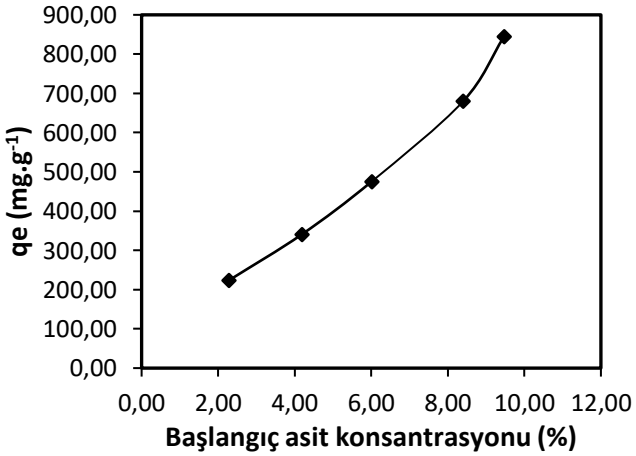
Şekil 4.41: SnO_2 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zaman içinde değişimi.

4.2.1.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g sentezlenen SnO_2 kullanılarak belirlenen optimum denge süresinde yani 210 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin derişimi değiştirilerek etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.2'de ve Şekil 4.42'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin derişimi arttıkça, sentezlenen SnO_2'nin adsorpladığı akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.2: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
2,05	2,28	22,80	25	0,28	20,54	223,54	9,91
3,83	4,19	41,90	25	0,53	38,31	340,94	8,56
5,52	6,01	60,10	25	0,76	55,23	475,47	8,13
7,69	8,40	84,00	25	1,06	76,91	679,55	8,41
8,65	9,47	94,70	25	1,20	86,48	844,82	8,68



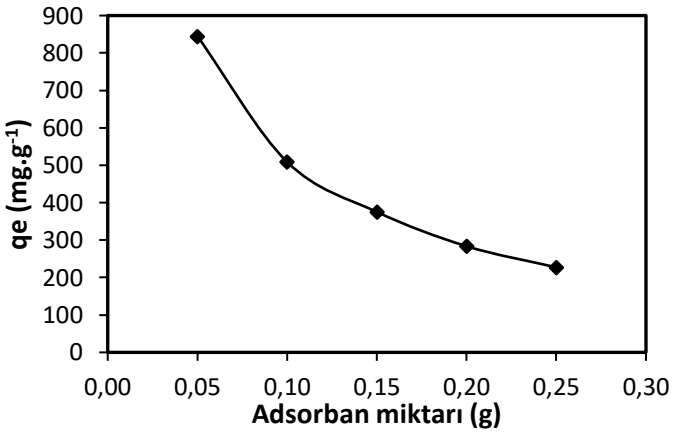
Şekil 4.42: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.1.3. SnO_2 Dozlarının Etkisi

SnO_2 miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. SnO_2 metal oksitleri bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de deneyler yapılmıştır. Bu denemeler ait Tablo 4.3 ve Şekil 4.43'deki gibi aonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.43' de görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.3: SnO_2 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	SnO_2 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,31	9,47	94,70	0,05	1,20	86,48	844,82	8,68
1,31	9,47	94,70	0,10	1,20	86,73	508,81	11,37
1,31	9,47	94,70	0,15	1,20	86,48	375,31	11,62
1,31	9,47	94,70	0,20	1,19	86,45	283,68	11,66
1,31	9,47	94,70	0,25	1,19	86,45	227,24	11,65



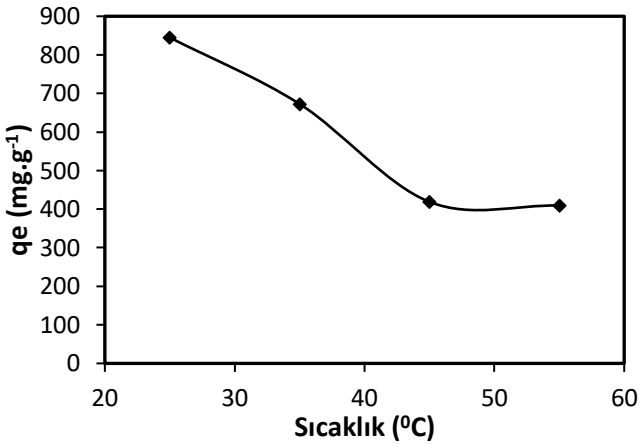
Şekil 4.43: SnO_2 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2.1.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Sentezlenen SnO_2 metal oksitleri tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 210 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g SnO_2 metal oksidi ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.4 ve Şekil 4.44' te açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin SnO_2 metal oksitleriyle adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.4: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,31	9,47	94,70	25	1,20	86,48	844,82	8,68
1,31	9,47	94,70	35	1,26	91,02	672,52	6,98
1,31	9,47	94,70	45	1,29	93,53	418,81	4,41
1,31	9,47	94,70	55	1,29	93,65	409,16	4,29



Şekil 4.44: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

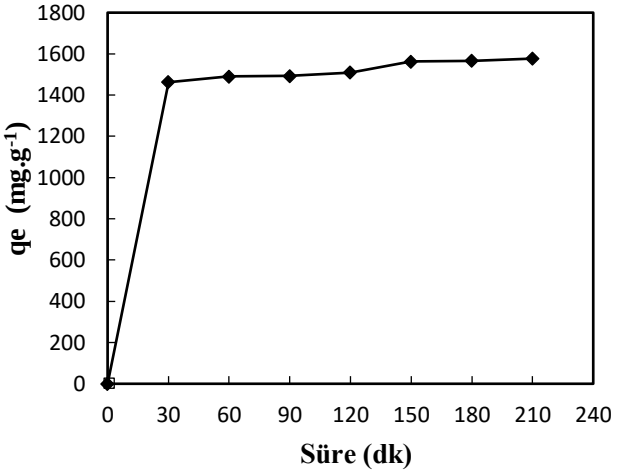
4.2.2. Akrilik Asidin CaO ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.2.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, sentezlenen ve 250 ^{0}C'de kalsine edilmiş CaO ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g CaO; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar tablo ve şekil çizilerek gösterilmiştir. Tablo 4.5 ve Şekil 4.45 de belirtildiği gibi, akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonu ilk 30 dakikada hızlı bir şekilde artmış ve adsorpsiyonun optimum denge değerine 210 dakikada ulaştığı belirlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 210 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.5: CaO ile akrilik asidin 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 %
1,33	9,595	95,95	30	1,126	81,18	1463,42	15,39
1,33	9,595	95,95	60	1,121	80,78	1490,78	15,81
1,33	9,595	95,95	90	1,119	80,70	1492,75	15,89
1,33	9,595	95,95	120	1,117	80,51	1509,68	16,09
1,33	9,595	95,95	150	1,110	80,03	1563,30	16,60
1,33	9,595	95,95	180	1,106	79,71	1566,57	16,92
1,33	9,595	95,95	210	1,108	79,85	1577,13	16,78
1,33	9,595	95,95	240	1,109	79,94	1575,41	16,69



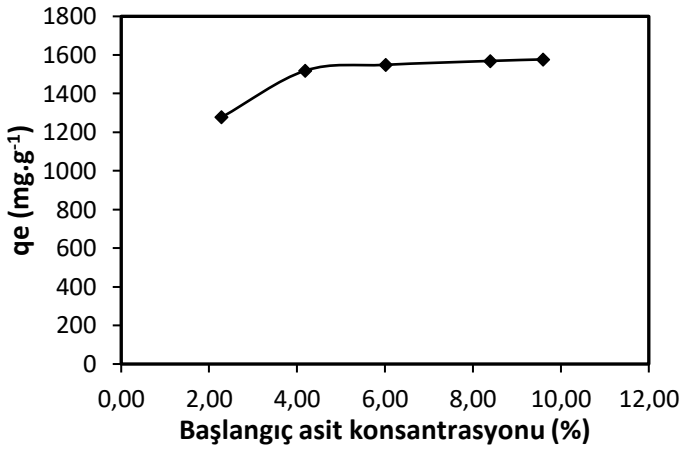
Şekil 4.45: CaO ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.2.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g sentezlenen CaO kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 210 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin derişimi değiştirilerek etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.6'da ve Şekil 4.46'da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin konsantrasyonu arttıkça, sentezlenen CaO 'nun adsorpladığı akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.6: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
0,98	2,28	22,80	25	0,135	9,76	1277	57,20
2,64	4,19	41,90	25	0,365	26,37	1519	37,07
4,46	6,01	60,10	25	0,618	44,57	1549	25,85
6,80	8,40	84,00	25	1,943	67,98	1569	19,05
7,99	9,59	95,95	25	1,108	79,85	1577	16,78



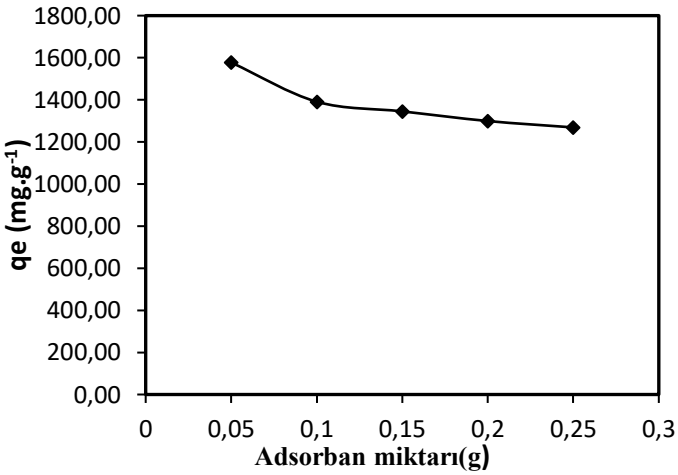
Şekil 4.46: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.2.3. CaO Dozlarının Etkisi

CaO miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. CaO metal oksitleri bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemelere Tablo 4.7 ve Şekil 4.47'deki gibi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.47'de görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.7: CaO dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	CaO (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,33	9,595	95,95	0,05	1,10	79,85	1577,13	16,78
1,33	9,595	95,95	0,10	0,92	66,91	1391,07	30,26
1,33	9,595	95,95	0,15	0,77	55,56	1345,06	42,10
1,33	9,595	95,95	0,20	0,60	43,92	1299,34	54,22
1,33	9,595	95,95	0,25	0,45	32,74	1268,74	65,88



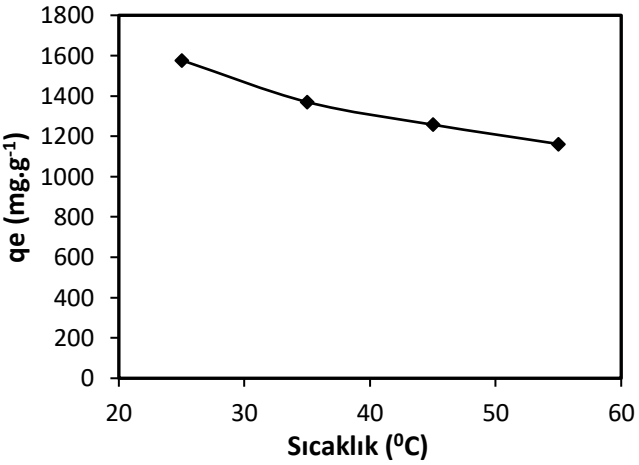
Şekil 4.47: CaO dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2.2.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Sentezlenen CaO metal oksitleri tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 210 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g CaO metal oksidi ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.8 ve Şekil 4.48' de açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin CaO metal oksitleriyle adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.8: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,33	9,595	95,95	25	1,10	79,85	1577,13	16,78
1,33	9,595	95,95	35	1,13	81,58	1369,89	14,97
1,33	9,595	95,95	45	1,15	83,16	1257,49	13,33
1,33	9,595	95,95	55	1,17	84,43	1161,59	12,01



Şekil 4.48: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

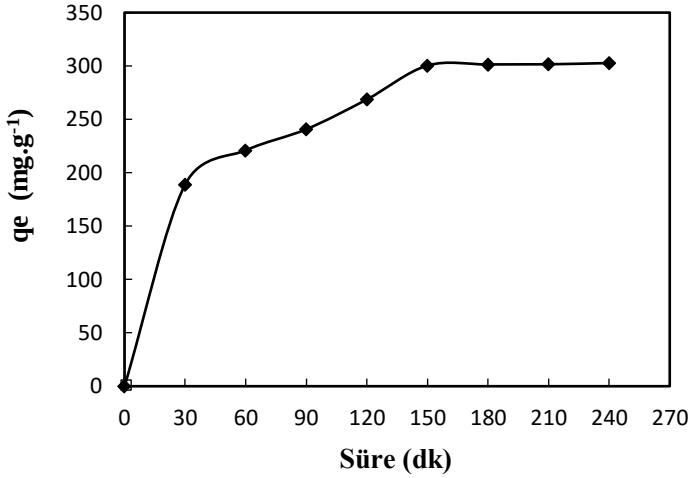
4.2.3. Akrilik Asidin Fe_2O_3 ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.3.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, sentezlenen ve 250 ^{0}C'de kalsine edilmiş Fe_2O_3 ile adsorpsiyonunda optimum denge süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g Fe_2O_3; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar tablo ve şekil çizilerek gösterilmiştir. Tablo 4.9 ve Şekil 4.49 da belirtildiği gibi, akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonu ilk 30 dakikada 150 dakikaya kadar artmış ve adsorpsiyonun optimum dengesine 180 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.9: Fe_2O_3 ile akrilik asidin 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 %
1,29	9,362	93,62	30	1,2712	91,61	188,91	2,15
1,29	9,362	93,62	60	1,2678	91,36	220,93	2,41
1,29	9,362	93,62	90	1,2668	91,29	240,73	2,49
1,29	9,362	93,62	120	1,2619	90,94	268,65	2,87
1,29	9,362	93,62	150	1,2550	90,44	300,39	3,40
1,29	9,362	93,62	180	1,2562	90,52	301,44	3,31
1,29	9,362	93,62	210	1,2557	90,49	301,59	3,34
1,29	9,362	93,62	240	1,2563	90,53	302,76	3,30



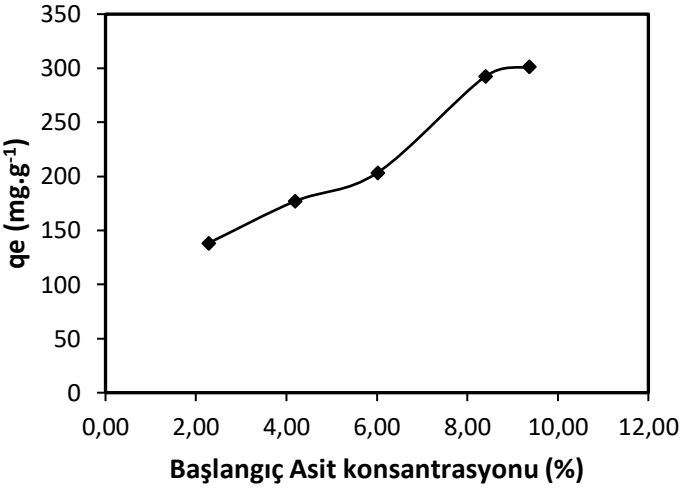
Şekil 4.49: Fe_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.3.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g sentezlenen Fe_2O_3 kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin başlangıç asit derişimi değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.10'da ve Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin derişimi arttıkça, sentezlenen Fe_2O_3 'ün adsorpladığı akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.10: Akrilik asit derişiminin artışının etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
2,14	2,28	22,80	25	0,2969	21,39	138	6,17
4,02	4,19	41,90	25	0,5575	40,18	177	4,12
5,81	6,01	60,10	25	0,8057	58,06	203	3,41
8,11	8,40	84,00	25	1,1256	81,12	292	3,40
9,05	9,36	93,62	25	1,2562	90,52	301,44	3,31



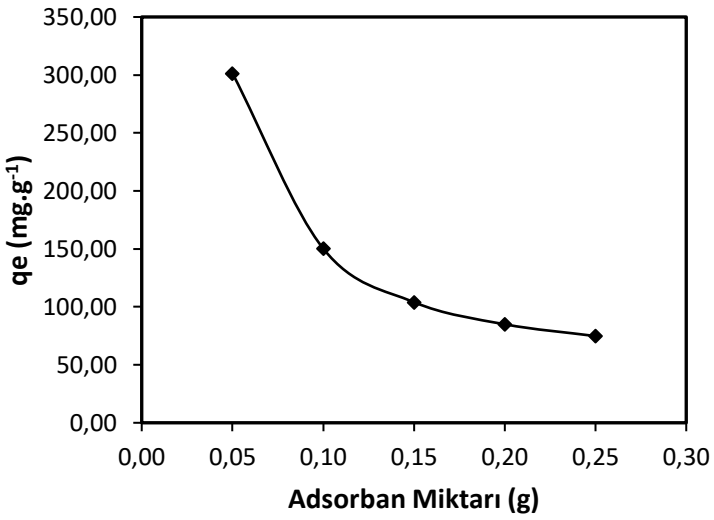
Şekil 4.50: Akrilik asit derişiminin artışının etkisi.

4.2.3.3. Fe_2O_3 Dozlarının Etkisi

Fe_2O_3 miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. Fe_2O_3 metal oksitleri bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler Tablo 4.11 ve Şekil 4.51'deki gibi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.51'de görülebileceği üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.11: Fe_2O_3 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Fe_2O_3 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,29	9,362	93,62	0,05	1,256	90,52	301,44	3,31
1,29	9,362	93,62	0,10	1,255	90,48	150,27	3,35
1,29	9,362	93,62	0,15	1,257	90,58	104,04	3,25
1,29	9,362	93,62	0,20	1,250	90,08	84,97	3,79
1,29	9,362	93,62	0,25	1,247	89,85	74,79	4,02



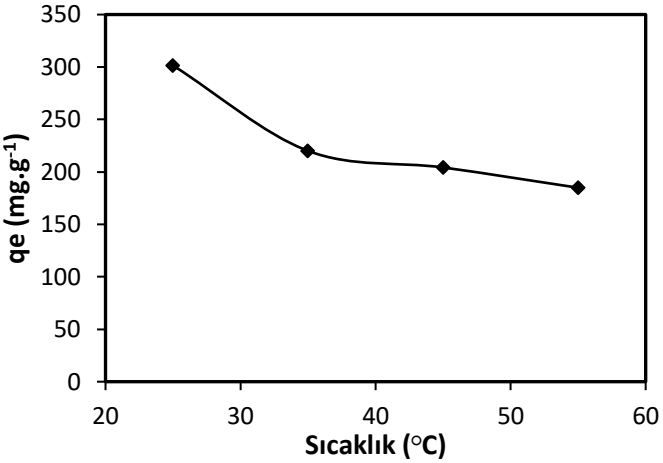
Şekil 4.51: Fe_2O_3 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2.3.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Sentezlenen Fe_2O_3 metal oksitleri tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 180 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g Fe_2O_3 metal oksidi ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.12 ve Şekil 4.52' de açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin Fe_2O_3 metal oksitleriyle adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.12: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,29	9,362	93,62	25	1,2562	90,52	301,44	3,31
1,29	9,362	93,62	35	1,3021	93,84	220,04	2,20
1,29	9,362	93,62	45	1,2729	91,73	204,21	2,02
1,29	9,362	93,62	55	1,2745	91,85	184,92	1,90



Şekil 4.52: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

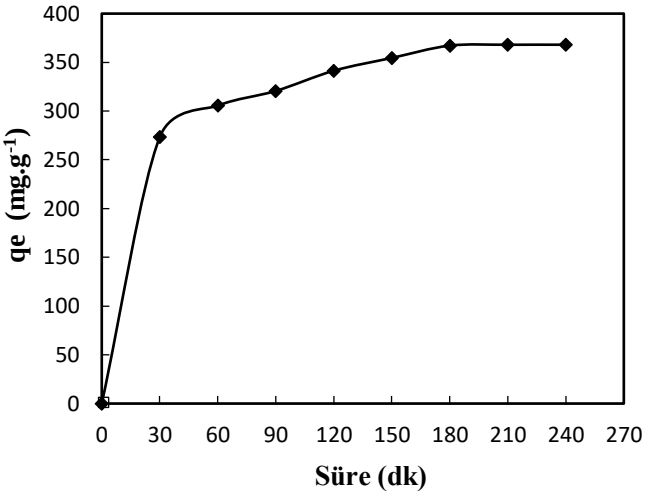
4.2.4. Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.4.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, sentezlenen ve 600 ^{0}C'de kalsine edilmiş $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g $MnFe_2O_4$ kullanılarak; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar tablo ve şekil çizilerek gösterilmiştir. Tablo 4.13 ve Şekil 4.53 de belirtildiği gibi, akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonu ilk 150 dakika boyunca artmış ve adsorpsiyonun optimum dengesine 180 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.13: $MnFe_2O_4$ ile akrilik asidin 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 %
1,29	9,362	93,62	30	1,2623	90,96	273,35	2,84
1,29	9,362	93,62	60	1,2570	90,58	305,54	3,24
1,29	9,362	93,62	90	1,2531	90,30	320,68	3,54
1,29	9,362	93,62	120	1,2519	90,21	341,38	3,64
1,29	9,362	93,62	150	1,2500	90,08	354,53	3,78
1,29	9,362	93,62	180	1,2488	89,99	367,14	3,88
1,29	9,362	93,62	210	1,2473	89,88	368,04	3,99
1,29	9,362	93,62	240	1,2487	89,98	368,06	3,88



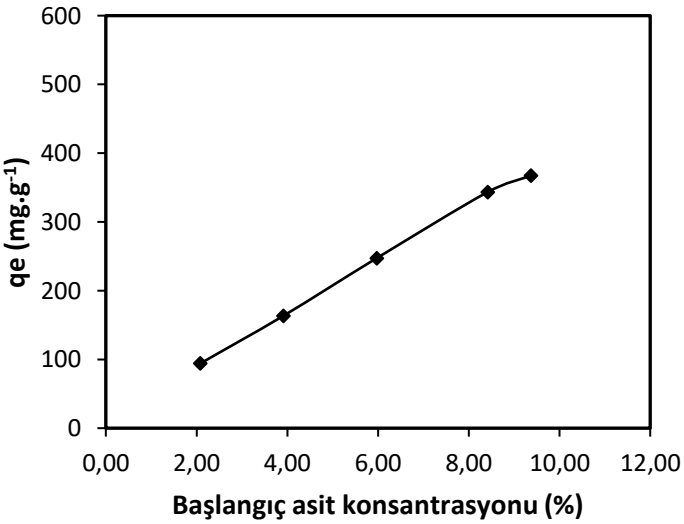
Şekil 4.53: $MnFe_2O_4$ ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.4.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g sentezlenen $MnFe_2O_4$ kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin başlangıç asit derişimi değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.14'de ve Şekil 4.54'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin derişimi arttıkça, sentezlenen $MnFe_2O_4$ 'ün adsorpladığı akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.14: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,99	2,08	20,80	25	0,2762	19,90	94	4,35
3,71	3,91	39,10	25	0,5144	37,07	163	4,19
5,72	5,96	59,60	25	0,7938	57,21	247	4,05
8,08	8,41	84,10	25	1,1214	80,81	343	3,91
9,00	9,36	93,62	25	1,2488	89,90	367	3,88



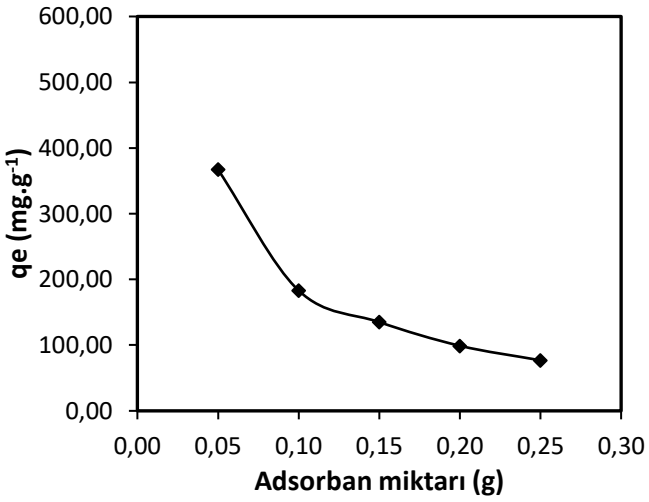
Şekil 4.54: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.4.3. $MnFe_2O_4$ Dozlarının Etkisi

$MnFe_2O_4$ miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. $MnFe_2O_4$ metal oksitleri bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler Tablo 4.15 ve Şekil 4.55'deki gibi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.55'de görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.15: $MnFe_2O_4$ dozlarının etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	$MnFe_2O_4$ (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,29	9,362	93,62	0,05	1,2488	89,99	367,14	3,88
1,29	9,362	93,62	0,10	1,2469	89,85	183,11	4,02
1,29	9,362	93,62	0,15	1,2443	89,67	135,09	4,22
1,29	9,362	93,62	0,20	1,2436	89,62	99,03	4,27
1,29	9,362	93,62	0,25	1,2431	89,58	76,88	4,31



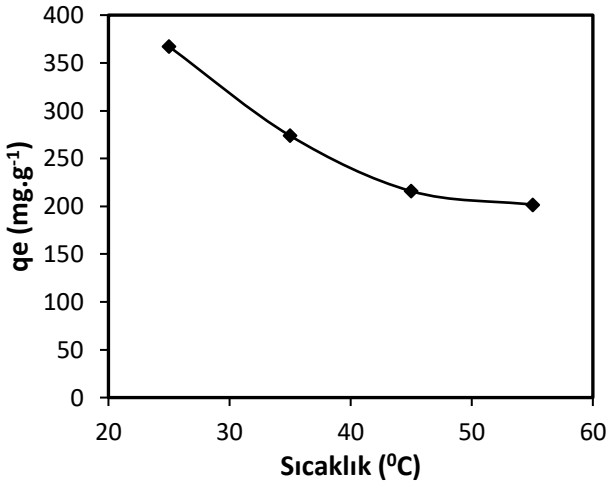
Şekil 4.55: $MnFe_2O_4$ dozlarının etkisi.

4.2.4.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Sentezlenen $MnFe_2O_4$ metal oksitleri tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 180 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g $MnFe_2O_4$ metal oksidi ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.16 ve Şekil 4.56' da açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin $MnFe_2O_4$ metal oksitleriyle adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.16: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,29	9,362	93,62	25	1,2488	89,99	367,14	3,88
1,29	9,362	93,62	35	1,2959	93,39	273,85	2,67
1,29	9,362	93,62	45	1,2687	91,42	215,89	2,35
1,29	9,362	93,62	55	1,2710	91,59	201,74	2,17



Şekil 4.56: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

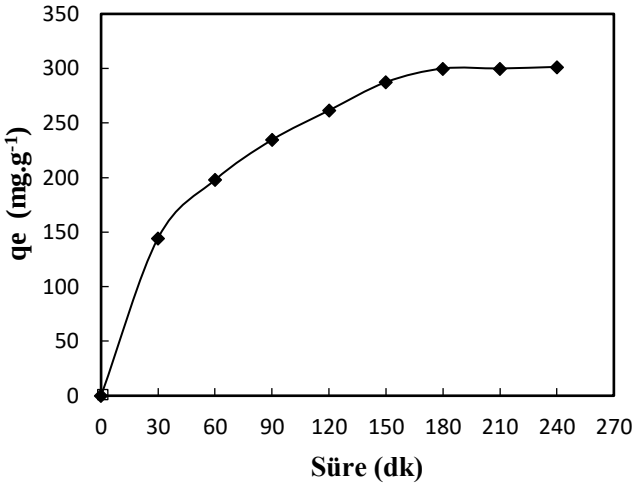
4.2.5. Akrilik Asidin Al_2O_3 ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.5.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, sentezlenen ve 105 ^{0}C'de kalsine edilmiş Al_2O_3 ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g Al_2O_3 kullanılarak; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar tablo ve şekil çizilerek gösterilmiştir. Tablo 4.17 ve Şekil 4.57' de belirtildiği gibi, akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonu ilk 30 dakikadan 150 dakikaya kadar hızlıca artmış ve adsorpsiyonun optimum denge süresine 180 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.17: Al_2O_3 ile akrilik asidin 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 %
1,29	9,362	93,62	30	1,2788	92,15	144,50	1,57
1,29	9,362	93,62	60	1,2718	91,65	197,85	2,11
1,29	9,362	93,62	90	1,2666	91,27	234,56	2,51
1,29	9,362	93,62	120	1,2643	91,11	261,54	2,68
1,29	9,362	93,62	150	1,2575	90,62	287,47	3,20
1,29	9,362	93,62	180	1,2574	90,61	299,96	3,21
1,29	9,362	93,62	210	1,2569	90,58	300,01	3,25
1,29	9,362	93,62	240	1,2588	90,71	301,46	3,10



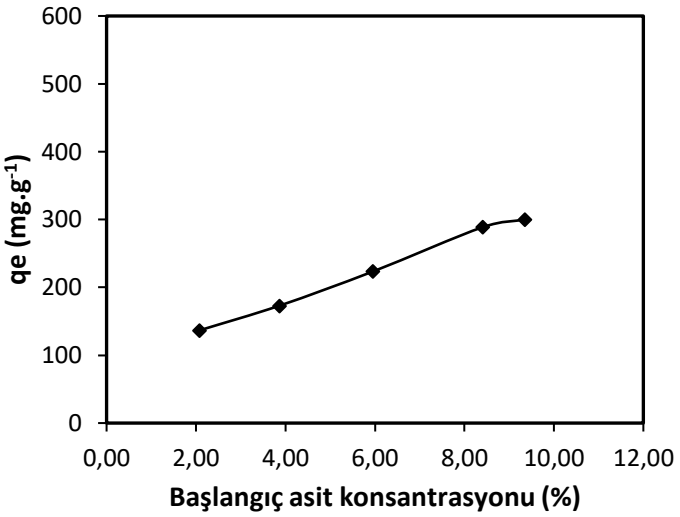
Şekil 4.57: Al_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.5.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g sentezlenen Al_2O_3 kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin başlangıç asit derişimi değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.18'de ve Şekil 4.58'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin derişimi arttıkça, sentezlenen Al_2O_3 tarafından adsorplanan akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.18: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,94	2,08	20,80	25	0,2692	19,40	137	6,76
3,69	3,87	38,70	25	0,5123	36,92	173	4,59
5,75	5,96	59,60	25	0,7973	57,46	224	3,63
8,12	8,41	84,10	25	1,1275	81,25	289	3,39
9,06	9,36	93,62	25	1,2574	90,61	299,96	3,21



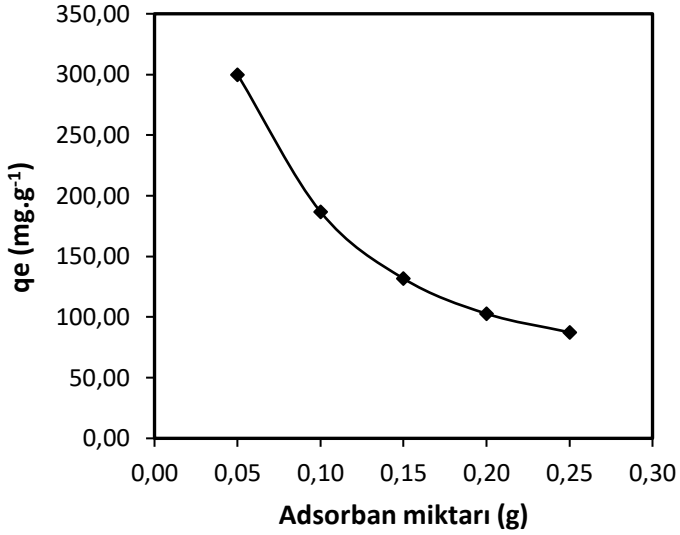
Şekil 4.58: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.5.3. Al_2O_3 Dozlarının Etkisi

Al_2O_3 miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. Al_2O_3 metal oksitleri bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler Tablo 4.19 ve Şekil 4.59'daki gibi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.59'da görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.19: Al_2O_3 dozlarının etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Al_2O_3 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,29	9,362	93,62	0,05	1,2574	90,61	299,96	3,21
1,29	9,362	93,62	0,10	1,2451	89,73	186,78	4,16
1,29	9,362	93,62	0,15	1,2451	89,73	131,69	4,16
1,29	9,362	93,62	0,20	1,2412	89,44	102,73	4,46
1,29	9,362	93,62	0,25	1,2368	89,13	87,41	4,80



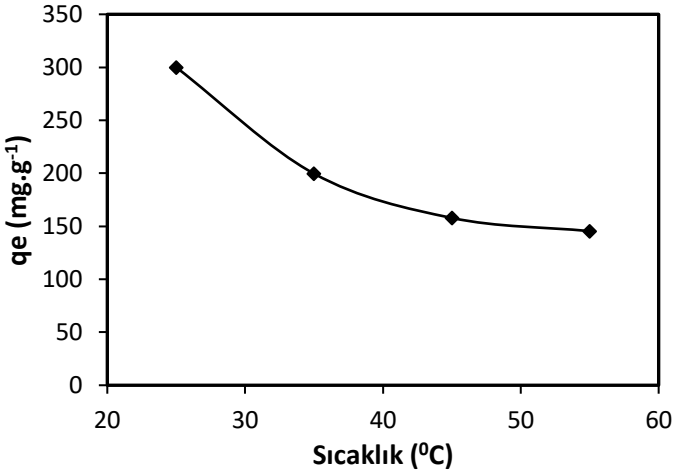
Şekil 4.59: Al_2O_3 dozlarının etkisi.

4.2.5.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Sentezlenen Al_2O_3 metal oksitleri tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 180 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g Al_2O_4 metal oksidi ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.20 ve Şekil 4.60' da açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin Al_2O_3 metal oksitleriyle adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.20: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,29	9,362	93,62	25	1,2574	90,61	299,96	3,21
1,29	9,362	93,62	35	1,3053	94,06	199,64	2,01
1,29	9,362	93,62	45	1,2765	91,99	157,83	1,75
1,29	9,362	93,62	55	1,2794	92,19	145,41	1,52



Şekil 4.60: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

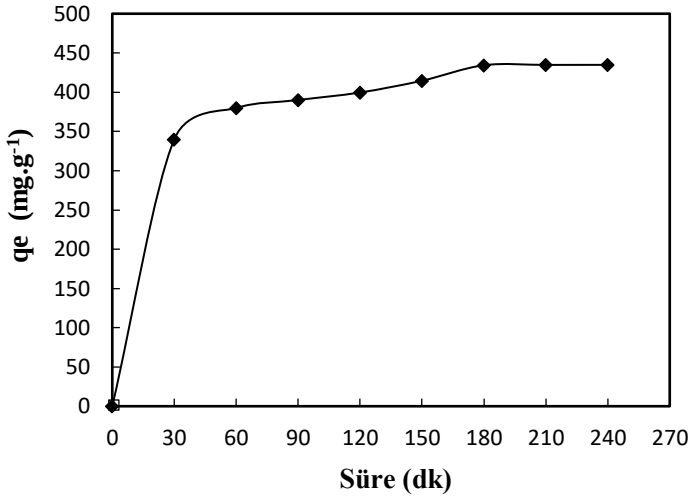
4.2.6. Akrilik Asidin Bi_2O_3 ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.6.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, sentezlenen ve 105 ^{0}C'de kalsine edilmiş Bi_2O_3 ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g Bi_2O_3 kullanılarak; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar tablo ve şekil çizilerek gösterilmiştir. Tablo 4.21 ve Şekil 4.61 de belirtildiği gibi, akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonu ilk 30 dakikadan 150 dakikaya kadar hızlıca artmış ve adsorpsiyonun optimum dengesine 180 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.21: Bi_2O_3 ile akrilik asidin 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 %
1,29	9,362	93,62	30	1,2475	89,90	339,91	3,98
1,29	9,362	93,62	60	1,2476	89,91	379,86	3,97
1,29	9,362	93,62	90	1,2437	89,63	390,05	4,26
1,29	9,362	93,62	120	1,2433	89,60	394,64	4,30
1,29	9,362	93,62	150	1,2382	89,23	414,65	4,69
1,29	9,362	93,62	180	1,2350	89,00	434,38	4,94
1,29	9,362	93,62	210	1,2399	89,35	434,78	4,56
1,29	9,362	93,62	240	1,2382	89,23	434,84	4,69



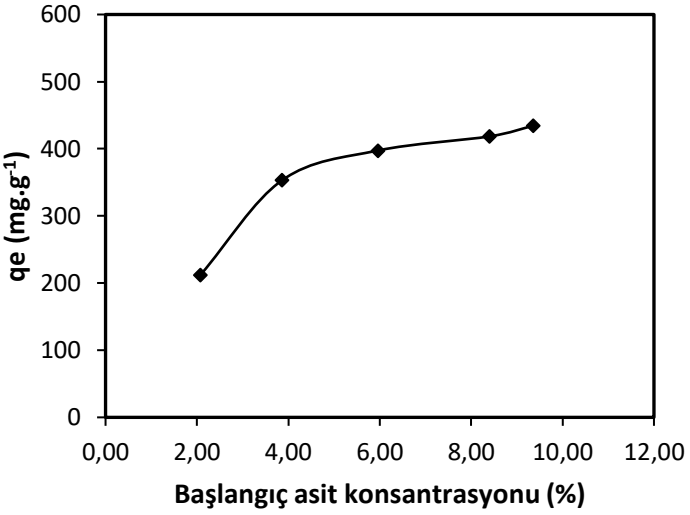
Şekil 4.61: Bi_2O_3 ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.6.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g sentezlenen Bi_2O_3 kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin başlangıç asit derişimi değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.22'de ve Şekil 4.62'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin derişimi arttıkça, sentezlenen Bi_2O_3 'ün adsorpladığı akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.22: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,89	2,08	20,80	25	0,2622	18,90	212	9,18
3,52	3,87	38,70	25	0,4880	35,17	353	9,10
5,58	5,96	59,60	25	0,7748	55,83	397	6,35
7,98	8,41	84,10	25	1,1078	79,83	419	5,07
8,90	9,36	93,62	25	1,2350	89,00	434	4,94



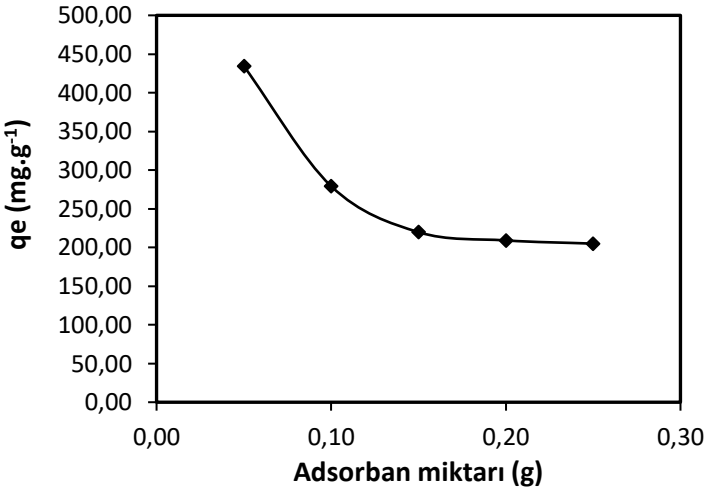
Şekil 4.62: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.6.3. Bi_2O_3 Dozlarının Etkisi

Bi_2O_3 miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. Bi_2O_3 metal oksitleri bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler Tablo 4.23 ve Şekil 4.63'deki g,bi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.63'de görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.23: Bi_2O_3 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Bi_2O_3 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,29	9,362	93,62	0,05	1,2350	89,00	434,38	4,94
1,29	9,362	93,62	0,10	1,2221	87,07	279,16	5,93
1,29	9,362	93,62	0,15	1,2024	86,65	219,79	7,45
1,29	9,362	93,62	0,20	1,1766	84,79	209,12	9,43
1,29	9,362	93,62	0,25	1,1548	83,22	204,95	11,11



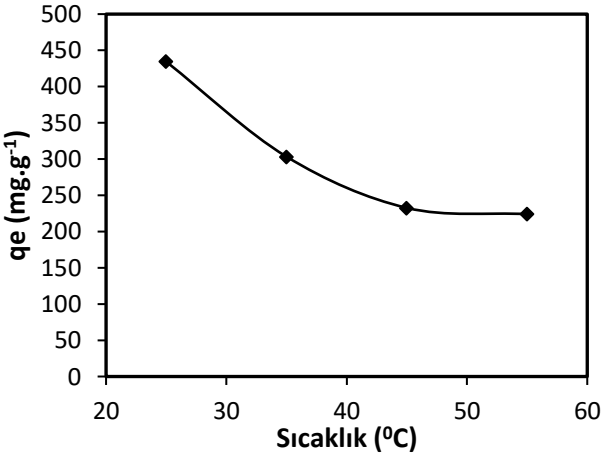
Şekil 4.63: Bi_2O_3 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2.6.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Sentezlenen Bi_2O_3 metal oksitleri tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 180 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g Bi_2O_4 metal oksidi ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.24 ve Şekil 4.64' de açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin Bi_2O_3 metal oksitleriyle adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.24: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,29	9,362	93,62	25	1,2350	89,00	434,38	4,94
1,29	9,362	93,62	35	1,2905	93,00	303,31	3,12
1,29	9,362	93,62	45	1,2662	91,25	232,66	2,53
1,29	9,362	93,62	55	1,2658	91,22	223,99	2,57



Şekil 4.64: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

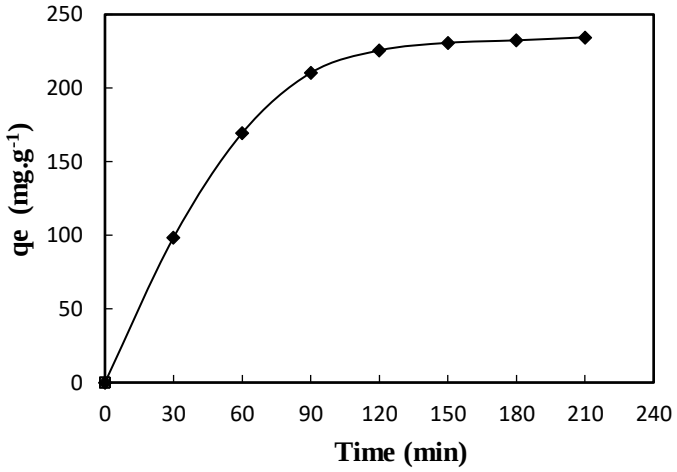
4.2.7. Akrilik Asidin IRA 67 Amberlite Reçinesi ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.7.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, Amberlite IRA 67 reçinesi ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g reçine kullanılarak; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar tablo ve şekil çizilerek gösterilmiştir. Tablo 4.25 ve Şekil 4.65 de belirtildiği gibi, akrilik asidin IRA 67 ile adsorpsiyonu ilk 120 dakikaya kadar hızlıca artmış ve adsorpsiyonun optimum dengesine 180 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.25: IRA 67 Amberlite ile akrilik asidin 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 %
1,30	9,40	94,00	30	1,2902	92,97	98,49	1,09
1,30	9,40	94,00	60	1,2798	92,23	169,39	1,88
1,30	9,40	94,00	90	1,2742	91,82	210,32	2,31
1,30	9,40	94,00	120	1,2724	91,69	225,58	2,46
1,30	9,40	94,00	150	1,2752	91,89	230,75	2,24
1,30	9,40	94,00	180	1,2712	91,61	232,44	2,54
1,30	9,40	94,00	210	1,2718	91,65	234,50	2,50



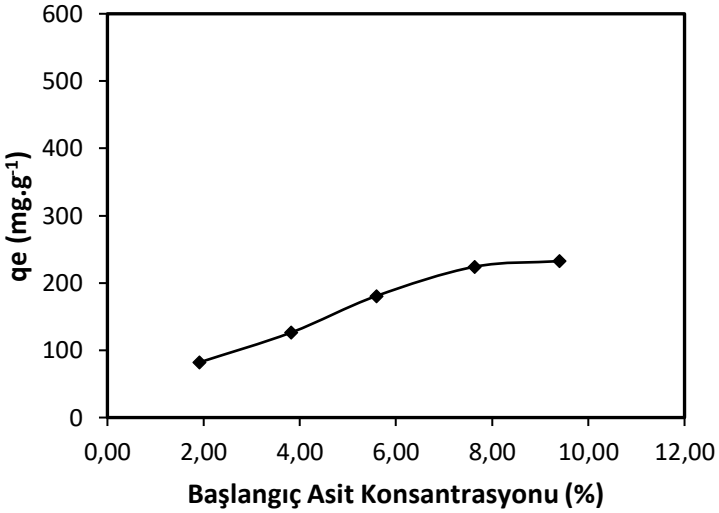
Şekil 4.65: IRA 67 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.7.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g Amberlite IRA 67 kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin başlangıç asit derişim değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.26'da ve Şekil 4.66'da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin konsantrasyonu arttıkça, Amberlite IRA 67'nin adsorpladığı akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.26: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,90	2,08	20,80	25	0,2524	18,19	82	4,28
3,82	3,87	38,70	25	0,5116	36,89	126	3,43
5,59	5,96	59,60	25	0,7500	54,05	181	3,31
7,63	8,41	84,10	25	1,0270	74,01	224	3,00
9,40	9,40	94,00	25	1,2712	91,61	232	2,54



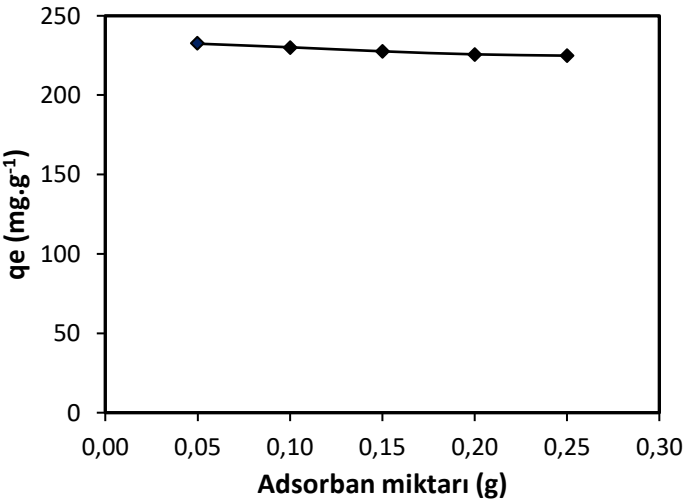
Şekil 4.66: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.7.3. IRA 67 Dozlarının Etkisi

Amberlite IRA 67 miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. Amberlite IRA 67 bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler Tablo 4.27 ve Şekil 4.67'deki gibi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.67'de görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.27: IRA 67 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Amberlit IRA 67 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,30	9,40	94,00	0,05	1,2712	91,61	232,44	2,54
1,30	9,40	94,00	0,10	1,2399	89,35	230,17	4,95
1,30	9,40	94,00	0,15	1,2104	87,23	227,64	7,21
1,30	9,40	94,00	0,20	1,1794	84,99	225,73	9,58
1,30	9,40	94,00	0,25	1,1492	82,81	224,91	11,90



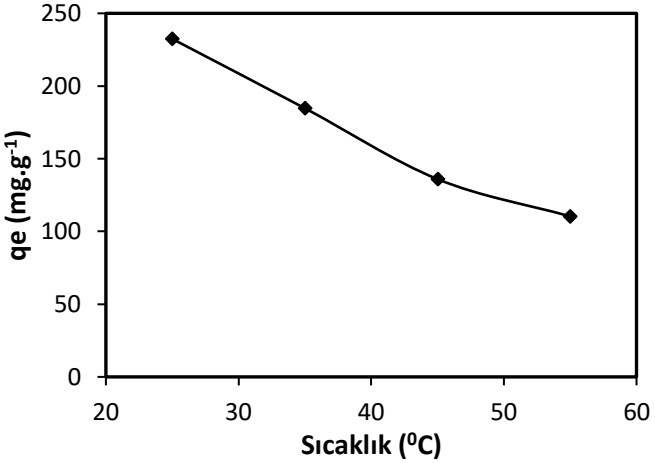
Şekil 4.67: IRA 67 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2.7.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Amberlite IRA 67 tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 180 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g Amberlite IRA 67 ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.28 ve Şekil 4.68' de açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin Amberlite IRA 67 ile adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.28: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,30	9,4	94	25	1,2712	91,61	232,44	5,24
1,30	9,4	94	35	1,2760	91,95	184,73	3,92
1,30	9,4	94	45	1,2825	92,42	136,00	3,42
1,30	9,4	94	55	1,2860	92,67	110,41	2,16



Şekil 4.68: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

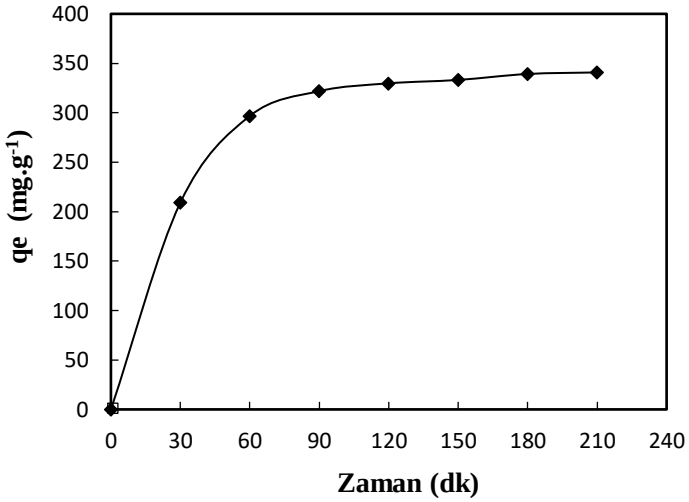
4.2.8. Akrilik Asidin IRA 96 Amberlite Reçinesi ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.8.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, Amberlite IRA 96 reçinesi ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g reçine kullanılarak; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar tablo ve şekil çizilerek gösterilmiştir. Tablo 4.29 ve Şekil 4.69 da belirtildiği gibi, akrilik asidin Amberlite IRA 96 ile adsorpsiyonu ilk 120 dakikaya kadar hızlıca artmış ve adsorpsiyonun optimum denge süresine 180 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.29: IRA 96 Amberlite ile akrilik asidin 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 %
1,31	9,44	94,40	30	1,2807	92,29	209,18	2,23
1,31	9,44	94,40	60	1,2675	91,34	296,77	3,24
1,31	9,44	94,40	90	1,2637	91,06	321,90	3,53
1,31	9,44	94,40	120	1,2629	91,01	329,75	3,59
1,31	9,44	94,40	150	1,2619	90,94	333,21	3,67
1,31	9,44	94,40	180	1,2621	90,95	339,23	3,65
1,31	9,44	94,40	210	1,2613	90,89	340,82	3,72



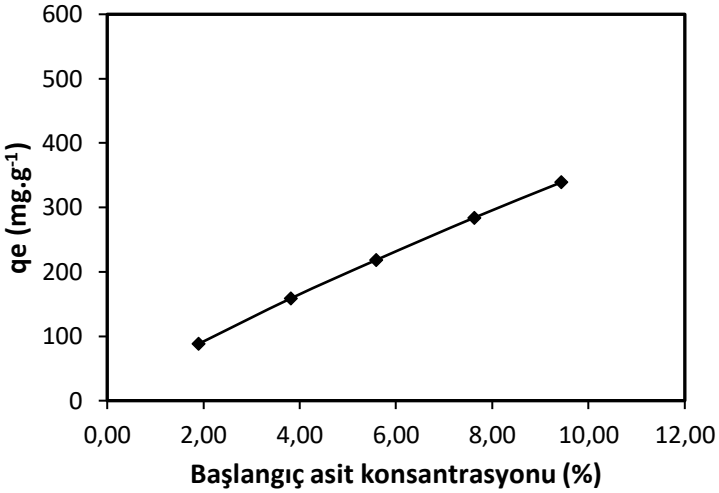
Şekil 4.69: IRA 96 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.8.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g Amberlite IRA 96 kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin başlangıç asit derişimi değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.30'da ve Şekil 4.70'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin derişimi arttıkça, Amberlite IRA 96 tarafından adsorplanan akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.30: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,90	2,08	20,80	25	0,2521	18,16	88	4,59
3,82	3,87	38,70	25	0,5077	36,58	159	4,23
5,59	5,96	59,60	25	0,7448	53,67	218	3,99
7,63	8,41	84,10	25	1,0197	73,48	284	3,69
9,40	9,44	94,40	25	1,2621	90,95	339,23	3,65



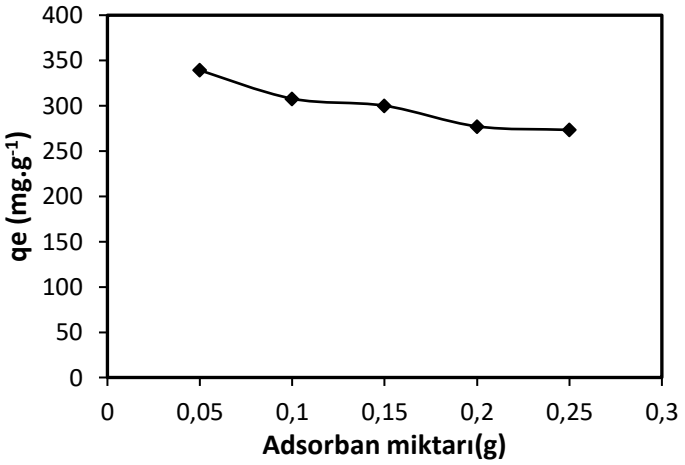
Şekil 4.70: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.8.3. IRA 96 Dozlarının Etkisi

Amberlite IRA 96 miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. Amberlite IRA 96 bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler Tablo 4.31 ve Şekil 4.71'deki gibi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.71'de görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.31: IRA 96 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Amberlit IRA 96 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,31	9,44	94,40	0,05	1,2621	90,95	339,23	3,65
1,31	9,44	94,40	0,10	1,2238	88,19	307,82	6,58
1,31	9,44	94,40	0,15	1,1851	85,40	300,04	9,54
1,31	9,44	94,40	0,20	1,1554	83,26	277,25	11,80
1,31	9,44	94,40	0,25	1,1187	80,62	273,36	14,60



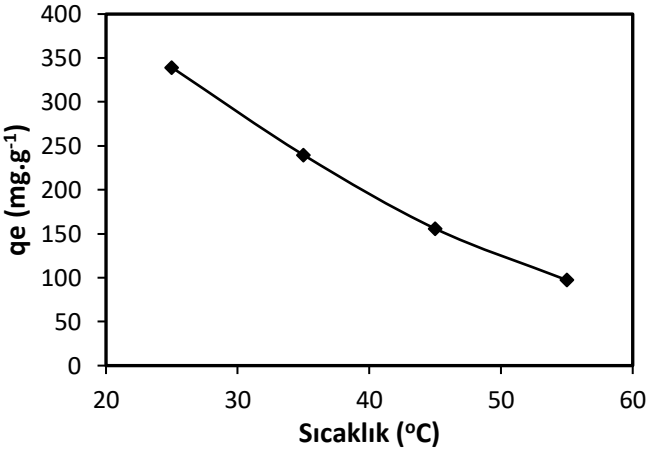
Şekil 4.71: IRA 96 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2.8.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Amberlite IRA 96 tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 180 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g Amberlite IRA 96 ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.32 ve Şekil 4.72' de açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin Amberlite IRA 96 ile adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.32: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,31	9,44	94,40	25	1,2619	90,94	339,23	4,98
1,31	9,44	94,40	35	1,2683	91,40	239,71	4,50
1,31	9,44	94,40	45	1,2796	92,21	155,86	3,65
1,31	9,44	94,40	55	1,2879	92,81	97,29	3,02



Şekil 4.72: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

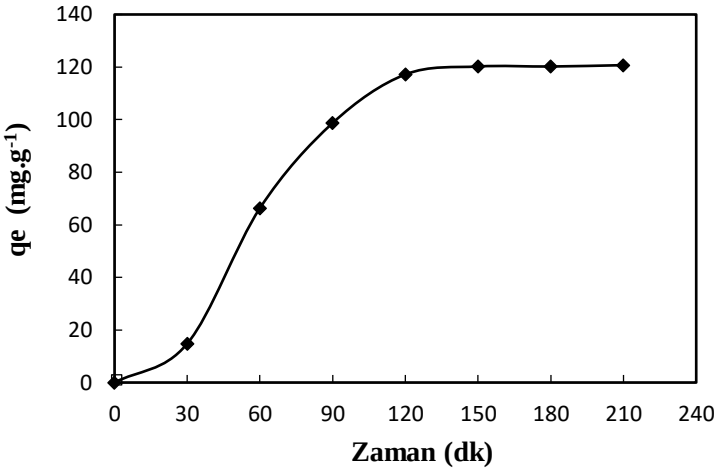
4.2.9. Akrilik Asidin IRA 400 Amberlite Reçinesi ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.9.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, Amberlite IRA 400 reçinesi ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g reçine kullanılarak; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan denemelere ait tablo ve şekiller gösterilmiştir. Tablo 4.33 ve Şekil 4.73 de belirtildiği gibi, akrilik asidin Amberlite IRA 400 ile adsorpsiyonu ilk 120 dakikaya kadar hızlıca artmış ve adsorpsiyonun optimum dengesine 180 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.33: IRA 400 Amberlite ile akrilik asidin 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 %
1,31	9,44	94,40	30	1,3078	94,25	14,81	0,16
1,31	9,44	94,40	60	1,3005	93,72	66,37	0,72
1,31	9,44	94,40	90	1,2957	93,37	98,73	1,09
1,31	9,44	94,40	120	1,2935	93,22	117,20	1,25
1,31	9,44	94,40	150	1,2928	93,16	120,22	1,31
1,31	9,44	94,40	180	1,2929	93,17	120,21	1,31
1,31	9,44	94,40	210	1,2927	93,15	120,73	1,32



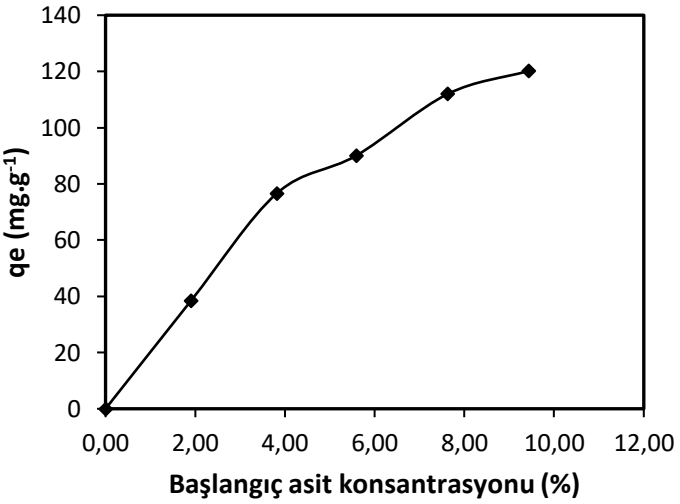
Şekil 4.73: IRA 400 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.9.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g Amberlite IRA 400 kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin başlangıç asit derişimi değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.34'de ve Şekil 4.74'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin konsantrasyonu arttıkça, Amberlite IRA 400' ün adsorpladığı akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.34: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,90	2,08	20,80	25	0,2589	18,66	38	2,01
3,82	3,87	38,70	25	0,5194	37,43	77	2,01
5,59	5,96	59,60	25	0,7630	54,98	90	1,64
7,63	8,41	84,10	25	1,0431	75,17	112	1,48
9,44	9,44	94,40	25	1,2929	93,17	120,21	1,31



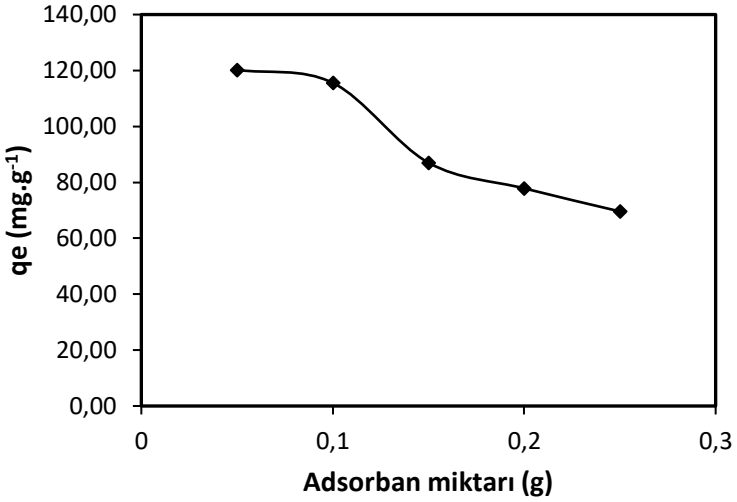
Şekil 4.74: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.9.3. IRA 400 Dozlarının Etkisi

Amberlite IRA 400 miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. Amberlite IRA 400 bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler Tablo 4.35 ve Şekil 4.75'deki gibi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.75'de görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.35: IRA 400 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Amberlit IRA 400 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,31	9,44	94,40	0,05	1,2929	93,17	120,21	1,31
1,31	9,44	94,40	0,10	1,2250	88,27	115,57	2,59
1,31	9,44	94,40	0,15	1,2214	88,02	87,00	2,87
1,31	9,44	94,40	0,20	1,2147	87,54	77,83	3,41
1,31	9,44	94,40	0,25	1,2091	87,13	69,58	3,85



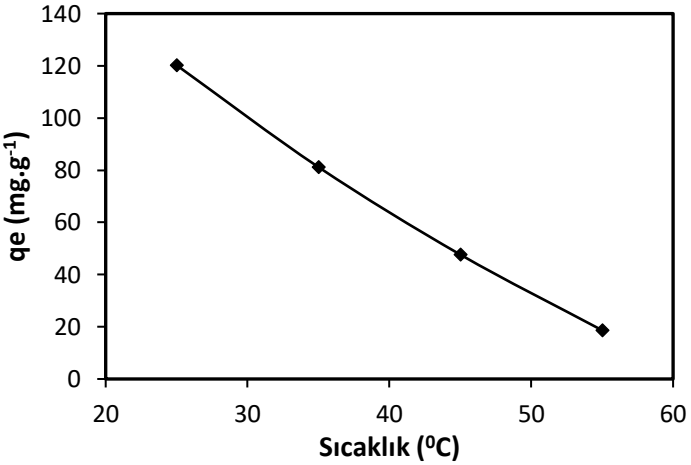
Şekil 4.75: IRA 400 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2.9.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Amberlite IRA 400 tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 180 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g Amberlite IRA 400 ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.36 ve Şekil 4.76' da açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin Amberlite IRA 400 ile adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.36: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,31	9,44	94,40	25	1,2929	93,17	120,21	2,00
1,31	9,44	94,40	35	1,2880	92,81	81,19	1,68
1,31	9,44	94,40	45	1,2881	92,82	47,66	1,67
1,31	9,44	94,40	55	1,2885	92,85	18,66	1,64



Şekil 4.76: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

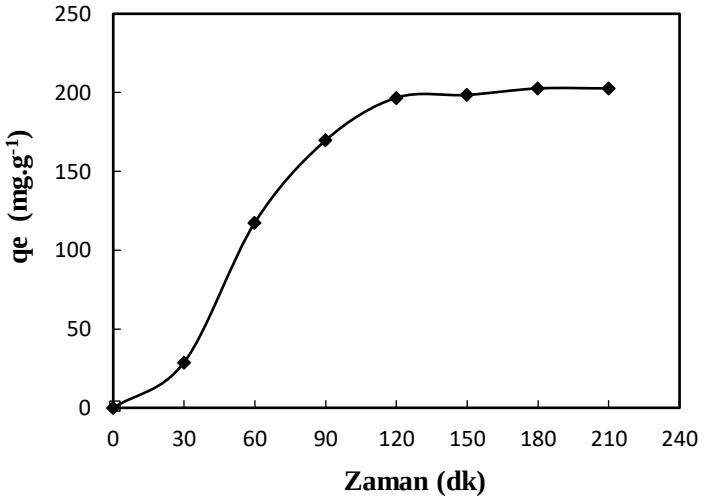
4.2.10. Akrilik Asidin IRA 958 Amberlite Reçinesi ile Adsorpsiyon Süreci

4.2.10.1. Optimum Denge Zamanının Bulunması

Akrilik asidin, Amberlite IRA 958 reçinesi ile adsorpsiyonunda optimum dengeye gelme süresini belirlemek amacıyla 5 mL yaklaşık %10'luk akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g reçine kullanılarak; 30 dakikadan 240 dakikaya kadar 30'ar dakika aralıklarla (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dakika) 25ºC'de adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. 30 dakikada bir alınan her bir örnek NaOH ile titrasyon işlemine tabi tutulmuş ve akrilik asit konsantrasyonu belirlenmiştir. Yapılan denemelere ait tablo ve şekiller çizilmiştir. Tablo 4.37 ve Şekil 4.77 de belirtildiği gibi, akrilik asidin Amberlite IRA 958 ile adsorpsiyonu ilk 120 dakikaya kadar hızlıca artmış ve adsorpsiyonun optimum denge süresine 180 dakikada ulaştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle optimum dengeye gelme süresi 180 dakika olarak bulunmuştur.

Tablo 4.37: Akrilik asidin IRA 958 Amberlite 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 %
1,31	9,44	94,40	30	1,3060	94,11	28,82	0,31
1,31	9,44	94,40	60	1,2932	93,19	117,51	1,28
1,31	9,44	94,40	90	1,2862	92,69	169,71	1,82
1,31	9,44	94,40	120	1,2816	92,36	196,75	2,16
1,31	9,44	94,40	150	1,2823	92,40	198,52	2,11
1,31	9,44	94,40	180	1,2809	92,30	202,65	2,22
1,31	9,44	94,40	210	1,2815	92,35	202,66	2,17



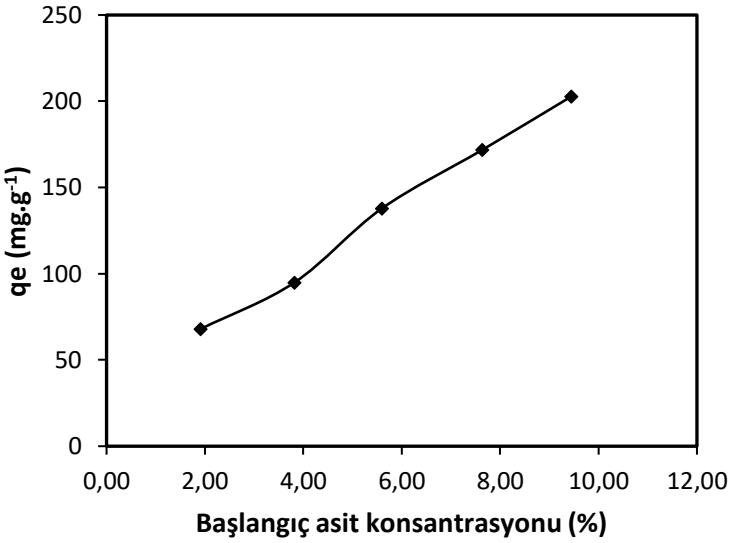
Şekil 4.77: IRA 958 Amberlite ile akrilik asidin adsorpsiyonunun zamanla değişimi.

4.2.10.2. Akrilik Asit Derişiminin Artışı Etkisi

Başlangıç akrilik asit konsantrasyonları yaklaşık %10, %8, %6, %4 ve %2 olan 25ºC'de 5 mL akrilik asit çözeltisi ve 0,05 g Amberlite IRA 958 kullanılarak belirlenen optimum dengeye gelme süresinde yani 180 dakikada gerçekleştirilmiştir. Akrilik asidin başlangıç asit derişimi değişimi etkisinin incelendiği adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar Tablo 4.38'de ve Şekil 4.78'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre akrilik asidin konsantrasyonu arttıkça, Amberlite IRA 958' in adsorpladığı akrilik asit miktarının arttığı bulunmuştur.

Tablo 4.38: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,90	2,08	20,80	25	0,2548	18,36	68	3,56
3,82	3,87	38,70	25	0,5169	37,25	95	2,49
5,59	5,96	59,60	25	0,7567	54,53	138	2,45
7,63	8,41	84,10	25	1,0351	74,59	172	2,24
9,44	9,44	94,40	25	1,2809	92,30	202,65	2,22



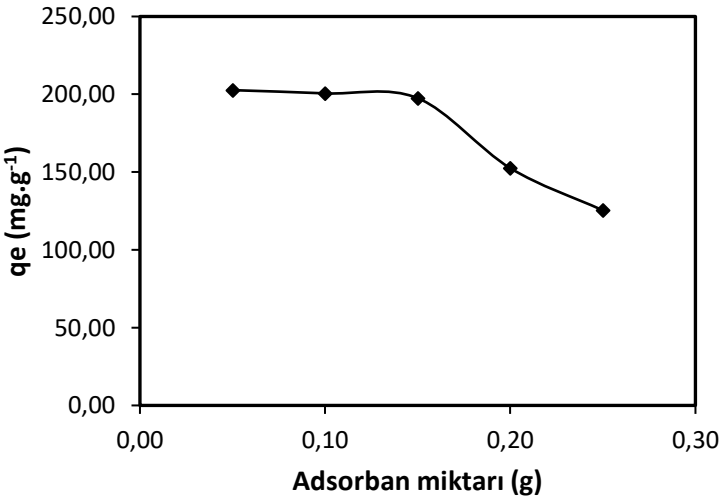
Şekil 4.78: Akrilik asit derişiminin artışı etkisi.

4.2.10.3. IRA 958 Dozlarının Adsorpsiyona Etkisi

Amberlite IRA 958 miktarının adsorpsiyona olan etkisini belirlemek için; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g. Amberlite IRA 958 bulunan erlenlere, %10'luk akrilik asit çözeltisinden yaklaşık 5'er mL eklenerek 25ºC'de denemeler yapılmıştır. Bu denemeler Tablo 4.39 ve Şekil 4.79'daki gibi sonuçlanmıştır. Optimum adsorban dozajı Şekil 4.79'da görüldüğü üzere 0,05 g olarak bulunmuştur.

Tablo 4.39: IRA 958 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Amberlit IRA 958 (g)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,31	9,44	94,40	0,05	1,2809	92,30	202,65	2,22
1,31	9,44	94,40	0,10	1,2541	90,37	200,58	4,27
1,31	9,44	94,40	0,15	1,2266	88,39	197,49	6,36
1,31	9,44	94,40	0,20	1,2251	88,28	152,52	6,48
1,31	9,44	94,40	0,25	1,2233	88,15	125,40	6,62



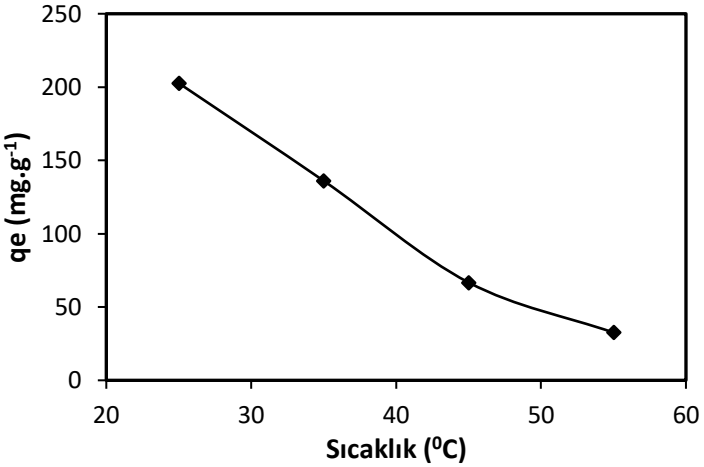
Şekil 4.79: IRA 958 dozlarının akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.2.10.4. Farklı Sıcaklıkların Adsorpsiyona Etkisi

Amberlite IRA 958 tarafından akrilik asit adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini incelemek için dört farklı sıcaklık (55 ^{0}C, 45 ^{0}C, 35 ^{0}C, 25 ^{0}C) kullanılmıştır. Çalışmalar, 180 dakikalık adsorpsiyon temas süresinde, 0,05g Amberlite IRA 958 ve başlangıç asit konsantrasyonu %10 olan akrilik asit kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.40 ve Şekil 4.80' de açıkça görüleceği gibi bu akrilik asidin Amberlite IRA 958 ile adsorpsiyonu ekzotermiktir.

Tablo 4.40: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

Başlangıç Asit Kons. (mol/L)	Başlangıç Asit Kons. (%w/w)	Başlangıç Asit Kons. (g/L)	Sıcaklık (^{0}C)	Denge Asit Kons. (mol/L)	Denge Asit Kons. (g/L)	Adsorbe Olan Asit Miktarı (mg/g)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi %
1,31	9,44	94,40	25	1,2809	92,30	202,65	2,91
1,31	9,44	94,40	35	1,2827	92,43	136,05	2,77
1,31	9,44	94,40	45	1,2850	92,60	66,74	2,60
1,31	9,44	94,40	55	1,2870	92,74	32,57	2,45



Şekil 4.80: Farklı sıcaklıkların akrilik asit adsorpsiyonuna etkisi.

4.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

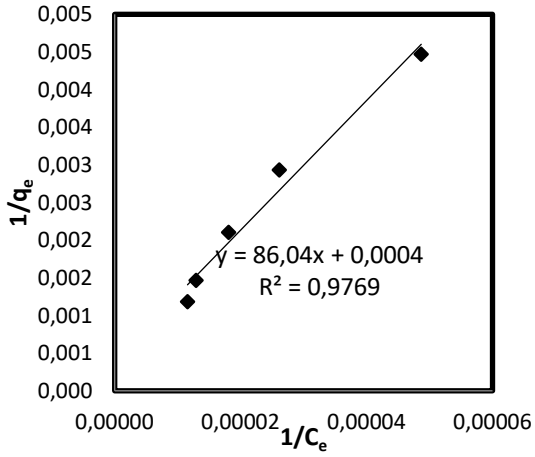
Akrilik asidin sentezlenen metal oksit adsorbanlarıyla ve Amberlite reçineleriyle olan adsorpsiyon denemelerine ait sonuçlar bu bölümde her biri için izoterm modelleri çizilerek incelenmiştir. Bölüm 2.3'de gösterilen Langmuir, Freundlich, Temkin izoterm modellerinin sahip oldukları eşitliklere göre grafikleri çizilmiş ve sabitleri hesaplanmıştır.

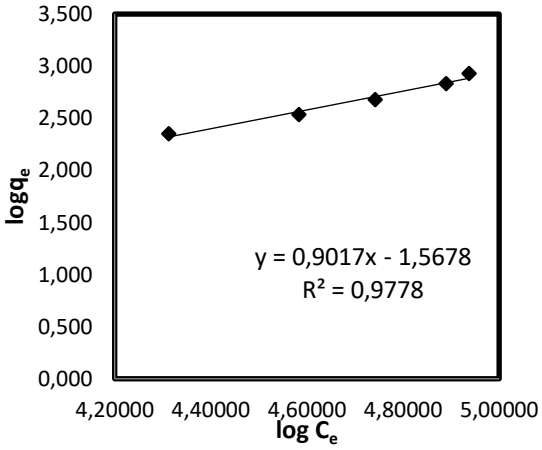
4.3.1. Akrilik Asidin SnO_2 Adsorpsiyonu İzotermleri

Sentezlenen SnO_2 metal oksidi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.41'de verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.81 çizilmiştir. Tablo 4.42'de ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

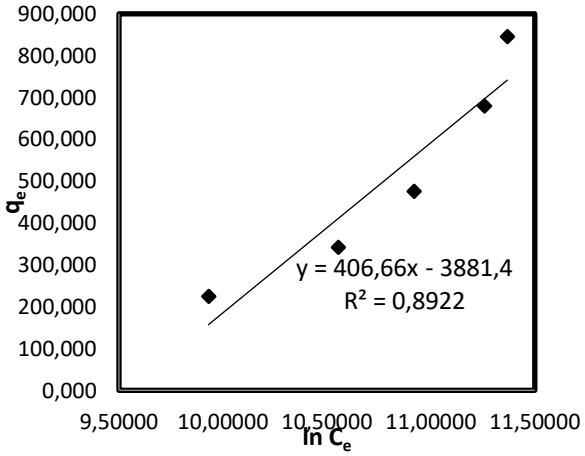
Tablo 4.41: SnO_2 ile akrilik asidin adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)	log C_e	log q_e	In C_e
22800	20542	223,54	91,89	4,31	2,34	9,30
41900	38312	340,94	112,37	4,58	2,53	10,55
60110	55225	475,47	116,15	4,74	2,67	10,91
83970	77469	679,55	114,00	4,88	2,83	11,25
94700	86484	844,82	102,37	4,93	2,92	11,36





(a) **(b)**



(c)

Şekil 4.81: Akrilik Asidin SnO_2 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin İzotermi.

Tablo 4.42: Akrilik asidin SnO_2 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

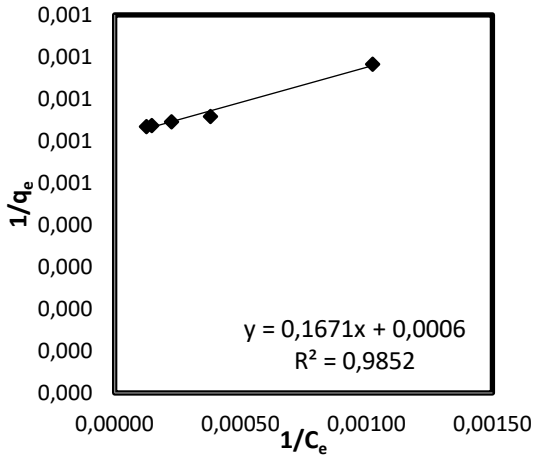
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			**Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri**			**Temkin sabitleri ve R^2 değerleri**			
Q_0	**b**	**R^2**	**K_f**	**n**	**R^2**	**B**	**K_t**	**b_t**	**R^2**
2500	$4{,}65x10^{-6}$	0,9769	$2{,}7x10^{-2}$	1,10	0,9778	406,66	$7{,}16 \times 10^{-5}$	6,09	0,8922

4.3.2. Akrilik Asidin CaO Adsorpsiyonu İzotermleri

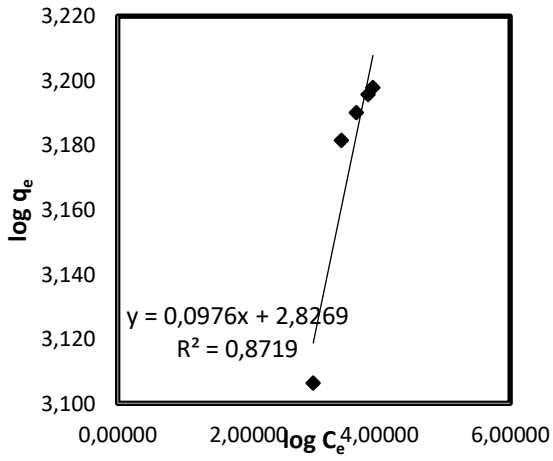
Sentezlenen CaO metal oksidi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.43'de verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.82 çizilmiştir. Tablo 4.44'de ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.43: Akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

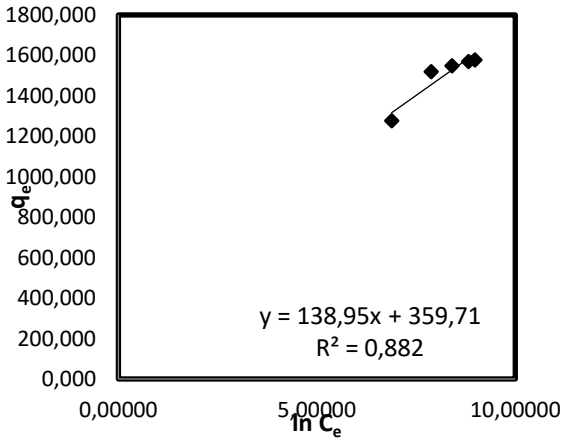
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)	log C_e	log q_e	In C_e
22800	9759	1277	7,64	3,98	3,10	6,88
41900	26368	1519	17,36	4,42	3,18	7,87
60110	44570	1549	28,77	4,64	3,19	8,40
83970	67976	1569	43,32	4,83	3,19	8,82
95950	79851	1577	50,63	4,90	3,19	8,98



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.82: Akrilik Asidin CaO ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich İzotermi, (c) Temkin İzotermi.

Tablo 4.44: Akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

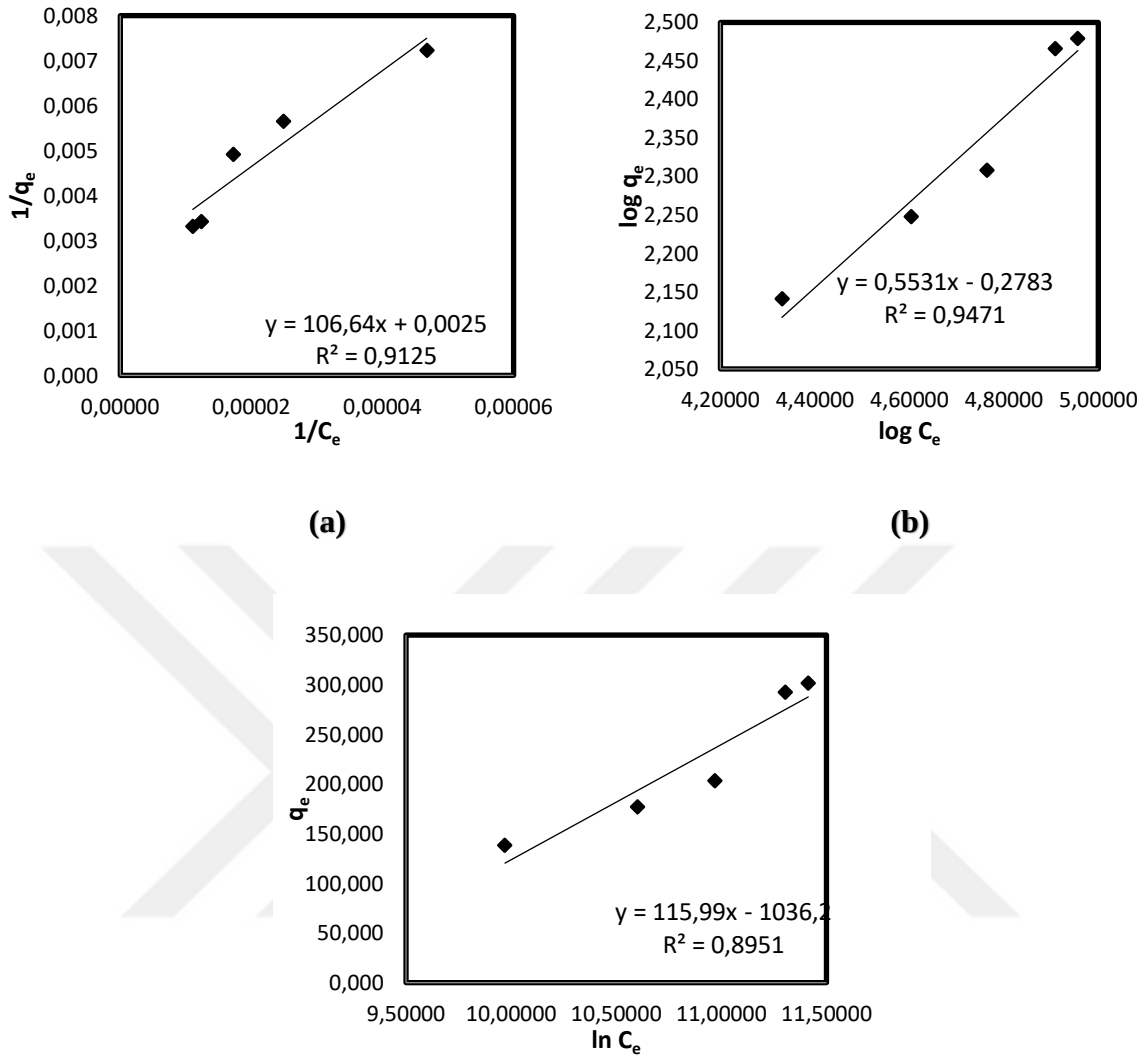
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			**Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri**			**Temkin sabitleri ve R^2 değerleri**			
Q_0	**b**	**R^2**	**K_f**	**n**	**R^2**	**B**	**K_t**	**b_t**	**R^2**
1666,67	$4,31x10^{-3}$	0,9852	671,27	10,24	0,8719	138,95	$1,33 \times 10^1$	17,83	0,882

4.3.3. Akrilik Asidin Fe_2O_3 Adsorpsiyonu İzotermleri

Sentezlenen Fe_2O_3 metal oksidi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.45'de verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.83 çizilmiştir. Tablo 4.46'de ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.45: Akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	**C_e (mg/L)**	**q_e (mg/g)**	**C_e/q_e (g/L)**	**log C_e**	**log q_e**	**In C_e**
22800	21392	138,38	154,59	4,33	2,14	9,97
41900	40175	177,03	226,94	4,60	2,24	10,60
60110	58063	203,37	285,50	4,76	2,30	10,97
83970	81117	292,42	277,40	4,90	2,46	11,30
95950	90524	301,44	300,31	4,95	2,47	11,41



Şekil 4.83: Akrilik Asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin İzotermi.

Tablo 4.46: Akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

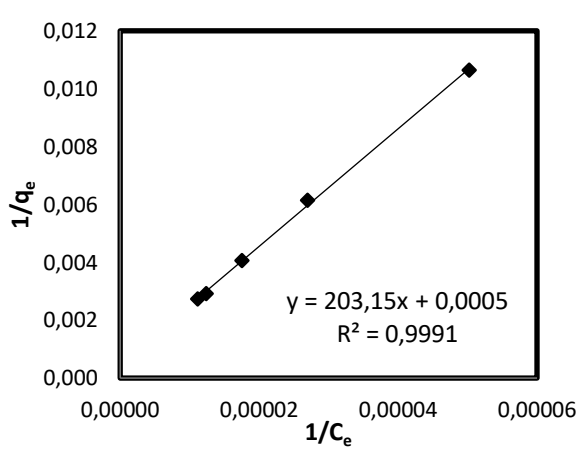
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			**Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri**			**Temkin sabitleri ve R^2 değerleri**			
Q_0	**b**	**R^2**	**K_f**	**n**	**R^2**	**B**	**K_t**	**b_t**	**R^2**
400	$2,34x10^{-5}$	0,9125	0,5268	1,80	0,9471	115,99	$1,32 \times 10^{-4}$	11,25	0,8951

4.3.4. Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ Adsorpsiyonu İzotermleri

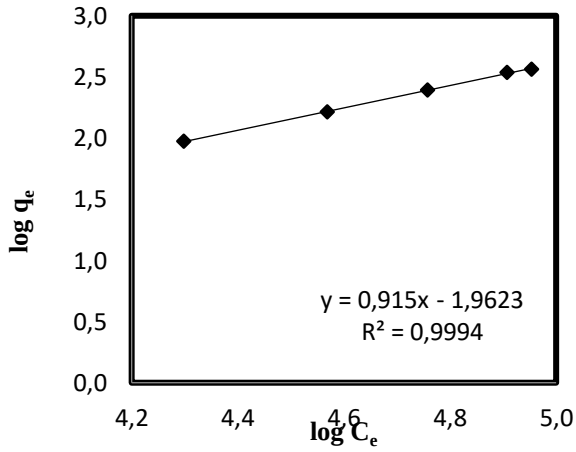
Sentezlenen $MnFe_2O_4$ metal oksidi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.47'de verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.84 çizilmiştir. Tablo 4.48'de ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.47: Akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

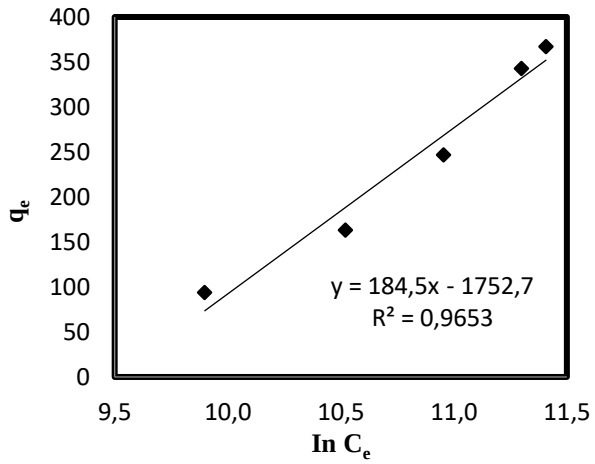
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)	log C_e	log q_e	ln C_e
20807	19902	94,07	211,56	4,29	1,97	9,89
39058	37069	163,07	227,31	4,56	2,21	10,52
59620	57207	246,88	231,72	4,75	2,39	10,95
84100	80813	343,14	235,51	4,90	2,53	11,29
93620	89990	367,14	245,11	4,95	2,56	11,40



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.84: Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir izotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin İzotermi.

Tablo 4.48: Akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

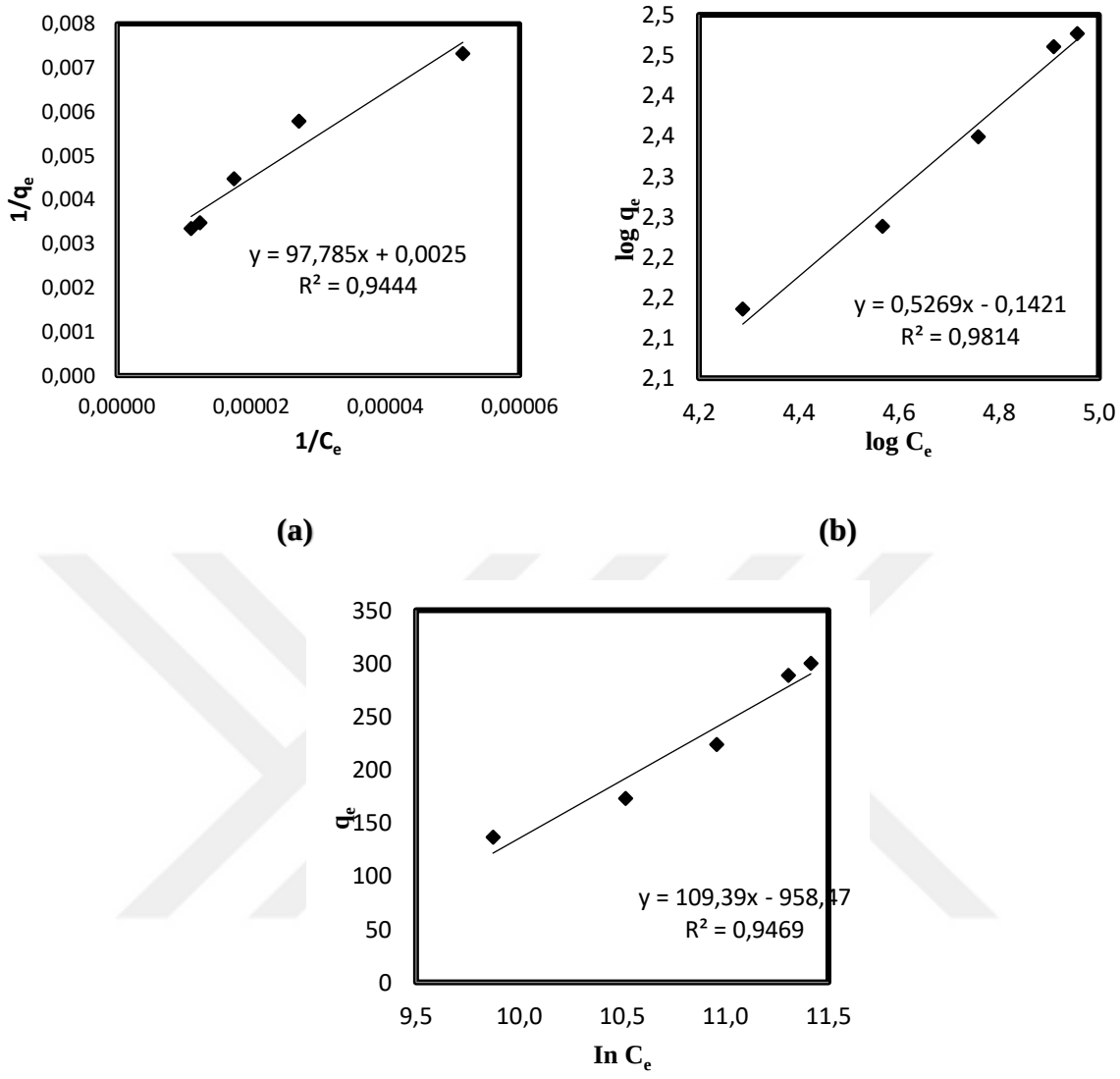
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			**Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri**				**Temkin sabitleri ve R^2 değerleri**		
Q_0	**b**	**R^2**	**K_f**	**n**	**R^2**	**B**	**K_t**	**b_t**	**R^2**
2000	$2{,}46 \times 10^{-6}$	0,991	0,0109	1,09	0,994	184,5	$7{,}48 \times 10^{-5}$	13,43	0,9653

4.3.5. Akrilik Asidin Al_2O_3 Adsorpsiyonu İzotermleri

Sentezlenen Al_2O_3 metal oksidi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.49'da verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.85 çizilmiştir. Tablo 4.50'de ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.49: Akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	**C_e (mg/L)**	**q_e (mg/g)**	**C_e/q_e (g/L)**	**log C_e**	**log q_e**	**In C_e**
20807	19401	136,68	141,94	4,28	2,13	9,87
39058	36915	173,09	213,27	4,56	2,23	10,51
59620	57457	223,57	257,00	4,75	2,34	10,95
84100	81250	288,73	288,73	4,90	2,46	11,30
93620	90614	299,96	299,96	4,95	2,47	11,41



Şekil 4.85: Akrilik Asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir izotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin izotermi.

Tablo 4.50: Akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

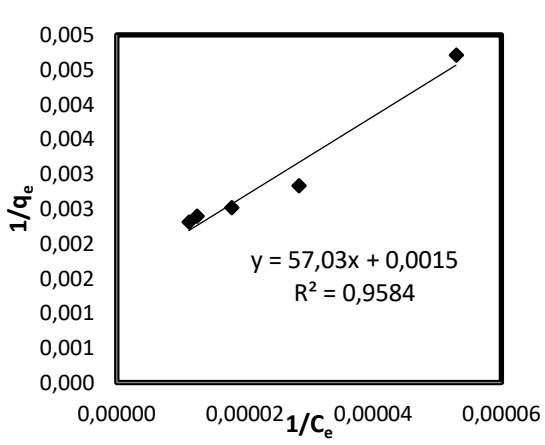
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			**Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri**			**Temkin sabitleri ve R^2 değerleri**			
Q_0	**b**	**R^2**	**K_f**	**n**	**R^2**	**B**	**K_t**	**b_t**	**R^2**
400	$2,56x10^{-5}$	0,9444	0,7209	1,89	0,9814	109,39	$1,566x\ 10^{-4}$	22,64	0,9469

4.3.6. Akrilik Asidin Bi_2O_3 Adsorpsiyonu İzotermleri

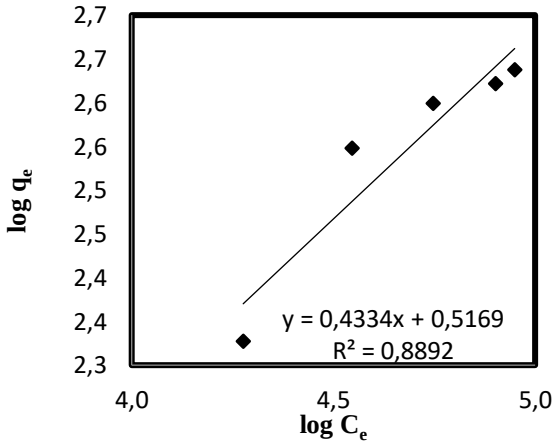
Sentezlenen Bi_2O_3 metal oksidi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.51'de verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.86 çizilmiştir. Tablo 4.52'de ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.51: Akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

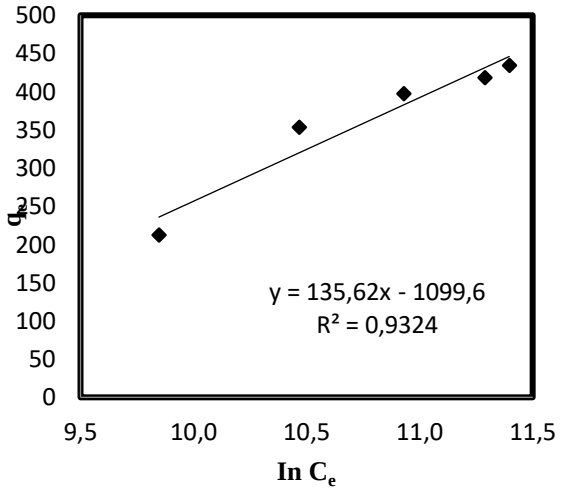
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)	log C_e	log q_e	In C_e
20807	18897	212,46	88,95	4,27	2,32	9,84
39058	35170	353,45	99,51	4,54	2,54	10,46
59620	55832	397,47	140,47	4,74	2,59	10,93
84100	79835	418,56	190,74	4,90	2,62	11,28
93620	88996	434,38	204,88	4,94	2,63	11,39



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.86: Akrilik Asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir iotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin izotermi.

Tablo 4.52: Akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

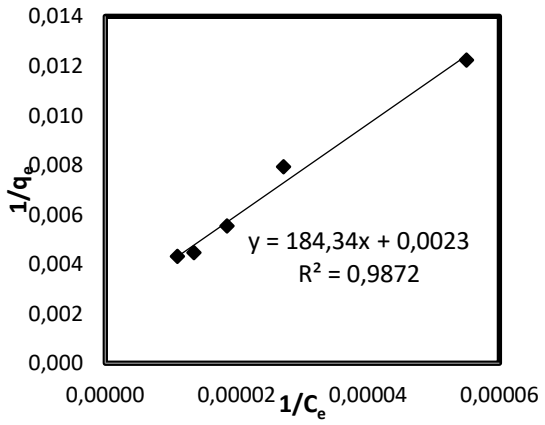
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			**Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri**			**Temkin sabitleri ve R^2 değerleri**			
Q_0	**b**	**R^2**	**K_f**	**n**	**R^2**	**B**	**K_t**	**b_t**	**R^2**
666,67	$2,63x10^{-5}$	0,9584	3,287	2,307	0,8892	135,62	$3,011x\ 10^{-4}$	18,26	0,9362

4.3.7. Akrilik Asidin Amberlite IRA 67 ile Adsorpsiyonu İzotermleri

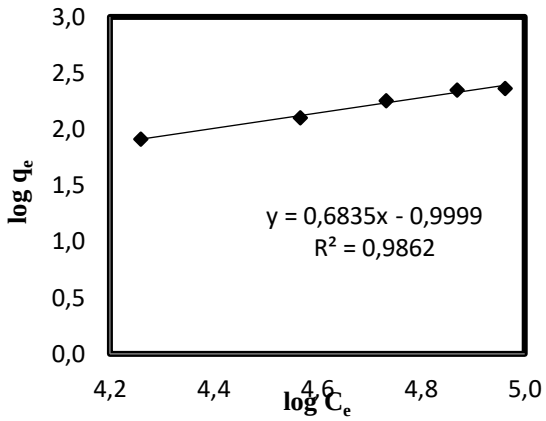
IRA 67 Amberlite reçinesi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.53'de verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.87 çizilmiştir. Tablo 4.54'de ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.53: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

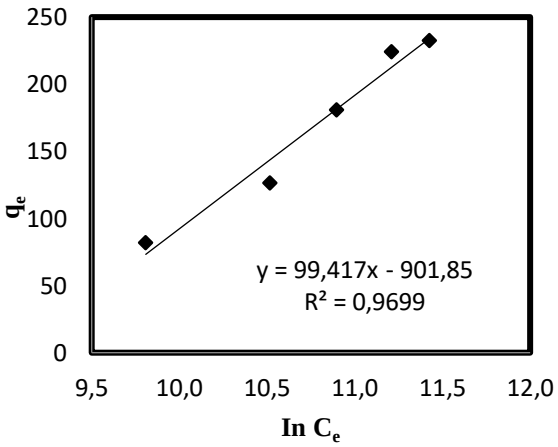
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	**C_e (mg/L)**	**q_e (mg/g)**	**C_e/q_e (g/L)**	**log C_e**	**log q_e**	**In C_e**
19038	18187	81,80	222,32	4,25	1,91	9,80
38200	36890	126,33	292,00	4,56	2,10	10,51
55900	54051	180,62	299,25	4,73	2,25	10,89
76300	74011	224,04	330,35	4,86	2,35	11,21
94400	91608	232,44	394,11	4,96	2,36	11,42



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.87: Akrilik Asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir izotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin izotermi.

Tablo 4.54: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin 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**
434,80	$1,25x10^{-5}$	0,9872	0,1002	1,46	0,9862	99,417	$1,149x\ 10^{-4}$	24,92	0,9699

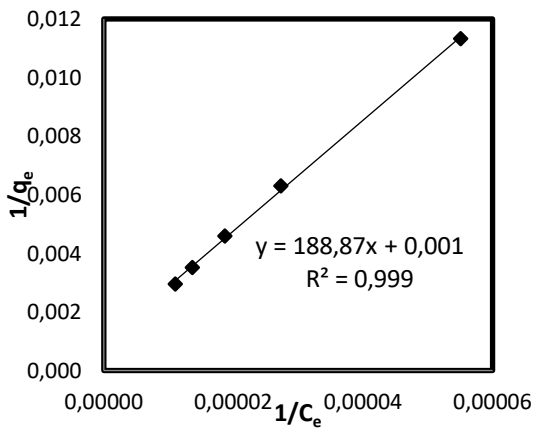
4.3.8. Akrilik Asidin Amberlite IRA 96 ile Adsorpsiyonu İzotermleri

IRA 96 Amberlite reçinesi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.55'de verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.88

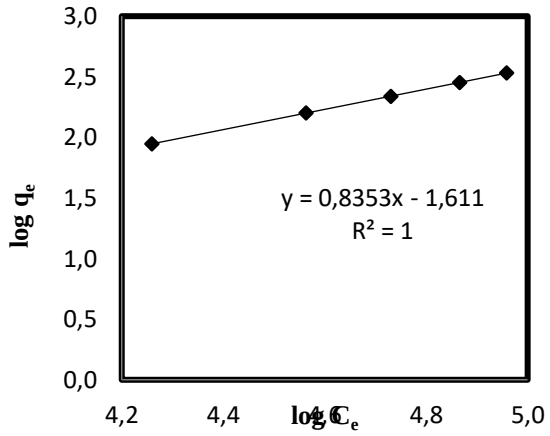
çizilmiştir. Tablo 4.56'da ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.55: Akrilik asidin Amberlit IRA 96 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

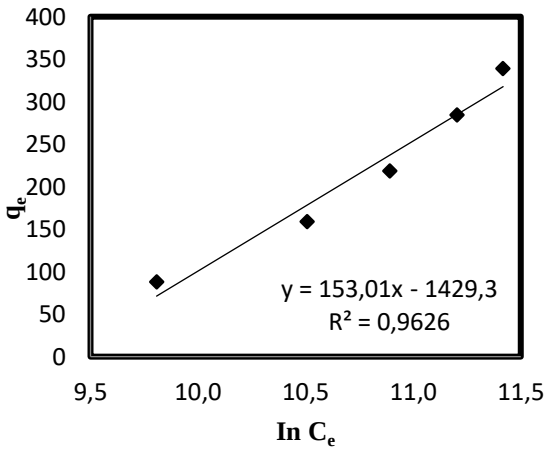
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (g/L)	log C_e	log q_e	In C_e
19038	18165	88,34	205,62	4,25	1,94	9,80
38200	36584	158,98	230,12	4,56	2,20	10,50
55900	53672	218,48	245,65	4,72	2,33	10,89
76300	73483	284,28	258,48	4,86	2,45	11,20
94400	90950	339,23	339,23	4,95	2,53	11,41



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.88: Akrilik Asidin Amberlit IRA 96 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich İzotermi, (c) Temkin İzotermi.

Tablo 4.56: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

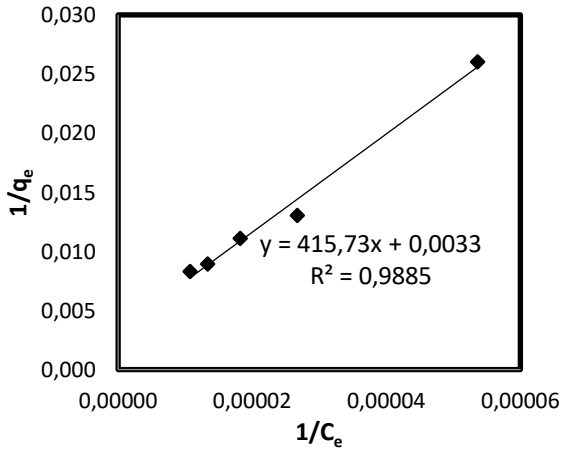
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			**Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri**			**Temkin sabitleri ve R^2 değerleri**			
Q_0	**b**	**R^2**	**K_f**	**n**	**R^2**	**B**	**K_t**	**b_t**	**R^2**
1000	$5{,}30x10^{-6}$	0,999	0,0244	1,1971	1	153,01	$8{,}773x\ 10^{-5}$	16,192	0,9626

4.3.9. Akrilik Asidin Amberlite IRA 400 ile Adsorpsiyonu İzotermleri

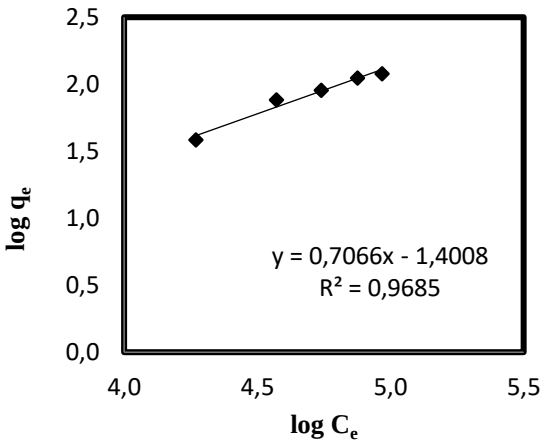
Amberlite IRA 400 ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.57'de verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.89 çizilmiştir. Tablo 4.58'de ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.57: Akrilik asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine ait deneysel datalar.

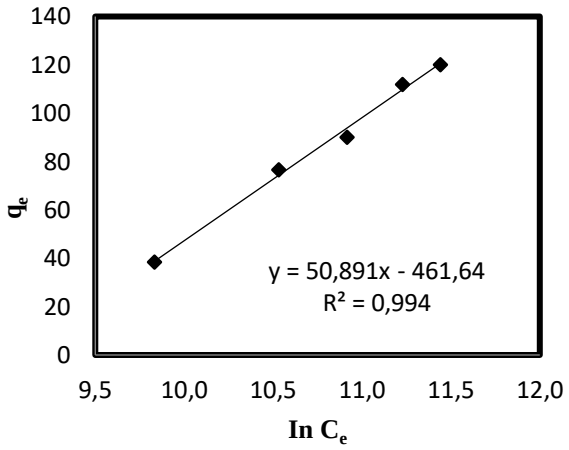
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	**C_e (mg/L)**	**q_e (mg/g)**	**C_e/q_e (g/L)**	**log C_e**	**log q_e**	**In C_e**
19038	18656	38,40	485,83	4,27	1,58	9,83
38200	37431	76,63	488,44	4,57	1,88	10,53
55900	54981	90,06	610,47	4,74	1,95	10,91
76300	75171	111,99	671,25	4,87	2,04	11,22
94400	93167	120,21	775,04	4,96	2,07	11,44



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.89: Akrilik Asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir izotermi, (b) Freundlich izotermi, (c) Temkin izotermi.

Tablo 4.58: Akrilik asidin Amberlite IRA 400 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

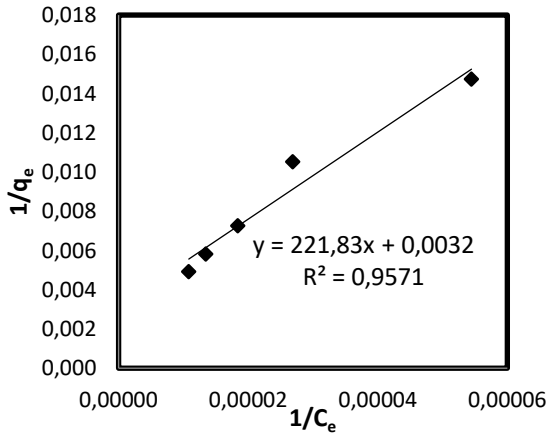
Langmuir sabitleri ve R^2 değerleri			**Freundlich sabitleri ve R^2 değerleri**			**Temkin sabitleri ve R^2 değerleri**			
Q_0	**b**	**R^2**	**K_f**	**n**	**R^2**	**B**	**K_t**	**b_t**	**R^2**
303,03	$7,94x10^{-6}$	0,9885	0,0397	1,4152	0,9685	50,891	$1,149x\ 10^{-4}$	48,684	0,994

4.3.10. Akrilik Asidin Amberlite IRA 958 ile Adsorpsiyonu İzotermleri

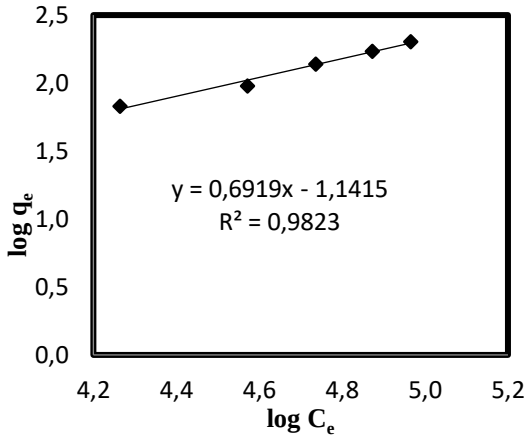
IRA 958 Amberlite reçinesi ile akrilik asit adsorpsiyon deney sonuçlarının izoterm modelleri ile uyumu bu bölümde incelenmiştir. Tablo 4.59'da verilen deneysel datalar kullanılarak Şekil 4.90 çizilmiştir. Tablo 4.60'da ise izotermlerin teker teker korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmış ve Langmuir, Freundlih ve Temkin izoterm sabitlerinin değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4.59: Akrilik asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir, Freundlich ve Temkin modellerine ait deneysel datalar.

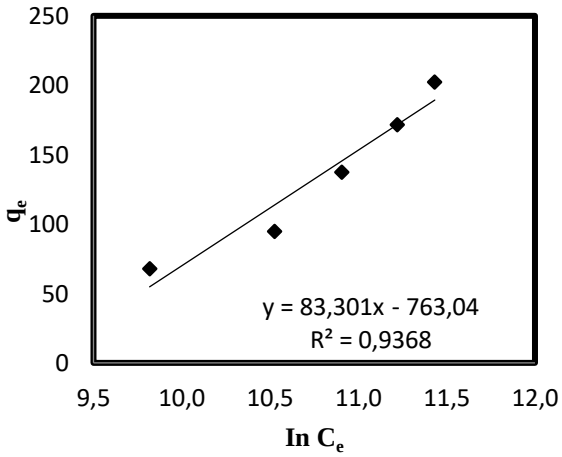
Başlangıç Asit Konsantrasyonu (mg/L)	**C_e (mg/L)**	**q_e (mg/g)**	**C_e/q_e (g/L)**	**log C_e**	**log q_e**	**In C_e**
19038	18360	67,86	270,56	4,26	1,83	9,81
38200	37249	94,95	392,31	4,57	1,97	10,52
55900	54528	137,72	395,93	4,73	2,13	10,90
76300	74592	171,71	434,42	4,87	2,23	11,21
94400	92302	202,65	455,47	4,96	2,30	11,43



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.90: Akrilik Asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonuna ilişkin (a) Langmuir İzotermi, (b) Freundlich İzotermi, (c) Temkin İzotermi.

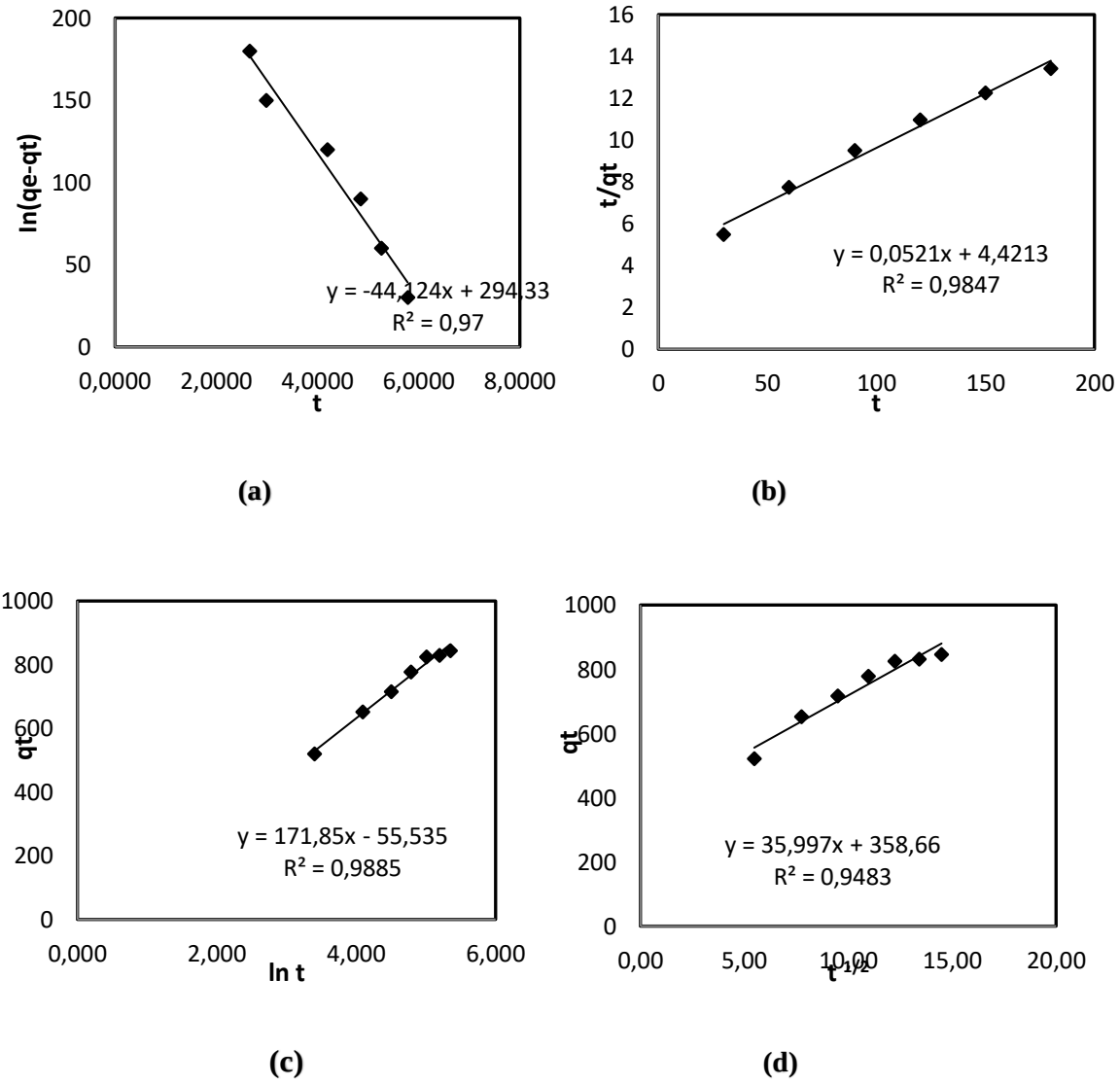
Tablo 4.60: Akrilik asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin sabitleri ve R^2 değerleri.

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**
312,5	$1,44x10^{-5}$	0,9571	0,0722	1,4453	0,9823	83,301	$1,052x\ 10^{-4}$	29,742	0,9368

4.4. ADSORPSİYON KİNETİK MODELLERİ

4.4.1. Akrilik Asidin SnO_2 Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri

Akrilik asidin sentezlenen SnO_2 metal oksit adsorbanlarıyla adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.



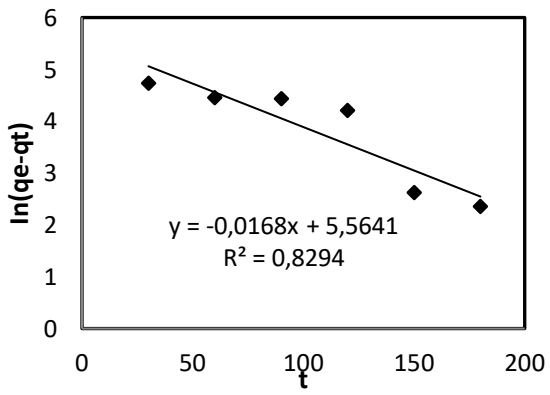
Şekil 4.91: Akrilik Asidin SnO_2 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

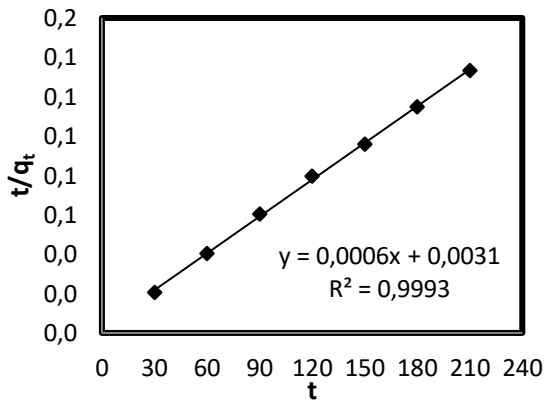
Tablo 4.61: Akrilik asidin SnO_2 ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri.

Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
SnO_2	0,0219	0,970	734,345	$5,14x10^{-4}$	0,9847	20,41	124,4	$5,82x10^{-3}$	0,9885	35,997	358,66	0,9483

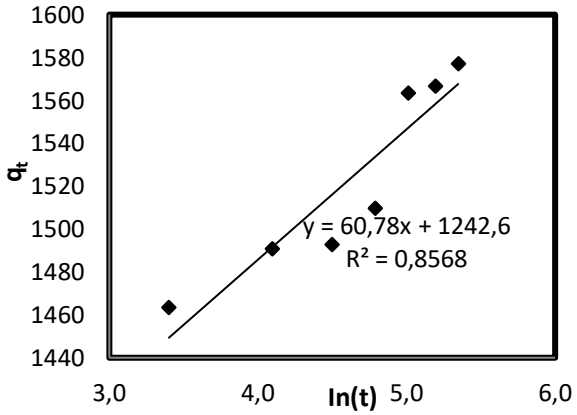
4.4.2. Akrilik Asidin CaO Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri

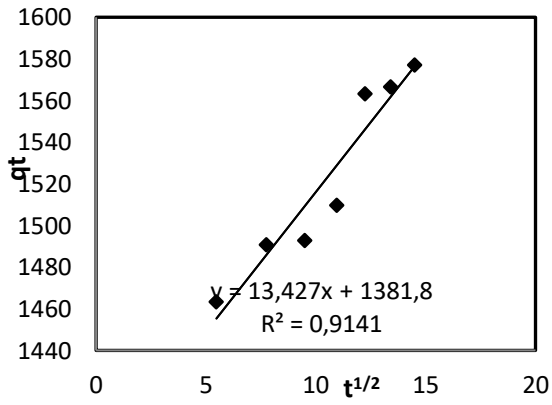
Akrilik asidin sentezlenen CaO metal oksit adsorbanlarıyla adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.





(a) **(b)**





(c) **(d)**

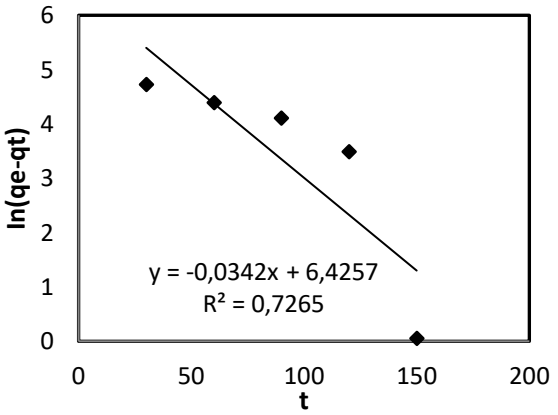
Şekil 4.92: Akrilik Asidin CaO üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

Tablo 4.62: Akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri.

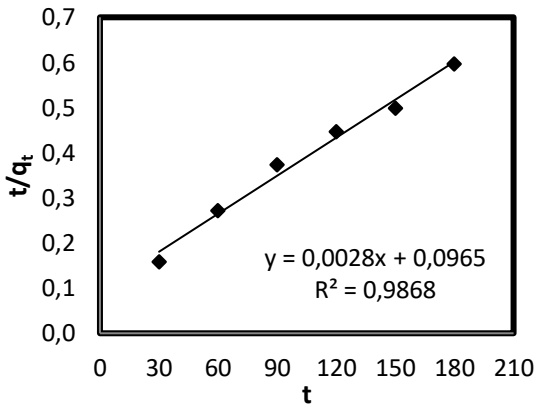
Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
CaO	0,0168	0,8294	260,916	$1,16x10^{-4}$	0,993	1666,6	$4,6x10^{10}$	0,0164	0,8936	13,344	1381,8	0,8812

4.4.3. Akrilik Asidin Fe_2O_3 Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri

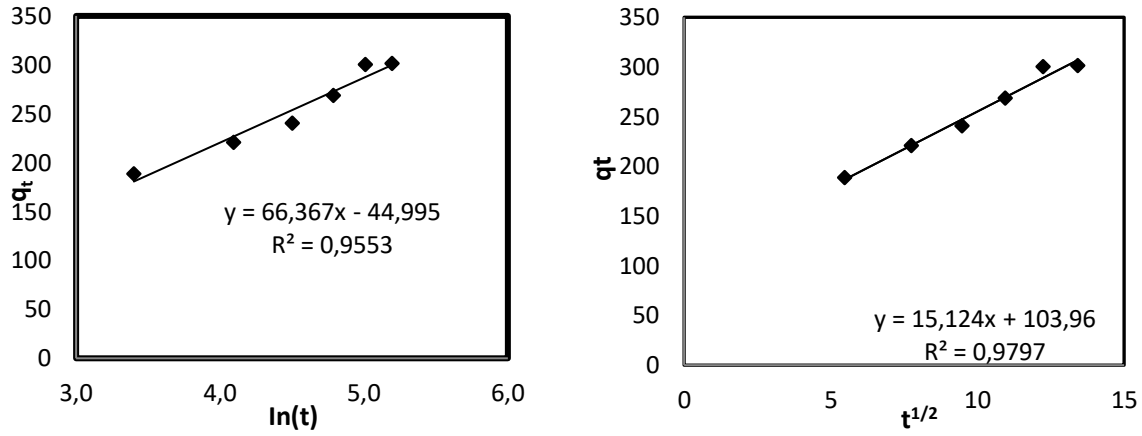
Akrilik asidin sentezlenen Fe_2O_3 metal oksit adsorbanlarıyla adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.



(a)



(b)



(c) **(d)**

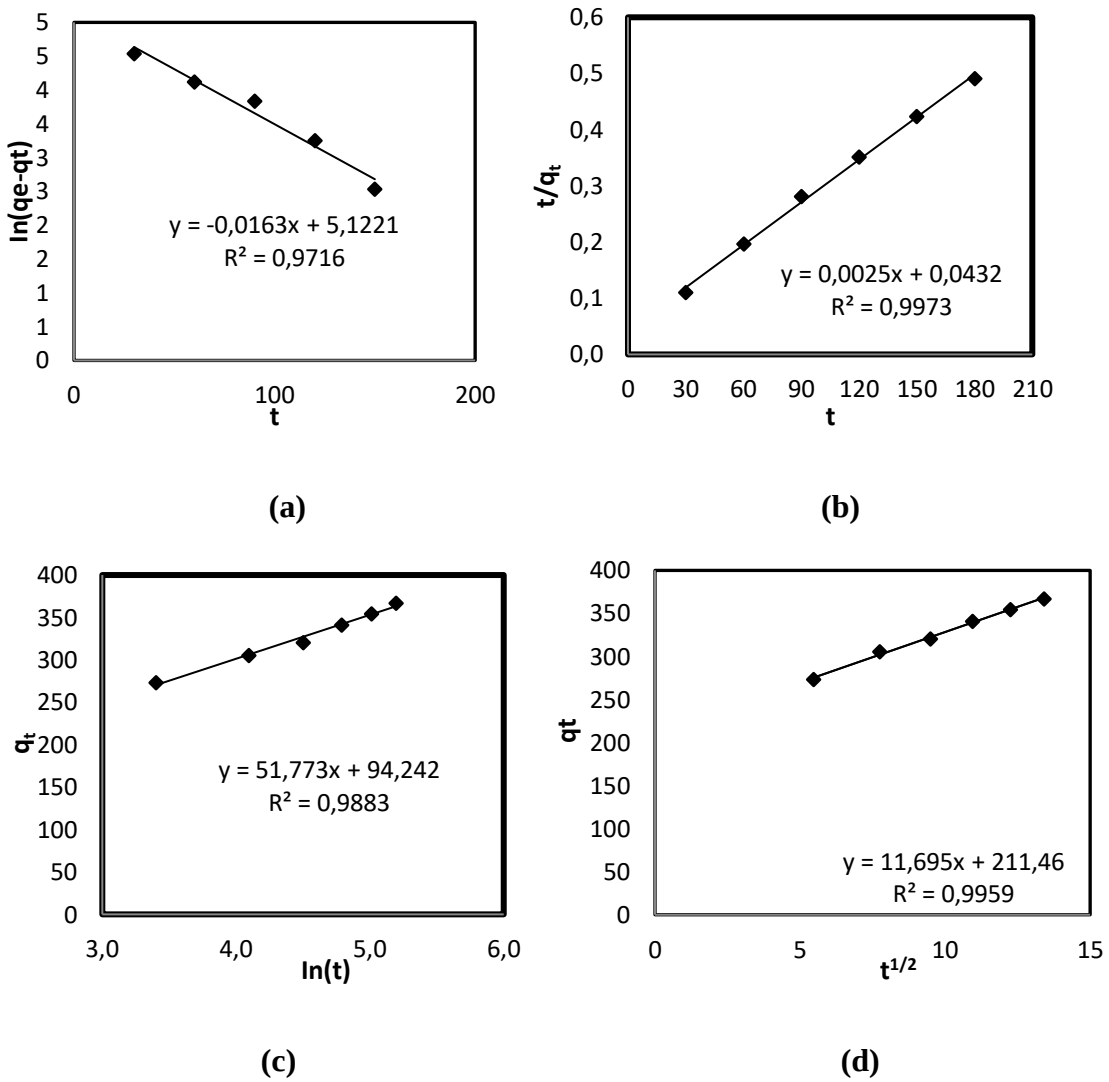
Şekil 4.93: Akrilik Asidin Fe_2O_3 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

Tablo 4.63: Akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri.

Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
Fe_2O_3	0,0340	0,7265	617,58	$8,12x10^{-5}$	0,9868	357,14	33,691	0,015	0,9553	15,124	103,96	0,9797

4.4.4. Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri

Akrilik asidin sentezlenen $MnFe_2O_4$ metal oksit adsorbanlarıyla adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.94: Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

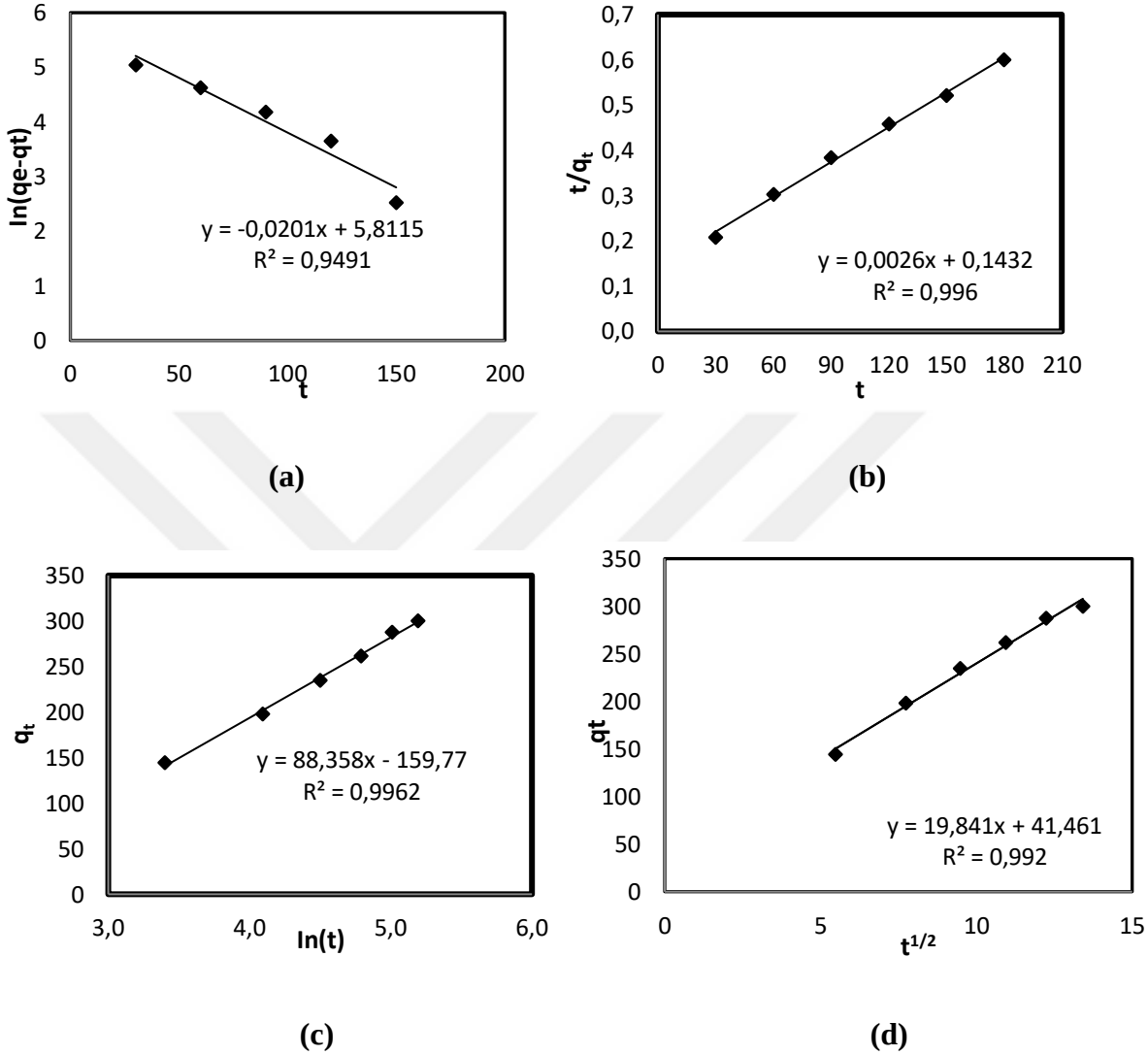
Tablo 4.64: Akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri.

Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
$MnFe_2O_4$	0,0163	0,9716	167,68	$1,144x10^{-4}$	0,9973	400	319,63	0,019	0,9883	11,695	211,46	0,9959

4.4.5. Akrilik Asidin Al_2O_3 Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri

Akrilik asidin sentezlenen Al_2O_3 metal oksit adsorbanlarıyla adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de

açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.



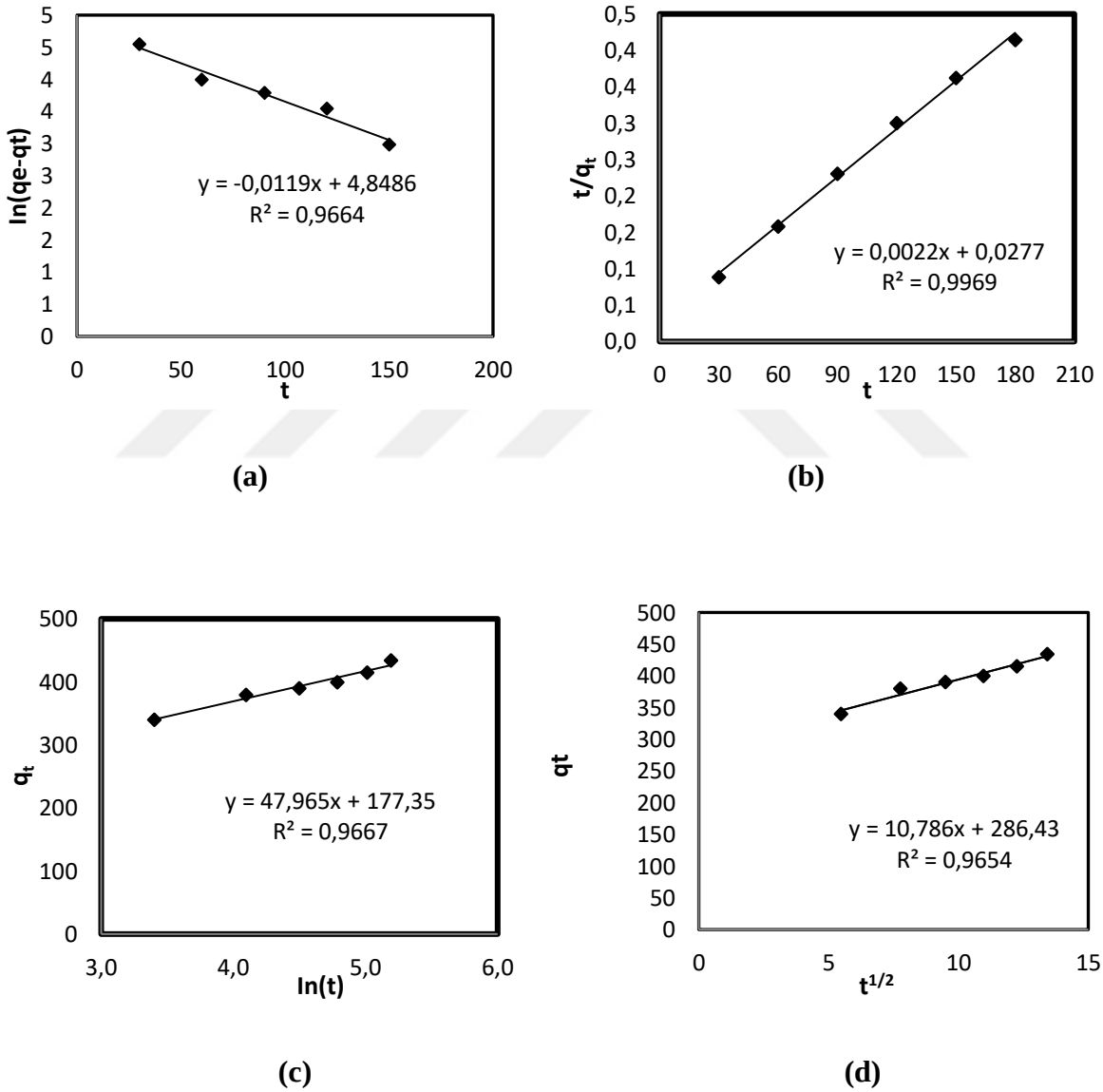
Şekil 4.95: Akrilik Asidin Al_2O_3 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

Tablo 4.65: Akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri.

Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
Al_2O_3	0,020	0,9491	334,118	$4{,}72x10^{-5}$	0,996	384,61	14,486	0,011	0,9962	19,841	41,461	0,992

4.4.6. Akrilik Asidin Bi_2O_3 Adsorpsiyonu Kinetik Modelleri

Akrilik asidin sentezlenen Bi_2O_3 metal oksit adsorbanlarıyla adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.



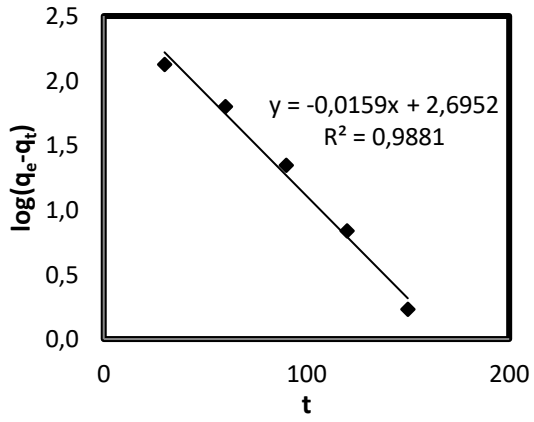
Şekil 4.96: Akrilik Asidin Bi_2O_3 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

Tablo 4.66: Akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonu için hesaplanan kinetik model parametreleri.

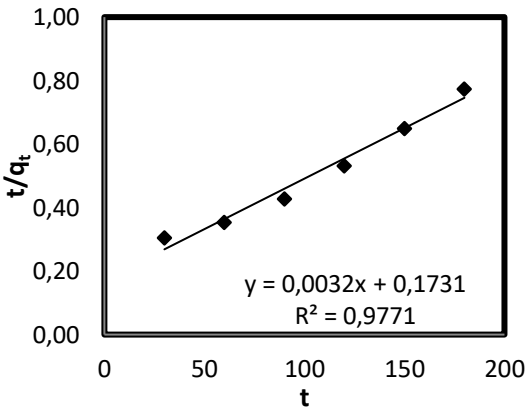
Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
Bi_2O_3	0,012	0,9664	127,55	$1,75x10^{-4}$	0,9969	454,54	1935,1	0,020	0,9667	10,786	286,43	0,9654

4.4.7. Akrilik Asidin Amberlite IRA 67 Adsorpsiyonunun Kinetik Modelleri

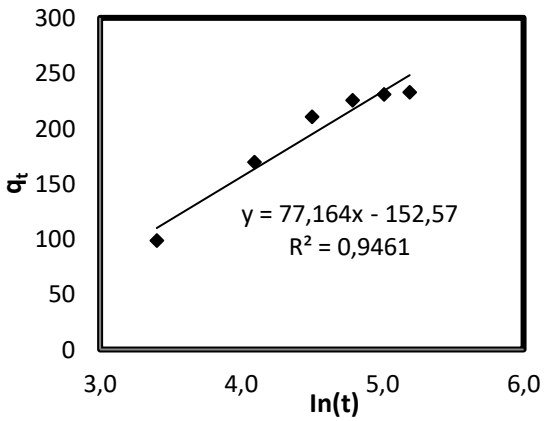
Akrilik asidin Amberlite IRA 67 reçineleriyle adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.



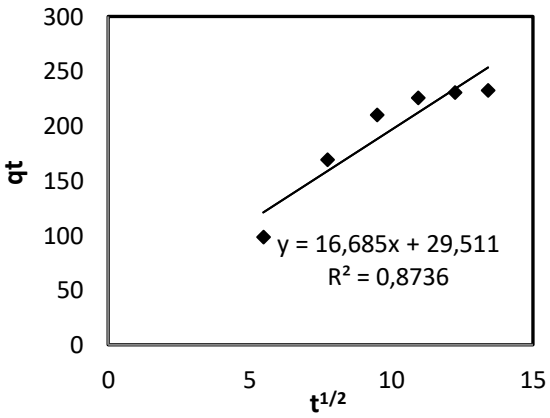
(a)



(b)



(c)



(d)

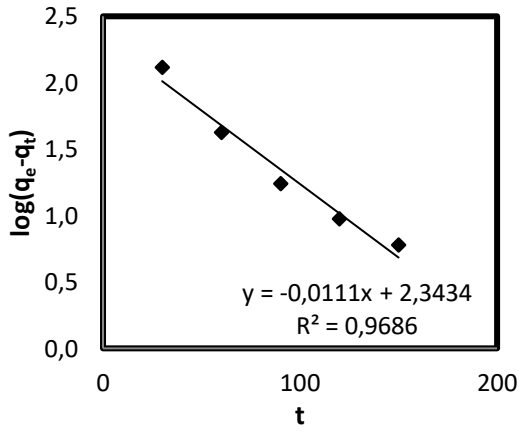
Şekil 4.97: Akrilik Asidin Amberlite IRA 67 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

Tablo 4.67: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonu için bulunan kinetik model parametreleri.

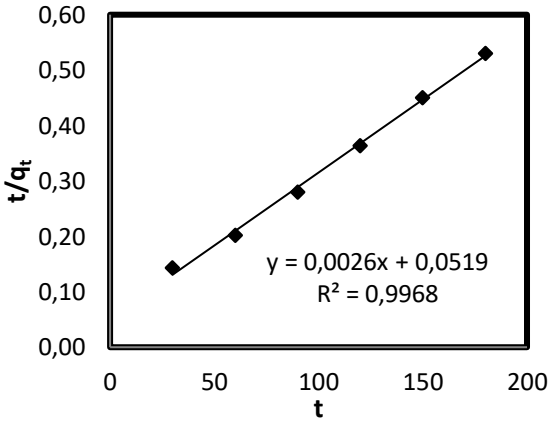
Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
Amb. IRA 67	0,0366	0,9881	495,68	$5{,}92x10^{-5}$	0,9771	312,5	10,52	0,012	0,9461	16,685	29,511	0,8736

4.4.8. Akrilik Asidin Amberlite IRA 96 Adsorpsiyonunun Kinetik Modelleri

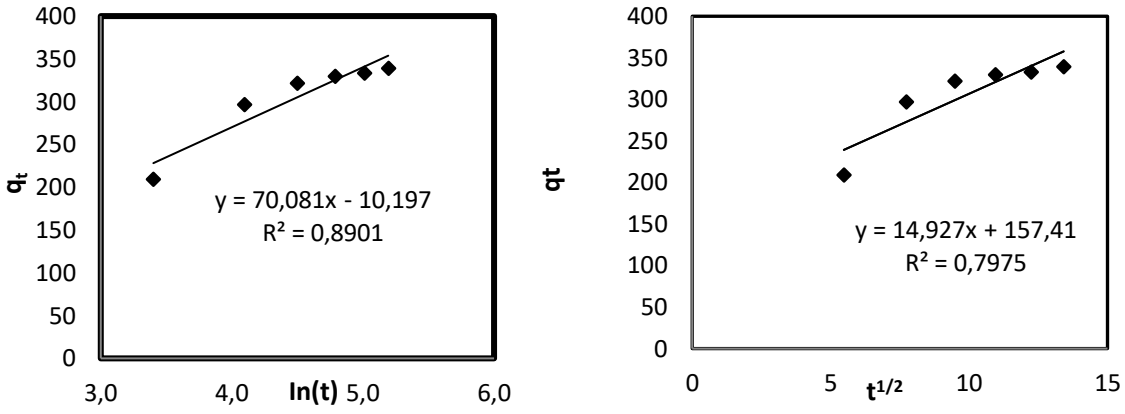
Akrilik asidin Amberlite IRA 96 reçineleriyle adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.



(a)



(b)



(c) **(d)**

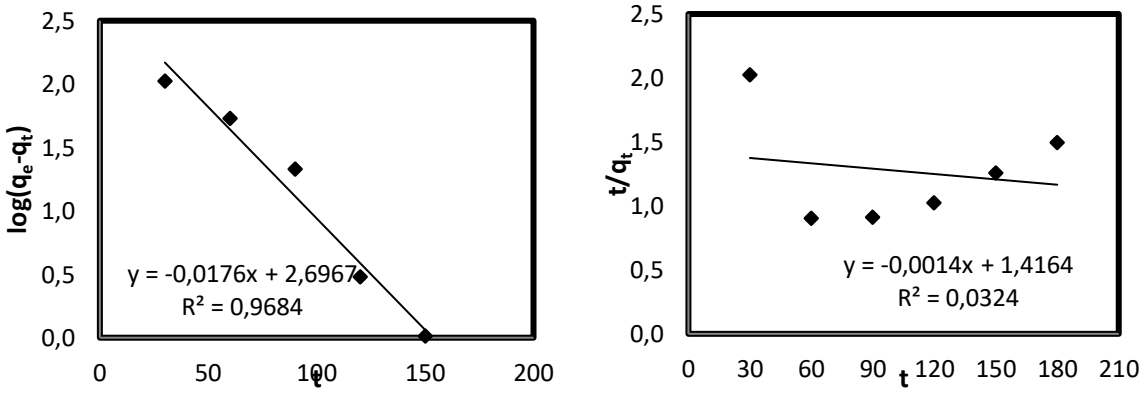
Şekil 4.98: Akrilik Asidin Amberlite IRA 96 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

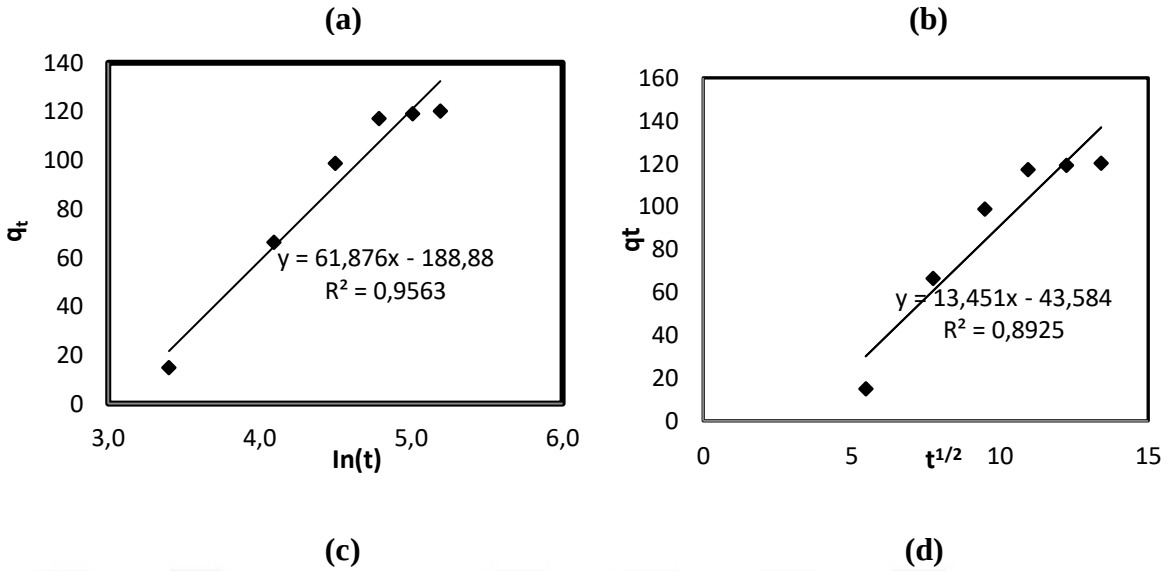
Tablo 4.68: Akrilik asidin Amberlite IRA 96 ile adsorpsiyonu için bulunan kinetik model parametreleri.

Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
Amb. IRA 96	0,0256	0,9686	220,495	$1,3x10^{-4}$	0,9968	384,61	60,592	0,014	0,8901	14,927	157,41	0,7975

4.4.9. Akrilik Asidin Amberlite IRA 400 Adsorpsiyonunun Kinetik Modelleri

Akrilik asidin Amberlite IRA 400 reçineleriyle adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.





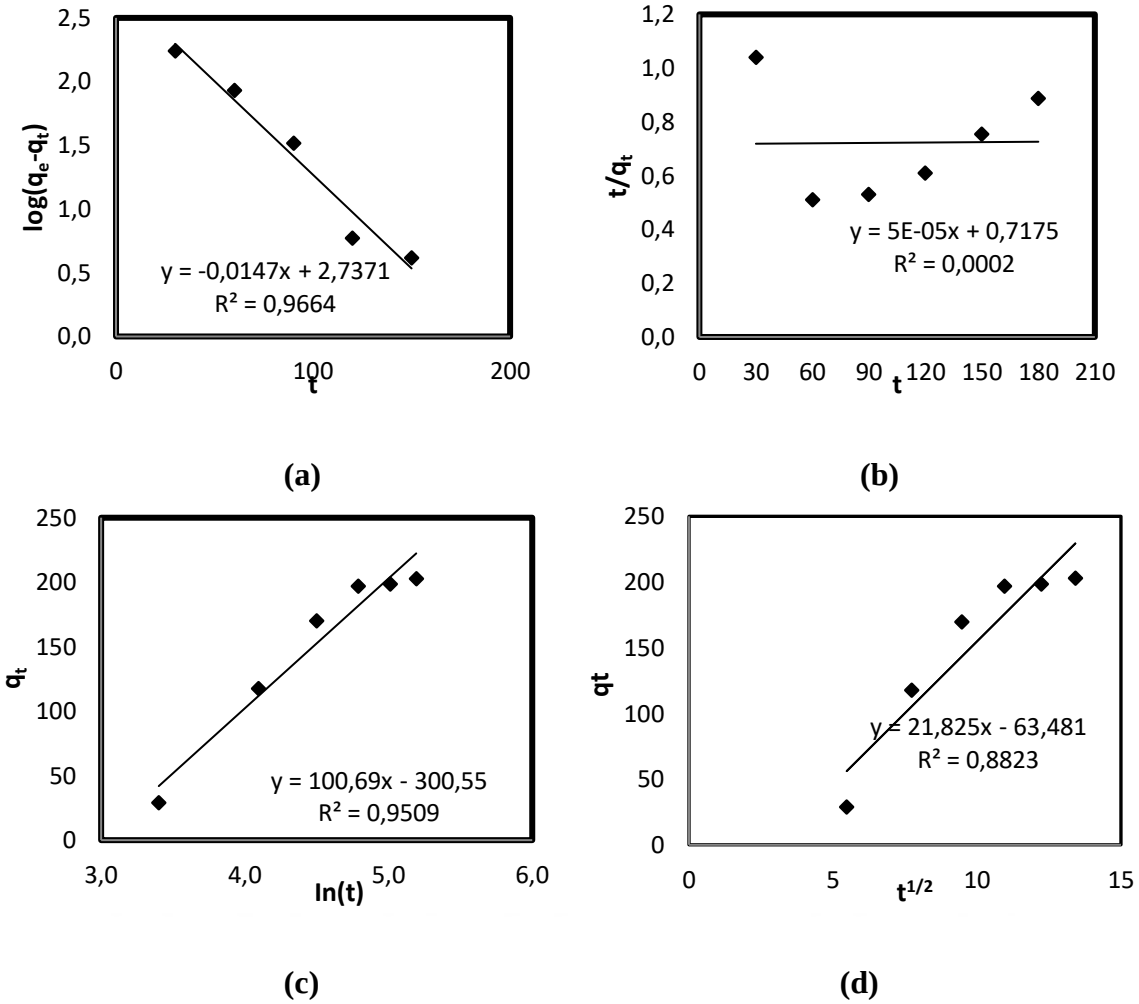
Şekil 4.99: Akrilik Asidin Amberlite IRA 400 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

Tablo 4.69: Akrilik asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonu için bulunan kinetik model parametreleri.

Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
Amb. IRA 400	0,0405	0,9684	497,393	$1,38x10^{-6}$	0,0324	-714,29	2,92	0,0162	0,9563	13,45	-43,58	0,8925

4.4.10. Akrilik Asidin Amberlite IRA 958 Adsorpsiyonunun Kinetik Modelleri

Akrilik asidin Amberlite IRA 958 reçineleriyle adsorpsiyon denemelerine ait kinetik mekanizmaları Pseudo First Order, Pseudo Second Order, Elovich ve Weber-Morris Partikül içi Kinetik Modellerini kullanarak bu bölümde incelenmiştir. Bölüm 2.4'de açıkladığımız kinetik modellerine ait eşitlikler göz önüne alınarak grafikler çizilmiş ve her bir kinetik model için parametreleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.100: Akrilik Asidin Amberlite IRA 958 üzerine adsorpsiyonu için kinetik modellerin [(a) Pseudo first order kinetik model, (b) Pseudo-second order kinetik model, (c) Elovich kinetik model ve (d) Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli] doğrusal uyumluluğu.

Tablo 4.70: Akrilik asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonu için bulunan kinetik model parametreleri.

Adsorban	Pseudo-first order kinetik model			Pseudo-second order kinetik model			Elovich kinetik model			Weber-Morris partikül içi difüzyon modeli		
	k_1	R^2	q_e	k_2	R^2	q_e	α	β	R^2	k_{id}	C	R^2
Amb. IRA 958	0,0338	0,9664	545,88	$3{,}48 \times 10^{-10}$	0,0002	20000	5,089	0,0099	0,9509	21,825	-63,481	0,8823

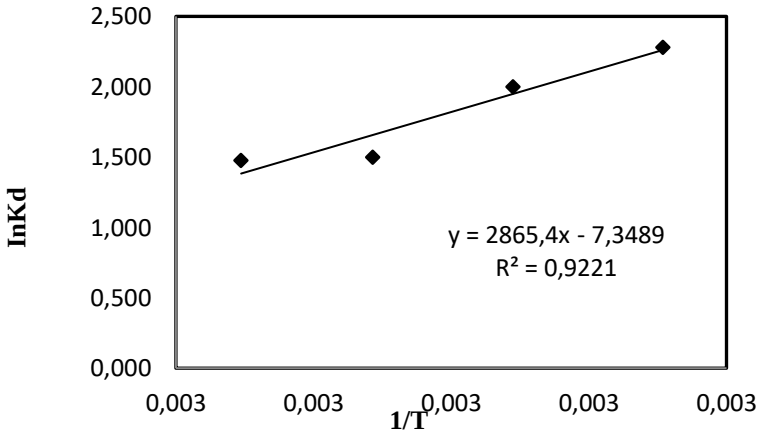
4.5. ADSORPSİYON TERMODİNAMİK ÇALIŞMALARI

Sentezlenen metal oksitler ve amberlite reçinelerinin, akrilik asitle farklı sıcaklıklarda (55 °C, 45 °C, 35 °C ve 25 °C) adsorpsiyon denemeleri gerçekleştirilmiştir. Toplanan sonuçlar ile adsorpsiyon termodinamiği incelenmiş ve sonuçlar bu bölümde sunulmuştur. Bu amaçla,

Bölüm 2.5'te açıklanan eşitliklere göre grafik çizilmiş ve ve entropi (ΔS^0, J/mol.K), Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve entalpi (ΔH^0, J/mol) değerleri hesaplanmıştır.

4.5.1. Akrilik Asidin SnO_2 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile SnO_2 adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.71'de gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.101'deki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.101'de ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.101: Akrilik Asidin SnO_2 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

Tablo 4.71: Akrilik asidin SnO_2 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

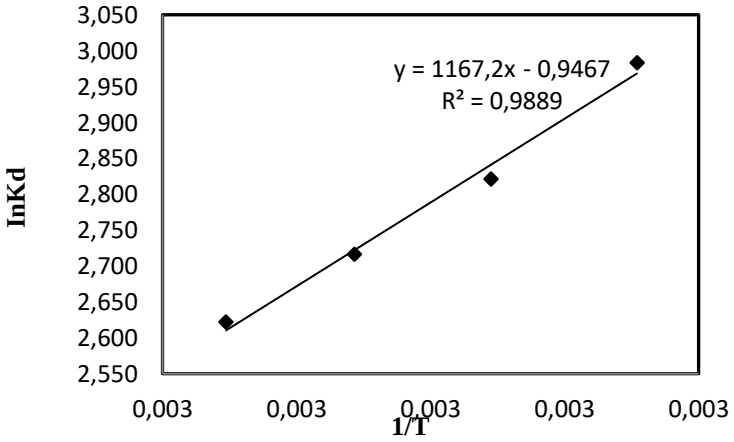
Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-23601
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-60,38
R^2		0,9221
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-5649,64
	35 ^{0}C	-5123,69
	45 ^{0}C	-3965,33
	55 ^{0}C	-4022,85

Tablo 4.71 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerli (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin eksi değerli (negatif) olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü,

adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesinde çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.2. Akrilik Asidin CaO Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile CaO adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.72'de gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.102'deki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG_0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.102'de ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH_0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS_0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.102: Akrilik Asidin CaO ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

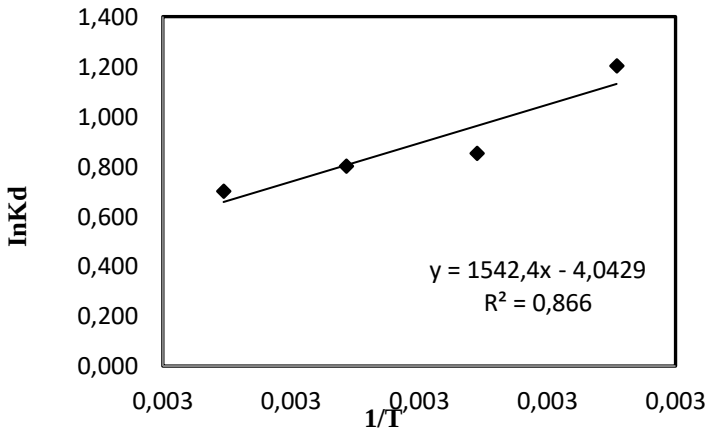
Tablo 4.72: Akrilik asidin CaO ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-9649,4
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-7,6952
R^2		0,9889
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-7394,80
	35 ^{0}C	-7226,90
	45 ^{0}C	-7184,33
	55 ^{0}C	-7152,49

Tablo 4.72 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.3. Akrilik Asidin Fe_2O_3 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile Fe_2O_3 adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.73'de gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.103'teki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.103'te ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.103: Akrilik Asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

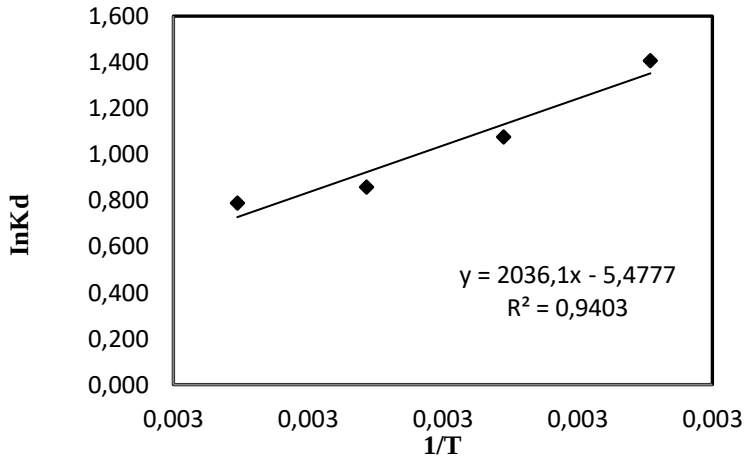
Tablo 4.73: Akrilik asidin Fe_2O_3 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-12582
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-32,842
R^2		0,866
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-2981,88
	35 ^{0}C	-2183,43
	45 ^{0}C	-2116,92
	55 ^{0}C	-1909,32

Tablo 4.73 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin negatif olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.4. Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile $MnFe_2O_3$ adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.74'te gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.104'teki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.104'te ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.104: Akrilik Asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

Tablo 4.74: Akrilik asidin $MnFe_2O_4$ ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

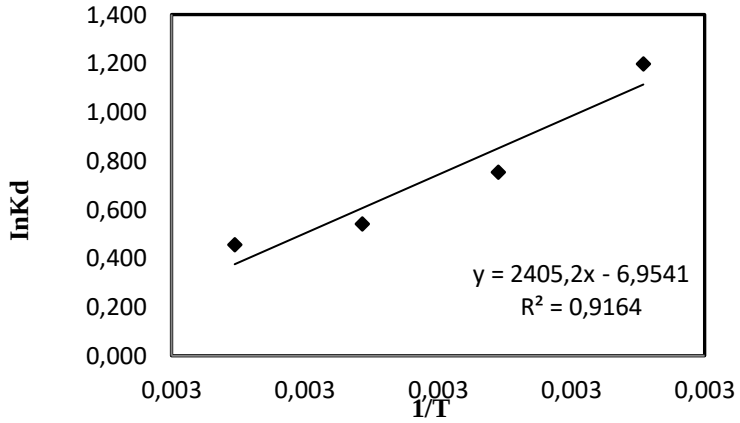
Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-16685
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-44,763
R^2		0,9403
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-3485,37
	35 ^{0}C	-2756,18
	45 ^{0}C	-2272,87
	55 ^{0}C	-2154,36

Tablo 4.74 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.5. Akrilik Asidin Al_2O_3 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile Al_2O_3 adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.75'te gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.105'teki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2)

hesaplanmıştır. Şekil 4.105'te ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.105: Akrilik Asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

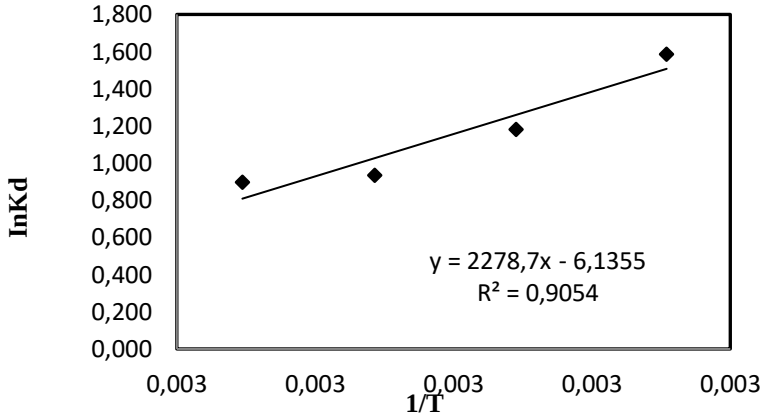
Tablo 4.75: Akrilik asidin Al_2O_3 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-19654
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-56,72
R^2		0,9164
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-2967,26
	35 ^{0}C	-1927,96
	45 ^{0}C	-1428,12
	55 ^{0}C	-1243,20

Tablo 4.75 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.6. Akrilik Asidin Bi_2O_3 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile Bi_2O_3 adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.76'da gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.106'daki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.106'da ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.106: Akrilik Asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

Tablo 4.76: Akrilik asidin Bi_2O_3 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

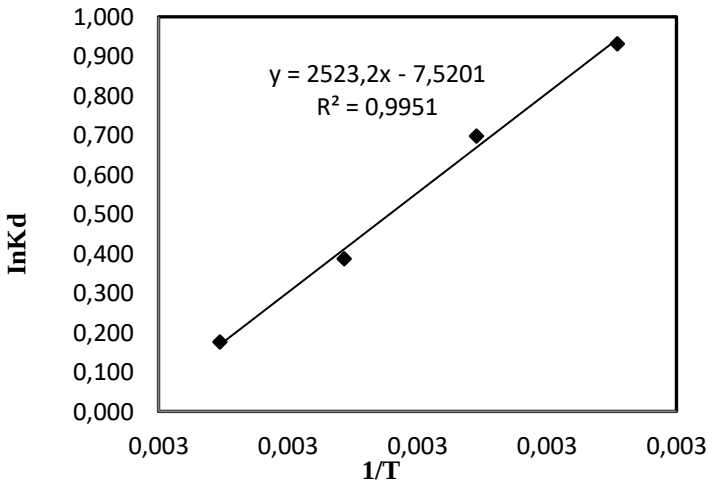
Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-18596
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-49,89
R^2		0,9054
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-3929,72
	35 ^{0}C	-3028,71
	45 ^{0}C	-2475,78
	55 ^{0}C	-2450,88

Tablo 4.76 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin negatif olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık

azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.7. Akrilik Asidin Amberlite IRA 67 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile Amberlite IRA 67 adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.77'de gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.107'deki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.107'de ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.107: Akrilik Asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

Tablo 4.77: Akrilik asidin Amberlit IRA 67 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

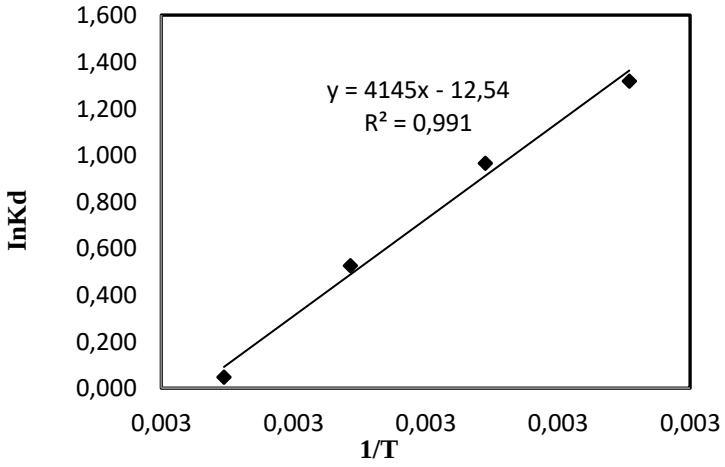
Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-20978
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-62,56
R^2		0,9951
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-2308,01
	35 ^{0}C	-1787,42
	45 ^{0}C	-1021,80
	55 ^{0}C	-477,86

Tablo 4.77 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir.

ΔS^0 değerinin negatif olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.8. Akrilik Asidin Amberlite IRA 96 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile Amberlite IRA 96 adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.78'de gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.108'deki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.108'de ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.108: Akrilik Asidin Amberlit IRA 96 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

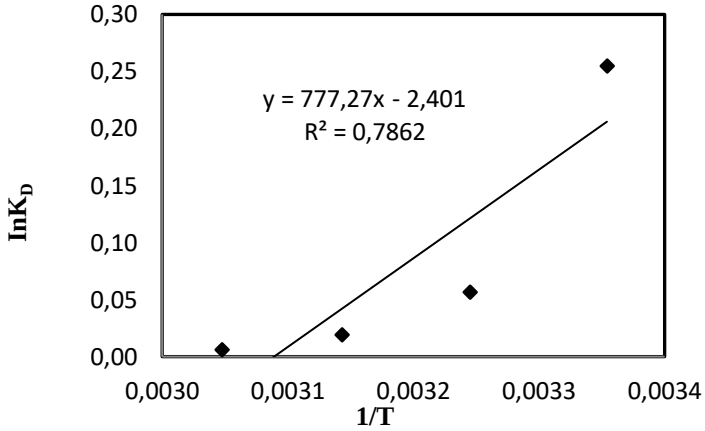
Tablo 4.78: Akrilik asidin Amberlit IRA 96 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-34648
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-104,86
R^2		0,991
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-3263
	35 ^{0}C	-2470
	45 ^{0}C	-1388
	55 ^{0}C	-129

Tablo 4.78 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin negatif olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.9. Akrilik Asidin Amberlite IRA 400 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile Amberlite IRA 400 adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.79'da gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.109'daki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı (R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.109'da ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.109: Akrilik Asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

Tablo 4.79: Akrilik asidin Amberlit IRA 400 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

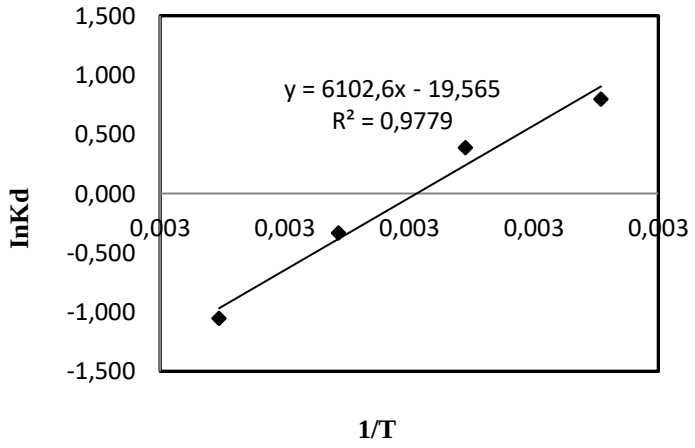
Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-6262,22
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-19,96
R^2		0,7862
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-631,63
	35 ^{0}C	-144,98
	45 ^{0}C	-51,24
	55 ^{0}C	-16,95

Tablo 4.79 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması, adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

4.5.10. Akrilik Asidin Amberlite IRA 958 Adsorpsiyonu Termodinamik Çalışmaları

Akrilik asit ile Amberlite IRA 958 adsorpsiyonun farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deney sonuçlarına ilişkin veriler Tablo 4.80'de gösterilmiştir. Deneysel verilerden yararlanarak çizilen Şekil 4.110'daki grafik yardımıyla Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0, J/mol) ve korelasyon katsayısı

(R^2) hesaplanmıştır. Şekil 4.110'da ln (K_D) ile 1/T arasında çizilen grafiğin eğiminden adsorpsiyon entalpisi (ΔH^0, J/mol) ve grafiğin kesim noktasından adsorpsiyon entropisi (ΔS^0, J/mol.K) hesaplanmıştır.



Şekil 4.110: Akrilik Asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonuna ait termodinamik grafiği.

Tablo 4.80: Akrilik asidin Amberlit IRA 958 ile adsorpsiyonu için bulunan termodinamik parametreleri.

Termodinamik Parametreleri		
ΔH^0 (J.mol^{-1})		-51149
ΔS^0 (J.mol^{-1}.K^{-1})		-163,98
R^2		0,9779
ΔG^0 (J.mol^{-1})	25 ^{0}C	-1965,50
	35 ^{0}C	-990,29
	45 ^{0}C	-881,20
	55 ^{0}C	-2876,60

Tablo 4.80 incelediğinde akrilik asidin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyonu için elde edilen ΔH^0 değerinin eksi değerde (negatif olması), adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu göstermektedir. ΔS^0 değerinin eksi değerde (negatif) olması adsorpsiyonda beklenen bir durumdur. Çünkü, adsorpsiyon proseslerinde işlem öncesi çok daha düzensiz halde olan tanecikler katı yüzeyine tutunup daha düzenli hale geldiğinden entropi negatif olmaktadır. Tüm sıcaklıklar için hesaplanan ΔG^0 değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini ve adsorpsiyon termodinamiğine uygun olduğunu ifade etmektedir. Ek olarak, ΔG^0 değerlerinin sıcaklık azalırken negatif değerlerindeki artış, sıcaklık azaldıkça adsorpsiyonun daha kolay gerçekleştiğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşme eğiliminin arttığını göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasının amacı kolay ve ekonomik bir yöntem kullanarak metal oksit sentezlemek, sentezlenen bu metal oksitlerin karakterizasyon yöntemleriyle doğrulanması ve adsorban olarak etkinliğinin incelenmesidir. Bu kapsamda, ilk olarak kimyasal çöktürme yöntemi ile sırasıyla SnO_2, CaO, Fe_2O_3, $MnFe_2O_3$, Al_2O_3 ve Bi_2O_3 metal oksitlerinin sentezi gerçekleştirilmiş ve bu metal oksitlerin yapısı ve morfolojisi FTIR, XRD, SEM ve BET analizleri ile aydınlatılmıştır. Analiz sonuçları yorumlanarak literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve yapısı doğrulanmıştır. Ayrıca sadece sentezlenen metal oksitler değil adsorpsiyon kapasitelerini karşılaştırmak amacıyla satın almış olduğumuz Amberlite reçinelerinin de karakterizasyon çalışmaları yapılmış ve adsorban olarak etkinliği içerikleri incelenmiştir. SnO_2, CaO, Fe_2O_3, $MnFe_2O_4$, Al_2O_3 ve Bi_2O_3 metal oksitlerinin ortalama tanecik çapı sırasıyla 24,90 nm, 29,58 nm, 52,88 nm, 29,10 nm, 30,54 nm, 20,01 nm ve yüzey alanları ise sırasıyla 15,7255 m^2/g, 9,4992 m^2/g, 35,0774 m^2/g, 5,8177 m^2/g, 217,4456 m^2/g ve 17,8274 m^2/g olarak bulunmuştur. Amberlite reçinelerinin karakterizasyon çalışmaları sonucunda Amberlite IRA 67 ve Amberlite IRA 958' in kristal yapıya sahip olduğu, Amberlite IRA 96 ve Amberlite IRA 400' ün amorf yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Amberlite IRA 67, Amberlite IRA 96, Amberlite IRA 400, Amberlite IRA 958 reçinelerinin sırasıyla yüzey alanları 8,6148 m^2/g, 36,0362 m^2/g, 7,7414 m^2/g ve 17,8274 m^2/g olarak bulunmuştur.

Sentezlenen metal oksitlerin ve amberlite reçinelerinin ayırma etkinliklerini belirlemek amacıyla, karboksilik asitlerin adsorpsiyon yöntemi ile ayrılması incelenmiştir. İlk olarak; akrilik asitin %10'luk sulu çözeltileri hazırlanmış ve dengeye gelme süreleri belirlenmiştir. İkinci aşamada; belirlenen dengeye gelme süresinde farklı başlangıç asit konsantrasyonları (%10, %8, %6, %4 ve %2) ile denemeler yapılarak asit konsantrasyonun adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. Üçüncü aşamada; değişik adsorban miktarları (0,25; 0,20; 0,15; 0,10 ve 0,05 g) ile denemeler yapılarak optimum adsorban miktarı belirlenmiştir. Son olarak, tüm bu optimum koşullarda farklı sıcaklıklarda (25 ℃, 35 ℃, 45 ℃ ve 55 ℃) denemeler yapılmış ve sıcaklığın adsorpsiyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Bunlara göre, akrilik asitle yapılan adsorpsiyon sürecinde SnO_2 ve CaO adsorbanlarının dengeye gelme süreleri 210 dakika; Fe_2O_3, $MnFe_2O_3$, Al_2O_3, Bi_2O_3, Amberlite

IRA 67, Amberlite IRA 96, Amberlite IRA 400 ve Amberlite 958' in akrilik asitledengeye gelme süreleri 180 dakika olarak belirlenmiştir. Başlangıç asit konsantrasyonlarının etkisi her bir adsorban için incelendiğinde; asit konsantrasyonu arttıkça, adsorpsiyon kapasitesinin ve adsorbe edilen asit miktarının arttığı bulunmuştur. Farklı adsorban miktarlarının etkisi incelendiğinde ise; adsorban miktarı arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü görülmüş ve adsorban miktarının optimum değeri 0,05 g olarak bulunmuştur. Sıcaklık etkisine bakıldığında ise, sıcaklık artışı ile adsorpsiyon kapasitesi azalmış ve optimum sıcaklık 25 ℃ olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda akrilik asitle yapılan adsorpsiyon işleminde adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla, SnO_2 için 844,82 mg g^{-1}; CaO için 1577,13 mg g^{-1}; Fe_2O_3 için 301,44 mg g^{-1}; $MnFe_2O_3$ için 367,14 mg g^{-1}; Al_2O_3 için 299,96 mg g^{-1}; Bi_2O_3 için 434,38 mg g^{-1}; Amberlite IRA 67 için 232,441 mg g^{-1}; Amberlite IRA 96 için 339,23 mg g^{-1}; Amberlite IRA 400 için 120,21 mg g^{-1} ve Amberlite IRA 958 için 202,65 mg g^{-1} olarak hesaplanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel verilerden yararlanarak adsorpsiyon izoterm, kinetik ve termodinamik çalışmaları yapılmıştır. İzoterm çalışması için; Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleriyle sonuçların karşılaştırılması yapılmış, korelasyon katsayıları (R^2) ve tüm izoterm sabitleri hesaplanmıştır. Buna göre; akrilik asidin sentezlenen metal oksitler ve Amberlite reçineleriyle yapılan adsorpsiyon sonucu çizilen izoterm grafiklerinde hem Langmuir izoterm modeline hem de Freundlich izoterm modeline uygun olduğu görülmüştür. Kinetik çalışması için; sonuçların yalancı-birinci mertebe, yalancı-ikinci mertebe, partikül içi difüzyon ve Elovich kinetik modellerine olan uyumları incelenmiş, hız sabitleri ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmıştır. Sonuçlara göre; en yüksek korelasyon katsayısına sahip olması sebebiyle, sentezlenen tüm metal oksitler için pseudo-ikinci mertebe kinetik modeline; Amberlite reçinelerde ise pseudo-birinci kinetik modeline uygun oldukları bulunmuştur. Termodinamik çalışmasında farklı sıcaklıklarda yapılan denemelere ait veriler kullanılarak entropi değişimi (ΔS^o, J/mol.K), Gibbs serbest enerjisi değişimi (ΔG^o, J/mol), entalpi değişimi (ΔH^o, J/mol) ve korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmıştır. Her asit için Gibbs serbest enerjisi değişimi negatif çıkmıştır. Bu durum, adsorpsiyon işleminin kendiliğinden gerçekleştiğini ifade etmektedir. Her bir asit için, entalpi değişimi de negatif bulunmuştur ve bu adsorpsiyon işleminin ekzotermik gerçekleştiğini göstermektedir. Entropi değişimi ise; akrilik asitle her bir adsorbanın adsorpsiyonu için negatif hesaplanmıştır. Negatif entropi, adsorpsiyon öncesi daha düzensiz olan çözelti içindeki taneciklerin adsorpsiyon ile katı yüzeyine tutunarak düzenli hale geldiğini ifade etmektedir. Böylece, bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar, sentezlenen metal oksitlerin ve Amberlite reçinelerinin akrilik asidin sulu çözeltiden ayrılmasında etkili bir adsorban olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1]. Ghareib, M.,Abdallah, W.,Abu Tahon, M. and Tallima, A., 2019, Biosynthesis of Copper Oxide Nanoparticles Using the Preformed Biomass of Aspergillus Fumigatus and Their Antibacterial and Photocatalytic Activities. , *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 14, 291–303.

[2]. Ahamed, M.,Alhadlaq, H.A.,Khan, M.A.M.,Karuppiah, P. and Al-Dhabi, N.A., 2014, Synthesis, characterization, and antimicrobial activity of copper oxide nanoparticles. , *Journal of Nanomaterials*, Hindawi Publishing Corporation 2014.

[3]. Suárez-Cerda, J.,Espinoza-Gómez, H.,Alonso-Núñez, G.,Rivero, I.A.,Gochi-Ponce, Y. and Flores-López, L.Z., 2017, A green synthesis of copper nanoparticles using native cyclodextrins as stabilizing agents. , *Journal of Saudi Chemical Society*, 21, 341–348.

[4]. Bhatia, D.,Datta, D.,Joshi, A.,Gupta, S. and Gote, Y., 2019, Adsorption of isonicotinic acid from aqueous solution using multi-walled carbon nanotubes/Fe3O4. , *Journal of Molecular Liquids*, Elsevier B.V. 276, 163–169.

[5]. Madan, S.S.,Wasewar, K.L. and Ravi Kumar, C., 2016, Adsorption kinetics, thermodynamics, and equilibrium of α-toluic acid onto calcium peroxide nanoparticles. , *Advanced Powder Technology*, Society of Powder Technology Japan 27, 2112–2120.

[6]. Chaturvedi, S.,Dave, P.N. and Shah, N.K., 2012, Applications of nano-catalyst in new era. , *Journal of Saudi Chemical Society*, King Saud University 16, 307–325.

[7]. Özcan, Ö.,Inci, I. and Aşçi, Y.S., 2013, Multiwall carbon nanotube for adsorption of acetic acid. , *Journal of Chemical and Engineering Data*, 58, 583–587.

[8]. Luthy, R.G.,Aiken, G.R.,Brusseau, M.L.,Cunningham, S.D.,Gschwend, P.M.,Pignatello, J.J.,Reinhard, M.,Traina, S.J.,Weber, W.J. and Westall, J.C., 1997, Sequestration of hydrophobic organic contaminants by geosorbents. , *Environmental Science and Technology*, 31, 3341–3347.

[9]. Bruno, L., 2019, 済無No Title No Title. , *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 1689–1699.

[10]. Yagub, M.T.,Sen, T.K.,Afroze, S. and Ang, H.M., 2014, Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. , *Advances in Colloid and Interface Science*, Elsevier B.V. 209, 172–184.

[11]. Eshtiaghi, N. and Bobade, V. Heavy Metals Removal from Wastewater by Adsorption Process : A Review.

[12]. Onyancha, D.,Mavura, W.,Ngila, J.C.,Ongoma, P. and Chacha, J., 2008, Studies of chromium removal from tannery wastewaters by algae biosorbents, Spirogyra condensata and Rhizoclonium hieroglyphicum. , *Journal of Hazardous Materials*, 158, 605–614.

[13]. Módenes, A.N.,Espinoza-Quiñones, F.R.,Trigueros, D.E.G.,Lavarda, F.L.,Colombo, A. and Mora, N.D., 2011, Kinetic and equilibrium adsorption of Cu(II) and Cd(II) ions on Eichhornia crassipes in single and binary systems. , *Chemical Engineering Journal*, 168, 44–51.

[14]. Bayazit, Ş.S. and Inci, I., 2013, Adsorption of Pb(II) ions from aqueous solutions by carbon nanotubes oxidized different methods. , *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19, 2064–2071.

[15]. 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 of Hazardous Materials*, 120, 271–275.

[16]. Al-ghouti, M.A. and Da, D.A., 2020, Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models : A review. , *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier 393, 122383.

[17]. İ, İ.,İ, İ. and Baylan, N., 2021, Comparison of strongly and weakly basic anionic resins as adsorbent for acrylic acid removal.

[18]. Avcı, A.,İnci, İ. and Baylan, N., 2020, Adsorption of ciprofloxacin hydrochloride on multiwall carbon nanotube. , *Journal of Molecular Structure*, 1206, 1–7.

[19]. Cevizi, S.,Elde, K. and Adsorplanarak, L.E.N.A., 2004, BAZI PESTiSÎTLERiN.

[20]. Yener, J., 1999, Atıksulardaki Fenol ve Klorofenollerin Aktif Karbon ve Kurutulmu Aktif Ç amura Adsorpsiyonu Adsorption of Phenols and Chlorophenols in Wastewaters on Activated Carbon and Dried Activated Sludge. , *Tr. J. of Engineering and Environmental Science*, 23, 93–104.

[21]. Dağli, S.,Akça, L.,Fen, İ.T.Ü.,Enstitüsü, B. and Bilimleri, Ç., 2007, Yapay sulakalan sisteminde fosfor giderimine ortam malzemesinin etkisi. , *Langmuir*, 51–59.

[22]. Qiu, H.,Lv, L.,Pan, B.,Zhang, Q.,Zhang, W. and Zhang, Q., 2009, Critical review in adsorption kinetic models * 10, 716–724.

[23]. Srivastava, V.C.,Swamy, M.M.,Mall, I.D.,Prasad, B. and Mishra, I.M., 2006, Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. , *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 272, 89–104.

[24]. Kecili, R. and Hussain, C.M., 2018, Chapter 4 - Mechanism of Adsorption on Nanomaterials. , *Nanomaterials in Chromatography*, Elsevier Inc.

[25]. Andrade, R. De,Oliveira, M.F.,Silva, M.G.C. and Vieira, M.G.A., 2018, Adsorption of Pharmaceuticals from Water and Wastewater Using Nonconventional Low-Cost

Materials : A Review.

[26]. Ijagbemi, C.O.,Baek, M.H. and Kim, D.S., 2009, Montmorillonite surface properties and sorption characteristics for heavy metal removal from aqueous solutions. , *Journal of Hazardous Materials*, 166, 538–546.

[27]. Uslu, H. and Bayazit, S., 2009, Comparison of Solid - Liquid Equilibrium Data for the Adsorption of Propionic Acid and Tartaric Acid from Aqueous Solution onto Amberlite IRA-67 7767–7772.

[28]. Uslu, H., 2010, Adsorption of Picric Acid from Aqueous Solution by the Weakly Basic Adsorbent Amberlite IRA-67 3290–3296.

[29]. Uslu, H.,Inci, I. and Bayazit, Ş.S., 2010, Adsorption equilibrium data for acetic acid and glycolic acid onto amberlite IRA-67. , *Journal of Chemical and Engineering Data*, 55, 1295–1299.

[30]. Yousuf, A.,Bonk, F.,Bastidas-Oyanedel, J.R. and Schmidt, J.E., 2016, Recovery of carboxylic acids produced during dark fermentation of food waste by adsorption on Amberlite IRA-67 and activated carbon. , *Bioresource Technology*, Elsevier Ltd 217, 137–140.

[31]. Edebali, S. and Pehlivan, E., 2010, Evaluation of Amberlite IRA96 and Dowex 1×8 ion-exchange resins for the removal of Cr(VI) from aqueous solution. , *Chemical Engineering Journal*, Elsevier B.V. 161, 161–166.

[32]. Moldes, A.B.,Alonso, J.L. and Parajó, J.C., 2001, Resin selection and single-step production and recovery of lactic acid from pretreated wood. , *Applied Biochemistry and Biotechnology - Part A Enzyme Engineering and Biotechnology*, 95, 69–81.

[33]. Pradhan, N.,Rene, E.R.,Lens, P.N.L.,Dipasquale, L.,D'Ippolito, G.,Fontana, A.,Panico, A. and Esposito, G., 2017, Adsorption behaviour of lactic acid on granular activated carbon and anionic resins: Thermodynamics, isotherms and kinetic studies. , *Energies*, 10, 1–16.

[34]. Fu, Y. and Chen, Y., 2009, Fixed-Bed Adsorption Study for Fumaric Acid Removal from Aqueous Solutions by Amberlite IRA-400 Resin 1625–1629.

[35]. Halilibrahimoğlu, N.,İnci, İ. and Baylan, N., 2019, Lactic acid recovery from water by Amberlite IRA-400. , *Desalination and Water Treatment*, 172, 190–198.

[36]. Greluk, M. and Hubicki, Z., 2011, Efficient removal of Acid Orange 7 dye from water using the strongly basic anion exchange resin Amberlite IRA-958. , *Desalination*, Elsevier B.V. 278, 219–226.

[37]. Datta, D. and Kumar, S., 2014, Reactive extraction of pyridine-2-carboxylic acid (picolinic acid) using nontoxic extractant and diluent systems. , *Journal of Chemical and Engineering Data*, 59, 1540–1548.

[38]. De, B.S.,Wasewar, K.L.,Dhongde, V.R. and Sontakke, P.B., 2018, Recovery of acrylic acid using calcium peroxide nanoparticles: Thermodynamics and continuous column

study. , *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 32, 19–28.

[39]. Xu, X.,Lin, J. and Cen, P., 2006, Advances in the research and development of acrylic acid production from biomass. , *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 14, 419–427.

[40]. Danner, H.,Ürmös, M.,Gartner, M. and Braun, R., 1998, Biotechnological production of acrylic acid from biomass. , *Applied Biochemistry and Biotechnology - Part A Enzyme Engineering and Biotechnology*, 70–72, 887–894.

[41]. Straathof, A.J.J.,Sie, S.,Franco, T.T. and Van Der Wielen, L.A.M., 2005, Feasibility of acrylic acid production by fermentation. , *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67, 727–734.

[42]. Lunelli, B.H.,Duarte, E.R.,Vasco De Toledo, E.C.,Wolf Maciel, M.R. and Maciel Filho, R., 2007, A new process for acrylic acid synthesis by fermentative process. , *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 137–140, 487–499.

[43]. de Monredon, S.,Cellot, A.,Ribot, F.,Sanchez, C.,Armelao, L.,Gueneau, L. and Delattre, L., 2002, Synthesis and characterization of crystalline tin oxide nanoparticles. , *Journal of Materials Chemistry*, 12, 2396–2400.

[44]. Mirghiasi, Z.,Bakhtiari, F.,Darezereshki, E. and Esmaeilzadeh, E., 2014, Preparation and characterization of CaO nanoparticles from Ca(OH)2 by direct thermal decomposition method. , *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry 20, 113–117.

[45]. Farahmandjou, M. and Soflaee, F., 2015, Synthesis and characterization of α-Fe2O3 nanoparticles by simple co-precipitation method. , *Physical Chemistry Research*, 3, 191–196.

[46]. Pande, S.,Islam, M.M.,Mohanta, S.C. and Uddin, N., 2019, Single-Step Synthesis of Manganese Ferrite Nanoparticles with Enhanced Magnetization via Chemical Co-precipitation Route. , *Journal of Scientific Research*, 11, 225–234.

[47]. Rabelo, D.,Lima, E.C.D.,Filho, N.T.,Soares, F.Q.,Faria, L.C.,Pelegrini, F.,Silva, O.,Oliveira, A.C.,Garg, V.K. and Morais, P.C., 2004, Synthesis of manganese ferrite nanoparticles in macroporous styrene-divinylbenzene copolymer. , *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 272–276, 2003–2004.

[48]. Ghorbani, H.R., 2014, A review of methods for synthesis of Al nanoparticles. , *Oriental Journal of Chemistry*, 30, 1941–1949.

[49]. Prabhakar, R. and Samadder, S.R., 2018, Low cost and easy synthesis of aluminium oxide nanoparticles for arsenite removal from groundwater: A complete batch study. , *Journal of Molecular Liquids*, Elsevier B.V. 250, 192–201.

[50]. Patil, M.M.,Deshpande, V. V.,Dhage, S.R. and Ravi, V., 2005, Synthesis of bismuth oxide nanoparticles at 100 °c. , *Materials Letters*, 59, 2523–2525.

[51]. Jalali Sarvestani, M.R. and Doroudi, Z., 2021, Alprazolam Adsorption on the Surface of Boron Nitride Nanocage (B12N12): A DFT Investigation. , *Russian Journal of Physical*

Chemistry A, 95, S338–S345.

[52]. Farrukh, M.A.,Heng, B.T. and Adnan, R., 2010, Surfactant-controlled aqueous synthesis of SnO2 nanoparticles via the hydrothermal and conventional heating methods. , *Turkish Journal of Chemistry*, 34, 537–550.

[53]. Köseoğlu, Y.,Alan, F.,Tan, M.,Yilgin, R. and Öztürk, M., 2012, Low temperature hydrothermal synthesis and characterization of Mn doped cobalt ferrite nanoparticles. , *Ceramics International*, 38, 3625–3634.

[54]. Ananth, A.,Dharaneedharan, S.,Heo, M.S. and Mok, Y.S., 2015, Copper oxide nanomaterials: Synthesis, characterization and structure-specific antibacterial performance. , *Chemical Engineering Journal*, Elsevier B.V. 262, 179–188.

[55]. Cagnasso, M.,Boero, V.,Franchini, M.A. and Chorover, J., 2010, ATR-FTIR studies of phospholipid vesicle interactions with α-FeOOH and α-Fe2O3 surfaces. , *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76, 456–467.

[56]. Goodarz Naseri, M.,Saion, E.B. and Kamali, A., 2012, An Overview on Nanocrystalline ZnFe 2 O 4 , MnFe 2 O 4 , and CoFe 2 O 4 Synthesized by a Thermal Treatment Method . , *ISRN Nanotechnology*, 2012, 1–11.

[57]. Al-Rubayee, W.T.,Abdul-Rasheed, O.F. and Ali, N.M., 2016, Preparation of a Modified Nanoalumina Sorbent for the Removal of Alizarin Yellow R and Methylene Blue Dyes from Aqueous Solutions. , *Journal of Chemistry*, 2016.

[58]. Nazari, P.,Dowlatabadi-Bazaz, R.,Mofid, M.R.,Pourmand, M.R.,Daryani, N.E.,Faramarzi, M.A.,Sepehrizadeh, Z. and Shahverdi, A.R., 2014, The antimicrobial effects and metabolomic footprinting of carboxyl-capped bismuth nanoparticles against helicobacter pylori. , *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172, 570–579.

[59]. Soltanzadeh, N. and Morsali, A., 2009, Syntheses and characterization nano-structured bismuth(III) oxide from a new nano-sized bismuth(III) supramolecular compound. , *Polyhedron*, Elsevier Ltd 28, 1343–1347.

[60]. Yalçln, Ö.,Baylan, N. and Çehreli, S., 2021, Competitive Adsorption of Anti-Parkinson Drugs on Different Amberlite Resins from Water: Quantitative Analysis by Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC). , *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 60, 11789–11801.

[61]. Haslaniza, H.,Wan Yaacob, W.A.,Zubairi, S.I. and Maskat, M.Y., 2015, Potential of amberlite IRA 67 resin for deacidification of organic acids in noni juice. , *Der Pharma Chemica*, 7, 62–69.

[62]. Sinha, S.,Behera, S.S.,Das, S.,Basu, A.,Mohapatra, R.K.,Murmu, B.M.,Dhal, N.K.,Tripathy, S.K. and Parhi, P.K., 2018, Removal of Congo Red dye from aqueous solution using Amberlite IRA-400 in batch and fixed bed reactors. , *Chemical Engineering Communications*, Taylor & Francis 205, 432–444.

İNTİHAL RAPORU

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

İrem İLALAN YILDIRIM
(İmza)

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

İrem İLALAN YILDIRIM
(İmza)