T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİTOSAN/KİL KOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU ve ADSORPSİYON UYGULAMALARI

Ayfer YILDIRIM

DOKTORA TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Ocak 2017

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Ayfer YILDIRIM tarafından yapılan "Çitosan/Kil Kompozitlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Adsorpsiyon Uygulamaları" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Kimya Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyeleri

Başkan:Prof. Dr.Fuat GÜZEL

Üye: Prof. Dr. Haluk AYDIN

Üye (Danışman): Prof. Dr. Yasemin BULUT

Üye: Doç. Dr. M.Atilla TAŞDELEN

Üye: Doç. Dr. Binnur AYDOĞAN TEMEL

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 20/01/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

…/…/2017

Doç. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ V.

TEŞEKKÜR

Öncelikle doktora çalışmalarım süresince beni yönlendiren, zamanını, ilgisini ve tecrübesini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Yasemin BULUT' a

Desteği ve sevgisi ile her zaman maddi manevi yanımda olan sevgili eşim Ahmet YILDIRIM' a,

Varlıklarından ilham aldığım kızlarım Meryem Naz YILDIRIM ve Süreyya Avzem YILDIRIM' a,

Tez çalışmalarım süresince, her türlü yardımını gördüğüm Dr. Hatice KARAER, Doç. Dr. Cezmi KAYAN' a,

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan ve yaşamım boyunca bana her konuda güvenen, sevgilerini esirgemeyen tüm aileme,

Çalışmayı DÜBAP, 12-FF-91 no' lu projeyle maddi olarak destekleyen Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' ne teşekkürlerimi sunarım.

Öğr. Gör. Ayfer YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **I**
İÇİNDEKİLER ..... **II**
ÖZET..... ..... **IV**
ABSTRACT ..... **V**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **VI**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **XVII**
KISALTMA ve SİMGELER ..... **XXIII**
1. GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **3**
2.1. Çevre Kirliliği 3
2.2. Su kirliliği 3
2.2.1. Kentsel Kirletici Kaynaklar: 4
2.2.2. Endüstriyel Kirletici Kaynaklar 4
2.2.2.1. Madencilik Endüstrisi 5
2.2.2.2. Tekstil Endüstrisi 5
2.2.2.3. Kağıt Endüstrisi 6
2.2.3. Tarımsal Kirletici Kaynaklar 6
2.2.4. Doğal Kirletici Kaynaklar 7
2.2.5. Su Kirliliğinin Çevreye Etkileri 7
2.3. Çalışmada Kullanılan Boyar Maddeler 7
2.3.1. Malahit Yeşili (Malachite Green, MG) 7
2.3.2. Metilen Mavisi (Methylene Blue, MB) 8
2.3.3. Boyar Maddelerin İnsan ve Çevre Üzerindeki Etkileri 9
2.4. Çalışmada Kullanılan Ağır Metaller 10
2.4.1. Bakır 10
2.4.2. Nikel 11
2.4.3. Ağır Metallerin İnsan ve Çevre Üzerindeki Etkileri 12
2.5. Adsorpsiyon 13
2.5.1. Adsorpsiyon İzotermleri 14
2.5.1.1. Freundlich İzotermi 17
2.5.1.2. Langmuir İzotermi 17
2.5.2. Adsorpsiyon Kinetiği 18
2.5.3. Aktivasyon Enerjisi (E_a) Hesaplanması 20
2.5.4. Adsorpsiyon Termodinamiği 21
2.5.5. Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler 22
2.5.5.1. Adsorbentin Yüzey Alanı Etkisi 22
2.5.5.2. Adsorbentin Gözenek Yapısı Etkisi 22
2.5.5.3. Adsorbatın Çözünürlüğü Etkisi 23
2.5.5.4. Adsorbentin Tanecik Boyutu Etkisi 23
2.5.5.5. Temas Süresi Etkisi 23
2.5.5.6. pH Etkisi 24
2.5.5.7. Sıcaklık Etkisi 24
2.5.5.8. Başlangıç Adsorbat Derişimi Etkisi 24
2.6. Çitosan 25
2.7. Bentonit 27
2.8. Akrilik Asit 27
2.9. Kompozit 28
2.10. Önceki Çalışmalar 28
3. MATERYAL ve METOT **33**
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler 33
3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar 33

3.3. Ön Çalışmada Kullanılan Kompozitlerin Hazırlanması 33
3.4. ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 Kompozitlerinin Hazırlanması 33
3.5. Adsorbentlerin Karakterizasyon Çalışmaları 34
3.5.1. FTIR Analizleri 34
3.5.2. SEM Analizleri 34
3.5.3. TGA-DTA Analizleri 34
3.6. Kinetik Çalışmalar 35
3.6.1. Başlangıç Derişimi Etkisi 35
3.6.2. Sıcaklık Etkisi 35
3.6.3. Adsorpsiyon Hız Sabitlerinin Hesaplanması 36
3.6.4. Gözenek Difüzyon Katsayısının Hesaplanması 36
3.6.5. Parçacık İçi (intraparticle) Kütle Difüzyon Katsayısının Hesaplanması 37
3.7. pH Etkisi 37
3.8. Adsorpsiyon Çalışmaları 37
3.9. Termodinamik Hesaplamalar 39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 41
4.1. Çizelge ve Şekiller 41
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 223
5.1. Adsorbentlerin Karakterizasyon Çalışmalarının Değerlendirilmesi 223
5.1.1. FTIR Analizlerinin Değerlendirilmesi 223
5.1.2. SEM Analizleri Değerlendirilmesi 228
5.1.3. TGA-DTA Analizleri Değerlendirilmesi 228
5.2. Kinetik Çalışmaların Değerlendirilmesi 231
5.2.1. Başlangıç Derişimi Etkisinin Değerlendirilmesi 231
5.2.2. Sıcaklık Etkisinin Değerlendirilmesi 233
5.2.3. Adsorpsiyon Hız Sabitlerinin Değerlendirilmesi 235
5.3. pH Etkisinin Değerlendirilmesi 236
5.4. Adsorpsiyon İzotermlerinin Değerlendirilmesi 237
5.5. Termodinamik Hesaplamalar 239
6. KAYNAKLAR 243
ÖZGEÇMİŞ 251

ÖZET

ÇİTOSAN/KİL KOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ,
KARAKTERİZASYONU ve ADSORPSİYON UYGULAMALARI

DOKTORA TEZİ

AYFER YILDIRIM

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

2017

Bu çalışmada, farklı oranlarda çapraz bağlayıcı ve akrilik asit kullanılıp çitosan/bentonit/akrilik asit, ÇBA kompozitleri (ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4, ÇBA5) sentezlenerek sulu çözeltiden MG, MB boyar madde ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyonların adsorpsiyonunda kullanıldı. Adsorpsiyon üzerine temas süresi, sıcaklık, başlangıç derişimi ve pH etkisi incelendi.

Kinetik veriler psödo-birinci, psödo-ikinci mertebe, Weber-Morris parçacık içi kütle transfer ve gözenek difüzyon modellerinde değerlendirilerek hız sabitleri bulundu. Korelasyon katsayılarının büyüklüğünden kinetik model tespiti yapıldı. Tüm kompozitlerin yüzeyinde MG, MB boyar madde ile Cu(II), Ni(II) metal iyonların adsorpsiyon kinetiğinin psödo-ikinci mertebe modeline uyduğu tespit edilerek k_{pi} sabitleri kullanılarak aktivasyon enerjileri (E_a) hesaplandı. İzoterm verileri ise yaygın olarak kullanılan Langmuir ve Freunlich adsorpsiyon modelleri ile adsorpsiyon dengesi incelenerek bu modellere ait izoterm sabitleri ile korelasyon katsayıları belirlendi. Korelasyon katsayılarının büyüklüğünden adsorpsiyonların Langmuir izoterm modeline uyduğu böylece belirlenen b-Langmuir sabitlerinden, Van' t Hoff denkleminden de yararlanarak adsorpsiyon serbest entalpisi (ΔG), entalpisi (ΔH) ve entropisi (ΔS) termodinamik parametreleri hesaplandı.

Çalışmadaki hem hazırlanan kompozitlerin (ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4, ÇBA5) hem de boyar maddeler ile ağır metal iyonlarının kullanılan adsorplayıcılar üzerinde tutunma mekanizmalarını aydınlatmak üzere adsorpsiyon öncesi ve sonrası yüzey fonksiyonel gruplarını, morfolojisini ve ısısal davranışlarını belirlemek için FTIR, SEM ve TGA-DTA analizleri yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Çitosan, bentonit, akrilik asit, kompozit, adsorpsiyon, termodinamik parametreler, malahit yeşili, metilen mavisi, bakır, nikel.

ABSTRACT

PREPARATION and CHARACTERIZATION of CHITOSAN/CLAY COMPOSITES and THEIR ADSORPTION APPLICATIONS

Ph. D. THESIS

AYFER YILDIRIM

DEPARTMENT OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DICLE UNIVERSITY

2017

In this study, by using different crosslinked and acrylic acid ratio chitosan/bentonite/acrylic acid CBA composites (CBA1, CBA2, CBA3, CBA4, CBA5) were synthesized and used for adsorption of MG, MB dyes and Cu(II), Ni(II) heavy metals. Effects of contact time, temperature, initial concentration and pH on adsorption mechanism were investigated.

Kinetic data were evaluated by pseudo-first, pseudo-second order and Weber-Morris intraparticle mass tansfer and pore diffusion models and kinetic coefficients were determined. Kinetic model was confirmed by magnitudes of correlation coefficients. Pseudo-second model was founded as best model for adsorption of MG, MB dyes and Cu(II), Ni(II) metal ions on all composite surfaces so, by using k_{pi} activation energies (E_a) were calculated. Langmuir and Freunlich models that commonly used were examined for isotherm data calculations and by investigation adsorption equilibrium, isotherm coefficiens were calculated for these models. According to magnitude of correlation coefficiens, Langmuir isotherm model was founded as most usefull isotherm model therefore, by use of determined b-Langmuir coefficients and Van' t Hoff equation adsorption free enthalpy (ΔG), entalphy (ΔH) and entropy (ΔS) parameters were calculated.

In order to determine synthesized composites (CBA1, CBA2, CBA3, CBA4, CBA5) and adsorption mechanisms of dyes and heavy metal ions on composite surfaces, FTIR (for functional groups), SEM (for surface morphologies) and TGA-DTA (for thermal behaviors) techniques were used before and after adsorption process.

Key Words: Chitosan, bentonite, acrylic acid, composite, adsorption, thermodynamic parameters, malachite green, methylene blue, copper, nickel.

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No **Sayfa No**

Çizelge 3.1. ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozit içeriklerinin ağırlıkça oranları 34

Çizelge 4.1. ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin termal analiz sonuçları 41

Çizelge 4.2. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (m=0.025 g, V=50mL, T=298 K, hız=120 rpm) 42

Çizelge 4.3. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB'nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 43

Çizelge 4.4. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 44

Çizelge 4.5. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 45

Çizelge 4.6. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 46

Çizelge 4.7. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 46

Çizelge 4.8. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 46

Çizelge 4.9. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 47

Çizelge 4.10. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 47

Çizelge 4.11. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 48

Çizelge 4.12. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 48

Çizelge 4.13. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 49

Çizelge 4.14. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 49

Çizelge 4.15. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 49
Çizelge 4.16. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 50
Çizelge 4.17. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 50
Çizelge 4.18. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 50
Çizelge 4.19. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 51
Çizelge 4.20. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 51
Çizelge 4.21. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 52
Çizelge 4.22. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 52
Çizelge 4.23. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 52
Çizelge 4.24. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 53
Çizelge 4.25. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm**)** 53
Çizelge 4.26. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 54
Çizelge 4.27. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 54
Çizelge 4.28. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 55
Çizelge 4.29. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 55

Çizelge 4.30. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 56
Çizelge 4.31. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 56
Çizelge 4.32. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 57
Çizelge 4.33. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 57
Çizelge 4.34. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 58
Çizelge 4.35. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 58
Çizelge 4.36. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 59
Çizelge 4.37. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 59
Çizelge 4.38. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 60
Çizelge 4.39. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 60
Çizelge 4.40. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 61
Çizelge 4.41. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 61
Çizelge 4.42. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 62
Çizelge 4.43. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 62
Çizelge 4.44. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 63

Çizelge 4.45. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 63
Çizelge 4.46. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 64
Çizelge 4.47. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 64
Çizelge 4.48. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 65
Çizelge 4.49. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 65
Çizelge 4.50. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 66
Çizelge 4.51. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 66
Çizelge 4.52. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}. m=0.025 g, V=50 mL. hız=120 rpm) 67
Çizelge 4.53. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 67
Çizelge 4.54. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 68
Çizelge 4.55. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 68
Çizelge 4.56. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 69
Çizelge 4.57. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 69
Çizelge 4.58. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 70
Çizelge 4.59. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 70

Çizelge 4.60. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 71
Çizelge 4.61. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 71
Çizelge 4.62. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 72
Çizelge 4.63. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 72
Çizelge 4.64. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 73
Çizelge 4.65. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 73
Çizelge 4.66. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 74
Çizelge 4.67. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 74
Çizelge 4.68. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 75
Çizelge 4.69. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 75
Çizelge 4.70. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 76
Çizelge 4.71. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 76
Çizelge 4.72. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 77

Çizelge 4.73. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 77
Çizelge 4.74. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 78
Çizelge 4.75. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 78
Çizelge 4.76. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 79
Çizelge 4.77. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 79
Çizelge 4.78. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 80
Çizelge 4.79. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 80
Çizelge 4.80. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 81
Çizelge 4.81. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 81
Çizelge 4.82. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 82
Çizelge 4.83. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 82
Çizelge 4.84. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle

transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 83
Çizelge 4.85. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 83
Çizelge 4.86. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 84
Çizelge 4.87. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 84
Çizelge 4.88. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 85
Çizelge 4.89. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 85
Çizelge 4.90. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 86
Çizelge 4.91. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 86
Çizelge 4.92. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 87
Çizelge 4.93. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 87
Çizelge 4.94. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 88
Çizelge 4.95. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 88

Çizelge 4.96. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 89

Çizelge 4.97. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 89

Çizelge 4.98. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 90

Çizelge 4.99. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 90

Çizelge 4.100. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 91

Çizelge 4.101. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 91

Çizelge 4.102. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 92

Çizelge 4.103. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 92

Çizelge 4.104. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 93

Çizelge 4.105. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 93

Çizelge 4.106. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 94

Çizelge 4.107. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 95

Çizelge 4.108. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 96
Çizelge 4.109. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 97
Çizelge 4.110. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 98
Çizelge 4.111. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 99
Çizelge 4.112. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 100
Çizelge 4.113. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 101
Çizelge 4.114. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 102
Çizelge 4.115. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 103
Çizelge 4.116. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 104
Çizelge 4.117. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 105
Çizelge 4.118. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 106
Çizelge 4.119. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 107
Çizelge 4.120. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 108
Çizelge 4.121. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 109
Çizelge 4.122. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 110

Çizelge 4.123. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 111
Çizelge 4.124. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 112
Çizelge 4.125. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 113
Çizelge 4.126. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon E_a enerji değerleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 114
Çizelge 4.127. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon E_a enerji değerleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 114
Çizelge 4.128. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon E_a enerji değerleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 115
Çizelge 4.129. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon E_a enerji değerleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 115
Çizelge 4.130. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonuna pH' nın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm, t=240 dak) 116
Çizelge 4.131. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonuna pH' nın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm, t=240 dak) 116
Çizelge 4.132. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonuna pH' nın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm, t=240 dak) 116
Çizelge 4.133. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonuna pH' nın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm, t=240 dak) 116
Çizelge 4.134. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 117
Çizelge 4.135. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 118
Çizelge 4.136. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 119
Çizelge 4.137. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 120
Çizelge 4.138. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 121
Çizelge 4.139. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 122

Çizelge 4.140. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 123
Çizelge 4.141. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 124
Çizelge 4.142. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 125
Çizelge 4.143. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 126
Çizelge 4.144. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 127
Çizelge 4.145. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 128
Çizelge 4.146. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm sabitleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 129
Çizelge 4.147. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm sabitleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 129
Çizelge 4.148. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm sabitleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 130
Çizelge 4.149. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm sabitleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak) 130
Çizelge 4.150. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonu termodinamik parametreleri 131
Çizelge 4.151. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonu termodinamik parametreleri 131
Çizelge 4.152. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonu termodinamik parametreleri 132
Çizelge 4.153. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonu termodinamik parametreleri 132
Çizelge 5.1. Çitosan bazlı kompozitlerin MG adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleri 237
Çizelge 5.2. Çitosan bazlı kompozitlerin MB adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleri 238
Çizelge 5.3. Çitosan bazlı kompozitlerin Cu(II)adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleri 238
Çizelge 5.4. Çitosan bazlı kompozitlerin Ni(II) adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleri 239

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 2.1.	Malahit yeşili boyar maddesinin kimyasal yapısı	8
Şekil 2.2.	Metilen mavisi boyar maddesinin kimyasal yapısı	9
Şekil 2.3.	Adsorpsiyon izotermlerinin BDDT sınıflandırılması	16
Şekil 2.4.	(a) kitin (b) çitosan	25
Şekil 4.1.	Farklı çapraz-bağlayıcılarla hazırlanmış ÇB (Çitosan-Bentonit) ve akrilik asit eklenmiş ÇBA1 kompozitlerinin MG adsorpsiyonu kapasitelerinin kıyaslanması (C_o=50 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)	133
Şekil 4.2.	Farklı çapraz-bağlayıcılarla hazırlanmış ÇB (Çitosan-Bentonit) ve akrilik asit eklenmiş ÇBA1 kompozitlerinin MB adsorpsiyonu kapasitelerinin kıyaslanması (C_o=50 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)	133
Şekil 4.3.	Farklı çapraz-bağlayıcılarla hazırlanmış ÇB (Çitosan-Bentonit) ve akrilik asit eklenmiş ÇBA1 kompozitlerinin Cu(II) adsorpsiyonu kapasitelerinin kıyaslanması (C_o=50 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)	134
Şekil 4.4.	Farklı çapraz-bağlayıcılarla hazırlanmış ÇB (Çitosan-Bentonit) ve akrilik asit eklenmiş ÇBA1 kompozitlerinin Ni(II) adsorpsiyonu kapasitelerinin kıyaslanması (C_o=50 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)	134
Şekil 4.5.	Çitosan, bentonit, ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4, ÇBA5 kompozitlerinin IR analizleri	135
Şekil 4.6.	ÇBA1, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA1 IR analizleri	135
Şekil 4.7.	ÇBA2, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA2 IR analizleri	136
Şekil 4.8.	ÇBA3, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA3 IR analizler	136
Şekil 4.9.	ÇBA4, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA4 IR analizleri	137
Şekil 4.10.	ÇBA5, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri	137
Şekil 4.11.	ÇBA1, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA1 IR analizleri	138
Şekil 4.12.	ÇBA2, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA2 IR analizleri	138
Şekil 4.13.	ÇBA3, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA3 IR analizleri	139
Şekil 4.14.	ÇBA4, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA4 IR analizleri	139
Şekil 4.15.	ÇBA5, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri	140
Şekil 4.16.	ÇBA1, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA1 IR analizleri	140
Şekil 4.17.	ÇBA2, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA2 IR analizleri	141
Şekil 4.18.	ÇBA3, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA3 IR analizleri	141
Şekil 4.19.	ÇBA4, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA4 IR analizleri	142
Şekil 4.20.	ÇBA5, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri	142
Şekil 4.21.	ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri	143
Şekil 4.22.	ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri	143
Şekil 4.23.	ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri	144
Şekil 4.24.	ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri	144
Şekil 4.25.	ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri	145

Şekil 4.26. (a) ÇBA1 (b) ÇBA1 MG adsorplanmış (c) ÇBA1 MB adsorplanmış (d) ÇBA1 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA1 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri 146
Şekil 4.27. (a) ÇBA2 (b) ÇBA2 MG adsorplanmış (c) ÇBA2 MB adsorplanmış (d) ÇBA2 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA2 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri 147
Şekil 4.28. (a) ÇBA3 (b) ÇBA3 MG adsorplanmış (c) ÇBA3 MB adsorplanmış (d) ÇBA3 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA3 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri 148
Şekil 4.29. (a) ÇBA4 (b) ÇBA4 MG adsorplannmış (c) ÇBA4 MB adsorplanmış (d) ÇBA4 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA4 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri 149
Şekil 4.30. (a) ÇBA5 (b) ÇBA5 MG adsorplanmış (c) ÇBA5 MB adsorplanmış (d) ÇBA5 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA5 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri 150
Şekil 4.31. ÇBA1 kompozitine ait TGA-DTA grafiği 151
Şekil 4.32. ÇBA2 kompozitine ait TGA-DTA grafiği 151
Şekil 4.33. ÇBA3 kompozitine ait TGA-DTA grafiği 152
Şekil 4.34. ÇBA4 kompozitine ait TGA-DTA grafiği 152
Şekil 4.35. ÇBA5 kompozitine ait TGA-DTA grafiği 153
Şekil 4.36. Çitosana ait TGA-DTA grafiği 153
Şekil 4.37. Bentonite ait TGA-DTA grafiği 154
Şekil 4.38. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik eğrileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 155
Şekil 4.39. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan MG miktarına başlangıç derişiminin etkisi (m=0.025 g, V=50 mL,T=298 K, hız=120 rpm) 156
Şekil 4.40. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik eğrileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 157
Şekil 4.41. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan MB miktarına başlangıç derişiminin etkisi (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 158
Şekil 4.42. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik eğrileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 159
Şekil 4.43. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan Cu(II) miktarına başlangıç derişiminin etkisi (m=0.025 g, V=50 mL,T=298 K, hız=120 rpm) 160
Şekil 4.44. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik eğrileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 161
Şekil 4.45. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan Ni(II) miktarına başlangıç derişiminin etkisi (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 162
Şekil 4.46. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonun kinetik eğrileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 163

Şekil 4.47. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan MG miktarına sıcaklığın etkisi (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 164
Şekil 4.48. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonun eğrileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 165
Şekil 4.49. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan MB miktarına sıcaklığın etkisi (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 166
Şekil 4.50. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonun kinetik eğrileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 167
Şekil 4.51. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan Cu(II) miktarına sıcaklığın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 168
Şekil 4.52. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonun kinetik (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 169
Şekil 4.53. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan Ni(II) miktarına sıcaklığın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 170
Şekil 4.54. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 171
Şekil 4.55. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 172
Şekil 4.56. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 173
Şekil 4.57. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 174
Şekil 4.58. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 175
Şekil 4.59. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 176
Şekil 4.60. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 177
Şekil 4.61. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 178
Şekil 4.62. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 179

Şekil 4.63. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 180
Şekil 4.64. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 181
Şekil 4.65. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 182
Şekil 4.66. Farklı sıcaklıklardaki Cu (II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 183
Şekil 4.67. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 184
Şekil 4.68. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 185
Şekil 4.69. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 186
Şekil 4.70. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 187
Şekil 4.71. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 188
Şekil 4.72. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 189
Şekil 4.73. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 190
Şekil 4.74. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 191
Şekil 4.75. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 192
Şekil 4.76. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 193
Şekil 4.77. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm) 194

Şekil 4.78. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=200 mgL^{-1},m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 195
Şekil 4.79. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 196
Şekil 4.80. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 197
Şekil 4.81. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm 198
Şekil 4.82. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 199
Şekil 4.83. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 200
Şekil 4.84. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 201
Şekil 4.85. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 202
Şekil 4.86. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunda Arhenius denkleminin çizgisel çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 203
Şekil 4.87. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunda Arhenius denkleminin çizgisel çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 204
Şekil 4.88. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunda Arrhenius denkleminin çizgisel çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 205
Şekil 4.89. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunda Arrhenius denkleminin çizgisel çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 206
Şekil 4.90. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun izoterm eğrileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 207
Şekil 4.91. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun izoterm eğrileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 208
Şekil 4.92. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun izoterm eğrileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 209

Şekil 4.93. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun izoterm eğrileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 210
Şekil 4.94. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel halleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 211
Şekil 4.95. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel halleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 212
Şekil 4.96. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel halleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 213
Şekil 4.97. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel halleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 214
Şekil 4.98. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 215
Şekil 4.99. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 216
Şekil 4.100. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 217
Şekil 4.101. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm) 218
Şekil 4.102. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonuna ilişkin Van' t Hoff çizimleri 219
Şekil 4.103. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonuna ilişkin Van' t Hoff çizimleri 220
Şekil 4.104. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonuna ilişkin Van' t Hoff çizimleri 221
Şekil 4.105. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonuna ilişkin Van' t Hoff çizimleri 222

KISALTMA ve SİMGELER

ÇBA: Çapraz bağlı Çitosan/Bentonit/Akrilik Asit kompoziti
MBA: Metilenbisakrilamit
APS: Amonyumpersülfat
AA: Akrilik asit
MG: Malachite Green (Malahit Yeşili)
MB: Methylene Blue (Metilen Mavisi)
Cu(II): Bakır iyonları
Ni(II): Nikel iyonları
UV-vis: Ultraviole-visible
AAS: Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
FTIR: Fourier Transform Infrared
SEM: Scanning Electron Mictoscopy
TGA-DTA: Thermogravimetric Analysis-Differential Thermal Analysis
λ_{max}: Maksimum absorbans dalga boyu
A: Absorbans
C_o: Adsorbatın başlangıç derişimi (mgL^{-1})
ΔG: Gibbs serbest enerji entalpisi ($kJmol^{-1}$)
ΔH: Entalpi değişimi ($kJmol^{-1}$)
ΔS: Entropi değişimi ($kJmol^{-1}K^{-1}$)
K_L: Adsorpsiyon denge sabiti (=b: Langmuir sabiti)
C_d: Adsorplanan maddenin denge anındaki derişimi (mgL^{-1})
C_t: Adsorplanan maddenin t anındaki derişimi (mgL^{-1})
m: Adsorplayıcı miktarı (g)
V: Çözelti hacmi (mL)
t: Zaman (dak)
k: Adsorpsiyon hız sabiti ($g\ mol^{-1}dk^{-1}$)
k_{pb}: Psödo-birinci mertebe adsorpsiyon hız sabiti (dk^{-1})
k_{pi}: Psödo-ikinci mertebe adsorpsiyon hız sabiti ($gmg^{-1}dk^{-1}$)
k_{gd}: Gözenek difüzyon hız sabiti ($dak^{-1/2}$)
k_{pik}: Parçacık içi kütle transfer hız sabiti ($mgg^{-1}t^{-1/2}$)
E_a: Adsorpsiyon aktivasyon enerjisi ($kJmol^{-1}$)
R: Evrensel gaz sabiti (8.314 $J\ mol^{-1}K^{-1}$)
T: Çözelti sıcaklığı (K)
R^2: Korelasyon katsayısı
q_t: t anında adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1})
q_d: Denge anında adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1})
q: Adsorplanan miktar (mgg^{-1})
q_{pb}: Psödo-birinci mertebe adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1})
q_{pi}: Psödo-ikinci mertebe adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1})
q_{gd}: Gözenek difüzyon adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1})
q_{pik}: Parçacık içi kütle transfer adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1})
n: Freundlich izoterm sabiti
b: Langmuir izoterm sabiti (Lmg^{-1})
Q_{max}: Tek tabaka kapasitesi (mgg^{-1})

1.GİRİŞ

Çevre kirliliği özellikle hava, su, toprak, gürültü ve görüntü kirliliklerinden kaynaklanır. Bunlardan, su kirliliği, çevre kirliliğinin büyük kısmını oluşturmaktadır. Havaya karışan kirleticilerin değişik yollarla sulara taşınması suları kirletir. Hava içinde bulunan kül, toz gibi tanecikler havadan çok ağır olduklarından aşağı doğru inerek sulara karışır. Ayrıca evsel ve endüstriyel atıkların arıtılmadan sulara boşaltılması, tarımda kullanılan gübre ve ilaçların sulara taşınması sonucunda su kirliliği meydana gelmektedir. Tüm bunlar da yaşanılabilir çevrenin sınırlarını her geçen gün biraz daha daraltmakta ve böylece suların temizliği ve temizlenebilirliğinin önemini ortaya çıkarmaktadır.

Endüstrileşmenin artması, tekstil, deri, kağıt, gıda ve kozmetik gibi birçok endüstri dalında kullanılan boyar madde, organik madde, ağır metal ve çözünmüş tuzların tüketimindeki artışa yol açmaktadır (Unuabonah ve ark. 2010). Bunun sonucunda atık sularda oluşan ve giderilmesi zor olan boyar maddeler ile renk değişimleri çevreye ve dolayısıyla canlılara zarar vermektedir. Örneğin canlı organizma ile temas ettiğinde kanser, mutasyon, cilt hastalıkları gibi çeşitli rahatsızlıklara yol açabilirler. Ayrıca atık sularda bulunan boyar maddeler ortamdaki ışık geçirgenliğini azaltarak bitkilerin fotosentez yapmasını engeller ve sulardaki oksijen üretimini azaltır. Ayrıca atık sulardaki ağır metallerin yüksek derecede toksik ve biyolojik olarak bozunmama gibi özelliklerinden dolayı canlılar ve çevre için büyük bir problem oluşturmaktadır. Çok az miktarları bile canlı vücuduna alındığında zehirlenmelere hatta ölümlere sebep olabilir. Bu nedenle bu tür kirliliklerin giderilmesi insan sağlığı ve çevrenin korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

İşlevini yerine getiren her malzeme atık olur. Atık arıtma ise, kullanımı sona eren ürünlerin zararlı maddeler yaymaksızın belirli proseslerle geri dönüşümlerinin sağlanması esasına dayanır. Atık suların arıtılması; suların sanayide, tarımda ve evlerde kullanılmaları sonucu atık su haline gelerek kaybettikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazanabilme yöntemidir. Atık su arıtımı genel olarak, kimyasal, fizikokimyasal, elektrokimyasal, mikrobiyolojik ve enzimatik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sanayi ve endüstri kaynaklı atık sulardan renk ve ağır metal giderilmesinde kullanılan bu yöntemlerin kapsamında yer alan ve en

etkin olanları, ozon, ultrafiltrasyon, anaerobik biyoteknoloji, kimyasal indirgeme, koagulasyon, flokülasyon, membran prosesler ve adsorpsiyondur (Yılmaz 2007). Bu yöntemler arasında adsorpsiyon, işlem maliyeti düşük ve verimi yüksek olduğu için genellikle araştırmacılar tarafından tercih edilen bir yöntem olmuştur.

Adsorpsiyon teknolojisi olarak organik, inorganik, doğal, sentetik, aktive edilmiş veya modifiye edilmiş polimerler kullanılmaktadır. Son yıllardaki endüstriyel uygulamalarda kısa süreli olarak kullanılabilen ve çevreye geri dönüşümü olmayan petrol temelli pahalı polimerler yerine, biyolojik olarak bozunabilen, doğal kaynaklardan elde edilen biyopolimerler daha çok tercih edilmektedir. Çitosan ucuz, elde edilebilirliği yüksek, çevreye ve insanlara zarar vermeyen bir biyopolimerdir.

Çeşitli alanlarda kullanılan bir malzemenin istenilen özelliklerini geliştirmek ve artırmak ya da istenmeyen özelliklerinin azaltılması ve giderilmesi için bir başka özellikteki malzemeler ile karıştırılarak kullanılması ilk çağlardan beri bilinen kompozit oluşturma yöntemidir. Kil, birçok inorganik ve organik bileşik ile etkileşerek değişik özelliklere sahip yapılar oluşturabilmeleri bakımından kompozit oluşturmada iyi bir alternatiftir.

Bu çalışmada farklı oranlarda çapraz bağlayıcı (MBA) ve akrilik asit (AA) kullanılarak çitosan/bentonit/akrilik asit kompozitleri (ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4, ÇBA5) hazırlanıp karakterizasyonuları yapılarak malahit yeşili (MG) ve metilen mavisi (MB) boyar maddeleri ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyonların adsorpsiyonları çalışıldı. Ayrıca her bir boyar madde ve metal iyonunun giderim koşullarını optimize etmek için pH etkisi, başlangıç boyar madde/metal iyonu derişimi etkileri incelendi. Belirlenen optimum koşullardaki farklı sıcaklıklarda kinetik ve izoterm çalışmaları yapılarak bazı fizikokimyasal parametreler belirlendi.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Çevre Kirliliği

Doğadaki canlı öğelerin hayatını olumsuz yönde etkileyen, cansız çevre öğeleri üzerinde yapısal zararlar meydana getiren ve niteliklerini bozan yabancı maddelerin hava, su ve toprağa yoğun bir şekilde karışmasına çevre kirliliği denir. Teknolojik gelişmeler yaşamımıza konfor sağlarken, doğaya ve çevreye verdiği kirliliğin boyutu da her geçen gün hızla artmaktadır. Çeşitli kaynaklardan çıkan radyoaktif katı, sıvı ve gaz halindeki kirletici maddelerin hava, su ve toprakta yüksek oranda birikmesi çevre kirliliği oluşmasına neden olmaktadır (Öztürk 2009).

Çevre kirliliği özellikle hava, su, toprak, gürültü ve görüntü kirliliklerinden kaynaklanır. Bunlardan su kirliliği, çevre kirliliğinin büyük kısmını oluşturmaktadır.

2.2. Su kirliliği

En genel anlamıyla su kirliliği, su ortamının doğal dengesinin mineral oranı, tat, berraklık, asılı parçacıkların bozulması şeklinde tanımlanabilir. Başka bir yaklaşımla su kirliliğinin diğer bir tanımı, su kaynağının belli bir amaç için kullanılabilirliğinin azaltılması ve/veya yok olmasıdır. Su kirliliğinin sebepleri, tarımsal faaliyetler, toprak erozyonu, bitkilerin çürümesi, hayvansal atıklar, tarımsal mücadele ilaçları, endüstriyel kirlenmeler, zehirli varil veya tehlikeli atıkların gizli gömülmesi veya atılmasından kaynaklanan kirlenmeler, yerleşim alanlarından gelen kirlenmeler, rüzgarın etkisiyle taşınım, ulaşım ile taşınanlar, endüstri ve evsel atıkların (kanalizasyon) dere, göl, gölet ve yüzey sularına direkt bırakılmasıyla oluşan kirlenmeler, bulaşıcı hastalıklı medikal malzemelerin sulara atılması sonucu kirliliğin uzak mesafelere taşınımı ve katı çöplerin ham sulara bırakılması şeklinde sıralanabilir.

Bir su kaynağına boşaldıktan sonra kirleticiler büyük ölçülerde özelliklerini kaybeder ve heterojen bir karışım oluştururlar. Akarsu içerisinde doğal temizlenme sürecinde karşılaşılan kirleticiler 5 grupta toplanabilir.

•Organik Kirleticiler: Su ortamındaki kirleticilerin büyük bir kısmını oluştururlar. Bazı endüstriyel atıklar ve kentsel atıkların çoğu bozunabilir, kararsız organik maddelerdir.

•Mikrobiyolojik Kirleticiler: Mikrobiyolojik kirleticilerin en önemlileri bakteriler, virüsler ve insanda hastalık yapan diğer mikroorganizmalardır.
•Radyoaktif Kirleticiler: İnsan sağlığı açısından büyük tehlike yarattıklarından, radyoaktif kirleticiler kaynakta kesin olarak kontrol edilmelidirler.
•İnorganik Kirleticiler: İnorganik kirleticiler su kaynaklarına, çözünmüş, kolloidal ve askıdaki katı madde şeklinde karışırlar. Askıdaki katı maddeler ve kollidal olarak bulunan inorganik maddelerin çoğu atık temizleme sistemlerinde tutulabilmektedir.
•Isıl Kirleticiler: Çeşitli endüstriler, üretim süreçlerinde soğutma suyu kullanılmaktadır veya sıcak proses sularını su kaynaklarına boşaltabilmektedirler.

Kirletici kaynaklar ise genel olarak 4 grupta toplanabilmektedir (Öztürk 2009):

A) Kentsel Kirletici Kaynaklar
B) Endüstriyel Kirletici Kaynaklar
C) Tarımsal Kirletici Kaynaklar
D) Doğal Kirletici Kaynaklar

2.2.1. Kentsel Kirletici Kaynaklar:

Kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen kaynaklar olarak ikiye ayrılmaktadır.

1. Kontrol edilebilen kaynak: Bu kaynaktan gelen kirleticiler, alıcı su ortamına, pis su toplama şebekesi yoluyla ulaşan kirleticilerdir.
2. Kontrol edilemeyen kaynak: Alıcı su ortamına pis su toplama şebekesi ve atık toplama sistemlerinden geçmeden ulaşan tüm kentsel atıklar bu kaynağı oluşturmaktadır.

2.2.2. Endüstriyel Kirletici Kaynaklar

Su kirliliğinin en önemli nedenleri; endüstriyel faaliyetler sonrasında açığa çıkan atık suların herhangi bir işlemden geçirilmeden alıcı ortamlara verilmesidir. Bu atık suların içerdikleri çeşitli ağır metaller, tuzlar, pestisitler ve deterjanlar, sularda kimyasal ve fiziksel değişikliklere neden olur. Endüstriyel işlemlerin çıkardığı atıklar, çevredeki tarım arazilerini etkilemekte, ormanları tahrip etmektedir. Mevcut ve potansiyel yeraltı ve yerüstü su kaynakları kirlendiğinden, bu kaynakların içme ve sulama amacıyla kullanım olanakları azalmaktadır. Tesislerin etki alanı içindeki tarım işletmelerinde kirliliğe, toprakta iz element ve ağır metal birikimine, yetiştirilen ürünlerin verim ve

kalitelerinde kayıplara, yetiştirilebilecek ürün sayısının azalmasına, yetiştirilen ürünlerde bazı mikro besin maddelerinin toksik düzeylere ulaşmasına ve tarım arazilerinin değerlerinin düşmesine neden olabilmektedir. Sanayinin neden olduğu olumsuzluğa bağlı olarak üreticilerin geliri, bireylerin sağlığı ve mal varlıkları olumsuz etkilenmektedir (Evanoğlu 1998). Endüstrinin her dalında farklı üretim işlemleri uygulanmakta, çeşitli maddeler kullanılmakta ve bu kullanılan kimyasal maddelerin bir kısmı atıklara karışmaktadır. Her endüstri atığı kendine göre bazı özellikler taşımakta ve doğayı farklı şekillerde etkileyip yaşam dengesini bozmaktadır.

2.2.2.1. Madencilik Endüstrisi

Madencilik faaliyetlerinde atık yönetiminin farklı aşamalarında doğru ve yeterli tedbirler alınmadığı takdirde su kirliliği görülebilir. Su kirliliği sorununu önemli kılan başlıca neden suların hareketli olmasıdır. Kirlilik, akıntılar ve nehirler yoluyla yüzeyden taşınabileceği gibi, sızma ve süzülme yollarıyla yeraltı sularına karışarak da taşınabilir. Örneğin, yağmur sularının veya madencilik faaliyetleri sonucu oluşan suların atığa sızması çözünmeye neden olabilir. Bu yolla oluşan özüt (liç), sülfidoksidasyonuna ve asit oluşumuna ve böylece ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olur.

Su kirliliğine sebep olan ağır metaller zehirli maddeler olarak ilk akla gelenlerdir. Tesis atığı içinde bulunan metaller ve diğer elementlerin büyük çoğunluğu, canlılar için zehirleyici özellikte maddelerdir. Bunlar arasında özellikle bor, kadmiyum, krom, berilyum, antimon, gümüş, mangan, nikel, selenyum, titanyum, uranyum, vanadyum, çinko ve alüminyum en önemlileridir. Bu maddeler, derişimlerin sınır değerleri aşması halinde öldürücü etki yapabilirler (Çetiner ve ark. 2006).

2.2.2.2. Tekstil Endüstrisi

Tekstil atık suları yüksek hacimli ve bileşimi büyük değişimler gösterebilen atık sular olarak tanımlanmaktadır. Biyolojik olarak parçalanamayan boyar maddeler ve toksik bileşikler içerme olasılığının yüksek olması alıcı sular açısından risk oluşturma potansiyelini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atık suların uygun ve etkili yöntemlerle giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Boyar madde içeren tekstil endüstrisi atık sularına uygulanan mevcut renk giderme yöntemleri rengin çamurda yoğunlaştırılması veya renkli moleküllerin kısmen

ya da tamamen parçalanmasını içermektedir. Boya giderimi için fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kullanılması özellikle atık su hacmi küçük olduğunda etkili olmaktadır. Kimyasal çöktürme yönteminde kullanılan kimyasalların maliyeti ve oluşan çamur problemi şüphesiz yöntemin en büyük dezavantajıdır. Oksidasyon yöntemlerinin uygulanmasını sınırlayan faktör ise toksik yan ürünlerin oluşma potansiyelidir. Fiziksel yöntemler içinde yaygın şekilde kullanılan adsorpsiyon yönteminde aktif karbon kullanımı arıtım verililiği açısından etkili olurken malzemenin pahalı oluşu ve rejenerasyon ihtiyacı dezavantaj oluşturmaktadır. Daha ucuz adsorbanların kullanımı rejenerasyon ihtiyacını ortadan kaldırırken bertaraf edilmesi gereken atık problemi doğmaktadır. Diğer bir fiziksel yöntem olan membran filtrelerde, ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı gibi dezavantajlar söz konusudur. İyon değiştiriciler için en büyük dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir (Kocaer ve Alkan 2002, Armağan ve ark. 2003 a, b).

2.2.2.3. Kağıt Endüstrisi

Kağıt endüstrisi, çeşitli gazlar, sıvılar ve katı atıklar oluşturması bakımından çevreye en fazla kirlilik veren endüstrilerden biridir. Bu özelliklere sahip atık suların; akarsu, deniz veya diğer alıcı ortamlara bırakılmadan önce çeşitli yöntemlerle arıtılmaları, ayrıca atık su yönetmeliklerine göre zehirli maddeler ve inhibitörlerden belli oranda arındırılmaları gerekmektedir. Aksi halde deşarj edildikleri sularda suyun oksijenin tüketmekte ve içerdiği maddeler nedeniyle akarsu, göl ve denizlerdeki canlı hayatını tehlikeye sokmaktadırlar. Kağıt endüstrisi atık suları, arıtımı en zor yapılabilen atık sulardandır. Bunun nedeni, proses esnasında farklı yapılarda maddelerin kullanılması ve bu bileşiklerin atık suda belirgin olarak bulunması ayrıca alıcı ortamlara verilen atık suyun debisinin çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu gibi endüstriyel atık sularda zararlı bileşiklerin yanı sıra renkliliğin giderilmesinde, koagülasyon, sedimantasyon, flotasyon, adsorpsiyon ve elektrokimyasal işlemler etkili bir şekilde kullanılabilmektedir (Uğurlu 2004).

2.2.3. Tarımsal Kirletici Kaynaklar

Hızlanan nüfus artışına karşılık azalan tarım toprakları nedeniyle birim alandan alınacak ürün miktarının arttırılması amacıyla çeşitli kültürel önlemler uygulanmaktadır.

Tarımsal çalışmaların gereği olarak bitki hastalıklarıyla mücadele için kullanılan pestisitlerin, verimin arttırılması için kullanılan kimyasal gübrelerin, erozyon ve toprağın sürülmesi sonucu oluşan toz toprak, hayvan gübresi, bitki artığı olmak üzere tarımsal çalışma sonucu meydana gelen katı ve sıvı atıkların neden olduğu kirliliğe, tarımsal kirlilik denilmektedir.

2.2.4. Doğal Kirletici Kaynaklar

Bu tip kaynaklara örnek olarak, volkanik faaliyetler, orman yangınları, sel, erozyon ve bitki örtüsünün bozulması verilebilir.

2.2.5. Su Kirliliğinin Çevreye Etkileri

Su kirliliğinin çevreye etkilerini, insan sağlığına olan etkiler ve ekonomik etkiler olmak üzere 2 grupta toplayabiliriz. Ancak bu etkilerin birbirinden ayrı düşünülmesi imkansızdır. Su kirliliği, insan sağlığını, içme veya çeşitli amaçlarla kullanma sonucu etkiler. Nüfus arttıkça, teknoloji ilerledikçe suyun daha fazla tüketilmesi doğaldır. Özellikle günümüzde çevre kirliliğinin artmasıyla canlıların yaşamında önemli rol oynayan, suyun temini ve temizlenmesi de önemli bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Su farklı biçimlerde kirlenir ve kirli su, sağlığı değişik biçimlerde etkileyip yaşamı tehlikeye sokabilmektedir. Çevre ve sağlığın korunması ile ilgili ulusal mevzuat ile uluslararası sözleşmelerin gerekleri yerine getirilmelidir. Bu çalışmanın hedeflerinden birisi su kirliliğine neden olan bazı boyar maddeler ile ağır metallerin çevreye olumsuz etkisini azaltmak amacıyla kaynağında giderilmesine yönelik adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirmektir.

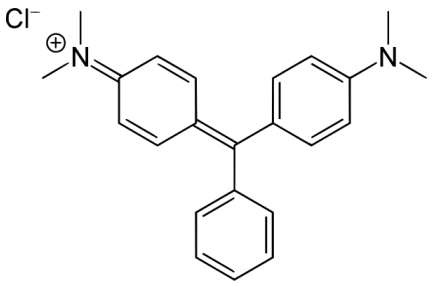
Bu amaçla, malahit yeşili, metilen mavisi boyar maddeleri ile bakır, nikel ağır metallerinin çitosan/bentonit/akrilik asit kompozitleri ile giderilmesi amaçlanmıştır.

2.3. Çalışmada Kullanılan Boyar Maddeler

2.3.1. Malahit Yeşili (Malachite Green, MG)

IUPAC adı: 4-[(4-dimetilaminofenil)-fenilmetil]-N,Ndimetil-anilin' dir. MG diğer pek çok boya türlerinde olduğu gibi farklı ticari isimlerle piyasaya sunulmaktadır. Victoria green B, yeni Victoria green ekstra, Diamond green B, BX katı green, light green ve astramalachite green bunlardan bazılarıdır. MG, tekstil sanayinde deri ve

akrilik elyaf boyanmasında, su ürünlerinde ve kağıt sanayinde kullanılmaktadır. Kullanılan MG' nin çeşitlilik göstermesi farklı tuzlar şeklinde bulunmasındandır.



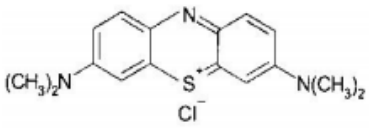
Şekil 2.1. Malahit yeşili boyar maddesinin kimyasal yapısı

MG' nin asitlik sabiti (pKa) 6.9' dur. pH 4.0 ortamda %100, pH 6.9' da % 50, pH 7.4' de % 25 ve pH 10.1' de % 0 iyonize olur. MG sularda aktif yapısını kaybederek renksiz ve daha az çözünen karbinol formuna dönüşür (Alderman 1985). MG karbinol formunun sudaki çözünürlüğü düşüktür (0.5 mgL^{-1} derişimde doygunluğa ulaşmaktadır). Doygunluk seviyesinin üzerindeki miktar yeşilimsi ve beyaz renkte tortular oluşturarak çökelme meydana getirmektedir. MG, 1930' ların başından itibaren bazı ülkelerde su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerinde antifungal ve antiprotozoal tedavi amaçlı balık, balık yumurtası ve kabuklularda kullanılmıştır. Günümüzde de bazı ülkelerde akvaryum balıkçılığında kullanılmaktadır. İnsan gıdası olarak tüketilecek su ürünlerinde kullanılmasına müsaade edilmemektedir.

MG, memeli hücrelerine sitotoksik etkisi yüksek olan ve tümör ilerletici ajan olarak görev yapan bir maddedir. Bu boya besin zincirine girebilir ve insanlarda kanserojenik, mutajenik ve taratojenik etkilere sebep olabilir.

2.3.2. Metilen Mavisi (Methylene Blue, MB)

IUPAC adı: [7-(dimetilamino)fenotiazin-3-yilidin]-dimetilazanum klorür' dür. MB, katyonik bir boyadır. Koyu yeşil renkli toz kristallerden oluşmuştur ve kokusuzdur. Çalışmamızda MB' nin seçilme sebebi; adsorpsiyon yeteneğinin yüksek olması ve tekstil endüstrisi başta olmak üzere sanayide en çok kullanılan boyar madde olmasıdır. Kullanım alanları kısaca; kağıt boyama, saç boyası, yün ve kumaş boyama gibi. Metilen mavisi, molekül ağırlığı 319.86 $gmol^{-1}$ olan ve $C_{16}H_{18}ClN_3S.H_2O$ formülü ile ifade edilen bir maddedir. Şekil 2.2' de MB' nin kimyasal yapısı verilmiştir.



Şekil 2.2. Metilen mavisi boyar maddesinin kimyasal yapısı

Yüksek derecede zehirli olduğu söylenemez fakat çeşitli zararlı etkileri vardır. Solunması durumunda kısa periyodlarda nefes alınmasını artırabilir ve nefes zorluğuna yol açabilir. Ağızla temasında yanıcı bir his oluşturur ve kalp atışlarında artışa, şok durumuna, mide bulantısı, kusma, ishal, gastrit, siyanoz, sarılık, kuadripleji ve insanda hücre nekrozlarına neden olabilir.

2.3.3. Boyar Maddelerin İnsan ve Çevre Üzerindeki Etkileri

Yapılan araştırmalar sonucunda, boyar maddelerin metobolizmalar üzerinde kansorejenik etkileri olduğu tespit edilmiştir. Boyar maddelerin içerdiği kanserojen maddelerin ise nitro bileşikleri, polisiklik hidrokarbonlar ve benzeri diğer bileşikler olduğu ispatlanmıştır. Boyar maddeler özellikle mesane kanserine yol açmaktadırlar ve direkt olarak temas edilmesi halinde cilt hastalıkları ve alerjik haller oluşturabilmektedirler. Solunmalarının ve gözle temaslarının tehlikeli olduğu özellikle alkali boyar maddelerinin göz kayıplarına dahi neden olabileceği belirtilmiştir.

Boyar maddelerin genellikle zehirlilik özelliği, deşarj edildiği alıcı su ortamlarındaki canlılar için de tehlike yaratmaktadır. Boyar maddelerin pek çoğu su canlıları üzerinde özellikle balıklar için öldürücü etkiye sahip değildir. Bununla birlikte alıcı su kaynağının yeterince yüksek seyrelme faktörüne sahip olmaması durumunda gerek zehirlilik özelliği gerek güneş ışınlarını absorplaması gerekse fotosentezin yavaşlamasına bağlı olarak çözünmüş oksijen miktarını azaltarak hem yaşamı tehdit etmekte hem de ekolojik dengeyi bozmaktadır. Ayrıca boyar maddeler estetik yönden de çevre kirliliğine neden olurlar. Özellikle insanların toplu olarak yaşadığı bölgelerde ve piknik yerlerinde bu tür kirlilik çevre insanı için büyük önem taşımaktadır (Koparal 1991, Doğar 2000).

2.4. Çalışmada Kullanılan Ağır Metaller

2.4.1. Bakır

Bakır, atom numarası 29 olan ve I-B grubunda yer alan bir geçiş elementidir. Kütle numaraları 58 ile 68 arasında değişen izotoplara sahiptir. Orta sertlikte bir metal olup, kırmızı-kahverengi renkli bir görünüme sahiptir. Kolayca dövülebilir ve tel haline getirilebilir. Çekiçle dövülerek, yarı saydamlığından dolayı yeşil görünen çok ince yapraklar elde edilebilir. Atom yarıçapının küçük (120 Å) ve çekirdeğinin çok yüklü olması, bakırın kimyasal etkinliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Bakır, yalnızca yükseltgen özelliği olan (nitrik asit, sıcak sülfürik asit) veya kendisiyle çeşitli kompleksler oluşturabilen asitlerle tepkimeye girebilmektedir (Nmasivayam ve Kadirvelu 1997).

İki tip bakır bileşiği mevcuttur:

1. bakır I bileşikleri: bakır 1 değerliklidir.

2. bakır II bileşikleri: bakır 2 değerliklidir.

Oksijenli tuzlar karşısında yalnızca bakır II bileşikleri kararlıdır. Bakır I ve bakır II iyonlarının küçük oluşu (138 Å), alıcı biçiminde birçok komplekse katılmasını sağlar. Bakır I oksit (Cu_2O), doğada kırmızı sekizyüzlüler biçiminde rastlanır (kuprit); Fehling çözeltisi ya da bakır asetat alükozla indirgenerek elde edilir. Bu oksit camlara yakut kırmızısı rengi vermekte kullanılmaktadır. Bakır II oksit (CuO), siyah renklidir. Bakır II tuzu içine alkali çözelti katıldığında mavi bir çökelek biçiminde bakır II hidroksit [$Cu(OH)_2$] elde edilir. Bakır II hidroksit, amonyakta çözünerek amino kuprat II çözeltisini oluşturur. Bakır II oksit, camlara yeşil renk vermek amacıyla kullanılmaktadır. Bakır sülfat ($CuSO_4$), bakır tuzlarının en önemlisidir. Bakır hurdalarından elde edilir. Triklinik mavi kristaller halinde güzel bir görünümü vardır. Bu kristaller ısıtıldığında su kaybederek beyaz toz haline dönüşmektedir. Bu tuzun birçok kullanım alanı vardır. Streptokok ve stafilokokların yol açtığı bulaşıcı deri hastalıklarının tedavisinde, antiseptik ilaç olarak kullanılmaktadır. Bakır çok sayıda metal elementlerle alaşım yapabilmektedir. Bakıra yabancı elementlerin katılması, ısı ve elektrik iletkenliğini her zaman azaltan bir etki yapmaktadır, ancak mekanik ve erime özelliklerinde bir gelişme görüldüğü gibi korozyona karşı da özel bir direnç

kazanmaktadır. Sanayideki önemine göre bakır alaşımlarının başlıcaları şunlardır: pirinç, bronz, alüminyum tunçları, bakır-nikeller. Bakır I tuzlarının çözeltileri renksizdir, havayla temas ettiklerinde yükseltgenerek mavi rengi almaktadır. Alkaliler ile açık turuncu bir çökelek oluşturmaktadır. Bakır I bileşiklerinin bağları temelde ortak değerlikli, tuzları diyamanyetiktir. Bakır II tuzları, çözelti halinde mavi ya da yeşil renge sahip olup, alkalilerle mavi bir çökelek verirler. Bu çökelek amonyakta çözünerek koyu mavi bir çözelti oluşturur. Bakır II tuzları, hidrojen sülfür (H_2S) ile siyah renkte bakır II sülfür çekirdeğini ve potasyum ferrosiyanür ile kızıl kahverengi bir çökelek vermektedir. Bakır II tuzları paramanyetiktir.

Bakır, Wilson hastalığı olarak bilinen beyne, karaciğere ve böbreklere zarar veren hastalığa yol açmaktadır. Sularda maksimum 3.0 mgL^{-1} ve içme suyunda ise maksimum 0.05 mgL^{-1} derişimlerinde bulunmasına izin verilmektedir (Nmasivayam ve Kadirvelu 1997).

2.4.2. Nikel

Gümüşümsü beyaz renkli sert bir metaldir. Nikel bileşikleri kolay çözünmezler. Suda çözünebilir tuzları; klorür, sülfat ve nitrattır. Nikel birçok farklı uygulamalar için kullanır. Nikelin en yaygın uygulaması; paslanmaz çelik ve diğer metal malzemelerin içeriği olarak kullanılmasıdır. Nikel, mücevherat gibi metal ürünlerde genelde bulunur.

Nikel, kaplama, seramik, sırlama ve motorlu taşıt ve uçak endüstrileri atık sularında bulunur. Bunun yanı sıra çeşitli alaşımlar, metal para, pil, mıknatıs, elektrik kontağı ve elektrot, buji ve makine parçaları yapımında kullanılır. Yağ ve diğer organik maddelerin hidrojenasyonunda katalizör olarak kullanılmaktadır. Nikeltetrakarbon, nikel türevlerinden en zehirli olanıdır. İnsanlarda çeşitli deri rahatsızlıklarına neden olur. Nikel buharlarının solunması, akciğerden hızlı absorbe olarak solunum yollarını tahriş etmeye neden olur. Akut zehirlenmelerinin erken dönemlerinde baş ağrısı, baş dönmesi ve kusma görülür. Daha ağır durumlarda 12-36 saat içinde nefes darlığı, akciğer dokusunda sıvı toplanması, ciltte morluklar oluşması, akyuvar sayısının artması ve vücut ısısının yükselmesi görülür. Nikel ve belirli nikel bileşenleri ciddi anlamda kanserojen olarak kabul edilen malzemeler listesinde bulunmaktadır. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) nikel bileşenlerini grup 1' de (insanlarda kansere

yol açtığına dair yeterli kanıt bulunan), nikeli grup 2B' de (insanlarda kansere yol açma olasılığı bulunan) listelemiştir.

2.4.3. Ağır Metallerin İnsan ve Çevre Üzerindeki Etkileri

Ağır metaller, su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşimde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metal iyonlarının ırmak, göl ve yeraltı sularına ulaşmasıyla geçerler. Sulara taşınan ağır metal iyonları aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı da suların ağır metal iyonu derişimi sürekli olarak yükselir. Ülkemizde de başta tuz ihtiyacımızı karşıladığımız tuz gölü olmak üzere kapalı göllerimizde yeterli çevresel önlem almadığımız ve su havzalarında kontrolsüz sanayileşmeye izin verildiğinden dolayı ağır metal derişimi sürekli yükselmektedir (Kahvecioğlu ve ark. 2004).

Ağır metallerin çevreye yayınımında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir-çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Havaya atılan ağır metaller, sonuçta karaya ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar ve aynı zamanda hayvan ve insanlar tarafından havadan aeresol olarak veya toz halinde solunurlar. Ağır metallerin endüstriyel atık suların içme sularına karışması yoluyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da hayvan ve insanlar üzerinde etkin olurlar.

Endüstriyel ürünlerin üretiminde ağır metallerin yoğun bir biçimde kullanılması nedeniyle, insanların ağır metallere maruz kalma oranı son 50 yılda çok ciddi bir şekilde artmıştır. Cıvalı amalgam dolgular, boyalar ve musluk suyundaki kurşun, işlenmiş gıdalar, kozmetik ürünleri, şampuan, saç ürünleri ve diş macunlarındaki kimyasal kalıntılar nedeniyle insanlar heran ağır metallerle iç içe yasamaktadır. Günümüzün endüstriyel toplumunda bu durumdan kaçış imkanı ne yazık ki, yok gibi görünmektedir. Ağır metaller bizleri sadece evimizde ve sokakta tehdit etmezler. Ağır metallere maruz kalma konusu bazı iş kollarında çalışan insanlar için çok ciddi bir tehlikedir. Bu tehlikeye maruz kalan bazı çalışanlar, doktorlar, ilaç sanayi, laboratuvar çalışanları, kuaförler, boyacılar, metal sanayi, kozmetik ve pil üretiminde çalışanlar ve fotoğrafçılardır (Preetha ve Viruthagari 2006).

Ağır metallerin önemli bir kirletici grubu oluşturdukları bilinmektedir. Bunların toksik ve kanserojen etkileri olduğu gibi, canlı organizmalarda birikme eğilimi (biyobirikim) de söz konusudur. Biyobirikim, zamanla biyolojik bir organizmada bir kimyasal konsantrasyonun, doğadaki konsantrasyonuyla karşılaştırıldığında artması demektir. Bileşiklerin, vücuda alınmaları ve depolanması, metabolize edilmelerinden veya atılmalarından daha hızlıdır. Ağır metaller, zihinsel, nörolojik ve hormonal faaliyetleri etkilemekte; dolayısıyla insan davranışları üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Ağır metallerin etkilediği sistemler, kan ve dolaşım sistemi, toksin atma sistemleri (bağırsaklar, karaciğer, böbrekler, cilt), hormonal sistem, enerji üretim sistemleri, enzimler, mide, bağışıklık, sinir ve üretim sistemleri ve boşaltım sistemidir. Ağır metaller ayrıca, alerjik reaksiyonlara, genlerin değişime uğramasına, zararlı bakterilerin yanı sıra faydalı bakterilerin de ölümüne ve doku hasarına neden olur (Freedman 1995).

2.5. Adsorpsiyon

Atom, iyon ya da moleküllerin bir katı madde yüzeyinde tutunması olayına adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon olayı yüzeyi ilgilendiren bir olay olduğu için bir katı veya bir sıvı yüzeyindeki konsantrasyon değişmesi olarak da tanımlanır. Adsorplanan maddeye adsorbat ya da adsorplanan, adsorplayan katı maddeye ise adsorban ya da adsorbent denir.

Yüzeyde meydana gelen adsorpsiyon olayı fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon olmak üzere ikiye ayrılır. Fiziksel adsorpsiyonda, adsorbat ve adsorbent molekülleri arasında zayıf kuvvetler olan moleküller arası (nonkovalent kuvvetler) etkilidir ve bu iki molekül arasında elektron alış verişi veya elektron ortaklaşması söz konusu değildir. Buna karşılık, kimyasal adsorpsiyonda ise adsorbent ve adsorbat molekülleri arasında elektron alış verişi veya ortaklaşması ile fiziksel adsorpsiyondakine göre daha kuvvetli olan kimyasal bağlar oluşabilmektedir. Fiziksel adsorpsiyon tamamen tersinir olup, desorpsiyon söz konusudur. Kimyasal adsorpsiyon ise kimyasal şartlar değişmedikçe tersinmezdir. Fiziksel adsorpsiyon, adsorbent yüzeyinde belirli yerlerde sabit değildir, adsorbat molekülleri yüzeyin tamamı üzerinde hareket edebilir. Fiziksel adsorpsiyonda, açığa çıkan adsorpsiyon ısısı 80 $kJmol^{-1}$' in altında olmasına karşılık kimyasal adsorpsiyonda 80-200 $kJmol^{-1}$ arasındadır. Fiziksel adsorpsiyon çok tabakalı

(multilayer) olabilirken, kimyasal adsorpsiyon, tek tabaka (monolayer) ile sınırlıdır. İlk tabakayı takip eden tabakalardaki tutulmalar, ancak fiziksel adsorpsiyon yolu ile oluşabilir. Fiziksel adsorpsiyonun oluşabilmesi için ekstra bir aktivasyon enerjisi gerekmez, kimyasal adsorpsiyonda ise gerekir.

Adsorpsiyon teknolojisi olarak organik, inorganik, doğal, sentetik, aktive edilmiş veya modifiye edilmiş adsorbentler kullanılmaktadır. Bu adsorbentler içinde aktif karbon, geniş yüzey alanı, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, gözenek yapısı, seçici adsorpsiyon ve yüksek safsızlık standartları ile diğer adsorbentler arasında önemli bir yer tutar (Üçer ve ark. 2006). Aktif karbon aynı zamanda inorganik maddelerin giderimi performansını arttırmak amacıyla kompleks yapıcı ajanlar da içermektedir. Bu durum maliyet bakımından uygun olmadığı için küçük ölçekli sanayilerde aktif karbon kullanımını kısıtlar. Belirtilen bu sorunlara bağlı olarak aktif karbon yerine alternatif olabilecek doğal, endüstriyel ve tarımsal atıklardan elde edilen adsorbentler kullanılmaktadır. Bu adsorbentler düşük maliyetleri, arıtımda gösterdikleri verimleri ve yüksek metal bağlama kapasitesine sahip olmaları nedeniyle dikkat çekmektedirler. Ağır metal ve boyar madde gideriminde bilinen ve uygulamalarına sıklıkla rastlanan adsorbentler arasında çitosan, kil, atık çamur, lignin, linyit, turba, narenciye kabuğu gibi çeşitli malzemeler ve endüstriyel ve tarımsal atıklar vardır (Alyüz ve Veli 2005). Bu adsorbentlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve adsorpsiyon kapasitelerinin artırılması için kompozit maddeler sentezlenmiştir. Kompozitlerde polimerler, metaller ve seramikler matris olarak kullanılan malzemelerdir Bu malzemeler içerisinde polimerlerin özel bir yeri vardır ve kompozitlerin çoğu polimer matristen hazırlanır. Geniş yüzey alanları ve iyon değiştirme kapasitelerinden dolayı killer, kompozit elde etmek için iyi bir alternatiftir (Harrane 2007).

2.5.1. Adsorpsiyon İzotermleri

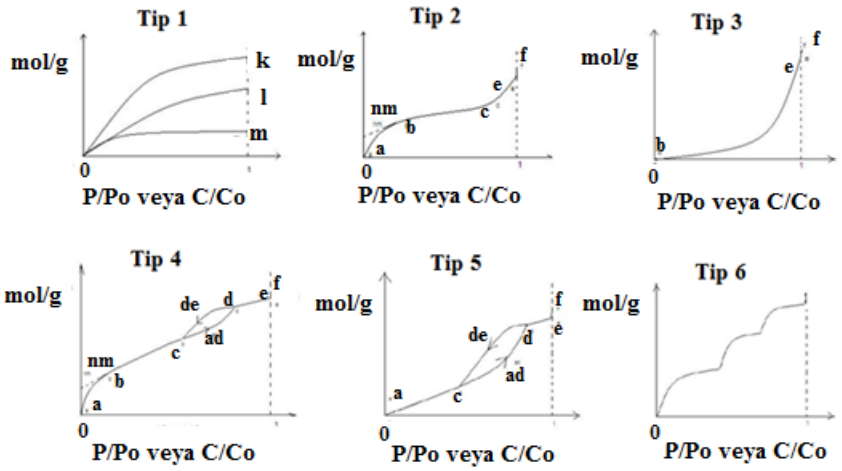
Sabit sıcaklıkta adsorbent tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge konsantrasyonu arasındaki (gaz adsorpsiyonu durumunda denge basıncı) bağıntıya adsorpsiyon izotermi adı verilir. Adsorpsiyon izotermleri genellikle; adsorbentin kapasitesi ve adsorpsiyon enerjisi, adsorpsiyonun ne türde olduğu gibi birtakım önemli bilgilerin elde edilmesini sağlar (Kertmen 2006).

Denel yoldan belirlenen adsorpsiyon izotermleri Şekil 2.3.' de şematik olarak çizilen 6 tip izoterm eğrisinden birine daha çok benzemektedir. Daha çok buhar fazından adsorpsiyon için çizilen bu izotermlerin bazıları çözeltiden adsorpsiyon için de geçerlidir. Şekildeki P/Po bağıl denge basıncını, C/Co ise bağıl denge derişimini göstermektedir. Buradaki Po, doygun buhar basıncını Co ise doygun çözeltinin derişimini yani çözünürlüğünü göstermektedir. Aynı izoterm P/Po yerine P denge basıncı ve C/Co yerine de C denge derişimi alınarak da çizilebilir. Şekildeki P/Po=1 ya da C/Co=1 değerlerinde adsorplanan madde yığın olarak ayrıldığından izoterm eğrileri dikey olarak yükselmeye başlamaktadır. Bu dikey yükselme noktasına gelindiğinde adsorpsiyon tamamlanmış demektir.

Şekil 2.3.' teki Tip 1 eğrisi; monomoleküler yani tek tabakalı olan kimyasal adsorpsiyon izotermi k ve m eğrilerine benzemektedir. Diğer taraftan, mikro gözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi Tip l eğrisine yakındır. Adsorplama gücü yüksek olan mikro gözeneklerin yüzeyleri monomoleküler olarak kaplandığında gözenekler tümüyle dolduğundan adsorpsiyon tamamlanmış olacaktır. Diğer taraftan, adsorplama gücü düşük olan makro gözeneklerin gözenekleri monomoleküler olarak kaplandığında adsorpsiyon yine tamamlanmış olacaktır. Bu nedenle mikro ve makro gözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermleri yükseklik farkı dışında şeklen birbirine benzemektedir. Çözeltilerden adsorpsiyon izotermleri k, l, m eğrilerinden birine yakın olarak ortaya çıkmaktadır.

Tip 2 eğrisi; Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermleri bu eğriye benzemektedir. İzotermin ab parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon, bc parçası boyunca ise çok tabakalı adsorpsiyon ve kılcal yoğunlaşma tamamlanmaktadır. İzotermin b noktasından sonraki doğrusal kısmın uzantısından nm tek tabaka kapasitesi grafikten yaklaşık olarak okunabilir. Doygunluk noktasına gelindiğinden dolayı ef boyunca adsorplanan madde sıvı ya da katı olarak yığın halde ayrılır.

Tip 3 eğrisi; Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermleri bu eğriye benzemektedir. Adsorplama gücü çok düşük olan katılardaki adsorpsiyon izotermleri bu tipe uymaktadır. Eğrinin gidişinden nm tek tabaka kapasitesini bulmak olası değildir.



Şekil 2.3. Adsorpsiyon izotermlerinin BDDT sınıflandırılması

Tip 4 eğrisi; Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermleri bu eğriye benzemektedir. Şekilde görüldüğü gibi adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermlerinin faklı yollar izlemesine adsorpsiyon histerezisi denir. Bu durum dar ağızlarından dolan gözeneklerin geniş ağızlarından boşalmasıyla açıklanabilmektedir. İzotermin ab parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon, bc parçası boyunca çok tabakalı adsorpsiyon, cd parçası boyunca ise kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Kılcal yoğunlaşma tamamlandıktan sonra gözeneklerin ağızlarındaki çukur yüzeyler boyunca dolmakta ve ef boyunca adsorplanan madde yığın olarak ayrılmaktadır. Genellikle mikro ve mezo gözenek içeren katılardaki adsorpsiyon izotermleri bu tipe uymaktadır. Bu izotermden de nm tek tabaka kapasitesi yaklaşık olarak bulunabilmektedir.

Tip 5 eğrisi; Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermleri bu eğriye benzemektedir. İzotermin ac parçası boyunca yüzey tek tabakalı ya da çok tabakalı olarak kaplandıktan sonra cd boyunca kılcal yoğunlaşma olmaktadır.

Tip 6 eğrisi; Basamaklı olan bu izoterm tipine çok az rastlanmaktadır. Mikro gözenekler yanında farklı boyutlarda mezo gözenek grubu içeren katılardaki adsorpsiyon izotermleri bu tipe benzemektedir.

Adsorpsiyonla ilgili olarak bilim adamları birçok izoterm modelleri geliştirmişlerdir. Bu modellerden bazıları Langmuir, Freundlich, Branur Emet Teller

(BET), Temkin, Dubinin–Radushkevich (D-R), Redlich-Peterson, Toth, Halsey ve Henderson izotermleri gibi sıralanabilir. Ancak bunlardan en sık kullanılanları Langmuir ve Freundlich izotermleri olduğu için bu çalışmada elde edilen değerler Langmuir ve Freundlich izotermlerine uyarlanmıştır. Bu izotermler ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.5.1.1. Freundlich İzotermi

Freundlich izotermi, heterojen yüzeyde meydana gelen fiziksel ve tersinir olabilen bir adsorpsiyona işaret eder. Aynı zamanda bu izoterm, heterojen yüzey üzerinde adsorpsiyon ısısının ve ilgisinin eşit dağılmadığı, çok tabakalı adsorpsiyon için de kullanılabilmektedir. Freundlich eşitliği aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$q_d = K_F\, C_d^{1/n} \qquad (2.1)$$

Bu denklemde, C_d: Denge anında çözeltide adsorplanmadan kalan adsorbat derişimi (mgL^{-1}), q_d: Denge anında adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1}), K_F: Deneysel olarak hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi, n: Adsorpsiyon şiddetidir.

Bu eşitlikte K_F ve n sabitleri sıcaklığa, adsorbent ve adsorbat maddeye bağlıdır. n' nin değeri 1-10 aralığında olmalıdır. Denklem 2.1' in lineer hali ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$lnq_d = lnK_F + 1/n lnC_d \qquad (2.2)$$

Burada, lnq_d'nin lnC_d' ye karşı çizilen doğrusal grafiğin eğiminden n değeri, kesişiminden K_F değeri hesaplanır.

2.5.1.2. Langmuir İzotermi

Langmuir adsorpsiyon izotermi bazı karakteristik kabullere dayanmaktadır. Bu kabuller aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Adsorbent yüzeyi homojendir ve adsorpsiyon yüzeyde tek tabaka halinde oluşur.
2. Adsorpsiyon lokalizedir, adsorplanan moleküller yüzey üzerinde hareket etmezler.
3. Adsorpsiyon entalpisi yüzey kaplanmasından bağımsızdır.
4. Adsorplanmış moleküller arasında karşılıklı etkileşim yoktur. Bu nedenle birim yüzeyde adsorplanmış madde miktarının adsorpsiyon hızına herhangi bir etkisi yoktur.

Langmuir modeli aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$Q_d = \frac{Q_{max} b C}{1 + b C_d} \quad (2.3)$$

Bu denklemin lineer hali:

$$\frac{C_d}{q_d} = \frac{1}{b Q_{max}} + \frac{C_d}{Q_d} \quad (2.4)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada; C_d: Denge anında çözeltide adsorplanmadan kalan adsorbat derişimi (mgL^{-1}), q_d: Denge anında adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1}), b: Adsorpsiyon enerjisini ifade eden Langmuir sabiti (Lmg^{-1}), Q_{max}: Tek tabaka kapasitesi (mgg^{-1})' dir.

C_d/q_d nin, C_d değerine karşı çizilen lineer grafiğin eğimi $1/Q_{max}$, kesişimi ise $1/bQ_{max}$' a eşittir. Q_{max} değeri eğimden, b değeri ise kesişimden hesaplanır.

2.5.2. Adsorpsiyon Kinetiği

Bir olayın mekanizmasının aydınlatılması ve buna bağlı olarak dizayn edilecek süreçler için deneysel verilerin yorumlanması oldukça önemlidir. Bunun için de olayın hız belirleme basamağının bulunması elzemdir. Adsorpsiyon kinetiğinin anlaşılması ile etkin adsorbat-adsorbent temas süresi yani alıkoyma süresi bulunur. Kinetik, adsorpsiyon işleminin hızınaetki eden adsorpsiyon basamaklarının anlaşılması için önemli bir adımdır. Bir çözeltide bulunan maddenin adsorban tarafından adsorplanması işleminde 4 ana basamak vardır:

1. Gaz ya da sıvı fazda bulunan madde, adsorbenti kaplayan bir film tabakası sınırına doğru difüze olur. Bu basamak, adsorpsiyon düzeneğinde belirli bir hareketlilik (karıştırma) olduğu için çoğunlukla ihmal edilir.
2. Film tabakasına gelen madde buradaki durgun kısımdan geçerek adsorbentin gözeneklerine doğru ilerler.
3. Sonra adsorbentin gözenek boşluklarında hareket ederek adsorpsiyonun meydana geleceği yüzeye doğru ilerler.
4. En son olarak da adsorbatın adsorbentin gözenek yüzeyine tutunması meydana gelir.

Eğer adsorbentin bulunduğu faz hareketsiz ise, 1. basamak en yavaş ve adsorpsiyon hızını belirleyen basamak olabilmektedir. Eğer akışkan hareket ettirilse, yüzey tabakasının kalınlığı azalacağı için adsorpsiyon hızı artar. Son basamağın ölçülemeyecek kadar hızlı olduğu ve ilk basamakta da iyi bir karıştırma olduğu

düşünülerek adsorpsiyon hızına aksi bir etki yapmayacakları için 2. ve 3. basamaklar süreçte hız belirleyicidir. 2. Basamak adsorpsiyon işleminin ilk dakikalarında, 3. basamak ise adsorpsiyon işleminin geri kalan daha uzun bir süresinde meydana geldiği için, adsorpsiyon hızını tam olarak etkileyen basamağın 3. basamak olduğunu söyleyebiliriz. Adsorpsiyon hızını belirlemek için kullanılan eşitlikler şunlardır:

• Psödo 1. mertebe reaksiyon hız eşitliği, Lagergren esitliği:

$$log(q_d - q_t) = logq_d - (k_{pb} / 2.303)t \quad (2.5)$$

Bu denklemi deneylerden elde edilen sonuçlarda kullanabilmek için, deneysel verilerin $t=\infty$ için ekstrapolasyonunu hesaplanarak q_d (dengedeki adsorpsiyon kapasitesi) değeri önceden bulunmalıdır.

• Psödo 2. mertebe reaksiyon hız eşitliği, Ho eşitliği:

$$t/q_t = [1/k_{pi}\, q_d^2] + (1/q_d)t \quad (2.6)$$

k_{pb}: Lagergren, psödo 1. mertebe adsorpsiyon hız sabiti (min^{-1})

k_{pi}: Ho, psödo 2. mertebe adsorpsiyon hız sabiti ($gmg^{-1}min^{-1}$)

q_d: Denge anında birim adsorbat miktarı (mgg^{-1})

q_t: t zamanda adsorbat miktarı (mgg^{-1})

$log(q_d-q_t)$ degerlerinin t ve t/q_t değerine karşı ayrı ayrı grafiğe konulmalarıyla k_{pb} ve k_{pi} degerleri hesaplanır.

•Difüzyon mekanizması yalancı 1. ve 2. derece denklemler tarafından net olarak açıklanamaz ise, kinetik sonuçlar Weber Morris parçacık içi kütle difüzyon ve gözenek difüzyon modelleri ile açıklanır.

Parçacık içi kütle difüzyonun olabilirliği şu eşitlik ile anlaşılabilir:

$$q_t = k_{pik}\, t^{1/2} + C \quad (2.7)$$

C: Adsorpsiyon sürecindeki sınır tabakasının kalınlığının bir ifadesidir. C ne kadar büyürse, sınır tabakasının etkisi de o kadar büyük olur.

k_{pik}: Parçacık içi kütle difüzyon sabiti ($mgg^{-1}min^{-1/2}$)

$t^{1/2}$: Yarı zaman ($min^{1/2}$)

q_t: t zamanda adsorbat miktarı (mgg^{-1}).

Difüzyonun yürütücü kuvveti, adsorpsiyon sürecinde oldukça önemlidir. Yürütücü kuvvetin büyüklüğü genelde çözeltideki madde derişimi ile değişir. Derişim ne kadar artarsa, yürütücü kuvvet de o kadar artar, bu da difüzyon oranının artması anlamına gelir.

q_t' nin $t^{1/2}$' ye karşı grafiğinde çoklu lineer korelasyonu gözlenebilir. Grafik doğrusunda gözlemlenen ilk keskin bölüm, film difüzyonunu veya enstantane adsorpsiyon bölümünü gösterir. İkinci bölüm, daha ileri bir adsorpsiyon bölümüdür yani parçacık içi difüzyonun hız kontrol derecesi olduğu bölümdür. Üçüncü bölüm ise final denge bölümüdür ve bu bölümde parçacık içi difüzyon, çözeltide çok az kalan madde derişiminden dolayı yavaşlamaya başlar.

Gözenek difüzyon modelinin olabilirliği ise aşağıdaki eşitlik ile sağlanır (Aydın ve ark. 2008, Bayramoğlu ve Arica 2002).

$$C_t/C_o = k_{gd} t^{1/2} \quad (2.8)$$

t: zaman (dakika)

k_{gd}: gözenek difüzyon hız sabiti ($dak^{-1/2}$)

C_o: başlangıç anında, C_t: t anında adsorbat derişimi (mgL^{-1}) göstermektedir.

$t^{1/2}$' ye karşı C_t/C_o değerleri grafiğe geçirilir ve doğruların eğim ve kayma değerlerinden hız sabitleri hesaplanır.

2.5.3. Aktivasyon Enerjisi (E_a) Hesaplanması

Adsorpsiyonun E_a' sı Arrhenius denkleminden hesaplanabilir:

$$lnk = lnA - E_a / RT \quad (2.9)$$

k: Hız sabiti ($gmol^{-1}min^{-1}$):

A: Arrhenius sabiti ($gmol^{-1}min^{-1}$)

E_a: Adsorpsiyon aktivasyon enerjisi ($kJmol^{-1}$)

R: Üniversal gaz sabiti ($Jmol^{-1}K^{-1}$)

ln k' nin 1/T' ye karşı grafiği çizilerek elde edilen denklemin eğim ve kayma değerlerinden bu sabitler hesaplanabilir

2.5.4. Adsorpsiyon Termodinamiği

Literatürde adsorpsiyonun gerçekleşebilmesi için gerekli enerjilerin iki farklı yolla hesaplanabildiği ifade edilmektedir:

1. Adsorpsiyonda, adsorplanan madde birikim ile daha düzenli hale geçtiği için entropi azalmaktadır. Adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşebilmesi için aşağıdaki temel termodinamik eşitliğe göre adsorpsiyon olayının ekzotermik olması gerekmektedir (Singh ve Pant 2003, Nollet ve ark. 2003).

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \qquad (2.10)$$

veya

$$lnK_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{R}\frac{1}{T} \qquad (2.11)$$

Burada ΔG, Gibbs serbest enerji değişimi ($kJmol^{-1}$); ΔH, entalpi değişimi ($kJmol^{-1}$); ΔS, entropi değişimi ($kJmol^{-1}K^{-1}$); T, mutlak sıcaklık (K); R, gaz sabiti; K_d, denge sabitidir.

(2.11) no' lu eşitlikten yararlanlarak lnk_d' ye karşı 1/T grafiği çizilerek eğimden ΔH ve kayımdan ΔS değeri elde edilir. Çizilen bu grafiğe Van't Hoff grafiği ismi verilmektedir.

2. Adsorplanan maddenin adsorpsiyon davranımı Langmuir adsorpsiyon izoterminden de hesaplanabilmektedir. Entalpi değişimi ΔH, Gibbs serbest enerji değişimi ΔG ve entropi değişimi ΔS aşağıdaki şu denklemlerden hesaplanabilmektedir (Liu ve ark, 2001):

$$ln_b = ln_b' - \frac{\Delta H}{RT} \qquad (2.12)$$

$$ln_b = ln_b' - \frac{\Delta G}{RT} \qquad (2.13)$$

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \qquad (2.14)$$

$$b_L = \frac{\Delta S}{R} \qquad (2.15)$$

Burada b, Langmuir sabiti ($Lmol^{-1}$)' dir. ΔH' ın negatif değeri adsorpsiyonun ekzotermik bir davranım gösterdiği ve ΔG' nin negatif değerleri adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. ΔS' in negatif değeri ise çözünen-çözelti

(bir başka deyişle adsorbent-sıvı faz) arayüz adsorplanan derişiminde azalmayı göstermekte olup aynı zamanda katı faz üzerinde adsorplanan derişimin arttığını belirtmektedir. ΔS' in pozitif değeri ise katı-çözelti arayüzeyindeki rastlantısallığın artığını işaret etmektedir (Goswami ve Ghosh 2005).

2.5.5. Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler

Adsorpsiyona etki eden faktörlerin başlıcaları, yüzey alanı, adsorbentin yapısı ve tanecik boyutu, karıştırma hızı, adsorbatın çözünürlüğü ve molekül büyüklüğü, ortamın pH değeri, temas süresi ve sıcaklıktır. Bu faktörler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

2.5.5.1. Adsorbentin Yüzey Alanı Etkisi

Adsorpsiyon yüzeyde meydana gelen bir olay olduğundan, maksimum adsorpsiyon miktarı spesifik yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Spesifik yüzey alanı, toplam yüzey alanının adsorpsiyonda kullanılabilir kısmı olarak tanımlanır. Bu yüzden daha fazla gözenek hacmine sahip ve daha fazla tanecikli yapıda katı adsorbentlerin kullanımı adsorpsiyon kapasitesini arttırmaktadır. Gözenekleri olmayan adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi partikül çapı ile ters orantılı olarak değişmekte fakat çok gözenekli bir yapıda olan adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi partikül çapından bağımsız olarak değişmektedir. Dolayısı ile adsorplanan miktarı, katı adsorbentin birim yüzey ağırlığı ile yani iyi bölünmüş ve çok gözenekli olması ile azalış gösterir. Adsorbentin yüzey alanını tayin etmek kolay olmadığından adsorbentin birim ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı alınır. Adsorbentin yüzey alanı genişledikçe adsorplanan miktarda artmaktadır.

2.5.5.2. Adsorbentin Gözenek Yapısı Etkisi

Çözelti içerisindeki adsorbat molekülleri için, adsorbent yüzeyindeki gözeneklerin adsorpsiyon yüzey alanının büyüklüğü, maksimum adsorpsiyon miktarı ile doğru orantılı olmaktadır. Granüler aktif karbon oldukça yüksek hacimde mikro gözeneklere sahip olup (gözenek çapı < 2 nm) küçük moleküller için oldukça geniş bir yüzey alanı ve yüksek bir adsorpsiyon kapasitesi oluştururken, yüksek hacimde orta (mezo) boyutta (2 < d <50 nm) ve makro gözeneklere (d > 50 nm) sahip olması da büyük moleküller için gerekli düşük yüzey alanını oluşturmaktadır (Walker 2000).

2.5.5.3. Adsorbatın Çözünürlüğü Etkisi

Adsorpsiyonda en önemli faktörlerden biri adsorpsiyon dengesini kontrol eden adsorbatın çözünürlüğüdür. Genel olarak bir maddenin adsorplanan miktarıyla bu maddenin adsorpsiyonunun gerçekleştiği ortamdaki çözünürlügü arasında ters bir ilişki vardır. Çözünürlük ne kadar büyük olursa adsorbat çözeltisi arasındaki etkileşim o kadar kuvvetli ve adsorplanan miktar da o kadar düşüktür (Secan 2001). Ayrıca, hidrofobik grupların (-CH2-) moleküle bağlanması ile adsorbatın su içerisindeki çözünürlüğü azalmakta ve çözünmüş maddenin adsorbentin gözenekleri içerisine adsorplanması artmaktadır. Fakat çözünürlük azalsa bile molekül büyüklüğünün artması ile bazı moleküller, adsorbentin gözenek boyutundan büyük olduklarında adsorpsiyonda azalma gözlenecektir. Organik bileşiklerin zincir uzunluğunun artması bileşiğin karbon atomları sayısını arttırdığı için çözünürlüğünü azaltacak ve adsorpsiyonu olumlu yönde etkileyecektir.

2.5.5.4. Adsorbentin Tanecik Boyutu Etkisi

Bir adsorbent tanecik büyüklüğü, adsorpsiyon hızını etkiler. Yani adsorplama hızı, parçacık boyutu azaldıkça artmaktadır. Sabit boyuttaki parçacıkların adsorplama hızı ve adsorblama oranı belli bir boyut aralığındaki adsorbentin dozajı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Adsorpsiyon işleminde kullanılan adsorbentin boyutu küçüldükçe, yüzey alanı da artacaktır ve dolayısı ile adsorplanan miktar artacaktır. Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan toz adsorbentin adsorplama hızı, büyük parçalar halindeki adsorbentin adsorplama hızından daha büyüktür (Keskinler ve ark. 1994).

2.5.5.5. Temas Süresi Etkisi

Adsorpsiyon çalışmalarında adsorpsiyon hızına ve miktarına etki eden en önemli etkenlerden birisi de temas süresidir. Adsorplama ile temas süresi ilişkisi ele alındığında başlangıçta mevcut olan yüksek yüzey alanı sonucunda adsorplama miktarında bir artış beklenmektedir. Süre ilerledikçe azalan yüzey nedeniyle yani adsorbat miktarının azalmasına bağlı olarak adsorplama oranının düşmeye başlaması gerekmektedir. Doygunluk değerine ulaşılmasıyla birlikte adsorplama dış yüzey yerine adsorbentin gözeneklerinde gerçekleşmekte ve iç yüzey alanının daha az olması nedeniyle, artan temas süresi, adsorplamanın azalmasına yol açmaktadır. Gözeneksiz olan

adsorbentlerde denge noktasına kısa bir sürede ulaşılmakta ve adsorpsiyon hızı zamanla hızla düşmektedir. Gözenek boyutu büyük ya da çok olan adsorbentlerde ise, denge noktasına daha geç ulaşılmaktadır (Yu ve ark. 2000).

2.5.5.6. pH Etkisi

Adsorpsiyonu etkileyen en önemli faktörlerden biri de pH' dır. Adsorpsiyon işleminin gerçekleşeceği ortamın asidik ya da bazik olması yani, hidrojen (H^+) ve hidroksil (OH^-) iyonlarının kuvvetli bir şekilde yüzeye tutunmalarından dolayı, diğer iyonların adsorplanması, çözeltinin pH değerinden etkilenmektedir. Adsorpsiyon işleminde farklı iyonlar farklı pH değerlerinde adsorbe olabilirler. Örneğin katyonik iyonların yüksek pH değerlerinde adsorbe olmaları beklenirken, anyonik iyonların düşük pH değerlerinde adsorbe olmaları beklenir. Bunun sebebi adsorbent yüzeyinin negatif veya pozitif yüklenmesi ile ilgilidir. Genel olarak organik kirleticilerin sudan adsorplanması, azalan pH değeri ile birlikte artmaktadır. pH parametresinin etkisi, adsorplayıcının cinsine, çözeltideki davranışına ve adsorplanan iyonların cinsine göre değişmektedir.

2.5.5.7. Sıcaklık Etkisi

Genel olarak sıcaklığın adsorpsiyon prosesi üzerinde iki önemli etkisi vardır. Sıcaklığın artmasıyla, çözeltinin yoğunluğuna bağlı olarak adsorbat moleküllerinin adsorbent partikülünün gözeneklerine doğru ve sınır tabakasından difüzyon oranı artar. Buna ek olarak sıcaklık değişimi adsorplanma işleminin denge kapasitesini değiştirecektir (Wang 2007). Adsorplama işlemi, sıcaklığa bağlı olarak endotermik veya ekzotermik olarak değişir. Genel itibariyle sıcaklık artıkça reaksiyon hızının da arttığı bilinmektedir. Adsorpsiyonda sıcaklık önemli bir kriter olup, adsorplama hızını ve miktarını etkilemektedir.

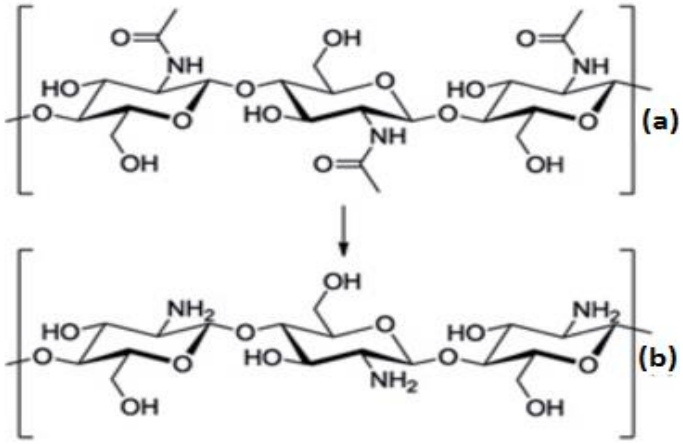
2.5.5.8. Başlangıç Adsorbat Derişimi Etkisi

Adsorplama miktarı ve hızı çözeltinin içerisinde bulunan adsorbatın derişimine bağlı olarak değişecektir. Değişik derişim değerlerinde, birim hacimdeki adsorbat miktarı değişeceği için buna bağlı olarak, adsorbent tarafından adsorplanan molekül sayısı da değişecektir. Adsorpsiyon ilerledikçe çözelti içerisindeki adsorbat miktarı azalacağından, adsorblamanın da yavaşlanması beklenmelidir. Farklı adsorbent ve

adsorbatlar kullanıldığında başlangıç derişiminin etkisi de değişmektedir. Örneğin, yüksek metal derişimleri adsorpsiyon için uygun olmamaktadır. Genel olarak metallerin adsorblanma yüzdeleri sulu çözeltide metal derişimi arttıkça azalmaktadır (Erdem ve ark. 2004).

2.6. Çitosan

Çitosanın ham maddesi olan kitin, biyosorbentler arasında, selülozdan sonra en bol bulunan ikinci doğal polimerdir. Çitosanın kitinden oluşum reaksiyonu Şekil 2.4.' te verilmiştir. Selülozun moleküler yapısına benzerlik göstermesine rağmen çitosan, kitinden daha önemlidir. Kabuklu deniz ürünlerinin yapısında bulunan çitosan, kitinin alkali N-deasetilasyonu ile üretilir. Ağır metaller ve boyar maddeler için etkin bir tutucu olması nedeniyle, çitosan araştırmalarda giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Ucuz adsorbentlere duyulan ihtiyaç, atık bertarafının fazlalaşan sorunları, sentetik reçinelerin artan fiyatları, çitosanı atık su arıtımı için en etkili malzemelerden biri haline gelmiştir.



Şekil 2.4. (a) kitin (b) çitosan

1990' ların başına kadar endüstride çitosan kullanımı, bitkilerin büyümesi ve su arıtımı gibi alanlarla sınırlı kalmışken, ilerleyen yıllarda çitosan üzerine yapılan çalışmaların artması ve sonuç olarak çitosanın sahip olduğu yenilenebilirlik, toksik olmama, biyobozunurluk, biyouyumluluk, antibakteriyel, antimikrobiyel, antitümör etki vs. gibi çok önemli özeliklerinin keşfedilmesi ile çitosan birçok alanda umut vaat eden bir polimer haline gelmiştir. Yapısında bulundurduğu fonksiyonel gruplar, katyonik polimer olma avantajı ve nano boyutta çitosan parçacıklarının hazırlanabilmesi

özellikle; biyomedikal, kozmetik, gıda, farmasötik sektöründe oldukça ilgi uyandırmıştır.

Bu kullanım alanlarından arıtma işlemlerinde çitosanın şelatlaşma özeliğinden yararlanılır. Çitosan metallerle şelatlaşarak bu iyonların atık sulardan veya kirli akıntılardan uzaklaşmasını sağlar. Yine şelatlaşma özeliğinden yararlanarak besin işleme proseslerinden salınan atık sularda bulunan asılı haldeki boyar madde, aminoasit, protein, organik madde vs. gibi maddeler geri kazanılabilir. Çitosan kullanımı ile zaman tasarrufu ve yüksek geri kazanım sağlanabilmektedir. Çitosanın yapısında bulunan amino ve karboksilik grupları, atık sulardan ağır metaller/boyar maddelerin adsorplanması amacıyla da kullanılmaktadır. Çitosanın adsorplama kapasitesi parçacık boyutunun küçülmesi ile artmaktadır. Çitosanın kozmetik alanında kullanımı özellikle saç bakımı konusunda yoğunlaşmıştır. Bu alanda çitosanın film oluşturabilme özeliğinden yararlanılır. Çitosan proteinlerle kolayca film oluşturabildiği için saç köklerinin ihtiyaç duyduğu protein ve vitaminler film halinde hazırlanır. Benzer şekilde saç şekillendirici, cilt bakımı uygulamaları vs. gibi diğer kozmetik uygulamalara da sahiptir. Hücre ve enzim tutuklanması işlemlerinde çitosan destek doku görevi görüp tutuklama matrisidir. Çitosan destek doku olarak kullanılarak enzim ve hücrelerin yüksek geri kazanımı ve daha fazla kullanımı sağlanır.

Çitosanın yara iyileştirici özeliği de vardır. Negatif yüklü heparin ile kararlı bir bileşik oluşturur; boncuk, jel, film ve fiber şeklinde hazırlanır. Bu özellikten yararlanarak iyonik bağlı çitosan-heparin bileşiğini içeren sargı bezi veya yara bandı gibi ürünler kullanılmaya başlanmıştır. Bu ürünlerin kullanımı ile yara iyileşmesi sırasında epitel dokunun tekrar oluşum evresi hızlandırılmış olur. Gıda endüstrisinde kitin ve türevleri; besleme, tedavi etme ve besinler için kaplama amacıyla kullanılır.

Kaplama uygulamalarında yine film oluşturma özeliğinden faydalanılır. Oluşan filmler hücre dışı solunumu yavaşlatır ve besinlerin raf ömrünü uzatır. Çitosan, kilo kontrolü amacıyla diyet haplarında kullanılır ve yağ tutma kapasitesinden yararlanılır. Glukomannan ile birleştirilerek karaciğerden kolestrol uzaklaştırma işleminde de kullanımı vardır. Çitosan kırmızı kan hücrelerinin pıhtılaşmaya başlamalarını sağlar. Yağları ve kolestrolü bağlayarak bunların kan dolaşımında absorbe olmalarını engeller.

Dişçilikte yan ürün oluşumunu engellemek amacıyla kullanılır. Herhangi bir alerjik tepkime vermez ve enfeksiyon gözlenmez.

2.7. Bentonit

Bütün bentonitler Montmorillonit grubu kil minerallerindendir. Montmorillonit mineralleri üç tabakalı bir yapı gösterirler ve bu onların karakteristik özelliğidir. Tabakalar arasında su molekülleri ve değişebilen iyonlar yeralır. Mevcut bu tabakalararasında su ve organik moleküller girerek yapının genleşmesine neden olurlar. Bu özellik killerin şişmesi olarak tanımlanırlar. Tabakalar arasındaki değişebilen iyonlar değişik empürütelerin varlığı kilin değişik karakteristik özelliklerini belirler. Endüstriyel kullanımlar için bentonitin değerlendirilmesinde, kimyasal bileşimden ziyade fiziksel özellikleri önemlidir.

Çamur hale getirildiklerinde plastik özellik gösteren bentonitler içinde kolloidal halde dağılmış diğer silikatlar da bulunmaktadır. Beyaz, açık krem, açık mavi, açık yeşil, sarı, kahverenginin farklı tonları ve kırmızı renklerde bentonitlere rastlanmaktadır. Bentonit yerine volkanik kil, sabun kil, mineral sabun, ağartma kili, ağartma toprağı, adsorplayıcı kil ve adsorplayıcı toprak gibi isimler de kullanılmaktadır. Çoğu zaman bazı bentonitlere yüksek orandaki ana minerallerinden dolayı doğrudan montmorillonit de denilmektedir.

İnorganik ve organik her türden molekül ve iyonu adsorplama gücüne sahip olmaları killerin bilimsel ve teknolojik açıdan önemini daha da arttırmaktadır. Bentonitlerin adsorplama gücü partiküller arası ve partikül içi gözeneklilikten kaynaklanmaktadır.

2.8. Akrilik Asit

Akrilonitril bileşiklerinin hidrolizi ile sonucu ortaya çıkan, keskin kokulu renksiz bir tür asittir. Akrilik asitlerin ısıya, ışığa ve de metallere maruz bırakılması sonucu ortaya çıkan polimerlerin genel adına akrilik denmektedir. Kısaca akrilik, akrilik asit polimerlerinin hepsini kapsayan genel bir isimdir. Modern endüstride pek çok alanda kullanılan akriliğin kimyasal formülü; CH_2=CH COOH' dir.

Genel olarak levha, boya, orlon, elyaf, iplik, cam ve pleksiglas gibi malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Akrilik bileşenlerinin kimyasal senteziyle

elde edilen plastik ve reçine gibi maddelerin elde edilmesinde kullanılan akrilik, kimyasal sentez neticesinde çeşitli yağ türlerinin elde edilmesinde de kullanılır. Bu şekilde elde edilen akrilik maddelerin esnek, saydam, mat, sert ve yumuşak bir yapısı olmaktadır. Sıvı şeklinde de üretilebilen akrilik, optik malzemeler, dokuma elyafı, yapıştırıcılar, mücevherler, yapı malzemeleri ve kaplama malzemeleri gibi ürünlerin üretiminde de kullanılmaktadır.

2.9. Kompozit

İki veya daha fazla malzemenin, iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak için, mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla oluşan malzemeye birleşik veya kompozit malzeme denir. Yorulma, aşınma, korozyon, yüksek sıcaklık ve kırılganlığa dayanıklılık, elektrik, ısıl ve akustik iletkenlik, ağırlık, rijitlik, estetik görünüm kompozit yapı oluşturarak geliştirilmesi istenen özelliklerdendir.

Bu çalışmanın amacı farklı oranlarda çapraz bağlayıcı ve akrilik asit kullanarak; çitosan/bentonit/akrilik asit (ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5) kompozitleri hazırlamak ve bunların MG ve MB boyar maddeleri ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyonlarının adsorpsiyonlarındaki verimliliğini araştırmaktır.

2.10. Önceki Çalışmalar

Çitosan ucuz, bol bulunabilen, çevreye ve insanlara zarar vermeyen bir biyopolimerdir. Doğada en çok bulunan polimerlerden biri olan çitosan, birçok organik reaksiyon (alkilleme, karboksilleme, sülfolama, schiff bazı, kuartarner tuz vs.) ile kolayca modifiye olabilen serbest amin gruplarını ve hidroksil gruplarını taşımasından dolayı, sentetik polimerlerden oldukça farklı fonksiyonel gruplu polimerlerin sentezlenmesinde oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Kopolimer formunda kolaylıkla fiberlere, filmlere ve mikro kürelere dönüştürülebilen çitosan, yapısındaki amin grupları ve karboksilik gruplarısayesinde III. geçiş elementlerinin iyonları için seçici bağlayıcı bir konum görevi görerek atık sulardan ağır metal ve boyar maddelerin uzaklaştırılması için düşük maliyetli adsorbent olarak kullanımı sağlanmaktadır.

Polimer ve polimer kompozitlerin özelliklerinin geliştirilmesinde; polimer-tabakalı silikat nanokompozit yapıların öneminin anlaşılması ile bu konuda yapılan çalışmalar hem bilimsel hem de endüstriyel alanda büyük önem kazanmıştır. Bu

çalışmaların temel amacı polimerin tabakalı yapıya girmesini sağlayarak nanokompozit oluşturmaktır (Harrane ve Belbachir 2007).

Kil minerallerinin organik ve inorganik bileşikleri adsorpsiyonu; iyon değişimi (katyon ve anyon değişimi), kil yüzeyinde organik moleküllerin protonlanması, yarı tuz oluşumu, iyon-dipol oluşumu ve koordinasyonu, hidrojen bağı (su köprüsü, organik-organik hidrojen bağı, organik-kil hidrojen bağı), elektronlarının verilmesi ile olan adsorpsiyon, dispersiyon kuvvetleri ile olan adsorpsiyon ve hidrofobik bağlanma gibi mekanizmalar ile açıklanabilmektedir (Kowalska ve ark. 1994). Kil, polimerin birçok fiziksel ve yapısal özelliğini değiştirebilir. Kil katkısıyla gelişen özellikleri nedeni ile polimerin kullanım alanları artabileceği gibi yeni kullanım alanları da doğabilir. Bu konuda polimerlerin ve kilin endüstrideki önemini gösteren pek çok bilimsel araştırma mevcuttur (Mandalia ve Bergaya 2006).

Çitosanın düşük mekanik özellikleri ve termal dayanıklılığı daha geniş alanlarda uygulanmasını kısıtlamıştır. Bu bağlamda karbon nanotüp, kil ve silika gibi nanofillerin kullanıldığı nanokompozit teknolojisinin polimerlerin mekanik, elektrik ve termal gibi özelliklerini geliştirdiği kanıtlanmıştır (Tang ve ark. 2009). Çitosan biyopolimeri reaksiyon sırasında tabakalı, inorganik kil yapısına girerek nanokompozit oluşturulmaktadır. Çok küçük parçacıklardan oluşan kil minerallerinin dış yüzey alanları çok geniş olup nano düzeyde bulunurlar. Ayrıca adsorpsiyon yeteneği, şişme özelliği olan kil katkısıyla çitosanın mekanik, elektrik ve termal özelliklerinin geliştirilerek; killerin de pratik kullanımda karşılaşılan; agregasyon ve koagülasyon gibi hidrodinamik özellikleri etkileyen olumsuzluklar, bu adsorbanların biyopolimer ile oluşacak kompozitler ile giderilecek ve böylece elde edilen kompozitlerin daha geniş ve uygun kullanım alanları (boyar madde, ağır metal gibi kirliliklerin uzaklaştırılmasında vb.) da gelişmektedir. Ayrıca; akrilik asit eklenerek elde edilen kompozitlerin adsorposiyon kapasiteleri artırımı düşünülmüştür. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Liu ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, çitosan/akrilik asit/vermikulit kili kullanılarak hazırlanan kompozit ile metilen mavisi adsorpsiyonunda kullanılmıştır. Etki süresi, sıcaklık, pH, başlangıç boyar madde derişimi ve iyonik şiddet etkisi

araştırılmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 1200 mgL^{-1} başlangıç konsantrasyonunda 1600 mgg^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Bir başka çalışmada Vanamudan ve ark. (2014) çitosan-g-N-vinil pirolidon/montmorillonit hidrojel kompoziti sentezlemiş ve katyonik rodamin 6G boyar maddesinin adsorpsiyonunda kullanmışlardır. Etki süresi, adsorbent dozu ve sıcaklık etkileri araştırılarak maksimum adsorpsiyon kapasitesi 36.77 mgg^{-1} olarak bulunmuştur.

Demarchi ve ark. (2013) glutaraldehit ile çapraz bağlı-Fe(III) kompoziti santezleyerek reaktif red 120 boyar madde adsorpsiyonu çalışması yapmışlardır. Ayrıca sıcaklık ve pH etkisini de incelemişlerdir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesini 380.00 mgg^{-1} olarak tespit etmişlerdir.

Peng ve ark. (2013) modifiye edilmiş paligorskit kili-çitosan (CTS-modified PA) adsorbenti sentezleyerek reaktif sarı 3RS anyonik boya madde adsorpsiyonunda kullanmışlardır. Yapılan çalışmada etki süresi, pH, başlangıç boya derişimi ile adsorbent dozu etkisi incelenmiş ve maksimum adsorpsiyon kapasitesi modifiye edilmiş kompozit için 71.38 mgg^{-1} olarak bulunmuştur.

Bezaktif oranj V-3R adsorpsiyonu için çitosan/montmorillonit kompoziti sentezleyerek başlangıç derişimi ve pH etkisini inceleyen Nesic ve ark. (2012) maksimum adsorpsiyon kapasitesini optimum pH 6, başlangıç derişimi 80 mgL^{-1}' de 280 mgg^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Farklı bileşenlerde çitosan/montmorillonit kil kompozitleri ile kongo red adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır (Wang ve Wang 2007). Adsorpsiyon kapasitesi üzerine sıcaklığın ve pH' nın etkisini incelenmiştir. Kongo red maksimum adsorpsiyon kapasitesi 53.42 mgg^{-1} olarak bulunmuştur.

Nesic ve ark. (2013) Zeolit kiliyle modifiye edilmiş çitosan sentezleyerek bezaktif oranj 16 boyar madde gideriminde kullanmışlardır. Başlangıç derişimi ve pH etkisi araştırılmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 305.8 mgg^{-1}, optimum pH 6 olarak tespit edilmiştir.

Guo ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada üç farklı modifiye edilmiş bentonit kullanılarak; (CTS-bent): çitosan modifiye edilmiş bentonit, (CTAB-Bent): hakzadesil-trimetil-amonyumbromür modifiye edilmiş bentonit ve (CTS–CTAB-Bent):

hem çitosan hem de hakzadesil-trimetil-amonyumbromür modifiye edilmiş bentonit kompozitleri sentezlenerek kırmızı zayıf asit adsorpsiyonu denenmiştir. Etki süresi, sıcaklık ve adsorbent dozu etkisi gibi parametreler araştırılmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi CTS–CTAB-Bent kompozitinde 102 mgg^{-1} olarak bulunmuştur.

Auta ve Hameed (2014) modifiye edilmiş kil (MBC) ve modifiye edilmiş-çitosan (MBC-CH) kompoziti ile metilen mavisi adsorpsiyon çalışmalarını başlangıç derişimi ve pH etkisini inceleyerek çalışmışlardır. Çalışmada maksimum metilen mavisinin adsorpsiyon kapasitesi MBC için 70 mgg^{-1}, MBC–CH için 142 mgg^{-1} bulunmuştur.

Wan Ngah ve ark. (2010a) tarafından yapılan çalışmada çitosan/bentonit kompoziti hazırlanarak Tarttrazin adsorpsiyonu denenmiştir. Çitosan/bentonit kompoziti üzerine Tarttrazinin maksimum adsorpsiyon kapasitesi 291.1 mgg^{-1} olarak bulunmuştur.

Wan Ngah ve ark. (2010b) tarafından yapılan çalışmada Çitosan/bentonit kompoziti sentezlenerek malahit yeşili adsorpsiyonu çalışılmıştır. Adsorpsiyon kapasitesi 435.06 mgg^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Asit mavi 9 ile gıda sarısı 3 boyar maddelerin çitosan üzerine adsorpsiyonunu inceleyen Dotto ve Pinto (2011) karıştırma hızı etkisini inceleyerek maksimum adsorpsiyon kapasitesini 400 rpm çalkalama hızında asit mavi 9 için 220 mgg^{-1}, gıda sarısı 3 için 350 mgg^{-1} olarak bulmuşlardır.

Fan ve ark. (2012) β-siklodekstrin–çitosan (CDC) modifiye edilmiş Fe_3O_4(CDCM) nanoparçacık (CDCM) kompoziti sentezleyerek metilen mavisi boyar maddesinin adsorpsiyon çalışması yapmışlardır. Etki süresi, kinetik parametreler, pH ve başlangıç boya derişimini incelemiş, 328 K sıcaklıkta adsorpsiyon kapasitesini 2.8 gg^{-1} olarak bulmuşlardır.

Çitosan-g-akrilik asit-akrilamid kompoziti sentezlenerek Cu(II), Cd(II), Ni(II) ve Pb(II) metal adsorpsiyonunda kullanılarak yapılan çalışmada, Khairkar ve Raut (2014) etki süresi, başlangıç metal derişimi, pH, adsorbent dozu ve sıcaklık etkisini incelemiş adsorpsiyon kapasitelerini % 90 Cu(II)> % 85 Cd(II)> % 80 Ni(II)> % 78 Pb(II) olarak tespit etmişlerdir.

Abdel Khalek ve ark. (2012) polimetilmetakrilat-g-çitosan-bentonit nanokompoziti (MACB) hazırlayarak Hg(II), Pb(II) ve Cd(II) adsorpsiyonunda kullanmışlardır. Metallerin adsorpsiyon kapasitesi % 94 Hg(II) > % 89 Pb(II) > % 78 Cd(II) olarak tespit edilmiştir.

Ba ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, çitosan/bentonit kompoziti sentezlenerek Cu(II), Cl^{-1} ve 2,4-diklorofenoksiasetik asit adsorpsiyonunda kullanılmıştır. Çalışmadaki adsorbatların uzaklaşma hızları sırasıyla Cu(II), Cl^{-1} ve 2,4-diklorofenoksiasetik asit için % 94.87, % 86.19 ve % 91.06 olarak bulunmuştur.

Futalan ve ark. (2012) immobilize çitosan bazlı bentonit (ChB) adsorbenti hazırlayıp Cu(II), Ni(II) ve Pb(II) adsorpsiyonunda kullanmışlardır. Adsorpsiyon kapasitesi Cu(II), Ni(II) ve Pb(II) için sırasıyla 12.6, 6.1 ve 15.0 mgg^{-1} olarak tespit etmişlerdir.

Djelad ve ark. (2016) yaptığı çalışmada çitosan-zeolit Na-X kili kullanarak kompozitler hazırlamış ve Cu(II) metal adsorpsiyonunda kullanmışlardır. Cu (II) metal adsorpsiyon kapasitesini 190.00 mgg^{-1} olarak bulmuşlardır.

Hritcu ve ark. (2012) trafından yapılan bir çalışmada çitosan-magnet mikroparçacıklı kompozit sentezlenerek Co(II) ile Ni(II) adsorpsiyonları denenmiştir. Adsorbent dozu, başlangıç metal derişimi ile pH etkisi incelenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi Co(II) için 588.24 mgg^{-1}, Ni(II) için 833.34 mgg^{-1} olarak bulunmuştur.

Hidroksiyapatit-çitosan (HApC) kompoziti hazırlanarak yapılan çalışmada Kusrini ve ark. (2013) Cr(VI), Zn(II) ve Cd(II) adsorpsiyonlarını araştırmışlardır. Adsorpsiyon kapasitesi Cr(VI)> Cd(II)> Zn(II) olarak tespit edilmiştir.

Gedam ve ark. (2015) tarafından yapılan bir başka çalışmada grafit doplanmış-çitosan kompoziti sentezlenerek Pb(II) adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Etki süresi, pH, adsorbat başlangıç derişimi etkisi incelenmiş, Pb(II) metalinin adsorpsiyon kapasitesi 6.711 mgg^{-1} olarak bulunmuştur.

Ayrıca Çitosan/montmorillonit kil kompozitlerinin içme sulardan Selenyum uzaklaştırmadaki performansları değerlendirilmiştir (Bleiman ve Mishael 2010). Adsorpsiyon kapasitesi 18.2 mgg^{-1} olarak tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada Sigma-Aldrich marka mitosan, metilen mavisi, malahit yeşili, Merck marka asetik asit, AA (akrilik asit), MBA (metilen bisakrilamid), APS (amonyumpersülfat) ve Elazığ-Yalavuz Bentoniti kullanıldı.

3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar

Çalkalama işlemi için GFL 1083 marka çalkalayıcılı su banyosu, MG ve MB derişimlerinin ölçümü için PG T80+ marka çift ışın yollu UV Spektrofotometresi, Cu(II) ve Ni(II) derişimlerinin ölçümü için Perkin Elmer markalı Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) kullanıldı. Ayrıca, fonksiyonel grupların tespiti için Perkin-Elmer Spectrum 100 marka ATR-FTIR, yüzey morfolojisi görüntülerini almak için Quanta FEG 250 marka SEM, ısısal analizler için de Shimadzu, DTA-60 H marka DTA-TGA cihazı kullanıldı.

3.3. Ön Çalışmada Kullanılan Kompozitlerin Hazırlanması

250 mL' lik balonlara 0.5 g çitosan ile 30 mL, % 1' lik asetik asit eklenip 2 saat, daha sonra her birine 0.5 g bentonit kili eklenerek 1 saat magnetik karıştırıcıda karıştırıldı. Çitosan, bentonit maddelerine 1 mL ÇB1 için divinil benzen, ÇB2 için N,N-Metilen bisakrilamid, ÇB3 için N,N,N,N-tetrametilendiamin ve ÇB4 için etilenglikoldimetakrilat çapraz-bağlayıcılar eklenerek 70 ^{o}C' de 3 saat karıştırıldı. Karışımlar 1M NaOH çözeltisi içerisine boşaltılarak bir süre bekletildi. Daha sonra pH=7 olana kadar saf su ve etanol ile yıkanarak 100 ^{o}C' deki etüvde kurutularak öğütüldü.

3.4. ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 Kompozitlerinin Hazırlanması

Üç boyunlu 250 mL' lik balonlara 0.5 g çitosan ile 30 mL, % 1' lik asetik asit eklenenip 2 saat magnetik karıştırıcıda karıştırılarak geri soğutucuda 5 dakika azot gazı ile süprüldü. 3.43 mL AA , 0.25 g MBA ile 0.5 g bentonit kili eklendi. Daha sonra 0.1 g APS eklenerek yine 10 dakika azot gazı ile süprülüp 70 ^{o}C' de 3 saat karıştırıldı. (Her bir kompozitin oranı Çizelge 3.1' de verilmiştir). Karışım 1M NaOH çözeltisi içerisine

boşaltılarak bir süre karıştırıldı. Daha sonra pH=7 olana kadar saf su ve etanol ile yıkanarak 100 ^{o}C' deki etüvde kurutuldu ve öğütülerek kullanıma hazır hale getirildi (Zhang ve ark 2007).

Çizelge 3.1. ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozit içeriklerinin ağırlıkça oranları

	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA5
Çitosan	1	1	1	1	1
Bentonit	1	1	1	1	1
Akrilik Asit	1	0.5	2	1	1
MBA	1	1	1	0.5	2

3.5. Adsorbentlerin Karakterizasyon Çalışmaları

3.5.1. FTIR Analizleri

Çalışmada kullanılan ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin adsorpsiyon öncesi yüzey fonksiyonel gruplarını belirlemek ve adsorpsiyon sonrası, adsorbatların yüzeye tutunma mekanizmasını anlamak için IR spektrumları alındı (Şekil 4.5-4.25).

3.5.2. SEM Analizleri

Çalışmada kullanılan ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin boyar madde ve ağır metal iyonlarının adsorpsiyonundan önceki ve sonraki yapısal değişimi ve yüzey morfolojilerini aydınlatmak için, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBTAM) tarafından alındı (Şekil 4.26-4.30).

3.5.3. TGA-DTA Analizleri

Termogravimetrik analiz (TGA), bir malzemenin sıcaklık artışı ile bünyesinde meydana gelen ısısal (termal) ve kütlesel (gravimetrik) değişimleri belirlemek için yapılan bir ölçümdür. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ile örnekte ekzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri tespit edilir. ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin erime ve bozunma olayları termal analiz yöntemleri olan TGA-DTA ile incelenmiştir. TGA-DTA analizleri DÜBTAM Araştırma Merkezi tarafından yapıldı (Şekil 4.31-4.37).

Bu yöntemlerle kompozitlerin ısı artışı karşısında göstermiş oldukları kütle ve enerji değişimleri, erime, bileşimsel bozunma, su kaybı, oksidasyon, faz geçiş sıcaklıkları gibi özellikler karşılaştırılarak termal kararlılığın sayısal değerleri elde edilir.

3.6. Kinetik Çalışmalar

3.6.1. Başlangıç Derişimi Etkisi

ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin MG, MB boyar maddeleri ile Cu(II), Ni(II) metal iyonları adsorpsiyonu üzerine MG, MB, Cu(II) ve Ni (II)' nin başlangıç derişimi etkisi incelendi. Bu amaçla MB için başlangıç derişimi, C_o=100, 200 ve 300 mgL^{-1}; MG, Cu(II) ve Ni (II) için ise C_o= 50, 100 ve 200 mgL^{-1} olan çözeltiler kullanılarak kinetik inceleme yapıldı. Farklı başlangıç derişimlerde, 0.025 g kompozit, 50 mL çözeltiler 298 K' de çalkalayıcılı su banyosunda karıştırıldı. 0, 5, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360 ve 420 dakika zaman aralıklarında alınan numunelerin derişimi MG ve MB boyar maddeleri için UV cihazında sırasıyla 617 ve 664 nm Cu(II) ve Ni(II) metal iyonları için ise AAS cihazında sırasıyla 327.4 ve 231.1 nm' de ölçüldü. Zamana karşı denge derişimi grafiğe geçirilerek kinetik eğriler elde edildi (Çizelge 4.2-5, Şekil 4.38, 4.40, 4.42, 4.44). Böylece hem boyar maddeler hem de metal iyonları için denge süresi 240 dakika olarak belirlendi.

Sonuç derişimlerden q_t değerleri:

$$q_t = (C_o - C_d).V / m \qquad (3.1)$$

denklemi kullanılarak hesaplandı ve bunlara ait grafikler çizildi (Şekil 4.39, 4.41, 4.43, 4.45). Burada C_o: başlangıç anında, C_d: denge anındaki adsorbat derişimi (mgL^{-1}), q_t: t anında adsorplanan madde miktarı (mgg^{-1}), V: çözeltinin hacmi (mL), m: adsorplayıcı madde miktarını (g) göstermektedir.

3.6.2. Sıcaklık Etkisi

ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin MG, MB, Cu(II) ve Ni(II) adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi incelendi. Bu amaçla MB ve MG için başlangıç derişimi 200 mgL^{-1}, Cu(II) ve Ni (II) için ise 100 mgL^{-1} olan 50 mL çözeltiler

kullanılarak kinetik inceleme yapıldı. 0.025 g kompozit, 50 mL çözeltiler 298, 308 ve 318 K'de çalkalayıcılı su banyosunda karıştırıldı. 0, 5, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360 ve 420 dakika zaman aralıklarında alınan MG ve MB boyar madde, Cu(II) ve Ni (II) metal iyonların derişimleri ölçüldü. Zamana karşı denge derişimi grafiğe geçirilerek kinetik eğriler elde edildi (Çizelge 4.6-25, Şekil 4.45, 4.47, 4.49, 4.51) böylece denge süresi belirlendi. Sonuç derişimlerden q_t değerleri 3.1 denklemi kullanılarak hesaplandı ve t zamana karşı grafiğe geçirildi (Şekil 4.47, 4.49, 4.51, 4.53).

3.6.3. Adsorpsiyon Hız Sabitlerinin Hesaplanması

Çizelge 4.26-65' deki veriler farklı başlangıç derişimlerde ve sıcaklıklarda psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe kinetik modellerinde değerlendirilerek adsorpsiyon hız sabitleri hesaplandı (Çizelge 4.106-125).

Psödo-birinci mertebe için (Sharma ve ark. 2013, Hameed ve El-Khaiary 2008, Hameed ve Hakimi 2008):

$$log(q_d - q_t) = log q_d - log k_{pb}\, t / 2.303 \quad (3.2)$$

denkleminden t' ye karşı $\log(q_d - q_t)$ grafiği çizilerek (Şekil 4.54, 4.56, 4.58, 4.60) doğruların eğim ve kayma değerlerinden hız sabitleri ve q_d değerleri hesaplandı (Çizelge 4.106-125). t: zaman (dakika), k_{pd}: adsorpsiyon hız sabiti (dak^{-1}), q_d: denge anında, q_t: ise t anında 1 g adsorbent üzerinde adsorbatın miktarıdır (mgg^{-1}).

Psödo-ikinci mertebe için (Hasan ve ark. 2008, Hameed ve Mahmoud 2008):

$$t/q_t = 1/k_{pi} + t/q_d \quad (3.3)$$

denkleminden t' ye karşı t/q_t grafiği çizilerek (Şekil 4.55, 4.57, 4.59, 4.61) doğruların eğim ve kayma değerlerinden hız sabitleri ve q_d değerleri hesaplandı (Çizelge 4.106-125). k_{pi} adsorpsiyon hız sabit (gmg^1dak), q_d denge anında, q_t ise t anında 1 g adsorbent üzerinde adsorplanan madde miktarıdır (mgg^{-1}).

3.6.4. Gözenek Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Çizelge 4.66-105' teki veriler Weber-Morris denkleminde değerlendirilerek gözenek difüzyon katsayısı hesaplandı (Aydın ve ark. 2008, Bayramoğlu ve Arica 2002).

$$C_t/C_o = k_{gd}t^{1/2} \quad (3.4)$$

Burada t: zaman (dak), k_{gd}: gözenek difüzyon hız sabiti ($dak^{-1/2}$), C_o: başlangıç anında, C_t: t anında adsorbat derişimini (mgL^{-1}) göstermektedir.

Gözenek difüzyon katsayısının hesaplama verileri Çizelge 4.66-105' te verilmiştir. $t^{1/2}$' ye karşı C_t/C_o değerleri grafiğe geçirildi (Şekil 4.70, 4.72, 4.74, 4.76, 4.78, 4.80, 4.82, 4.84) ve doğruların eğimlerinden hız sabitleri hesaplandı (Çizelge 4.106-125).

3.6.5. Parçacık İçi (intraparticle) Kütle Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Çizelge 4.2-25' teki veriler Weber-Morris' in parçacık içi kütle difüzyon denkleminde değerlendirilerek parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplandı.

Weber-Morris' in parçacık içi kütle difüzyon denklemi (Aydın ve ark. 2008):

$$q_t = k_{pik}t^{1/2} \quad (3.5)$$

şeklinde olup t: zaman (dakika), k_{pik}: parçacık içi kütle difüzyon hız sabiti ($mg^{-1}g^{-1}dak^{1/2}$), q_t: ise t anında adsorplanan madde miktarıdır.

Parçacık içi kütle transfer katsayısının hesaplama verileri 4.66-105' te verilmiştir. $t^{1/2}$' ye karşı q_t değerleri grafiğe geçirilerek (Şekil 4.71, 4.73, 4.75, 4.77, 4.79, 4.81, 4.83, 4.85) doğruların eğim ve kayma değerlerinden hız sabitleri hesaplandı (Çizelge 4.106-125).

3.7. pH Etkisi

ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin MG, MB boyar madde ile Cu(II), Ni (II) metal iyonların adsorpsiyonu üzerine pH etkisi incelendi. Bunun için tüm adsorbatlar için 50 mL ve 100 mgL^{-1} başlangıç derişimli, pH' sı 2, 4, 6, 8 ve 10 olan 5 farklı çözelti hazırlanarak 240 dakika sonra alınan numunelerin derişimleri ölçüldü (Çizelge 4.130-133).

3.8. Adsorpsiyon Çalışmaları

Bu çalışma için her bir ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin 0.025 g, 50 mL, başlangıç derişimi belli MG ve MB için C_o: 50, 75, 100, 150 ve 200

mgL^{-1}, Cu(II) ve Ni (II) için ise C_o: 50, 100, 150, 200, 250 ve 300 mgL^{-1} olan bir seri çözelti kullanılarak farklı sıcaklıklarda (T: 298, 308 ve 318 K) denge süresince çalkalayıcılı su banyosunda çalkalandı. Daha sonra çözeltilerden alınan numunelerle gerekli seyreltmeler yapılarak denge derişimleri (C_d) belirlendi. Gram adsorplayıcı başına adsorplanan madde miktarı (q_t), başlangıç derişiminden denge derişimi çıkarılıp adsorplayıcı miktarına bölünerek hesaplandı (Çizelge 4.134-137, Şekil 4.90-93).

Adsorpsiyon izoterm verileri Freundlich ve Langmuir modellerinde değerlendirildi.

Freundlich adsorpsiyon denklemi (Bayramoğlu ve Alica 2002):

$$q_t = K_F C_d^{1/n} \quad (3.6)$$

şeklinde olup çizgisel hali:

$$\log q_t = \log K_F + 1/n \log C_d \quad (3.7)$$

şeklindedir.

Langmuir adsorpsiyon denklemi ise (Tang ve ark. 2012):

$$q_t = Q_{max} b C_d / b C_d + 1 \quad (3.8)$$

şeklinde olup çizgisel hali:

$$q_t / C_d = 1/Q_{max} b + C_d/Q_{max} \quad (3.9)$$

şeklindedir. Burada q_t birim miktar adsorplayıcı üzerinde adsorplanan madde miktarı ($mg\ g^{-1}$), C_d denge anındaki adsorbat derişimi (mgL^{-1}), K_F ve n Freundlich sabitleri, Q_{max} ve b ise Langmuir sabitleridir.

Her iki modelin çizgisel hal verileri elde edilerek (Çizelge 4.138-145) çizgisel izotermler çizildi. Freundlich tipi çizgisel izotermler Şekil 4.98-101' de, Langmuir tipi çizgisel izotermler ise Şekil 4.94-97' de verilmiştir. Şekil 94-101' deki doğruların kayma ve eğim değerlerinden izoterm sabitleri bulundu (Çizelge 4.146-149).

3.9. Termodinamik Hesaplamalar

Farklı sıcaklıklarda yapılan adsorpsiyon deneylerinden elde edilen veriler ve belirlenen $R^{2'}$ lerin büyüklüğünden langmuir izoterm modeline uygunluğunun tespitiyle, *b*-langmuir sabitleri ile denklem 3.10 ve denklem 3.11' den yararlanarak, ΔG, ΔH ve ΔS termodinamik parametreleri hesaplandı.

Farklı sıcaklıklarda Gibbs enerji değişimi (ΔG) denklem 3.10 kullanılarak hesaplandı (Juang ve ark. 2006).

$$\Delta G = -RT\ln K_L \qquad (3.10)$$

van' t Hoff denklemi (denklem 3.11) kullanılarak;

$$\ln K_L = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{R}\frac{1}{T} \qquad (3.11)$$

1/T' ye karşı $\ln K_L$ grafiği çizilerek (Şekil 4.102-105) denklemin eğim ve kayma değerlerinden ΔH ve ΔS değerleri hesaplandı.

$R^{2'}$ lerin büyüklüğünden psödo-ikinci mertebe modeline uygunluğu nedeniyle, *kpi* sabitleri ile denklem 3.12' den yararlanarak Aktivasyon enerjisi (E_a), Arrhenius denklemi (denklem 3.12) kullanılarak hesaplandı.

$$\ln k_{pi} = \ln A - \frac{E}{RT} \qquad (3.12)$$

Burada k_{pi} psödo-ikinci mertebe hız sabiti ($gmg^{1}dak$), A Arrhenius sabiti, R ideal gaz sabiti (8.314 $Jmol^{-1}K^{-1}$), T mutlak sıcaklıktır (K). 1/T' ye karşı $\ln k_{pi}$ grafiği çizilerek (Şekil 4.86-89) denklemin eğiminden E_a hesaplandı (Çizelge 4.126-129).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çizelge ve Şekiller

Çizelge 4.1. ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin termal analiz sonuçları

Kompozit	T_{on} (ºC)	T_{max}(ºC)	T_{20} (ºC)	T_{50} (ºC)	Kalıntı (%)(900 ºC)	DTA (Endo/Exo)
ÇBA1	230	280, 343, 352, 652, 731	280	352	7.2	420,650 / 390, 480, 700
ÇBA2	211	338, 375, 468, 615, 729	338	468	24	370, 600 / 350, 480, 620
ÇBA3	211	265, 360, 451, 694	265	360	5.2	280, 410, 425, 500 / 350, 480, 550
ÇBA4	218	276, 333, 480, 718	276	480	14.9	290, 400, 500, 580, 610 /390, 480, 620, 700, 790
ÇBA5	198	248, 279, 348, 450, 722	279	450	9.1	280, 440, 500/400, 480, 550
ÇİTOSAN	95	96, 279, 318, 846	279	318	0	95, 370 / 318
BENTONİT	86	86, 628, 699	-	-	75	85 / 200, 715

Çizelge 4.2. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (m=0.025 g, V=50mL, T=298 K, hız=120 rpm)

C_o		C_d (mgL^{-1})					q_t (mgg^{-1})				
(mg L^{-1})	t (dak)	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA5	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA5
50	0	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	44.27	31.21	38.66	35.35	46.33	11.46	37.58	22.68	29.30	7.34
	30	41.25	25.36	34.21	27.35	42.55	17.50	49.28	31.58	45.30	14.90
	60	32.30	22.33	27.01	24.32	33.98	35.39	55.34	45.98	51.36	32.04
	90	27.82	16.35	23.00	19.30	29.86	44.36	67.30	54.00	61.40	40.28
	120	22.86	15.56	19.52	16.58	23.65	54.27	68.88	60.96	66.84	52.70
	180	19.66	10.25	16.88	14.21	20.21	60.68	79.50	66.24	71.58	59.58
	240	17.21	6.24	13.21	7.74	18.58	65.58	87.52	73.58	84.52	62.84
	300	15.25	5.18	12.32	9.75	17.05	69.50	89.64	75.36	80.50	65.90
	360	14.33	4.68	12.09	11.91	16.88	71.34	90.64	75.82	76.19	66.24
	420	13.68	4.12	10.98	8.25	15.55	72.64	91.76	78.04	83.50	68.90
100	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	67.34	58.80	73.40	71.76	69.46	65.32	82.41	53.21	56.48	61.08
	30	64.37	44.85	68.14	59.95	64.99	71.26	110.3	63.73	80.11	70.01
	60	56.12	35.97	58.76	46.05	58.89	87.76	128.0	82.48	107.9	82.22
	90	49.08	28.33	45.92	32.30	54.22	101.8	143.3	108.1	135.4	91.56
	120	41.61	24.38	38.86	26.62	50.90	116.7	151.2	122.2	146.7	98.19
	180	33.85	17.70	31.74	19.93	43.79	132.2	164.6	136.5	160.1	112.42
	240	30.62	13.96	23.84	17.43	41.95	138.7	172.0	152.3	165.1	116.10
	300	28.44	12.20	21.59	17.08	37.84	143.1	175.6	156.8	165.8	124.32
	360	26.59	11.96	19.57	15.99	36.22	146.8	176.0	160.8	168.0	127.55
	420	24.55	11.08	18.32	15.21	36.66	150.9	177.8	163.3	169.5	126.68
200	0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	182.3	162.6	178.3	171.5	187.1	35.35	74.74	43.30	56.87	25.76
	30	155.1	125.1	139.4	133.5	163.4	89.70	149.7	121.1	132.8	73.05
	60	144.8	99.29	122.9	116.2	148.4	110.4	201.4	154.1	167.5	103.21
	90	122.1	78.34	108.9	91.52	137.8	155.6	243.3	182.0	216.9	124.24
	120	116.2	56.56	99.14	82.12	120.9	167.4	286.8	201.7	235.7	158.10
	180	95.91	32.93	80.60	54.44	109.2	208.1	334.1	238.8	291.1	181.45
	240	90.66	29.44	82.02	49.20	101.6	218.6	341.1	235.9	301.6	196.62
	300	82.07	22.83	78.74	44.19	98.66	235.8	354.3	242.5	311.6	202.69
	360	77.58	20.45	73.89	43.94	97.85	244.8	359.0	252.2	312.1	204.30
	420	74.24	19.95	69.19	41.82	97.01	251.5	360.1	261.6	316.3	205.98

Çizelge 4.3. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

C_o (mg L^{-1})		C_d (mgL^{-1})					q_t (mgg^{-1})				
	t (dak)	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA5	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA 5
100	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	71.49	60.99	76.48	67.25	83.06	57.02	78.02	47.04	65.51	33.89
	30	64.11	43.45	69.97	51.12	66.62	71.77	113.0	60.06	97.75	66.75
	60	39.37	29.32	53.88	37.05	60.19	121.2	141.3	92.25	125.9	79.62
	90	23.13	15.19	43.73	22.39	52.18	153.7	169.6	112.5	155.2	95.64
	120	20.85	11.98	32.78	17.72	46.25	158.3	176.0	134.4	164.5	107.5
	180	18.13	5.75	25.67	13.60	32.77	163.7	188.4	148.6	172.7	134.4
	240	14.54	4.75	16.85	6.56	24.12	170.9	190.4	166.3	186.8	151.7
	300	12.83	3.81	15.29	5.87	23.19	174.3	192.3	169.4	188.2	153.6
	360	10.33	3.64	12.81	4.93	21.93	179.3	192.7	174.3	190.1	156.1
	420	7.57	3.60	11.57	4.71	19.71	184.8	192.7	176.8	190.5	160.5
200	0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	148.0	104.4	167.6	139.4	171.6	103.8	191.0	64.79	121.0	56.64
	30	130.9	66.70	139.5	117.0	155.5	138.0	266.6	120.9	165.9	88.91
	60	104.7	49.15	116.9	87.13	136.9	190.5	301.7	166.1	225.7	126.1
	90	80.45	28.89	93.36	65.28	122.4	239.0	342.2	213.2	269.4	155.1
	120	67.13	21.00	83.66	53.00	106.6	265.7	358.0	232.6	294.0	186.7
	180	48.15	14.87	64.89	33.72	93.75	303.7	370.2	270.2	332.5	212.4
	240	33.30	13.11	56.25	17.58	75.00	333.4	373.7	287.5	364.8	250.0
	300	31.40	12.38	54.25	21.94	79.40	337.2	375.2	291.5	356.1	241.2
	360	29.79	12.60	52.13	20.68	77.58	340.4	374.7	295.7	358.6	244.8
	420	29.62	12.30	50.15	20.23	76.64	340.7	375.4	299.7	359.5	246.7
300	0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	246.7	207.1	256.9	228.8	263.2	106.4	185.6	86.21	142.2	73.58
	30	226.7	157.2	236.3	210.7	248.4	146.6	285.5	127.2	178.5	103.1
	60	198.0	129.3	202.4	155.0	226.9	203.8	341.2	195.1	289.9	146.1
	90	154.9	71.77	184.4	120.8	192.7	290.1	456.4	231.1	358.3	214.5
	120	137.4	43.99	166.0	89.65	174.9	325.1	512.0	267.8	420.7	250.1
	180	105.0	30.19	145.7	48.40	165.3	389.8	539.6	308.4	503.2	269.2
	240	99.06	26.58	133.9	35.55	155.0	401.8	546.8	332.0	528.9	290.0
	300	89.93	14.48	132.0	25.38	149.1	420.1	571.0	335.9	549.2	301.6
	360	86.23	14.06	130.9	23.09	147.7	427.5	571.8	338.0	553.8	304.4
	420	83.96	13.51	128.8	22.88	147.4	432.0	572.9	342.2	554.2	305.0

Çizelge 4.4. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

C_o		C_d (mgL^{-1})					q_t (mgg^{-1})				
(mg L^{-1})	t (dak)	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA5	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA 5
50	0	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	43.20	29.24	38.73	29.96	45.14	13.59	41.52	22.55	40.08	9.72
	30	37.73	20.27	33.30	21.78	40.08	24.55	59.45	33.40	56.45	19.84
	60	31.56	8.26	31.48	12.64	36.56	36.87	83.49	37.04	74.72	26.89
	90	27.05	2.98	29.69	8.18	31.53	45.89	94.05	40.61	83.63	36.94
	120	21.08	1.04	28.64	8.12	30.06	57.85	97.93	42.72	83.77	39.88
	180	17.20	0.95	28.19	7.95	29.56	65.60	98.10	43.62	84.10	40.88
	240	16.49	0.85	25.97	4.34	28.16	67.02	98.30	48.06	91.32	43.69
	300	15.59	0.84	25.30	4.01	26.89	68.81	98.33	49.40	91.98	46.23
	360	12.93	0.80	24.83	3.97	26.50	74.13	98.40	50.33	92.05	46.99
	420	12.74	0.78	22.75	3.84	25.38	74.52	98.43	54.51	92.32	49.23
100	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	76.87	64.38	78.87	69.10	83.58	46.26	71.25	42.26	61.80	32.85
	30	74.15	59.08	75.47	65.46	78.87	51.70	81.85	49.06	69.08	42.26
	60	70.12	46.35	74.43	57.87	74.63	59.76	107.3	51.15	84.26	50.75
	90	66.33	44.58	72.00	55.45	73.10	67.35	110.8	56.00	89.10	53.80
	120	62.58	42.55	70.75	52.88	70.68	74.85	114.9	58.50	94.24	58.65
	180	61.25	42.08	67.25	46.65	70.28	77.50	115.8	65.50	106.7	59.45
	240	57.65	40.03	65.28	45.44	68.50	84.70	119.9	69.45	109.1	63.00
	300	59.43	39.87	65.15	44.88	67.38	81.15	120.2	69.70	110.2	65.25
	360	57.55	39.22	65.03	43.87	66.08	84.90	121.5	69.95	112.2	67.85
	420	57.12	39.01	64.97	43.18	65.78	85.76	121.9	70.06	113.6	68.44
200	0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	172.9	161.6	192.6	164.4	181.1	54.10	76.70	14.70	71.10	37.80
	30	171.6	153.2	175.6	161.2	176.1	56.70	93.49	48.77	77.60	47.80
	60	164.7	139.4	165.7	150.7	173.1	70.50	121.1	68.60	98.60	53.80
	90	162.8	135.9	164.3	148.2	167.5	74.40	128.2	71.40	103.5	65.00
	120	160.2	134.2	162.1	146.4	164.4	79.60	131.5	75.80	107.2	71.20
	180	156.5	133.8	159.7	146.2	160.2	86.90	132.3	80.48	107.6	79.50
	240	152.7	133.2	157.7	142.7	159.1	94.50	133.5	84.50	114.5	81.80
	300	151.2	132.5	155.0	143.2	156.0	97.50	135.0	90.00	113.5	88.00
	360	151.0	131.7	154.4	141.8	155.5	97.90	136.5	91.10	116.4	89.00
	420	149.3	129.4	152.8	139.7	155.4	101.4	141.2	94.30	120.5	89.10

Çizelge 4.5. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

C_o (mg L^{-1})		C_d (mgL^{-1})					q_t (mgg^{-1})				
	t (dak)	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA5	ÇBA1	ÇBA2	ÇBA3	ÇBA4	ÇBA 5
50	0	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	43.62	37.63	46.24	40.83	46.74	12.76	24.75	7.52	18.34	6.51
	30	41.88	33.57	43.59	33.65	44.47	16.23	32.87	12.83	32.70	11.06
	60	41.17	27.34	42.28	30.79	42.84	17.67	45.32	15.43	38.41	14.33
	90	37.79	24.52	40.86	29.69	43.22	24.42	50.97	18.27	40.61	13.56
	120	36.82	22.24	40.30	28.09	42.53	26.35	55.51	19.41	43.82	14.93
	180	35.37	19.32	40.03	26.92	42.03	29.26	61.36	19.94	46.16	15.93
	240	33.67	16.90	39.50	26.69	41.53	32.67	66.20	21.01	46.63	16.93
	300	33.60	16.48	38.56	25.80	41.33	32.80	67.03	22.88	48.40	17.34
	360	33.37	15.00	38.16	24.35	40.50	33.27	70.01	23.68	51.30	19.01
	420	32.63	14.33	37.79	23.93	40.43	34.74	71.34	24.41	52.14	19.14
100	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	94.38	84.83	93.63	87.33	95.24	11.25	30.35	12.75	25.35	9.51
	30	88.95	78.13	90.50	82.80	94.55	22.10	43.75	19.00	34.40	10.90
	60	85.80	77.18	88.90	81.70	92.50	28.40	45.65	22.20	36.60	15.00
	90	86.05	71.45	88.75	76.10	92.38	27.90	57.10	22.50	47.80	15.25
	120	84.08	66.05	87.45	74.65	91.25	31.85	67.90	25.10	50.70	17.50
	180	82.40	61.88	87.20	73.45	90.63	35.20	76.25	25.60	53.10	18.75
	240	81.13	59.35	86.63	72.08	88.03	37.74	81.30	26.75	55.85	23.95
	300	80.40	57.35	86.25	70.43	87.78	39.20	85.30	27.50	59.15	24.44
	360	78.40	56.90	86.10	69.83	87.12	43.20	86.20	27.80	60.35	25.76
	420	77.55	55.40	85.03	68.80	87.00	44.90	89.20	29.95	62.40	26.00
200	0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	188.9	172.8	193.8	183.7	195.6	22.20	54.40	12.30	32.60	8.80
	30	184.9	167.2	190.0	179.5	194.3	30.20	65.50	19.90	40.90	11.30
	60	179.3	161.1	189.2	173.8	190.1	41.30	77.70	21.50	52.40	19.80
	90	176.0	153.2	185.5	170.7	188.5	47.90	93.50	29.00	58.60	22.90
	120	174.6	150.6	184.9	165.5	187.6	50.70	98.80	30.20	68.88	24.70
	180	173.7	149.9	184.3	160.1	186.1	52.50	100.2	31.30	79.70	27.70
	240	172.0	147.8	182.2	158.1	185.5	56.00	104.3	35.50	83.76	28.90
	300	169.8	146.0	179.8	158.1	184.2	60.30	107.9	40.40	83.76	31.60
	360	169.3	145.0	178.9	157.8	183.4	61.30	109.9	42.20	84.26	33.20
	420	166.6	144.9	176.2	157.6	182.9	66.80	110.2	47.50	84.70	34.10

Çizelge 4.6. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	182.32	176.06	172.47	35.35	47.89	55.05
30	155.15	142.74	138.27	89.70	114.53	123.46
60	144.80	130.93	121.09	110.40	138.15	157.83
90	122.17	115.39	111.19	155.66	169.21	177.63
120	116.26	113.79	98.91	167.47	172.43	202.17
180	95.91	89.54	82.77	208.18	220.92	234.47
240	90.66	86.12	71.20	218.68	227.77	257.60
300	82.07	77.59	69.58	235.86	244.83	260.85
360	77.58	74.97	66.76	244.85	250.06	266.48
420	74.24	70.91	63.69	251.52	258.18	272.62

Çizelge 4.7. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t(dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	162.63	158.33	137.46	74.74	83.33	125.07
30	125.15	115.01	109.66	149.70	169.98	180.68
60	99.29	87.97	78.45	201.41	224.06	243.09
90	78.34	71.57	66.34	243.31	256.86	267.32
120	56.56	52.76	47.26	286.89	294.49	305.47
180	32.93	28.78	25.25	334.14	342.44	349.50
240	29.44	29.09	16.68	341.11	341.81	366.64
300	22.83	17.20	14.56	354.34	365.59	370.88
360	20.45	15.07	13.30	359.09	369.86	373.40
420	19.95	14.12	13.01	360.10	371.76	373.98

Çizelge 4.8. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t(dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	178.35	162.58	156.04	43.30	74.84	87.93
30	139.44	133.62	127.31	121.11	132.77	145.38
60	122.93	115.93	108.49	154.14	168.14	183.03
90	108.99	102.47	93.59	182.02	195.07	212.82
120	99.14	87.70	75.35	201.72	224.60	249.30
180	80.60	80.70	66.56	238.81	238.61	266.88
240	82.02	73.16	61.17	235.96	253.68	277.67
300	78.74	68.25	59.80	242.53	263.50	280.40
360	73.89	66.61	57.51	252.22	266.78	284.99
420	69.19	60.28	53.68	261.62	279.44	292.64

Çizelge 4.9. Farklı sıcaklıklardaki MG'nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			**q_t (mgg^{-1})**		
t(dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	171.57	163.32	144.51	56.87	73.36	110.99
30	133.59	128.30	119.48	132.83	143.40	161.05
60	116.21	107.58	99.32	167.58	184.83	201.37
90	91.52	87.83	83.84	216.97	224.33	232.33
120	82.12	73.46	68.21	235.76	253.08	263.58
180	54.44	48.96	46.65	291.11	302.09	306.70
240	49.20	36.63	27.28	301.60	326.74	345.44
300	44.19	31.54	25.32	311.62	336.93	349.36
360	43.94	29.40	24.02	312.12	341.21	351.96
420	41.82	27.95	23.67	316.36	344.10	352.66

Çizelge 4.10. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			**q_t (mgg^{-1})**		
t(dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	187.12	179.36	174.36	25.76	41.28	51.28
30	163.47	155.15	146.88	73.05	89.70	106.24
60	148.40	136.00	125.71	103.21	127.99	148.57
90	137.88	131.92	117.67	124.24	136.17	164.67
120	120.95	119.46	114.39	158.10	161.07	171.22
180	109.27	103.91	92.05	181.45	192.18	215.90
240	101.69	93.64	88.13	196.62	212.72	223.74
300	98.66	90.25	87.68	202.69	219.50	224.64
360	97.85	89.66	86.00	204.30	220.68	228.00
420	97.01	86.98	84.68	205.98	226.04	230.64

Çizelge 4.11. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	148.06	139.13	136.49	103.89	121.74	127.02
30	130.96	126.87	121.47	138.08	146.26	157.06
60	104.74	101.91	100.02	190.53	196.19	199.96
90	80.45	74.83	72.77	239.09	250.34	254.45
120	67.13	61.26	60.09	265.74	277.47	279.81
180	48.15	37.92	35.75	303.70	324.15	328.49
240	33.30	29.74	23.83	333.40	340.53	352.34
300	31.40	26.22	19.00	337.21	347.57	362.00
360	29.79	24.94	15.08	340.42	350.11	369.85
420	29.62	23.77	14.38	340.75	352.46	371.24

Çizelge 4.12. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	123.34	117.98	112.08	153.32	164.04	175.85
30	93.11	82.98	80.57	213.77	234.04	238.87
60	49.15	46.85	44.51	301.70	306.30	310.98
90	28.89	26.13	24.55	342.23	347.74	350.91
120	21.00	20.42	14.58	358.00	359.16	370.83
180	14.87	13.26	8.48	370.26	373.47	383.04
240	13.11	9.98	7.18	373.77	380.04	385.64
300	12.38	8.77	7.07	375.25	382.45	385.87
360	12.60	8.36	7.05	374.79	383.28	385.91
420	12.30	8.25	7.02	375.40	383.51	385.96

Çizelge 4.13. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	167.60	159.28	149.68	64.79	81.43	100.64
30	139.55	130.96	132.68	120.91	138.08	134.64
60	116.92	108.94	100.75	166.15	182.11	198.49
90	93.36	89.38	81.75	213.28	221.25	236.49
120	83.66	77.57	69.23	232.68	244.87	261.55
180	64.89	56.26	48.36	270.23	287.47	303.28
240	56.25	52.25	45.79	287.51	295.50	308.42
300	54.25	49.60	44.15	291.51	300.79	311.70
360	52.13	48.34	43.09	295.74	303.32	313.81
420	50.15	47.03	41.08	299.70	305.94	317.85

Çizelge 4.14. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1}))			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	139.49	130.68	120.00	121.02	138.64	160.00
30	117.04	109.60	98.28	165.92	180.79	203.43
60	87.13	74.77	61.38	225.74	250.45	277.25
90	65.28	54.72	49.57	269.43	290.57	300.87
120	53.00	38.30	30.79	294.00	323.40	338.42
180	33.72	25.57	19.17	332.57	348.87	361.66
240	17.58	14.02	10.90	364.84	371.96	378.20
300	16.35	13.21	9.63	367.30	373.58	380.74
360	15.55	12.58	8.55	368.90	374.84	382.90
420	15.15	12.02	7.88	369.70	375.96	384.24

Çizelge 4.15. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
15	171.68	164.74	158.09	56.64	70.52	83.81
30	155.55	151.94	139.13	88.91	96.11	121.74
60	136.94	130.32	118.34	126.11	139.36	163.32
90	122.43	118.13	108.79	155.13	163.74	182.42
120	106.62	98.64	89.11	186.75	202.72	221.77
180	93.75	86.09	64.28	212.49	227.81	271.43
240	75.00	63.00	55.79	250.00	274.00	288.42
300	73.45	56.49	49.63	253.10	287.02	300.74
360	72.15	54.89	48.89	255.70	290.23	302.22
420	71.33	53.38	48.36	257.34	293.25	303.28

Çizelge 4.16. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	76.87	79.80	84.30	46.26	40.40	31.40
30	74.15	76.78	78.08	51.70	46.44	43.85
60	70.12	70.98	72.80	59.76	58.04	54.40
90	66.33	68.57	71.38	67.35	62.86	57.25
120	62.58	65.15	66.50	74.85	69.70	67.00
180	61.25	62.02	63.93	77.50	75.96	72.15
240	57.65	59.88	62.03	84.70	80.24	75.95
300	57.01	58.45	60.90	85.98	83.10	78.20
360	56.63	58.15	59.60	86.74	83.70	80.80
420	56.12	58.01	59.22	87.76	83.98	81.56

Çizelge 4.17. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t(dak	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	64.38	67.45	76.10	71.25	65.10	47.80
30	59.08	64.01	68.45	81.85	71.98	63.10
60	46.35	55.12	63.08	107.30	89.76	73.85
90	44.58	52.98	61.48	110.84	94.04	77.05
120	42.55	49.87	55.87	114.90	100.26	88.26
180	42.08	46.02	51.45	115.84	107.96	97.10
240	40.03	43.25	49.45	119.95	113.50	101.10
300	39.87	43.01	48.00	120.26	113.98	104.00
360	39.22	42.57	47.25	121.56	114.86	105.50
420	39.01	42.21	47.55	121.98	115.58	104.90

Çizelge 4.18. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t(dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	78.87	85.85	93.23	42.26	28.30	13.55
30	75.47	79.89	92.23	49.06	40.22	15.55
60	74.43	77.12	86.38	51.15	45.76	27.25
90	72.00	75.63	83.20	56.00	48.74	33.60
120	70.75	80.19	82.13	58.50	39.62	35.75
180	67.25	73.65	79.17	65.50	52.70	41.66
240	65.28	72.01	78.82	69.45	55.98	42.36
300	65.15	71.56	76.87	69.70	56.88	46.26
360	65.03	71.23	76.15	69.95	57.54	47.70
420	64.97	70.88	75.87	70.06	58.24	48.26

Çizelge 4.19. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			**q_t (mgg^{-1})**		
t(dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	69.10	75.56	80.48	61.80	48.88	39.05
30	65.46	68.89	72.53	69.08	62.22	54.95
60	57.87	62.21	66.13	84.26	75.58	67.75
90	55.45	58.62	64.95	89.10	82.76	70.10
120	52.88	57.00	63.38	94.24	86.00	73.25
180	46.65	56.63	61.38	106.70	86.74	77.25
240	45.44	55.25	56.67	109.12	89.50	86.66
300	44.88	54.68	55.48	110.24	90.64	89.04
360	43.87	54.11	54.93	112.26	91.78	90.15
420	43.18	53.87	54.65	113.64	92.26	90.70

Çizelge 4.20. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			**q_t (mgg^{-1})**		
t(dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	83.58	92.23	97.54	32.85	15.54	4.92
30	78.87	87.78	95.88	42.26	24.44	8.25
60	74.63	83.52	90.18	50.75	32.96	19.65
90	73.10	78.12	87.80	53.80	43.76	24.40
120	70.68	74.57	84.38	58.65	50.86	31.24
180	70.28	74.01	80.12	59.45	51.98	39.76
240	68.50	73.75	78.87	63.00	52.50	42.26
300	67.38	72.54	77.57	65.25	54.92	44.86
360	66.08	72.12	76.98	67.85	55.76	46.04
420	65.78	71.88	76.12	68.44	56.24	47.76

Çizelge 4.21. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	94.38	96.88	97.13	11.25	6.24	5.74
30	88.95	91.25	92.37	22.10	17.50	15.26
60	85.80	87.36	88.30	28.40	25.28	23.40
90	86.05	85.12	87.15	27.90	29.76	25.70
120	84.08	84.35	86.45	31.85	31.30	27.10
180	82.40	83.12	86.34	35.20	33.76	27.32
240	81.13	82.36	86.01	37.74	35.28	27.98
300	80.40	81.78	85.87	39.20	36.44	28.26
360	78.40	81.54	85.33	43.20	36.92	29.34
420	77.55	81.12	85.12	44.90	37.76	29.76

Çizelge 4.22. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	84.83	86.68	87.32	30.35	26.64	25.36
30	78.13	81.12	83.45	43.75	37.76	33.10
60	77.18	78.87	79.38	45.65	42.26	41.24
90	71.45	72.15	73.37	57.10	55.70	53.26
120	66.05	67.68	68.85	67.90	64.64	62.30
180	61.88	65.73	67.46	76.25	68.54	65.08
240	59.35	64.35	66.02	81.30	71.30	67.96
300	57.35	64.02	65.21	85.30	71.96	69.58
360	56.90	63.32	65.01	86.20	73.36	69.98
420	55.40	63.01	64.67	89.20	73.98	70.66

Çizelge 4.23. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1})			q_t (mgg^{-1})		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	93.63	95.12	96.83	12.75	9.76	6.34
30	90.50	92.23	94.45	19.00	15.54	11.10
60	88.90	90.87	93.15	22.20	18.26	13.70
90	88.75	89.12	92.72	22.50	21.76	14.56
120	87.45	88.23	92.18	25.10	23.54	15.64
180	87.20	87.89	91.88	25.60	24.22	16.24
240	86.63	87.74	91.15	26.75	24.52	17.70
300	86.25	87.63	90.55	27.50	24.74	18.90
360	86.10	87.24	90.32	27.80	25.52	19.36
420	85.03	86.98	90.08	29.95	26.04	19.84

Çizelge 4.24. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_d (mgL^{-1}))			**q_t (mgg^{-1})**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	87.33	89.35	91.10	25.35	21.30	17.80
30	82.80	85.32	87.71	34.40	29.36	24.58
60	81.70	81.25	83.35	36.60	37.50	33.30
90	76.10	77.25	79.98	47.80	45.50	40.04
120	74.65	75.23	77.56	50.70	49.54	44.88
180	73.45	74.12	76.89	53.10	51.76	46.22
240	72.08	73.58	76.60	55.85	52.84	46.80
300	70.43	73.22	76.13	59.15	53.56	47.74
360	69.83	72.85	75.63	60.35	54.30	48.74
420	68.80	72.19	75.34	62.40	55.62	49.32

Çizelge 4.25. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonunun kinetik verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm**)**

	C_d (mgL^{-1})			**q_t (mgg^{-1})**		
t(dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
15	95.24	96.21	97.68	9.51	7.58	4.64
30	94.55	94.87	95.87	10.90	10.26	8.26
60	92.50	93.10	95.12	15.00	13.80	9.76
90	92.38	92.55	94.17	15.25	14.90	11.66
120	91.25	91.87	93.99	17.50	16.26	12.02
180	90.63	91.12	93.67	18.75	17.76	12.66
240	88.03	90.01	93.16	23.95	19.98	13.68
300	87.78	89.98	93.00	24.44	20.04	14.00
360	87.12	89.30	92.87	25.76	21.40	14.26
420	87.00	88.76	92.65	26.00	22.48	14.70

Çizelge 4.26. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.82	2.14	2.34			
15	1.73	1.87	2.26	1.31	0.23	0.42
30	1.68	1.83	2.11	1.71	0.42	0.33
60	1.48	1.71	2.03	1.70	0.68	0.54
90	1.33	1.57	1.80	2.03	0.88	0.58
120	1.05	1.34	1.71	2.21	1.03	0.72
180	0.69	0.81	1.02	2.97	1.36	0.86
240				3.66	1.73	1.10
300				4.32	2.10	1.27
360				5.05	2.45	1.47
420				5.78	2.78	1.67

Çizelge 4.27. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.94	2.24	2.53			
15	1.70	1.95	2.43	0.40	0.18	0.20
30	1.58	1.79	2.28	0.61	0.27	0.20
60	1.51	1.64	2.15	1.08	0.47	0.30
90	1.31	1.46	1.99	1.34	0.63	0.37
120	1.27	1.32	1.73	1.74	0.79	0.42
180	0.90	0.87	0.84	2.26	1.09	0.54
240				2.74	1.39	0.70
300				3.35	1.71	0.85
360				3.97	2.04	1.00
420				4.58	2.36	1.17

Çizelge 4.28. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.87	2.18	2.37			
15	1.71	2.00	2.28	0.66	0.28	0.35
30	1.62	1.95	2.06	0.95	0.47	0.25
60	1.44	1.84	1.91	1.30	0.73	0.39
90	1.29	1.65	1.73	1.67	0.83	0.49
120	1.10	1.48	1.53	1.97	0.98	0.59
180	0.87	1.20		2.72	1.32	0.75
240				3.26	1.58	1.02
300				3.98	1.91	1.24
360				4.75	2.24	1.43
420				5.38	2.57	1.61

Çizelge 4.29. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.93	2.22	2.48			
15	1.74	2.04	2.39	0.51	0.27	0.26
30	1.59	1.93	2.23	0.66	0.37	0.23
60	1.52	1.76	2.13	1.17	0.56	0.36
90	1.36	1.47	1.93	1.47	0.66	0.41
120	1.25	1.26	1.82	1.80	0.82	0.51
180	1.11	0.70	1.02	2.51	1.12	0.62
240				2.84	1.45	0.80
300				3.73	1.81	0.96
360				4.73	2.14	1.15
420				5.03	2.48	1.33

Çizelge 4.30. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	$\log (q_d-q_t)$			t/q_t		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.80	2.06	2.29			
15	1.74	1.74	2.23	2.04	0.25	0.58
30	1.68	1.66	2.09	2.01	0.43	0.41
60	1.49	1.53	1.97	1.87	0.73	0.58
90	1.35	1.39	1.86	2.23	0.98	0.72
120	1.01	1.25	1.59	2.28	1.22	0.76
180	0.51	0.57	1.18	3.02	1.60	0.99
240				3.82	2.07	1.22
300				4.55	2.41	1.48
360				5.43	2.82	1.76
420				6.10	3.32	2.04

Çizelge 4.31. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	$\log (q_d-q_t)$			t/q_t		
t (dak)	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**
0	2.23	2.52	2.60			
15	2.06	2.36	2.47	0.26	0.14	0.14
30	2.00	2.29	2.41	0.42	0.22	0.20
60	1.70	2.15	2.30	0.49	0.31	0.29
90	1.24	1.97	2.05	0.59	0.38	0.31
120	1.10	1.83	1.88	0.76	0.45	0.37
180	0.86	1.47	1.08	1.10	0.59	0.46
240				1.40	0.72	0.60
300				1.72	0.89	0.71
360				2.01	1.06	0.84
420				2.27	1.23	0.97

Çizelge 4.32. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**
0	2.28	2.57	2.74			
15	2.05	2.26	2.56	0.19	0.08	0.08
30	1.89	2.03	2.42	0.27	0.11	0.11
60	1.69	1.86	2.31	0.42	0.20	0.18
90	1.32	1.50	1.96	0.53	0.26	0.20
120	1.16	1.20	1.54	0.68	0.34	0.23
180	0.30	0.54	0.86	0.95	0.49	0.33
240				1.26	0.64	0.44
300				1.56	0.80	0.53
360				1.87	0.96	0.63
420				2.18	1.12	0.73

Çizelge 4.33. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**
0	2.22	2.46	2.52			
15	2.08	2.35	2.39	0.32	0.23	0.17
30	2.03	2.22	2.31	0.50	0.25	0.24
60	1.87	2.08	2.14	0.65	0.36	0.31
90	1.73	1.87	2.00	0.80	0.42	0.39
120	1.50	1.74	1.81	0.89	0.52	0.45
180	1.25	1.24	1.37	1.21	0.67	0.58
240				1.44	0.83	0.72
300				1.77	1.03	0.89
360				2.06	1.22	1.07
420				2.37	1.40	1.23

Çizelge 4.34. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**
0	2.27	2.56	2.72			
15	2.08	2.39	2.59	0.23	0.12	0.11
30	1.95	2.30	2.54	0.31	0.18	0.17
60	1.79	2.14	2.38	0.48	0.27	0.21
90	1.50	1.98	2.23	0.58	0.33	0.25
120	1.35	1.85	2.03	0.73	0.41	0.29
180	1.15	1.51	1.41	1.04	0.54	0.36
240				1.28	0.66	0.45
300				1.59	0.84	0.55
360				1.89	1.00	0.65
420				2.20	1.17	0.76

Çizelge 4.35. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=300 (mgL^{-1})**
0	2.18	2.40	2.46			
15	2.07	2.29	2.34	0.44	0.26	0.20
30	1.93	2.21	2.27	0.45	0.34	0.29
60	1.86	2.09	2.16	0.75	0.48	0.41
90	1.75	1.98	1.88	0.94	0.58	0.42
120	1.65	1.80	1.60	1.12	0.64	0.48
180	1.24	1.57	1.32	1.34	0.85	0.67
240				1.58	0.96	0.83
300				1.95	1.24	0.99
360				2.31	1.47	1.18
420				2.62	1.70	1.38

Çizelge 4.36. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.83	1.93	1.98			
15	1.73	1.58	1.61	1.10	0.32	0.28
30	1.63	1.52	1.58	1.22	0.58	0.53
60	1.48	1.40	1.38	1.63	1.00	0.85
90	1.32	1.24	1.30	1.96	1.34	1.21
120	0.96	0.99	1.17	2.07	1.60	1.51
180	0.15	0.86	0.88	2.74	2.32	2.07
240				3.58	2.83	2.54
300				4.36	3.70	3.08
360				4.86	4.24	3.68
420				5.64	4.90	4.14

Çizelge 4.37. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.99	2.08	2.13			
15	1.75	1.69	1.75	0.36	0.21	0.20
30	1.59	1.58	1.60	0.50	0.37	0.32
60	1.17	1.10	1.09	0.72	0.56	0.50
90	0.63	0.96	0.72	0.96	0.81	0.70
120	-0.43	0.70	0.30	1.23	1.04	0.91
180	-0.69	0.61	0.08	1.83	1.55	1.36
240				2.44	2.00	1.80
300				3.05	2.49	2.22
360				3.66	2.96	2.64
420				4.27	3.44	2.97

Çizelge 4.38. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	$\log (q_d-q_t)$			t/q_t		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.68	1.84	1.93			
15	1.41	1.43	1.84	0.67	0.35	1.02
30	1.17	1.31	1.55	0.90	0.61	0.62
60	1.04	1.26	1.20	1.62	1.17	0.87
90	0.87	1.13	1.12	2.22	1.61	1.26
120	0.73	1.04	0.94	2.81	2.05	1.58
180	0.65	0.60	0.60	4.13	2.75	2.24
240				4.99	3.46	2.84
300				6.07	4.30	3.33
360				7.15	5.15	3.95
420				7.71	5.99	4.45

Çizelge 4.39. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	$\log (q_d-q_t)$			t/q_t		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.96	2.04	2.06			
15	1.71	1.68	1.64	0.37	0.24	0.21
30	1.54	1.60	1.57	0.53	0.43	0.39
60	1.22	1.40	1.20	0.80	0.71	0.61
90	0.89	1.30	1.04	1.08	1.01	0.87
120	0.88	1.17	0.86	1.43	1.27	1.12
180	0.86	0.38	0.84	2.14	1.69	1.67
240				2.63	2.20	2.10
300				3.26	2.72	2.64
360				3.91	3.21	3.09
420				4.55	3.70	3.49

Çizelge 4.40. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.64	1.80	1.91			
15	1.53	1.48	1.64	1.54	0.46	0.40
30	1.38	1.32	1.53	1.51	0.71	0.63
60	1.23	1.09	1.45	2.23	1.18	1.12
90	0.83	0.96	1.23	2.44	1.67	1.38
120	0.58	0.64	1.03	3.01	2.05	1.69
180	0.45	0.55	0.36	4.40	3.03	2.26
240				5.49	3.81	2.93
300				6.49	4.60	3.41
360				7.66	5.31	4.04
420				8.53	6.14	4.71

Çizelge 4.41. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.51	1.58	1.75			
15	1.30	1.42	1.53	1.18	1.33	0.68
30	1.22	1.19	1.41	1.85	1.36	0.99
60	1.18	0.97	1.17	3.40	2.11	1.45
90	0.92	0.99	0.91	3.69	3.23	1.88
120	0.80	0.77	0.72	4.55	3.77	2.37
180	0.53	0.40	0.54	6.15	5.11	3.43
240				7.35	6.36	4.29
300				9.15	7.65	4.98
360				10.82	8.33	5.87
420				12.09	9.35	6.29

Çizelge 4.42. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	$\log (q_d-q_t)$			t/q_t		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.82	1.91	2.02			
15	1.62	1.71	1.70	0.61	0.49	0.28
30	1.52	1.57	1.59	0.91	0.69	0.46
60	1.32	1.55	1.42	1.32	1.31	0.77
90	1.18	1.38	1.03	1.77	1.58	0.96
120	1.03	1.13	0.74	2.16	1.77	1.21
180	0.69	0.70	0.61	2.93	2.36	1.80
240				3.63	2.95	2.30
300				4.48	3.52	2.78
360				5.14	4.18	3.28
420				5.89	4.71	3.81

Çizelge 4.43. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	$\log (q_d-q_t)$			t/q_t		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.32	1.43	1.55			
15	1.13	1.15	1.37	1.99	1.18	1.22
30	0.91	0.89	1.19	2.34	1.58	1.51
60	0.75	0.66	1.15	3.89	2.70	2.79
90	0.44	0.63	0.81	4.93	4.00	3.10
120	0.21	0.22	0.72	6.18	4.78	3.97
180	0.03	0.06	0.62	9.03	7.03	5.75
240				11.42	8.97	6.76
300				13.11	10.91	7.43
360				15.20	12.95	8.53
420				17.20	14.02	8.84

Çizelge 4.44. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.67	1.75	1.92			
15	1.45	1.48	1.71	0.82	0.59	0.46
30	1.14	1.33	1.63	0.92	0.87	0.73
60	0.91	1.28	1.50	1.56	1.64	1.15
90	0.78	0.91	1.40	2.22	1.88	1.54
120	0.45	0.71	1.17	2.74	2.37	1.74
180	-0.33	0.44	0.61	3.90	3.39	2.26
240				5.15	4.30	2.87
300				6.20	5.07	3.58
360				7.02	5.97	4.27
420				8.06	6.73	4.96

Çizelge 4.45. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**	**C_o=50 (mgL^{-1})**	**C_o=100 (mgL^{-1})**	**C_o=200 (mgL^{-1})**
0	1.23	1.38	1.46			
15	1.02	1.16	1.30	2.30	1.58	1.70
30	0.77	1.12	1.25	2.71	2.75	2.65
60	0.42	0.95	0.96	4.19	4.00	3.03
90	0.53	0.94	0.78	6.64	5.90	3.93
120	0.30	0.81	0.62	8.04	6.86	4.86
180	0.00	0.72	0.08	11.30	9.60	6.50
240				14.17	10.02	8.30
300				17.31	12.27	9.49
360				18.94	13.98	10.84
420				21.95	16.15	12.32

Çizelge 4.46. Farklı sıcaklıklardaki MG'nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.34	2.36	2.41			
15	2.26	2.25	2.31	0.42	0.31	0.27
30	2.11	2.05	2.13	0.33	0.26	0.24
60	2.03	1.95	2.00	0.54	0.43	0.38
90	1.80	1.77	1.90	0.58	0.53	0.51
120	1.71	1.74	1.74	0.72	0.70	0.59
180	1.02	0.84	1.36	0.86	0.81	0.77
240				1.10	1.05	0.93
300				1.27	1.23	1.15
360				1.47	1.44	1.35
420				1.67	1.63	1.54

Çizelge 4.47. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.53	2.53	2.56			
15	2.43	2.41	2.38	0.20	0.18	0.12
30	2.28	2.24	2.27	0.20	0.18	0.17
60	2.15	2.07	2.09	0.30	0.27	0.25
90	1.99	1.93	2.00	0.37	0.35	0.34
120	1.73	1.68	1.79	0.42	0.41	0.39
180	0.84		1.23	0.54	0.53	0.52
240				0.70	0.70	0.65
300				0.85	0.82	0.81
360				1.00	0.97	0.96
420				1.17	1.13	1.12

Çizelge 4.48. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.37	2.40	2.44			
15	2.28	2.25	2.28	0.35	0.20	0.17
30	2.06	2.08	2.12	0.25	0.23	0.21
60	1.91	1.93	1.98	0.39	0.36	0.33
90	1.73	1.77	1.81	0.49	0.46	0.42
120	1.53	1.46	1.45	0.59	0.53	0.48
180		1.18	1.03	0.75	0.75	0.67
240				1.02	0.95	0.86
300				1.24	1.14	1.07
360				1.43	1.35	1.26
420				1.61	1.50	1.44

Çizelge 4.49. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0	2.48	2.51	2.54			
15	2.39	2.40	2.37	0.26	0.20	0.14
30	2.23	2.26	2.27	0.23	0.21	0.19
60	2.13	2.15	2.16	0.36	0.32	0.30
90	1.93	2.01	2.05	0.41	0.40	0.39
120	1.82	1.87	1.91	0.51	0.47	0.46
180	1.02	1.39	1.59	0.62	0.60	0.59
240				0.80	0.73	0.69
300				0.96	0.89	0.86
360				1.15	1.06	1.02
420				1.33	1.22	1.19

Çizelge 4.50. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.29	2.33	2.35			
15	2.23	2.23	2.24	0.58	0.36	0.29
30	2.09	2.09	2.07	0.41	0.33	0.28
60	1.97	1.93	1.88	0.58	0.47	0.40
90	1.86	1.88	1.77	0.72	0.66	0.55
120	1.59	1.71	1.72	0.76	0.75	0.70
180	1.18	1.31	0.89	0.99	0.94	0.83
240				1.22	1.13	1.07
300				1.48	1.37	1.34
360				1.76	1.63	1.58
420				2.04	1.86	1.82

Çizelge 4.51. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.52	2.53	2.55			
15	2.36	2.34	2.35	0.14	0.12	0.12
30	2.29	2.29	2.29	0.22	0.21	0.19
60	2.15	2.16	2.18	0.31	0.31	0.30
90	1.97	1.96	1.99	0.38	0.36	0.35
120	1.83	1.80	1.86	0.45	0.43	0.43
180	1.47	1.21	1.38	0.59	0.56	0.55
240				0.72	0.70	0.68
300				0.89	0.86	0.83
360				1.06	1.03	0.97
420				1.23	1.19	1.13

Çizelge 4.52. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}. m=0.025 g, V=50 mL. hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.57	2.58	2.59			
15	2.34	2.33	2.32	0.10	0.09	0.09
30	2.20	2.16	2.17	0.14	0.13	0.13
60	1.86	1.87	1.87	0.20	0.20	0.19
90	1.50	1.51	1.54	0.26	0.26	0.26
120	1.20	1.32	1.17	0.34	0.33	0.32
180	0.54	0.82	0.41	0.49	0.48	0.47
240				0.64	0.63	0.62
300				0.80	0.78	0.78
360				0.96	0.94	0.93
420				1.12	1.10	1.09

Çizelge 4.53. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.46	2.47	2.49			
15	2.35	2.33	2.32	0.23	0.18	0.15
30	2.22	2.20	2.24	0.25	0.22	0.22
60	2.08	2.05	2.04	0.36	0.33	0.30
90	1.87	1.87	1.86	0.42	0.41	0.38
120	1.74	1.70	1.67	0.52	0.49	0.46
180	1.24	0.90	0.71	0.67	0.63	0.59
240				0.83	0.81	0.78
300				1.03	1.00	0.96
360				1.22	1.19	1.15
420				1.40	1.37	1.32

Çizelge 4.54. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.56	2.57	2.58			
15	2.39	2.37	2.34	0.12	0.11	0.09
30	2.30	2.28	2.24	0.18	0.17	0.15
60	2.14	2.08	2.01	0.27	0.24	0.22
90	1.98	1.91	1.89	0.33	0.31	0.30
120	1.85	1.69	1.61	0.41	0.37	0.35
180	1.51	1.36	1.23	0.54	0.52	0.50
240				0.66	0.65	0.63
300				0.82	0.80	0.79
360				0.98	0.96	0.94
420				1.14	1.12	1.09

Çizelge 4.55. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.38	2.44	2.46			
15	2.26	2.31	2.31	0.26	0.21	0.18
30	2.17	2.25	2.22	0.34	0.31	0.25
60	2.05	2.13	2.10	0.48	0.43	0.37
90	1.92	2.04	2.03	0.58	0.55	0.49
120	1.71	1.85	1.82	0.64	0.59	0.54
180	1.41	1.66	1.23	0.85	0.79	0.66
240				0.96	0.88	0.83
300				1.19	1.05	1.00
360				1.41	1.24	1.19
420				1.63	1.43	1.38

Çizelge 4.56. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	1.93	1.90	1.88			
15	1.58	1.60	1.65	0.32	0.37	0.48
30	1.52	1.53	1.51	0.58	0.65	0.68
60	1.40	1.35	1.33	1.00	1.03	1.10
90	1.24	1.24	1.27	1.34	1.43	1.57
120	0.99	1.02	0.95	1.60	1.72	1.79
180	0.86	0.63	0.58	2.32	2.37	2.49
240				2.83	2.99	3.16
300				3.49	3.61	3.84
360				4.15	4.30	4.46
420				4.79	5.00	5.15

Çizelge 4.57. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.08	2.05	2.00			
15	1.69	1.68	1.73	0.21	0.23	0.31
30	1.58	1.62	1.58	0.37	0.42	0.48
60	1.10	1.38	1.44	0.56	0.67	0.81
90	0.96	1.29	1.38	0.81	0.96	1.17
120	0.70	1.12	1.11	1.04	1.20	1.36
180	0.61	0.74	0.60	1.55	1.67	1.85
240				2.00	2.11	2.37
300				2.49	2.63	2.88
360				2.96	3.13	3.41
420				3.44	3.63	4.00

Çizelge 4.58. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	1.84	1.75	1.63			
15	1.43	1.44	1.46	0.35	0.53	1.11
30	1.31	1.20	1.43	0.61	0.75	1.93
60	1.26	1.01	1.18	1.17	1.31	2.20
90	1.13	0.86	0.94	1.61	1.85	2.68
120	1.04	1.21	0.82	2.05	3.03	3.36
180	0.60	0.52		2.75	3.42	4.32
240				3.46	4.29	5.67
300				4.30	5.27	6.49
360				5.15	6.26	7.55
420				5.99	7.21	8.70

Çizelge 4.59. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	2.04	1.95	1.94			
15	1.68	1.61	1.68	0.24	0.31	0.38
30	1.60	1.44	1.50	0.43	0.48	0.55
60	1.40	1.14	1.28	0.71	0.79	0.89
90	1.30	0.83	1.22	1.01	1.09	1.28
120	1.17	0.54	1.13	1.27	1.40	1.64
180	0.38	0.44	0.97	1.69	2.08	2.33
240				2.20	2.68	2.77
300				2.72	3.31	3.37
360				3.21	3.92	3.99
420				3.70	4.55	4.63

Çizelge 4.60. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	1.80	1.72	1.63			
15	1.48	1.57	1.57	0.46	0.97	3.05
30	1.32	1.45	1.53	0.71	1.23	3.64
60	1.09	1.29	1.35	1.18	1.82	3.05
90	0.96	0.94	1.25	1.67	2.06	3.69
120	0.64	0.21	1.04	2.05	2.36	3.84
180	0.55		0.40	3.03	3.46	4.53
240				3.81	4.57	5.68
300				4.60	5.46	6.69
360				5.31	6.46	7.82
420				6.14	7.47	8.79

Çizelge 4.61. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	1.58	1.55	1.45			
15	1.42	1.46	1.35	1.33	2.40	2.61
30	1.19	1.25	1.10	1.36	1.71	1.97
60	0.97	1.00	0.66	2.11	2.37	2.56
90	0.99	0.74	0.36	3.23	3.02	3.50
120	0.77	0.60	-0.06	3.77	3.83	4.43
180	0.40	0.18	-0.18	5.11	5.33	6.59
240				6.36	6.80	8.58
300				7.65	8.23	10.62
360				8.33	9.75	12.27
420				9.35	11.12	14.11

Çizelge 4.62. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	1.91	1.85	1.83			
15	1.71	1.65	1.63	0.49	0.56	0.59
30	1.57	1.53	1.54	0.69	0.79	0.91
60	1.55	1.46	1.43	1.31	1.42	1.45
90	1.38	1.19	1.17	1.58	1.62	1.69
120	1.13	0.82	0.75	1.77	1.86	1.93
180	0.70	0.44	0.46	2.36	2.63	2.77
240				2.95	3.37	3.53
300				3.52	4.17	4.31
360				4.18	4.91	5.14
420				4.71	5.68	5.94

Çizelge 4.63. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	1.43	1.39	1.25			
15	1.15	1.17	1.06	1.18	1.54	2.37
30	0.89	0.95	0.82	1.58	1.93	2.70
60	0.66	0.80	0.60	2.70	3.29	4.38
90	0.63	0.44	0.50	4.00	4.14	6.18
120	0.22	-0.01	0.31	4.78	5.10	7.67
180	0.06	-0.52	0.16	7.03	7.43	11.08
240				8.97	9.79	13.56
300				10.91	12.13	15.87
360				12.95	14.11	18.60
420				14.02	16.13	21.17

Çizelge 4.64. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	1.75	1.72	1.67			
15	1.48	1.50	1.46	0.59	0.70	0.84
30	1.33	1.37	1.35	0.87	1.02	1.22
60	1.28	1.19	1.13	1.64	1.60	1.80
90	0.91	0.87	0.83	1.88	1.98	2.25
120	0.71	0.52	0.28	2.37	2.42	2.67
180	0.44	0.03	-0.24	3.39	3.48	3.89
240				4.30	4.54	5.13
300				5.07	5.60	6.28
360				5.97	6.63	7.39
420				6.73	7.55	8.52

Çizelge 4.665. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait psödo-birinci ve psödo-ikinci mertebe hız verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	log (q_d-q_t)			**t/q_t**		
t (dak)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0	1.38	1.30	1.13			
15	1.16	1.09	0.94	1.58	1.98	3.23
30	1.12	0.99	0.71	2.75	2.92	3.63
60	0.95	0.79	0.56	4.00	4.35	6.15
90	0.94	0.71	0.23	5.90	6.04	7.72
120	0.81	0.57	0.13	6.86	7.38	9.98
180	0.72	0.35	-0.15	9.60	10.14	14.22
240				10.02	12.01	17.54
300				12.27	14.97	21.43
360				13.98	16.82	25.25
420				16.15	18.68	28.57

Çizelge 4.66. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	0.50	0.50	0.67	0.00	0.00	0.00
3.87	0.44	0.34	0.61	11.46	65.32	35.35
5.48	0.41	0.32	0.52	17.50	71.26	89.70
7.75	0.32	0.28	0.48	35.39	87.76	110.40
9.49	0.28	0.25	0.41	44.36	101.84	155.66
10.95	0.23	0.21	0.39	54.27	116.78	167.47
13.42	0.20	0.17	0.32	60.68	132.29	208.18
15.49	0.17	0.15	0.30	65.58	138.76	218.68
17.32	0.15	0.14	0.27	69.50	143.12	235.86
18.97	0.14	0.13	0.26	71.34	146.82	244.85
20.49	0.14	0.12	0.25	72.64	150.90	251.52

Çizelge 4.67. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	0.50	0.50	0.67	0.00	0.00	0.00
3.87	0.31	0.29	0.54	37.58	82.41	74.74
5.48	0.25	0.22	0.42	49.28	110.31	149.70
7.75	0.22	0.18	0.33	55.34	128.05	201.41
9.49	0.16	0.14	0.26	67.30	143.34	243.31
10.95	0.16	0.12	0.19	68.88	151.25	286.89
13.42	0.10	0.09	0.11	79.50	164.60	334.14
15.49	0.06	0.07	0.10	87.52	172.08	341.11
17.32	0.05	0.06	0.08	89.64	175.61	354.34
18.97	0.05	0.06	0.07	90.64	176.09	359.09
20.49	0.04	0.06	0.07	91.76	177.83	360.10

Çizelge 4.68. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	0.50	0.50	0.67	0.00	0.00	0.00
3.87	0.39	0.37	0.59	22.68	53.21	43.30
5.48	0.34	0.34	0.46	31.58	63.73	121.11
7.75	0.27	0.29	0.41	45.98	82.48	154.14
9.49	0.23	0.23	0.36	54.00	108.16	182.02
10.95	0.20	0.19	0.33	60.96	122.27	201.72
13.42	0.17	0.16	0.27	66.24	136.53	238.81
15.49	0.13	0.12	0.27	73.58	152.32	235.96
17.32	0.12	0.11	0.26	75.36	156.82	242.53
18.97	0.12	0.10	0.25	75.82	160.87	252.22
20.49	0.11	0.09	0.23	78.04	163.36	261.62

Çizelge 4.69. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	0.50	0.50	0.67	0.00	0.00	0.00
3.87	0.35	0.36	0.57	29.30	56.48	56.87
5.48	0.27	0.30	0.45	45.30	80.11	132.83
7.75	0.24	0.23	0.39	51.36	107.91	167.58
9.49	0.19	0.16	0.31	61.40	135.40	216.97
10.95	0.17	0.13	0.27	66.84	146.76	235.76
13.42	0.14	0.10	0.18	71.58	160.15	291.11
15.49	0.08	0.09	0.16	84.52	165.14	301.60
17.32	0.10	0.09	0.15	80.50	165.85	311.62
18.97	0.12	0.08	0.15	76.19	168.03	312.12
20.49	0.08	0.08	0.14	83.50	169.58	316.36

Çizelge 4.70. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	0.50	0.50	0.67	0.00	0.00	0.00
3.87	0.46	0.35	0.62	7.34	61.08	25.76
5.48	0.43	0.32	0.54	14.90	70.01	73.05
7.75	0.34	0.29	0.49	32.04	82.22	103.21
9.49	0.30	0.27	0.46	40.28	91.56	124.24
10.95	0.24	0.25	0.40	52.70	98.19	158.10
13.42	0.20	0.22	0.36	59.58	112.42	181.45
15.49	0.19	0.21	0.34	62.84	116.10	196.62
17.32	0.17	0.19	0.33	65.90	124.32	202.69
18.97	0.17	0.18	0.33	66.24	127.55	204.30
20.49	0.16	0.18	0.32	68.90	126.68	205.98

Çizelge 4.71. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.71	0.74	0.82	57.02	103.89	106.48
5.48	0.64	0.65	0.76	71.77	138.08	146.60
7.75	0.39	0.52	0.66	121.26	190.53	203.87
9.49	0.23	0.40	0.52	153.74	239.09	290.14
10.95	0.21	0.34	0.46	158.30	265.74	325.19
13.42	0.18	0.24	0.35	163.74	303.70	389.86
15.49	0.15	0.17	0.33	170.92	333.40	401.89
17.32	0.13	0.16	0.30	174.34	337.21	420.14
18.97	0.10	0.15	0.29	179.34	340.42	427.55
20.49	0.08	0.15	0.28	184.85	340.75	432.08

Çizelge 4.72. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.61	0.52	0.69	78.02	191.06	185.66
5.48	0.43	0.33	0.52	113.09	266.60	285.52
7.75	0.29	0.25	0.43	141.36	301.70	341.23
9.49	0.15	0.14	0.24	169.62	342.23	456.46
10.95	0.12	0.11	0.15	176.04	358.00	512.03
13.42	0.06	0.07	0.10	188.49	370.26	539.62
15.49	0.05	0.07	0.09	190.49	373.77	546.84
17.32	0.04	0.06	0.05	192.38	374.05	571.04
18.97	0.04	0.06	0.05	192.73	374.79	571.89
20.49	0.04	0.06	0.05	192.79	375.40	572.97

Çizelge 4.73. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.76	0.84	0.86	47.04	64.79	86.21
5.48	0.70	0.70	0.79	60.06	120.91	127.22
7.75	0.54	0.58	0.67	92.25	166.15	195.14
9.49	0.44	0.47	0.61	112.55	213.28	231.18
10.95	0.33	0.42	0.55	134.43	232.68	267.88
13.42	0.26	0.32	0.49	148.66	270.23	308.41
15.49	0.17	0.28	0.45	166.30	287.51	332.03
17.32	0.15	0.27	0.44	169.42	291.51	335.90
18.97	0.13	0.26	0.44	174.38	295.74	338.02
20.49	0.12	0.25	0.43	176.87	299.70	342.22

Çizelge 4.74. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.67	0.70	0.76	65.51	121.02	142.26
5.48	0.51	0.59	0.70	97.75	165.92	178.58
7.75	0.37	0.44	0.52	125.91	225.74	289.91
9.49	0.22	0.33	0.40	155.23	269.43	358.30
10.95	0.18	0.27	0.30	164.57	294.00	420.71
13.42	0.14	0.17	0.16	172.79	332.57	503.21
15.49	0.11	0.13	0.11	178.66	346.30	531.08
17.32	0.06	0.11	0.08	188.26	356.11	549.25
18.97	0.05	0.10	0.08	190.15	358.64	553.82
20.49	0.05	0.10	0.08	190.58	359.55	554.25

Çizelge 4.75. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=300 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.83	0.86	0.88	33.89	56.64	73.58
5.48	0.67	0.78	0.83	66.75	88.91	103.11
7.75	0.60	0.68	0.76	79.62	126.11	146.13
9.49	0.52	0.61	0.64	95.64	155.13	214.58
10.95	0.46	0.53	0.58	107.51	186.75	250.19
13.42	0.33	0.47	0.55	134.45	212.49	269.25
15.49	0.24	0.38	0.52	151.76	250.00	290.00
17.32	0.23	0.40	0.50	153.62	241.21	301.65
18.97	0.22	0.39	0.49	156.13	244.83	304.43
20.49	0.20	0.38	0.49	160.58	246.72	305.09

Çizelge 4.76. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.86	0.77	0.86	13.59	46.26	54.10
5.48	0.75	0.74	0.86	24.55	51.70	56.70
7.75	0.63	0.70	0.82	36.87	59.76	70.50
9.49	0.54	0.66	0.81	45.89	67.35	74.40
10.95	0.42	0.63	0.80	57.85	74.85	79.60
13.42	0.34	0.61	0.78	65.60	77.50	86.90
15.49	0.33	0.58	0.76	67.02	84.70	94.50
17.32	0.31	0.59	0.76	68.81	81.15	97.50
18.97	0.26	0.58	0.76	74.13	84.90	97.90
20.49	0.25	0.57	0.75	74.52	85.76	101.40

Çizelge 4.77. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.58	0.64	0.81	41.52	71.25	76.70
5.48	0.41	0.59	0.77	59.45	81.85	93.49
7.75	0.17	0.46	0.70	83.49	107.30	121.10
9.49	0.06	0.45	0.68	94.05	110.84	128.20
10.95	0.02	0.43	0.67	97.93	114.90	131.50
13.42	0.02	0.42	0.67	98.10	115.84	132.30
15.49	0.02	0.40	0.67	98.30	119.95	133.50
17.32	0.02	0.40	0.66	98.33	120.26	135.00
18.97	0.02	0.39	0.66	98.40	121.56	136.50
20.49	0.02	0.39	0.65	98.43	121.98	141.20

Çizelge 4.78. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.77	0.79	0.96	22.55	42.26	14.70
5.48	0.67	0.75	0.88	33.40	49.06	48.77
7.75	0.63	0.74	0.83	37.04	51.15	68.60
9.49	0.59	0.72	0.82	40.61	56.00	71.40
10.95	0.57	0.71	0.81	42.72	58.50	75.80
13.42	0.56	0.67	0.80	43.62	65.50	80.48
15.49	0.52	0.65	0.79	48.06	69.45	84.50
17.32	0.51	0.65	0.78	49.40	69.70	90.00
18.97	0.50	0.65	0.77	50.33	69.95	91.10
20.49	0.45	0.65	0.76	54.51	70.06	94.30

Çizelge 4.79. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.60	0.69	0.82	40.08	61.80	71.10
5.48	0.44	0.65	0.81	56.45	69.08	77.60
7.75	0.25	0.58	0.75	74.72	84.26	98.60
9.49	0.16	0.55	0.74	83.63	89.10	103.50
10.95	0.16	0.53	0.73	83.77	94.24	107.20
13.42	0.16	0.47	0.73	84.10	106.70	107.60
15.49	0.09	0.45	0.71	91.32	109.12	114.50
17.32	0.08	0.45	0.72	91.98	110.24	113.50
18.97	0.08	0.44	0.71	92.05	112.26	116.40
20.49	0.08	0.43	0.70	92.32	113.64	120.50

Çizelge 4.80. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.90	0.84	0.91	9.72	32.85	37.80
5.48	0.80	0.79	0.88	19.84	42.26	47.80
7.75	0.73	0.75	0.87	26.89	50.75	53.80
9.49	0.63	0.73	0.84	36.94	53.80	65.00
10.95	0.60	0.71	0.82	39.88	58.65	71.20
13.42	0.59	0.70	0.80	40.88	59.45	79.50
15.49	0.56	0.69	0.80	43.69	63.00	81.80
17.32	0.54	0.67	0.78	46.23	65.25	88.00
18.97	0.53	0.66	0.78	46.99	67.85	89.00
20.49	0.51	0.66	0.78	49.23	68.44	89.10

Çizelge 4.81. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.87	0.94	0.94	12.76	11.25	22.20
5.48	0.84	0.89	0.92	16.23	22.10	30.20
7.75	0.82	0.86	0.90	17.67	28.40	41.30
9.49	0.76	0.86	0.88	24.42	27.90	47.90
10.95	0.74	0.84	0.87	26.35	31.85	50.70
13.42	0.71	0.82	0.87	29.26	35.20	52.50
15.49	0.67	0.81	0.86	32.67	37.74	56.00
17.32	0.67	0.80	0.85	32.80	39.20	60.30
18.97	0.67	0.78	0.85	33.27	43.20	61.30
20.49	0.65	0.78	0.83	34.74	44.90	66.80

Çizelge 4.82. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.75	0.85	0.86	24.75	30.35	54.40
5.48	0.67	0.78	0.84	32.87	43.75	65.50
7.75	0.55	0.77	0.81	45.32	45.65	77.70
9.49	0.49	0.71	0.77	50.97	57.10	93.50
10.95	0.44	0.66	0.75	55.51	67.90	98.80
13.42	0.39	0.62	0.75	61.36	76.25	100.20
15.49	0.34	0.59	0.74	66.20	81.30	104.30
17.32	0.33	0.57	0.73	67.03	85.30	107.90
18.97	0.30	0.57	0.73	70.01	86.20	109.90
20.49	0.29	0.55	0.72	71.34	89.20	110.20

Çizelge 4.83. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.92	0.94	0.97	7.52	12.75	12.30
5.48	0.87	0.91	0.95	12.83	19.00	19.90
7.75	0.85	0.89	0.95	15.43	22.20	21.50
9.49	0.82	0.89	0.93	18.27	22.50	29.00
10.95	0.81	0.87	0.92	19.41	25.10	30.20
13.42	0.80	0.87	0.92	19.94	25.60	31.30
15.49	0.79	0.87	0.91	21.01	26.75	35.50
17.32	0.77	0.86	0.90	22.88	27.50	40.40
18.97	0.76	0.86	0.89	23.68	27.80	42.20
20.49	0.76	0.85	0.88	24.41	29.95	47.50

Çizelge 4.84. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.82	0.87	0.92	18.34	25.35	32.60
5.48	0.67	0.83	0.90	32.70	34.40	40.90
7.75	0.62	0.82	0.87	38.41	36.60	52.40
9.49	0.59	0.76	0.85	40.61	47.80	58.60
10.95	0.56	0.75	0.83	43.82	50.70	68.88
13.42	0.54	0.73	0.80	46.16	53.10	79.70
15.49	0.53	0.72	0.79	46.63	55.85	83.76
17.32	0.52	0.70	0.79	48.40	59.15	83.76
18.97	0.49	0.70	0.79	51.30	60.35	84.26
20.49	0.48	0.69	0.79	52.14	62.40	84.70

Çizelge 4.85. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları hesaplama verileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ (dak$^{1/2}$)	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})	C_o=50 (mgL^{-1})	C_o=100 (mgL^{-1})	C_o=200 (mgL^{-1})
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.93	0.95	0.98	6.51	9.51	8.80
5.48	0.89	0.95	0.97	11.06	10.90	11.30
7.75	0.86	0.93	0.95	14.33	15.00	19.80
9.49	0.86	0.92	0.94	13.56	15.25	22.90
10.95	0.85	0.91	0.94	14.93	17.50	24.70
13.42	0.84	0.91	0.93	15.93	18.75	27.70
15.49	0.83	0.88	0.93	16.93	23.95	28.90
17.32	0.83	0.88	0.92	17.34	24.44	31.60
18.97	0.81	0.87	0.92	19.01	25.76	33.20
20.49	0.81	0.87	0.91	19.14	26.00	34.10

Çizelge 4.86. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	3.87	0.91	0.88	35.35	47.89	55.05
5.48	5.48	0.78	0.71	89.70	114.53	123.46
7.75	7.75	0.72	0.65	110.40	138.15	157.83
9.49	9.49	0.61	0.58	155.66	169.21	177.63
10.95	10.95	0.58	0.57	167.47	172.43	202.17
13.42	13.42	0.48	0.45	208.18	220.92	234.47
15.49	15.49	0.45	0.43	218.68	227.77	257.60
17.32	17.32	0.41	0.39	235.86	244.83	260.85
18.97	18.97	0.39	0.37	244.85	250.06	266.48
20.49	20.49	0.37	0.35	251.52	258.18	272.62

Çizelge 4.87. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	3.87	0.81	0.79	74.74	83.33	125.07
5.48	5.48	0.63	0.58	149.70	169.98	180.68
7.75	7.75	0.50	0.44	201.41	224.06	243.09
9.49	9.49	0.39	0.36	243.31	256.86	267.32
10.95	10.95	0.28	0.26	286.89	294.49	305.47
13.42	13.42	0.16	0.14	334.14	342.44	349.50
15.49	15.49	0.15	0.15	341.11	341.81	366.64
17.32	17.32	0.11	0.09	354.34	365.59	370.88
18.97	18.97	0.10	0.08	359.09	369.86	373.40
20.49	20.49	0.10	0.07	360.10	371.76	373.98

Çizelge 4.88. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	3.87	0.89	0.81	43.30	74.84	87.93
5.48	5.48	0.70	0.67	121.11	132.77	145.38
7.75	7.75	0.61	0.58	154.14	168.14	183.03
9.49	9.49	0.54	0.51	182.02	195.07	212.82
10.95	10.95	0.50	0.44	201.72	224.60	249.30
13.42	13.42	0.40	0.40	238.81	238.61	266.88
15.49	15.49	0.41	0.37	235.96	253.68	277.67
17.32	17.32	0.39	0.34	242.53	263.50	280.40
18.97	18.97	0.37	0.33	252.22	266.78	284.99
20.49	20.49	0.35	0.30	261.62	279.44	292.64

Çizelge 4.89. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.86	0.82	0.72	56.87	73.36	110.99
5.48	0.67	0.64	0.60	132.83	143.40	161.05
7.75	0.58	0.54	0.50	167.58	184.83	201.37
9.49	0.46	0.44	0.42	216.97	224.33	232.33
10.95	0.41	0.37	0.34	235.76	253.08	263.58
13.42	0.27	0.24	0.23	291.11	302.09	306.70
15.49	0.25	0.18	0.14	301.60	326.74	345.44
17.32	0.22	0.16	0.13	311.62	336.93	349.36
18.97	0.22	0.15	0.12	312.12	341.21	351.96
20.49	0.21	0.14	0.12	316.36	344.10	352.66

Çizelge 4.90. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.94	0.90	0.87	25.76	41.28	51.28
5.48	0.82	0.78	0.73	73.05	89.70	106.24
7.75	0.74	0.68	0.63	103.21	127.99	148.57
9.49	0.69	0.66	0.59	124.24	136.17	164.67
10.95	0.60	0.60	0.57	158.10	161.07	171.22
13.42	0.55	0.52	0.46	181.45	192.18	215.90
15.49	0.51	0.47	0.44	196.62	212.72	223.74
17.32	0.49	0.45	0.44	202.69	219.50	224.64
18.97	0.49	0.45	0.43	204.30	220.68	228.00
20.49	0.49	0.43	0.42	205.98	226.04	230.64

Çizelge 4.91. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.74	0.70	0.68	103.89	121.74	127.02
5.48	0.65	0.63	0.61	138.08	146.26	157.06
7.75	0.52	0.51	0.50	190.53	196.19	199.96
9.49	0.40	0.37	0.36	239.09	250.34	254.45
10.95	0.34	0.31	0.30	265.74	277.47	279.81
13.42	0.24	0.19	0.18	303.70	324.15	328.49
15.49	0.17	0.15	0.12	333.40	340.53	352.34
17.32	0.16	0.13	0.10	337.21	347.57	362.00
18.97	0.15	0.12	0.08	340.42	350.11	369.85
20.49	0.15	0.12	0.07	340.75	352.46	371.24

Çizelge 4.92. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.62	0.59	0.56	153.32	164.04	175.85
5.48	0.47	0.41	0.40	213.77	234.04	238.87
7.75	0.25	0.23	0.22	301.70	306.30	310.98
9.49	0.14	0.13	0.12	342.23	347.74	350.91
10.95	0.11	0.10	0.07	358.00	359.16	370.83
13.42	0.07	0.07	0.04	370.26	373.47	383.04
15.49	0.07	0.05	0.04	373.77	378.04	384.04
17.32	0.06	0.04	0.04	375.25	382.45	385.87
18.97	0.06	0.04	0.04	374.79	383.28	385.91
20.49	0.06	0.04	0.04	375.40	383.51	385.96

Çizelge 4.93. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.84	0.80	0.75	64.79	81.43	100.64
5.48	0.70	0.65	0.66	120.91	138.08	134.64
7.75	0.58	0.54	0.50	166.15	182.11	198.49
9.49	0.47	0.45	0.41	213.28	221.25	236.49
10.95	0.42	0.39	0.35	232.68	244.87	261.55
13.42	0.32	0.28	0.24	270.23	287.47	303.28
15.49	0.28	0.26	0.23	287.51	292.15	308.42
17.32	0.27	0.25	0.22	291.51	300.79	311.70
18.97	0.26	0.24	0.22	295.74	303.32	313.81
20.49	0.25	0.24	0.21	299.70	305.94	317.85

Çizelge 4.94. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.70	0.65	0.60	121.02	138.64	160.00
5.48	0.59	0.55	0.49	165.92	180.79	203.43
7.75	0.44	0.37	0.31	225.74	250.45	277.25
9.49	0.33	0.27	0.25	269.43	290.57	300.87
10.95	0.27	0.19	0.15	294.00	323.40	338.42
13.42	0.17	0.13	0.10	332.57	348.87	361.66
15.49	0.09	0.07	0.05	364.84	371.96	378.20
17.32	0.08	0.07	0.05	367.30	373.58	380.74
18.97	0.08	0.06	0.04	368.90	374.84	382.90
20.49	0.08	0.06	0.04	369.70	375.96	384.24

Çizelge 4.95. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.86	0.82	0.79	56.64	70.52	83.81
5.48	0.78	0.76	0.70	88.91	96.11	121.74
7.75	0.68	0.65	0.59	126.11	139.36	163.32
9.49	0.61	0.59	0.54	155.13	163.74	182.42
10.95	0.53	0.49	0.45	186.75	202.72	221.77
13.42	0.47	0.43	0.32	212.49	227.81	271.43
15.49	0.38	0.32	0.23	250.00	295.50	385.64
17.32	0.37	0.28	0.25	253.10	287.02	300.74
18.97	0.36	0.27	0.24	255.70	290.23	302.22
20.49	0.36	0.27	0.24	257.34	293.25	303.28

Çizelge 4.96. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.77	0.80	0.84	46.26	40.40	31.40
5.48	0.74	0.77	0.78	51.70	46.44	43.85
7.75	0.70	0.71	0.73	59.76	58.04	54.40
9.49	0.66	0.69	0.71	67.35	62.86	57.25
10.95	0.63	0.65	0.67	74.85	69.70	67.00
13.42	0.61	0.62	0.64	77.50	75.96	72.15
15.49	0.58	0.60	0.62	84.70	80.24	75.95
17.32	0.57	0.58	0.61	85.98	83.10	78.20
18.97	0.57	0.58	0.60	86.74	83.70	80.80
20.49	0.56	0.58	0.59	87.76	83.98	81.56

Çizelge 4.97. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.64	0.67	0.76	71.25	65.10	47.80
5.48	0.59	0.64	0.68	81.85	71.98	63.10
7.75	0.46	0.55	0.63	107.30	89.76	73.85
9.49	0.45	0.53	0.61	110.84	94.04	77.05
10.95	0.43	0.50	0.56	114.90	100.26	88.26
13.42	0.42	0.46	0.51	115.84	107.96	97.10
15.49	0.40	0.43	0.49	119.95	113.50	101.10
17.32	0.40	0.43	0.48	120.26	113.98	104.00
18.97	0.39	0.43	0.47	121.56	114.86	105.50
20.49	0.39	0.42	0.48	121.98	115.58	104.90

Çizelge 4.98. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.79	0.86	0.93	42.26	28.30	13.55
5.48	0.75	0.80	0.92	49.06	40.22	15.55
7.75	0.74	0.77	0.86	51.15	45.76	27.25
9.49	0.72	0.76	0.83	56.00	48.74	33.60
10.95	0.71	0.80	0.82	58.50	39.62	35.75
13.42	0.67	0.74	0.79	65.50	52.70	41.66
15.49	0.65	0.72	0.79	69.45	55.98	42.36
17.32	0.65	0.72	0.77	69.70	56.88	46.26
18.97	0.65	0.71	0.76	69.95	57.54	47.70
20.49	0.65	0.71	0.76	70.06	58.24	48.26

Çizelge 4.99. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.69	0.76	0.80	61.80	48.88	39.05
5.48	0.65	0.69	0.73	69.08	62.22	54.95
7.75	0.58	0.62	0.66	84.26	75.58	67.75
9.49	0.55	0.59	0.65	89.10	82.76	70.10
10.95	0.53	0.57	0.63	94.24	86.00	73.25
13.42	0.47	0.57	0.61	106.70	86.74	77.25
15.49	0.45	0.55	0.57	109.12	89.50	86.66
17.32	0.45	0.55	0.55	110.24	90.64	89.04
18.97	0.44	0.54	0.55	112.26	91.78	90.15
20.49	0.43	0.54	0.55	113.64	92.26	90.70

Çizelge 4.100. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.84	0.92	0.98	32.85	15.54	4.92
5.48	0.79	0.88	0.96	42.26	24.44	8.25
7.75	0.75	0.84	0.90	50.75	32.96	19.65
9.49	0.73	0.78	0.88	53.80	43.76	24.40
10.95	0.71	0.75	0.84	58.65	50.86	31.24
13.42	0.70	0.74	0.80	59.45	51.98	39.76
15.49	0.69	0.74	0.79	63.00	52.50	42.26
17.32	0.67	0.73	0.78	65.25	54.92	44.86
18.97	0.66	0.72	0.77	67.85	55.76	46.04
20.49	0.66	0.72	0.76	68.44	56.24	47.76

Çizelge 4.101. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.94	0.97	0.97	11.25	6.24	5.74
5.48	0.89	0.91	0.92	22.10	17.50	15.26
7.75	0.86	0.87	0.88	28.40	25.28	23.40
9.49	0.86	0.85	0.87	27.90	29.76	25.70
10.95	0.84	0.84	0.86	31.85	31.30	27.10
13.42	0.82	0.83	0.86	35.20	33.76	27.32
15.49	0.81	0.82	0.86	37.74	35.28	27.98
17.32	0.80	0.82	0.86	39.20	36.44	28.26
18.97	0.78	0.82	0.85	43.20	36.92	29.34
20.49	0.78	0.81	0.85	44.90	37.76	29.76

Çizelge 4.102. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.85	0.87	0.87	30.35	26.64	25.36
5.48	0.78	0.81	0.83	43.75	37.76	33.10
7.75	0.77	0.79	0.79	45.65	42.26	41.24
9.49	0.71	0.72	0.73	57.10	55.70	53.26
10.95	0.66	0.68	0.69	67.90	64.64	62.30
13.42	0.62	0.66	0.67	76.25	68.54	65.08
15.49	0.59	0.64	0.66	81.30	71.30	67.96
17.32	0.57	0.64	0.65	85.30	71.96	69.58
18.97	0.57	0.63	0.65	86.20	73.36	69.98
20.49	0.55	0.63	0.65	89.20	73.98	70.66

Çizelge 4.103. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			q_t (mgg^{-1})		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	T=298 K	T=308 K	T=318 K	T=298 K	T=308 K	T=318 K
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.94	0.95	0.97	12.75	9.76	6.34
5.48	0.91	0.92	0.94	19.00	15.54	11.10
7.75	0.89	0.91	0.93	22.20	18.26	13.70
9.49	0.89	0.89	0.93	22.50	21.76	14.56
10.95	0.87	0.88	0.92	25.10	23.54	15.64
13.42	0.87	0.88	0.92	25.60	24.22	16.24
15.49	0.87	0.88	0.91	26.75	24.52	17.70
17.32	0.86	0.88	0.91	27.50	24.74	18.90
18.97	0.86	0.87	0.90	27.80	25.52	19.36
20.49	0.85	0.87	0.90	29.95	26.04	19.84

Çizelge 4.104. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			**q_t (mgg^{-1})**		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.87	0.89	0.91	25.35	21.30	17.80
5.48	0.83	0.85	0.88	34.40	29.36	24.58
7.75	0.82	0.81	0.83	36.60	37.50	33.30
9.49	0.76	0.77	0.80	47.80	45.50	40.04
10.95	0.75	0.75	0.78	50.70	49.54	44.88
13.42	0.73	0.74	0.77	53.10	51.76	46.22
15.49	0.72	0.74	0.77	55.85	52.84	46.80
17.32	0.70	0.73	0.76	59.15	53.56	47.74
18.97	0.70	0.73	0.76	60.35	54.30	48.74
20.49	0.69	0.72	0.75	62.40	55.62	49.32

Çizelge 4.105. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyonuna ait gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle transfer katsayıları için hesaplama verileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

	C_t/C_o			**q_t (mgg^{-1})**		
$t^{1/2}$ ($dak^{1/2}$)	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**	**T=298 K**	**T=308 K**	**T=318 K**
0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
3.87	0.95	0.96	0.98	9.51	7.58	4.64
5.48	0.95	0.95	0.96	10.90	10.26	8.26
7.75	0.93	0.93	0.95	15.00	13.80	9.76
9.49	0.92	0.93	0.94	15.25	14.90	11.66
10.95	0.91	0.92	0.94	17.50	16.26	12.02
13.42	0.91	0.91	0.94	18.75	17.76	12.66
15.49	0.88	0.90	0.93	23.95	19.98	13.68
17.32	0.88	0.90	0.93	24.44	20.04	14.00
18.97	0.87	0.89	0.93	25.76	21.40	14.26
20.49	0.87	0.89	0.93	26.00	22.48	14.70

Çizelge 4.106. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	70.27	119.73	240.70
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.02	0.02
	R^2	0.9941	0.9674	0.9584
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	91.74	163.93	312.50
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	0.91	3.83	3.18
	R^2	0.9929	0.9960	0.9932
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.03	0.03
	R^2	0.9475	0.9133	0.9617
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	3.85	6.70	12.93
	R^2	0.9475	0.9133	0.9617
		T(K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	240.71	242.72	233.29
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.01
	R^2	0.9584	0.9197	0.9843
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	312.50	303.03	312.50
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	3.18	4.29	5.15
	R^2	0.9932	0.9948	0.9974
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.03	0.03	0.03
	R^2	0.9189	0.9424	0.9617
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	12.93	12.63	13.38
	R^2	0.9617	0.9424	0.9289

Çizelge 4.107. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	66.13	124.57	405.79
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.16	0.02
	R^2	0.9540	0.9703	0.9433
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	100.00	188.68	416.67
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	2.53	7.63	7.06
	R^2	0.9962	0.9994	0.9972
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.05
	R^2	0.9026	0.8194	0.9179
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	4.01	7.45	18.22
	R^2	0.9026	0.8194	0.9179
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	405.79	316.59	336.98
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.9433	0.9856	0.9794
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	416.67	416.67	416.67
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	7.06	8.03	10.52
	R^2	0.9972	0.9981	0.9984
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.05	0.05
	R^2	0.8944	0.9102	0.9179
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	18.22	18.22	17.64
	R^2	0.9179	0.9102	0.8944

Çizelge 4.108. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	63.24	133.88	221.31
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.02
	R^2	0.9863	0.9882	0.9818
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	87.72	185.19	294.12
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	1.70	3.16	4.98
	R^2	0.9989	0.9953	0.9923
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.03
	R^2	0.9268	0.9487	0.8969
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	12.00	68.00	7.89
	R^2	0.8969	0.9487	0.9268
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	221.31	221.56	259.00
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.9818	0.9863	0.9896
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	294.12	303.03	322.58
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	4.98	6.57	8.16
	R^2	0.9923	0.9989	0.9992
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.03	0.03	0.03
	R^2	0.8824	0.9072	0.8969
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	12.68	12.93	13.57
	R^2	0.8969	0.9072	0.8824

Çizelge 4.109. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	63.53	159.04	335.43
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.02	0.02
	R^2	0.9305	0.9952	0.9462
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	88.50	185.19	370.37
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	2.53	5.27	5.62
	R^2	0.9922	0.9989	0.9947
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.04
	R^2	0.8692	0.8660	0.9229
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	16.16	7.92	3.70
	R^2	0.9229	0.8660	0.8692
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	335.43	316.01	295.05
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.01	0.01
	R^2	0.9462	0.9845	0.9824
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	400.00	370.37	400.00
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	6.22	5.62	7.72
	R^2	0.9977	0.9947	0.9954
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.04
	R^2	0.9355	0.9405	0.9229
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	16.16	17.34	17.07
	R^2	0.9229	0.9405	0.9355

Çizelge 4.110. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	75.40	92.43	207.97
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.01
	R^2	0.9776	0.9478	0.9864
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	93.46	136.99	263.16
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	0.72	3.84	2.77
	R^2	0.9668	0.9959	0.9823
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.03	0.03
	R^2	0.9327	0.8821	0.9348
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	10.98	5.43	3.75
	R^2	0.9348	0.8821	0.9327
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	207.97	200.54	228.03
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9864	0.9806	0.9344
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	263.16	270.27	263.16
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	2.77	3.68	5.17
	R^2	0.9823	0.9958	0.9965
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.03	0.03	0.03
	R^2	0.8989	0.9446	0.9348
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	10.98	11.43	11.29
	R^2	0.9348	0.9446	0.8989

Çizelge 4.111. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		100	**200**	**300**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	148.25	302.00	467.74
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.01	0.02
	R^2	0.9500	0.9940	0.9470
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	200.00	384.62	500.00
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	5.1	7.5	7.4
	R^2	0.9970	0.9970	0.9950
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.04
	R^2	0.8550	0.9270	0.9390
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	8.57	16.77	22.07
	R^2	0.8550	0.9270	0.9390
		T(K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	302.00	330.37	322.11
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.01	0.01
	R^2	0.9500	0.9940	0.9470
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	384.62	400.00	416.67
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	7.5	8.3	8.1
	R^2	0.9970	0.9960	0.9960
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.04
	R^2	0.9350	0.9180	0.9270
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	16.8	17.0	17.8
	R^2	0.9270	0.9180	0.9350

Çizelge 4.112. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		100	**200**	**300**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	181.55	291.07	598.41
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.9850	0.9900	0.9820
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	204.08	384.62	625.00
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	9.43	29.41	17.54
	R^2	0.9990	0.9990	0.9970
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.04
	R^2	0.7940	0.7110	0.8650
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	8.42	14.88	26.96
	R^2	0.7940	0.7110	0.8650
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	341.98	302.00	355.63
	k_{pb} (dak^{-1})	0.03	0.02	0.03
	R^2	0.9980	0.9880	0.9970
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	400.00	400.00	400.00
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	21.74	22.73	25.64
	R^2	0.9980	0.9990	0.9990
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.04
	R^2	0.7420	0.7560	0.7570
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	16.23	16.21	16.14
	R^2	0.7570	0.7560	0.7420

Çizelge 4.113. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		100	**200**	**300**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	154.17	284.45	323.59
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9930	0.9920	0.9940
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	204.08	344.83	400.00
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	3.100	5.900	6.890
	R^2	0.9970	0.9980	0.9970
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.03
	R^2	0.9490	0.9190	0.9320
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	8.86	15.03	17.19
	R^2	0.9590	0.9290	0.9350
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	284.45	315.50	348.34
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.02	0.02
	R^2	0.9920	0.9580	0.9580
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	344.83	344.83	357.14
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	5.95	7.41	8.55
	R^2	0.9980	0.9980	0.9980
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.04
	R^2	0.8900	0.9030	0.9190
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	15.03	14.89	15.25
	R^2	0.9190	0.9040	0.8900

Çizelge 4.114. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		100	**200**	**300**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	147.91	313.33	570.16
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9610	0.9900	0.9680
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	208.33	400.00	666.67
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	6.28	10.10	9.80
	R^2	0.9990	0.9970	0.9950
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.05
	R^2	0.8600	0.8960	0.9380
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	8.67	16.97	28.58
	R^2	0.8600	0.8960	0.9380
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	313.33	314.05	968.28
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.02
	R^2	0.9900	0.9900	0.9860
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	416.67	416.67	416.67
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	12.20	9.43	14.93
	R^2	0.9980	0.9980	0.9990
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.04
	R^2	0.8420	0.8710	0.9100
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	17.71	17.40	17.03
	R^2	0.9100	0.8710	0.8420

Çizelge 4.115. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		100	**200**	**300**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	140.93	231.21	291.74
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9730	0.9940	0.9850
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	188.68	294.12	357.14
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	2.55	4.26	5.49
	R^2	0.994	0.9940	0.9930
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.03	0.03
	R^2	0.9570	0.9390	0.9240
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	15.69	12.75	8.05
	R^2	0.9240	0.9390	0.9570
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	226.99	226.99	289.73
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9950	0.9950	0.9820
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	312.50	357.14	357.14
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	4.00	4.18	5.65
	R^2	0.9940	0.9900	0.9930
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.04	0.03
	R^2	0.9390	0.9560	0.9570
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	13.34	15.25	16.15
	R^2	0.9570	0.9600	0.8650

Çizelge 4.116. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	84.31	56.6	60.86
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.01	0.01
	R^2	0.9494	0.922	0.9199
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	89.29	90.09	106.03
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	1.13	3.72	3.47
	R^2	0.9966	0.9979	0.9965
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.02	0.01
	R^2	0.9406	0.8076	0.8449
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	3.82	3.48	4.11
	R^2	0.9406	0.8076	0.8449
		T(K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	55.86	59.74	61.12
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9220	0.9711	0.9757
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	93.46	90.09	87.72
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	3.40	2.98	2.44
	R^2	0.9981	0.9984	0.9983
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.8325	0.8584	0.8854
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	3.62	3.60	3.60
	R^2	0.8325	0.8584	0.8854

Çizelge 4.117. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	102.52	65.04	84.71
	k_{pb} (dak^{-1})	0.04	0.02	0.03
	R^2	0.9530	0.8763	0.9449
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	103.09	125.00	142.86
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	7.20	10.01	10.74
	R^2	0.9984	0.9998	0.9992
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.02	0.01
	R^2	0.7107	0.6827	0.6844
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	4.14	4.61	5.28
	R^2	0.7107	0.6827	0.6844
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	64.91	73.71	78.60
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.01	0.02
	R^2	0.8763	0.9454	0.9627
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	125.00	121.95	112.26
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	10.01	5.92	3.88
	R^2	0.9998	0.9993	0.9982
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.6827	0.7772	0.8491
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	4.61	4.61	4.61
	R^2	0.6827	0.7772	0.8491

Çizelge 4.118. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	28.73	42.56	68.03
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.02
	R^2	0.8570	0.8982	0.9466
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	55.56	74.07	105.26
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	1.77	3.49	2.02
	R^2	0.9934	0.9979	0.9864
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.02	0.01	0.01
	R^2	0.8362	0.764	0.8418
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	2.16	2.73	4.40
	R^2	0.8362	0.7640	0.8418
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	42.56	32.85	39.82
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.02
	R^2	0.8992	0.7272	0.9865
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	74.07	61.35	55.25
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	3.49	2.29	0.89
	R^2	0.9979	0.9900	0.9964
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.7640	0.7694	0.9374
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	2.73	2.31	2.36
	R^2	0.7640	0.7694	0.9374

Çizelge 4.119. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	55.02	83.31	59.25
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.02	0.01
	R^2	0.8102	0.9376	0.8305
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	97.09	119.05	121.95
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	4.97	5.04	7.32
	R^2	0.9993	0.9987	0.9986
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.04	0.02	0.01
	R^2	0.7624	0.8035	0.7136
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	3.85	4.58	4.46
	R^2	0.7624	0.8035	0.7136
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	83.31	53.94	53.93
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.010
	R^2	0.9376	0.9160	0.8581
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	95.24	119.05	96.15
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	6.29	5.04	3.29
	R^2	0.9999	0.9987	0.9973
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.8035	0.7202	0.8383
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	4.58	3.59	3.81
	R^2	0.8035	0.7202	0.8383

Çizelge 4.120. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	39.66	39.14	71.66
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.9503	0.9100	0.9684
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	55.25	71.43	97.09
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	0.95	2.79	2.57
	R^2	0.9965	0.9980	0.9969
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.02	0.01	0.01
	R^2	0.9034	0.8111	0.8957
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	2.38	2.76	3.96
	R^2	0.9034	0.8110	0.8957
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	3.14	62.66	51.82
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.03	0.01
	R^2	0.9100	0.9234	0.9466
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	71.43	62.50	70.42
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	2.79	1.47	0.40
	R^2	0.9980	0.9975	0.9652
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.8111	0.8713	0.9595
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	2.76	2.71	2.63
	R^2	0.8111	0.8713	0.9595

Çizelge 4.121. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA1 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	26.73	29.72	42.07
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9690	0.9500	0.9520
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	38.46	50.00	71.43
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	1.13	3.72	3.47
	R^2	0.9940	0.9890	0.9920
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.02	0.01	0.01
	R^2	0.9240	0.9220	0.9050
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	1.59	2.00	2.88
	R^2	0.9240	0.9220	0.9050
		T(K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	29.72	32.55	23.55
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.02	0.02
	R^2	0.9500	0.9870	0.9380
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	50.00	43.48	33.33
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	0.89	0.82	0.89
	R^2	0.9890	0.9900	0.9900
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9220	0.8580	0.7780
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	2.00	1.83	1.37
	R^2	0.9220	0.8580	0.7780

Çizelge 4.122. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA2 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	53.95	72.11	72.28
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.9840	0.9700	0.9360
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	83.33	100.00	125.00
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	1.83	1.92	4.98
	R^2	0.9980	0.9940	0.9990
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.03	0.02	0.01
	R^2	0.9100	0.9340	0.8030
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	3.24	4.13	4.56
	R^2	0.9100	0.9340	0.8030
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	72.11	66.22	63.10
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.02	0.02
	R^2	0.9700	0.9800	0.9770
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	10.00	83.33	83.33
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	1.92	2.78	2.03
	R^2	0.9940	0.9970	0.9970
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.9340	0.8780	0.8820
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	1.13	3.42	3.31
	R^2	0.9340	0.8780	0.8820

Çizelge 4.123. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA3 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	15.85	17.02	26.55
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.01
	R^2	0.9510	0.9180	0.9060
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	26.32	31.25	52.63
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	0.63	1.18	0.70
	R^2	0.9950	0.9960	0.9680
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.8880	0.7980	0.9620
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	1.07	1.17	2.08
	R^2	0.8880	0.7980	0.9620
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	17.02	17.70	12.13
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.01
	R^2	0.9180	0.9900	0.9110
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	31.25	27.78	21.28
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	1.18	1.09	0.55
	R^2	0.9960	0.9990	0.9960
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.01	0.01	0.00
	R^2	0.7980	0.8060	0.8750
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	1.17	1.11	0.87
	R^2	0.7980	0.8060	0.8650

Çizelge 4.124. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA4 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	Sabitler	C_o (mgL^{-1})		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	q_{db} (mgg^{-1})	39.54	42.36	76.91
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.01
	R^2	0.9790	0.9620	0.9660
Psödo-ikinci	q_{di} (mgg^{-1})	55.56	66.67	10.00
	k_{pi} (gdakmg^{-1})	1.88	1.83	7.04
	R^2	0.9970	0.9960	0.9960
Gözenek difüzyon	k_{gd} (dak$^{-1/2}$)	0.02	0.01	0.01
	R^2	0.8160	0.8780	0.8980
Parçacık içi kütle difüzyon	k_{pik}(mgg^{-1}t$^{-1/2}$)	2.18	2.68	3.95
	R^2	0.8160	0.8780	0.8980
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	q_{db} (mgg^{-1})	42.36	48.08	47.86
	k_{pb} (dak^{-1})	0.02	0.02	0.02
	R^2	0.9620	0.9940	0.9860
Psödo-ikinci	q_{di} (mgg^{-1})	62.50	62.50	55.56
	k_{pi} (gdakmg^{-1})	2.09	1.83	1.76
	R^2	0.9990	0.9960	0.9990
Gözenek difüzyon	k_{gd} (dak$^{-1/2}$)	0.01	0.01	0.01
	R^2	0.8780	0.8350	0.8390
Parçacık içi kütle difüzyon	k_{pik}(mgg^{-1}t$^{-1/2}$)	2.68	2.45	2.22
	R^2	0.8780	0.8350	0.8390

Çizelge 4.125. Farklı başlangıç derişimlerindeki ve sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA5 kompoziti üzerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)

Model	**Sabitler**	**C_o (mgL^{-1})**		
		50	**100**	**200**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	11.25	17.54	27.86
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.02
	R^2	0.8900	0.8840	0.9930
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	20.41	29.41	40.00
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	0.56	0.47	0.60
	R^2	0.9930	0.9790	0.9960
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.01	0.01	0.00
	R^2	0.8520	0.9550	0.9440
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	0.81	1.20	1.64
	R^2	0.8520	0.9550	0.9440
		T (K)		
		298	**308**	**318**
Psödo-birinci	**q_{db} (mgg^{-1})**	17.54	15.07	10.02
	k_{pb} (dak^{-1})	0.01	0.01	0.02
	R^2	0.8840	0.9530	0.9540
Psödo-ikinci	**q_{di} (mgg^{-1})**	29.41	24.39	15.87
	k_{pi} ($gdakmg^{-1}$)	0.47	0.50	0.45
	R^2	0.9790	0.9930	0.9980
Gözenek difüzyon	**k_{gd} ($dak^{-1/2}$)**	0.01	0.01	0.00
	R^2	0.9550	0.9290	0.8590
Parçacık içi kütle difüzyon	**k_{pik}($mgg^{-1}t^{-1/2}$)**	2.00	0.99	0.65
	R^2	0.9550	0.9290	0.8590

Çizelge 4.126. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon E_a enerji değerleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	T (K)	1/T (K^{-1})	lnk_{pi}	E_a ($kJmol^{-1}$)
ÇBA1	298	0.00336	1.16	19.06
	308	0.00325	1.46	
	318	0.00314	1.64	
ÇBA2	298	0.00336	1.95	15.64
	308	0.00325	2.08	
	318	0.00314	2.35	
ÇBA3	298	0.00336	1.60	19.49
	308	0.00325	1.88	
	318	0.00314	2.10	
ÇBA4	298	0.00336	1.82	8.29
	308	0.00325	1.73	
	318	0.00314	2.04	
ÇBA5	298	0.00336	1.02	24.53
	308	0.00325	1.30	
	318	0.00314	1.64	

Çizelge 4.127. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon E_a enerji değerleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	T (K)	1/T (K^{-1})	lnk_{pi}	E_a($kJmol^{-1}$)
ÇBA1	298	0.003356	2.017	3.13
	308	0.003247	2.120	
	318	0.003145	2.095	
ÇBA2	298	0.003356	3.079	6.47
	308	0.003247	3.123	
	318	0.003145	3.244	
ÇBA3	298	0.003356	1.783	14.28
	308	0.003247	2.002	
	318	0.003145	2.145	
ÇBA4	298	0.003356	2.501	7.65
	308	0.003247	2.244	
	318	0.003145	2.703	
ÇBA5	298	0.003356	1.386	13.49
	308	0.003247	1.431	
	318	0.003145	1.731	

Çizelge 4.128. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon E_a enerji değerleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	T (K)	1/T (K^{-1})	lnk_{pi}	E_a ($kJmol^{-1}$)
ÇBA1	298	0.00336	1.22	13.07
	308	0.00325	1.09	
	318	0.00314	0.89	
ÇBA2	298	0.00336	2.30	37.36
	308	0.00325	1.78	
	318	0.00314	1.36	
ÇBA3	298	0.00336	1.25	53.42
	308	0.00325	0.83	
	318	0.00314	-0.11	
ÇBA4	298	0.00336	1.84	25.51
	308	0.00325	1.62	
	318	0.00314	1.19	
ÇBA5	298	0.00336	1.02	76.18
	308	0.00325	0.39	
	318	0.00314	-0.92	

Çizelge 4.129. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon E_a enerji değerleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	T (K)	1/T (K^{-1})	lnk_{pi}	E_a ($kJmol^{-1}$)
ÇBA1	298	0.00336	-0.12	0.04
	308	0.00325	-0.19	
	318	0.00314	-0.12	
ÇBA2	298	0.00336	0.65	2.41
	308	0.00325	0.78	
	318	0.00314	0.71	
ÇBA3	298	0.00336	0.16	29.68
	308	0.00325	0.09	
	318	0.00314	-0.60	
ÇBA4	298	0.00336	0.74	6.81
	308	0.00325	0.61	
	318	0.00314	0.56	
ÇBA5	298	0.00336	-0.76	1.12
	308	0.00325	-0.70	
	318	0.00314	-0.79	

Çizelge 4.130. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonuna pH' nın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	pH=2	pH=4	pH=6	pH=8	pH=10
	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon
ÇBA1	30.35	67.45	76.67	53.32	27.79
ÇBA2	50.01	84.44	88.65	64.42	44.67
ÇBA3	41.99	72.45	82.00	56.34	36.35
ÇBA4	47.75	81.48	84.99	60.79	40.88
ÇBA5	24.75	63.99	73.01	49.78	20.15

Çizelge 4.131. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonuna pH' nın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	pH=2	pH=4	pH=6	pH=8	pH=10
	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon
ÇBA1	5.88	75.74	84.04	65.09	56.50
ÇBA2	14.23	83.36	91.95	72.19	51.86
ÇBA3	3.35	72.04	82.09	61.29	54.58
ÇBA4	7.75	76.27	91.64	71.90	50.86
ÇBA5	0.79	49.15	81.04	55.08	44.79

Çizelge 4.132. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonuna pH' nın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	pH=2	pH=4	pH=6	pH=8	pH=10
	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon
ÇBA1	6.60	32.78	41.84	15.55	8.75
ÇBA2	12.05	41.95	56.53	21.13	14.02
ÇBA3	5.40	27.70	34.35	12.88	5.42
ÇBA4	11.48	36.15	54.55	18.88	12.22
ÇBA5	5.20	25.50	29.20	11.88	4.11

Çizelge 4.133. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonuna pH' nın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	pH=2	pH=4	pH=6	pH=8	pH=10
	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon	% Adsorpsiyon
ÇBA1	0.99	6.64	17.07	15.88	12.42
ÇBA2	1.89	11.44	41.15	37.77	24.37
ÇBA3	0.72	3.95	14.77	13.04	7.22
ÇBA4	1.75	9.88	30.35	27.65	19.88
ÇBA5	0.44	3.67	12.65	11.22	6.83

Çizelge 4.134. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})	C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})	C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})
ÇBA1	50	17.21	65.58	13.98	72.04	11.87	76.26
	100	36.62	126.76	29.01	141.98	25.87	148.26
	150	58.98	182.04	46.68	206.64	41.68	216.64
	200	90.66	218.68	82.12	235.77	71.20	257.60
	250	130.31	239.38	122.78	254.44	112.25	275.50
	300	165.98	268.04	158.66	282.68	140.58	318.84
ÇBA2	50	6.24	87.52	5.05	89.90	3.07	93.86
	100	13.96	172.08	10.08	179.84	7.86	184.28
	150	22.06	255.88	18.20	263.60	14.55	270.90
	200	29.44	341.12	22.58	354.84	16.68	366.64
	250	74.98	350.04	69.33	361.34	48.97	402.06
	300	114.37	371.26	108.33	383.34	93.66	412.68
ÇBA3	50	13.21	73.58	10.05	79.90	8.08	83.84
	100	28.84	142.33	22.58	154.84	17.10	165.80
	150	49.77	200.46	39.98	220.04	35.12	229.76
	200	82.02	235.96	73.16	253.68	61.17	277.67
	250	117.35	265.30	108.32	283.36	99.98	300.04
	300	148.87	302.26	133.58	332.84	125.68	348.64
ÇBA4	50	7.74	84.52	6.36	87.28	4.12	91.76
	100	17.43	165.14	13.78	172.44	11.33	177.34
	150	30.58	238.84	25.90	248.20	19.78	260.44
	200	49.20	301.60	36.63	326.74	27.28	345.45
	250	85.68	328.64	77.69	344.62	59.37	381.26
	300	129.21	341.58	118.01	363.98	103.52	392.96
ÇBA5	50	18.58	62.84	16.35	67.30	13.63	72.74
	100	41.95	116.10	33.65	132.70	27.87	144.26
	150	65.33	169.34	52.96	194.08	47.21	205.58
	200	101.69	196.62	93.64	212.72	88.13	223.74
	250	138.33	223.34	123.86	252.28	117.87	264.26
	300	171.72	256.56	159.69	280.62	150.55	298.90

Çizelge 4.135. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})	C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})	C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})
ÇBA1	50	5.04	89.92	3.64	92.72	2.58	94.84
	100	14.54	170.92	12.02	175.96	9.35	181.30
	150	27.98	244.04	20.42	259.15	15.98	268.04
	200	33.30	333.40	29.74	340.53	23.83	352.34
	250	67.31	365.38	58.99	382.03	50.98	398.04
	300	99.06	401.89	94.35	411.30	77.25	445.50
ÇBA2	50	2.12	93.75	1.83	96.35	0.97	98.06
	100	4.75	190.49	3.81	192.38	2.08	195.84
	150	8.40	283.20	6.64	286.72	3.89	292.22
	200	13.11	373.77	9.98	380.04	7.18	385.64
	250	18.98	462.04	14.35	471.30	11.65	476.70
	300	26.58	546.84	20.56	558.88	17.89	564.22
ÇBA3	50	6.11	87.78	5.01	89.97	3.22	93.56
	100	16.85	166.30	13.25	173.50	11.08	177.84
	150	32.55	234.91	24.68	250.64	18.01	263.98
	200	56.25	287.51	52.25	295.51	45.79	308.42
	250	98.23	303.54	94.41	311.18	81.26	337.49
	300	133.99	332.03	128.25	343.50	111.25	377.50
ÇBA4	50	3.01	93.98	1.85	96.30	1.05	97.90
	100	6.56	186.88	4.23	191.54	3.08	193.84
	150	12.35	275.30	8.59	282.82	6.12	287.76
	200	17.58	364.84	14.02	371.96	10.94	378.11
	250	26.35	447.30	21.12	457.76	18.68	462.64
	300	35.55	528.90	31.12	537.76	27.95	544.10
ÇBA5	50	7.50	85.00	5.43	89.13	3.86	92.28
	100	24.12	151.76	21.35	157.30	18.88	162.24
	150	42.12	215.76	37.81	224.38	28.98	242.04
	200	75.00	250.00	63.00	274.00	55.79	288.42
	250	115.30	269.40	103.30	293.40	93.58	312.84
	300	155.00	290.00	145.69	308.62	136.58	326.84

Çizelge 4.136. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})	C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})	C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})
ÇBA1	50	16.49	67.02	20.98	58.04	23.33	53.34
	75	38.21	73.58	43.87	62.26	45.12	59.76
	100	57.65	84.70	59.88	80.24	62.03	75.95
	125	82.63	84.74	84.01	81.98	88.87	72.26
	150	100.87	98.26	106.78	86.44	109.22	81.56
	200	148.75	102.50	151.78	96.44	157.87	84.26
ÇBA2	50	0.85	98.30	5.54	88.92	8.89	82.22
	75	19.81	110.39	24.25	101.50	28.01	93.98
	100	40.03	119.95	43.25	113.50	49.45	101.10
	125	60.88	128.24	65.57	118.86	70.23	109.54
	150	83.35	133.30	89.01	121.98	92.55	114.90
	200	130.25	139.50	133.28	133.44	138.22	123.56
ÇBA3	50	25.96	48.08	27.87	44.26	32.12	35.76
	75	50.12	49.76	48.87	52.26	55.23	39.54
	100	65.28	69.45	72.01	55.98	78.82	42.36
	125	88.70	72.60	94.03	61.94	101.12	47.76
	150	108.12	83.76	115.87	68.26	121.77	56.46
	200	157.75	84.50	162.62	74.76	169.70	60.60
ÇBA4	50	4.342	91.32	9.57	80.86	13.08	73.84
	75	25.23	99.54	31.22	87.56	33.87	82.26
	100	45.44	109.12	55.25	89.50	56.67	86.66
	125	65.87	118.26	76.87	96.26	79.58	90.84
	150	90.12	119.75	99.23	101.54	104.36	91.28
	200	139.75	120.50	146.15	107.70	153.15	93.70
ÇBA5	50	28.16	43.68	31.12	37.76	35.58	28.84
	75	50.21	49.58	53.65	42.70	55.78	38.44
	100	68.50	63.00	73.75	52.50	78.87	42.26
	125	90.63	68.74	96.14	57.72	100.35	49.30
	150	113.24	73.52	117.37	65.26	122.21	55.58
	200	159.01	81.98	163.58	72.84	169.21	61.58

Çizelge 4.137. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})	C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})	C_d (mgL^{-1})	q_t (mgg^{-1})
ÇBA1	50	33.66	32.68	36.65	26.70	40.98	18.04
	75	56.78	36.44	60.10	29.80	63.60	22.80
	100	81.13	37.74	82.36	35.28	86.01	27.98
	125	102.80	44.40	106.36	37.28	110.12	29.76
	150	127.18	45.64	129.89	40.22	133.31	33.38
	200	174.12	51.76	178.63	42.74	181.12	37.76
ÇBA2	50	16.09	67.82	22.25	55.50	28.98	42.04
	75	38.40	73.20	41.25	67.50	47.08	55.84
	100	59.35	81.30	64.35	71.30	66.02	67.96
	125	81.85	86.30	84.47	81.06	88.78	72.44
	150	105.65	88.70	109.12	81.76	112.41	75.18
	200	152.85	94.30	155.65	88.70	158.87	82.26
ÇBA3	50	39.50	21.01	41.12	17.76	43.32	13.36
	75	62.69	24.62	64.01	21.98	66.78	16.44
	100	85.63	28.75	87.74	24.52	91.15	17.70
	125	110.08	29.85	112.54	24.92	114.89	20.22
	150	133.35	33.30	136.63	26.74	139.12	21.76
	200	182.25	35.50	184.48	31.04	187.78	24.44
ÇBA4	50	26.69	46.63	29.98	40.04	35.35	29.30
	75	50.12	49.76	52.05	45.90	55.92	38.16
	100	72.08	55.85	73.58	52.84	76.60	46.80
	125	93.50	63.00	94.35	61.30	96.83	56.34
	150	112.94	74.12	116.63	66.74	119.75	60.50
	200	158.12	83.76	163.61	72.78	166.12	67.76
ÇBA5	50	41.53	16.93	43.12	13.76	45.58	8.84
	75	64.63	20.74	66.82	16.36	68.98	12.04
	100	88.03	23.95	90.01	19.98	93.16	13.68
	125	112.60	24.80	114.56	20.88	117.28	15.44
	150	137.01	25.98	138.74	22.52	141.51	16.98
	200	185.55	28.90	187.38	25.24	190.32	19.36

Çizelge 4.138. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		C_d	C_d/q_d	C_d	C_d/q_d	C_d	C_d/q_d
ÇBA1	50	17.21	0.26	13.98	0.19	11.87	0.16
	100	36.62	0.29	29.01	0.20	25.87	0.17
	150	58.98	0.32	46.68	0.23	41.68	0.19
	200	90.66	0.41	82.12	0.35	71.20	0.28
	250	130.31	0.54	122.78	0.48	112.25	0.41
	300	165.98	0.62	158.66	0.56	140.58	0.44
ÇBA2	50	6.24	0.07	5.05	0.06	3.07	0.03
	100	13.96	0.08	10.08	0.06	7.86	0.04
	150	22.06	0.09	18.20	0.07	14.55	0.05
	200	29.44	0.09	22.58	0.06	16.68	0.05
	250	74.98	0.21	69.33	0.19	48.97	0.12
	300	114.37	0.31	108.33	0.28	93.66	0.23
ÇBA3	50	13.21	0.18	10.05	0.13	8.08	0.10
	100	28.84	0.20	22.58	0.15	17.10	0.10
	150	49.77	0.25	37.98	0.18	26.12	0.15
	200	82.02	0.35	73.16	0.29	61.17	0.22
	250	117.35	0.44	108.32	0.38	99.98	0.33
	300	148.87	0.49	133.58	0.40	125.68	0.36
ÇBA4	50	7.74	0.09	6.36	0.07	4.12	0.04
	100	17.43	0.11	13.78	0.08	11.33	0.06
	150	30.58	0.13	25.90	0.10	19.78	0.08
	200	49.20	0.16	36.63	0.11	27.28	0.08
	250	85.68	0.26	77.69	0.23	59.37	0.16
	300	129.21	0.38	118.01	0.32	103.52	0.26
ÇBA5	50	18.58	0.30	16.35	0.24	13.63	0.19
	100	41.95	0.36	33.65	0.25	27.87	0.19
	150	65.33	0.39	52.96	0.27	47.21	0.23
	200	101.69	0.52	93.64	0.44	88.13	0.39
	250	138.33	0.62	123.86	0.49	117.87	0.45
	300	171.72	0.67	159.69	0.57	150.55	0.50

Çizelge 4.139. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		C_d	C_d/q_d	C_d	C_d/q_d	C_d	C_d/q_d
ÇBA1	50	5.04	0.06	3.64	0.04	2.58	0.03
	100	14.54	0.09	12.02	0.07	9.35	0.05
	150	27.98	0.11	20.42	0.08	15.98	0.06
	200	33.30	0.10	29.74	0.09	23.83	0.07
	250	67.31	0.18	58.99	0.15	50.98	0.13
	300	99.06	0.25	94.35	0.23	77.25	0.17
ÇBA2	50	2.12	0.02	1.83	0.02	0.97	0.01
	100	4.75	0.02	3.81	0.02	2.08	0.01
	150	8.40	0.03	6.64	0.02	3.89	0.01
	200	13.11	0.04	9.98	0.03	7.18	0.02
	250	18.98	0.04	14.35	0.03	11.65	0.02
	300	26.58	0.05	20.56	0.04	17.89	0.03
ÇBA3	50	6.11	0.07	5.01	0.06	3.22	0.03
	100	16.85	0.10	13.25	0.08	11.08	0.06
	150	32.55	0.14	24.68	0.10	18.01	0.07
	200	56.25	0.20	52.25	0.18	45.79	0.15
	250	98.23	0.32	94.41	0.30	81.26	0.24
	300	133.99	0.40	128.25	0.37	111.25	0.29
ÇBA4	50	3.01	0.03	1.85	0.02	1.05	0.01
	100	6.56	0.04	4.23	0.02	3.08	0.02
	150	12.35	0.04	8.59	0.03	6.12	0.02
	200	17.58	0.05	14.02	0.04	10.94	0.03
	250	26.35	0.06	21.12	0.05	18.68	0.04
	300	35.55	0.07	31.12	0.06	27.95	0.05
ÇBA5	50	7.50	0.09	5.43	0.06	3.86	0.04
	100	24.12	0.16	21.35	0.14	18.88	0.12
	150	42.12	0.20	37.81	0.17	28.98	0.12
	200	75.00	0.30	63.00	0.23	55.79	0.19
	250	115.30	0.43	103.30	0.35	93.58	0.30
	300	155.00	0.53	145.69	0.47	136.58	0.42

Çizelge 4.140. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	**C_o (mgL^{-1})**	**298 K**		**308 K**		**318 K**	
		C_d	**C_d/q_d**	**C_d**	**C_d/q_d**	**C_d**	**C_d/q_d**
ÇBA1	50	16.49	0.25	20.98	0.36	23.33	0.44
	75	38.21	0.52	43.87	0.70	45.12	0.76
	100	57.65	0.68	59.88	0.75	62.03	0.82
	125	82.63	0.98	84.01	1.02	88.87	1.23
	150	100.87	1.03	106.78	1.24	109.22	1.34
	200	148.75	1.45	151.78	1.57	157.87	1.87
ÇBA2	50	0.85	0.01	5.54	0.06	8.89	0.11
	75	19.81	0.18	24.25	0.24	28.01	0.30
	100	40.03	0.33	43.25	0.38	49.45	0.49
	125	60.88	0.47	65.57	0.55	70.23	0.64
	150	83.35	0.63	89.01	0.73	92.55	0.81
	200	130.25	0.93	133.28	1.00	138.22	1.12
ÇBA3	50	25.96	0.54	27.87	0.63	32.12	0.90
	75	50.12	1.01	48.87	0.94	55.23	1.40
	100	65.28	0.94	72.01	1.29	78.82	1.86
	125	88.70	1.22	94.03	1.52	101.12	2.12
	150	108.12	1.29	115.87	1.70	121.77	2.16
	200	157.75	1.87	162.62	2.18	169.70	2.80
ÇBA4	50	4.342	0.05	9.57	0.12	13.08	0.18
	75	25.23	0.25	31.22	0.36	33.87	0.41
	100	45.44	0.42	55.25	0.62	56.67	0.65
	125	65.87	0.56	76.87	0.80	79.58	0.88
	150	90.12	0.75	99.23	0.98	104.36	1.14
	200	139.75	1.16	146.15	1.36	153.15	1.63
ÇBA5	50	28.16	0.64	31.12	0.82	35.58	1.23
	75	50.21	1.01	53.65	1.26	55.78	1.45
	100	68.50	1.09	73.75	1.40	78.87	1.87
	125	90.63	1.32	96.14	1.67	100.35	2.04
	150	113.24	1.54	117.37	1.80	122.21	2.20
	200	159.01	1.94	163.58	2.25	169.21	2.75

Çizelge 4.141. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		C_d	C_d/q_d	C_d	C_d/q_d	C_d	C_d/q_d
ÇBA1	50	33.66	1.03	36.65	1.37	40.98	2.27
	75	56.78	1.56	60.10	2.02	63.60	2.79
	100	81.13	2.15	82.36	2.33	86.01	3.07
	125	102.80	2.32	106.36	2.85	110.12	3.70
	150	127.18	2.79	129.89	3.23	133.31	3.99
	200	174.12	3.36	178.63	4.18	181.12	4.80
ÇBA2	50	16.09	0.24	22.25	0.40	28.98	0.69
	75	38.40	0.52	41.25	0.61	47.08	0.84
	100	59.35	0.73	64.35	0.90	66.02	0.97
	125	81.85	0.95	84.47	1.04	88.78	1.23
	150	105.65	1.19	109.12	1.33	112.41	1.50
	200	152.85	1.62	155.65	1.75	158.87	1.93
ÇBA3	50	39.50	1.88	41.12	2.32	43.32	3.24
	75	62.69	2.55	64.01	2.91	66.78	4.06
	100	85.63	2.98	87.74	3.58	91.15	5.15
	125	110.08	3.69	112.54	4.52	114.89	5.68
	150	133.35	4.00	136.63	5.11	139.12	6.39
	200	182.25	5.13	184.48	5.94	187.78	7.68
ÇBA4	50	26.69	0.57	29.98	0.75	35.35	1.21
	75	50.12	1.01	52.05	1.13	55.92	1.47
	100	72.08	1.29	73.58	1.39	76.60	1.64
	125	93.50	1.48	94.35	1.54	96.83	1.72
	150	112.94	1.52	116.63	1.75	119.75	1.98
	200	158.12	1.89	163.61	2.25	166.12	2.45
ÇBA5	50	41.53	2.45	43.12	3.13	45.58	5.16
	75	64.63	3.12	66.82	4.08	68.98	5.73
	100	88.03	3.68	91.01	4.51	93.16	6.81
	125	112.60	4.54	114.56	5.49	117.28	7.60
	150	137.01	5.27	138.74	6.16	141.51	8.33
	200	185.55	6.42	187.38	7.42	190.32	9.83

Çizelge 4.142. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	**C_o (mgL^{-1})**	**298 K**		**308 K**		**318 K**	
		$logC_d$	**$logq_d$**	**$logC_d$**	**$logq_d$**	**$logC_d$**	**$logq_d$**
ÇBA1	50	1.24	1.82	1.15	1.86	1.07	1.88
	100	1.56	2.10	1.46	2.15	1.41	2.17
	150	1.77	2.26	1.67	2.32	1.62	2.34
	200	1.96	2.34	1.91	2.37	1.85	2.41
	250	2.11	2.38	2.09	2.41	2.05	2.44
	300	2.22	2.43	2.20	2.45	2.15	2.50
ÇBA2	50	0.80	1.94	0.70	1.95	0.49	1.97
	100	1.14	2.24	1.00	2.25	0.90	2.27
	150	1.34	2.41	1.26	2.42	1.16	2.43
	200	1.47	2.53	1.35	2.55	1.22	2.56
	250	1.87	2.54	1.84	2.56	1.69	2.60
	300	2.06	2.57	2.03	2.58	1.97	2.62
ÇBA3	50	1.12	1.87	1.00	1.90	0.91	1.92
	100	1.46	2.15	1.35	2.19	1.23	2.22
	150	1.70	2.30	1.60	2.34	1.55	2.36
	200	1.91	2.37	1.86	2.40	1.79	2.44
	250	2.07	2.42	2.03	2.45	2.00	2.48
	300	2.17	2.48	2.13	2.52	2.10	2.54
ÇBA4	50	0.89	1.93	0.80	1.94	0.61	1.96
	100	1.24	2.22	1.14	2.24	1.05	2.25
	150	1.49	2.38	1.41	2.39	1.30	2.42
	200	1.69	2.48	1.56	2.51	1.44	2.54
	250	1.93	2.52	1.89	2.54	1.77	2.58
	300	2.11	2.53	2.07	2.56	2.02	2.59
ÇBA5	50	1.27	1.80	1.21	1.83	1.13	1.86
	100	1.62	2.06	1.53	2.12	1.45	2.16
	150	1.82	2.23	1.72	2.29	1.67	2.31
	200	2.01	2.29	1.97	2.33	1.95	2.35
	250	2.14	2.35	2.09	2.40	2.07	2.42
	300	2.23	2.41	2.20	2.45	2.18	2.48

Çizelge 4.143. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		$logC_d$	$logq_d$	$logC_d$	$logq_d$	$logC_d$	$logq_d$
ÇBA1	50	0.70	1.95	0.56	1.97	0.41	1.98
	100	1.16	2.23	1.08	2.25	0.97	2.26
	150	1.45	2.39	1.31	2.41	1.20	2.43
	200	1.52	2.52	1.47	2.53	1.38	2.55
	250	1.83	2.56	1.77	2.58	1.71	2.60
	300	2.00	2.60	1.97	2.61	1.89	2.65
ÇBA2	50	0.33	1.97	0.26	1.98	-0.01	1.99
	100	0.68	2.28	0.58	2.28	0.32	2.29
	150	0.92	2.45	0.82	2.46	0.59	2.47
	200	1.12	2.57	1.00	2.58	0.86	2.59
	250	1.28	2.66	1.16	2.67	1.07	2.68
	300	1.42	2.74	1.31	2.75	1.25	2.75
ÇBA3	50	0.79	1.94	0.70	1.95	0.51	1.97
	100	1.23	2.22	1.12	2.24	1.04	2.25
	150	1.51	2.37	1.39	2.40	1.26	2.42
	200	1.75	2.46	1.72	2.47	1.66	2.49
	250	1.99	2.48	1.98	2.49	1.91	2.53
	300	2.13	2.52	2.11	2.54	2.05	2.58
ÇBA4	50	0.48	1.97	0.27	1.98	0.02	1.99
	100	0.82	2.27	0.63	2.28	0.49	2.29
	150	1.09	2.44	0.93	2.45	0.79	2.46
	200	1.25	2.56	1.15	2.57	1.04	2.58
	250	1.42	2.65	1.32	2.66	1.27	2.67
	300	1.55	2.72	1.49	2.73	1.45	2.74
ÇBA5	50	0.88	1.93	0.74	1.95	0.59	1.97
	100	1.38	2.18	1.33	2.20	1.28	2.21
	150	1.62	2.33	1.58	2.35	1.46	2.38
	200	1.88	2.40	1.80	2.44	1.75	2.46
	250	2.06	2.43	2.01	2.47	1.97	2.50
	300	2.19	2.46	2.16	2.49	2.14	2.51

Çizelge 4.144. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	**C_o (mgL^{-1})**	**298 K**		**308 K**		**318 K**	
		$logC_d$	**$logq_d$**	**$logC_d$**	**$logq_d$**	**$logC_d$**	**$logq_d$**
ÇBA1	50	1.22	1.83	1.32	1.76	1.37	1.73
	75	1.58	1.87	1.64	1.79	1.65	1.78
	100	1.76	1.93	1.78	1.90	1.79	1.88
	125	1.92	1.93	1.92	1.91	1.95	1.86
	150	2.00	1.99	2.03	1.94	2.04	1.91
	200	2.17	2.01	2.18	1.98	2.20	1.93
ÇBA2	50	-0.07	1.99	0.74	1.95	0.95	1.91
	75	1.30	2.04	1.38	2.01	1.45	1.97
	100	1.60	2.08	1.64	2.05	1.69	2.00
	125	1.78	2.11	1.82	2.08	1.85	2.04
	150	1.92	2.12	1.95	2.09	1.97	2.06
	200	2.11	2.14	2.12	2.13	2.14	2.09
ÇBA3	50	1.41	1.68	1.45	1.65	1.51	1.55
	75	1.72	1.65	1.69	1.72	1.74	1.60
	100	1.81	1.84	1.86	1.75	1.90	1.63
	125	1.95	1.86	1.97	1.79	2.00	1.68
	150	2.03	1.92	2.06	1.83	2.09	1.75
	200	2.20	1.93	2.21	1.87	2.23	1.78
ÇBA4	50	0.64	1.96	0.98	1.91	1.12	1.87
	75	1.40	2.00	1.49	1.94	1.53	1.92
	100	1.66	2.04	1.74	1.95	1.75	1.94
	125	1.82	2.07	1.89	1.98	1.90	1.96
	150	1.95	2.08	2.00	2.01	2.02	1.96
	200	2.15	2.08	2.16	2.03	2.19	1.97
ÇBA5	50	1.45	1.64	1.49	1.58	1.55	1.46
	75	1.70	1.70	1.73	1.63	1.75	1.58
	100	1.84	1.80	1.87	1.72	1.90	1.63
	125	1.96	1.84	1.98	1.76	2.00	1.69
	150	2.05	1.87	2.07	1.81	2.09	1.74
	200	2.20	1.91	2.21	1.86	2.23	1.79

Çizelge 4.145. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	C_o (mgL^{-1})	298 K		308 K		318 K	
		$logC_d$	$logq_d$	$logC_d$	$logq_d$	$logC_d$	$logq_d$
ÇBA1	50	1.53	1.51	1.56	1.43	1.61	1.26
	75	1.75	1.56	1.78	1.47	1.80	1.36
	100	1.91	1.58	1.92	1.55	1.93	1.45
	125	2.01	1.65	2.03	1.57	2.04	1.47
	150	2.10	1.66	2.11	1.60	2.12	1.52
	200	2.24	1.71	2.25	1.63	2.26	1.58
ÇBA2	50	1.21	1.83	1.35	1.74	1.46	1.62
	75	1.58	1.86	1.62	1.83	1.67	1.75
	100	1.77	1.91	1.81	1.85	1.82	1.83
	125	1.91	1.94	1.93	1.91	1.95	1.86
	150	2.02	1.95	2.04	1.91	2.05	1.88
	200	2.18	1.97	2.19	1.95	2.20	1.92
ÇBA3	50	1.60	1.32	1.61	1.25	1.64	1.13
	75	1.80	1.39	1.81	1.34	1.82	1.22
	100	1.93	1.46	1.94	1.39	1.96	1.25
	125	2.04	1.47	2.05	1.40	2.06	1.31
	150	2.12	1.52	2.14	1.43	2.14	1.34
	200	2.26	1.55	2.27	1.49	2.27	1.39
ÇBA4	50	1.43	1.67	1.48	1.60	1.55	1.47
	75	1.70	1.70	1.72	1.66	1.75	1.58
	100	1.86	1.75	1.87	1.72	1.88	1.67
	125	1.97	1.80	1.97	1.79	1.99	1.75
	150	2.05	1.87	2.07	1.82	2.08	1.78
	200	2.20	1.92	2.21	1.86	2.22	1.83
ÇBA5	50	1.62	1.23	1.63	1.14	1.66	0.95
	75	1.81	1.32	1.82	1.21	1.84	1.08
	100	1.94	1.38	1.95	1.30	1.97	1.14
	125	2.05	1.39	2.06	1.32	2.07	1.19
	150	2.14	1.41	2.14	1.35	2.15	1.23
	200	2.27	1.46	2.27	1.40	2.28	1.29

Çizelge 4.146. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm sabitleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	T (K)	Freundlich Sabitleri			Langmuir Sabitleri		
		K_F $(mgg^{-1})(Lmg^{-1})^{1/n}$	n	R^2	Q_{max} (mgg^{-1})	b $(Lmol^{-1})$	R^2
ÇBA1	298	13.19	1.64	0.9563	400.00	0.01	0.9865
	308	21.53	1.89	0.9094	370.37	0.02	0.9834
	318	23.13	1.83	0.9330	417.67	0.02	0.9817
ÇBA2	298	48.25	2.10	0.8196	434.78	0.06	0.9818
	308	62.62	2.31	0.7786	434.78	0.08	0.9873
	318	75.61	2.33	0.8289	454.55	0.11	0.9923
ÇBA3	298	36.86	2.10	0.9364	400.00	0.02	0.9916
	308	28.33	1.96	0.9495	416.67	0.02	0.9837
	318	30.01	1.80	0.9350	416.67	0.03	0.9850
ÇBA4	298	37.15	2.02	0.9083	417.67	0.04	0.9924
	308	45.32	2.09	0.8778	434.78	0.05	0.9895
	318	57.10	2.20	0.8932	44.55	0.07	0.9915
ÇBA5	298	11.09	1.61	0.9774	384.62	0.01	0.9861
	308	14.96	1.69	0.9390	400.00	0.01	0.9701
	318	20.94	1.85	0.9308	400.00	0.02	0.9728

Çizelge 4.147. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm sabitleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	T (K)	Freundlich Sabitleri			Langmuir Sabitleri		
		K_F $(mgg^{-1})(Lmg^{-1})^{1/n}$	n	R^2	Q_{max} (mgg^{-1})	b $(Lmol^{-1})$	R^2
ÇBA1	298	42.66	1.93	0.9460	500.00	0.04	0.9842
	308	55.21	2.10	0.9450	500.00	0.06	0.9932
	318	66.22	2.14	0.9570	526.32	0.07	0.9927
ÇBA2	298	60.39	1.44	0.9890	909.09	0.05	0.9982
	308	68.23	1.39	0.9880	1000.00	0.06	0.9972
	318	115.88	1.72	0.9700	769.23	0.15	0.9953
ÇBA3	298	69.66	2.66	0.9530	384.62	0.05	0.9980
	308	57.81	2.56	0.9370	370.32	0.07	0.9968
	318	46.67	2.36	0.8940	400.00	0.08	0.9946
ÇBA4	298	46.99	1.44	0.9910	909.09	0.04	0.9912
	308	73.28	1.66	0.9860	769.23	0.07	0.9932
	318	103.04	1.92	0.9880	666.67	0.13	0.9907
ÇBA5	298	40.55	2.45	0.9610	357.14	0.04	0.9928
	308	48.08	2.54	0.9670	357.14	0.05	0.9956
	318	58.61	2.69	0.9520	357.14	0.07	0.9957

Çizelge 4.148. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm sabitleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	T (K)	Freundlich Sabitleri			Langmuir Sabitleri		
		K_F $(mgg^{-1})(Lmg^{-1})^{1/n}$	n	R^2	Q_{max} (mgg^{-1})	b $(Lmol^{-1})$	R^2
ÇBA1	298	37.06	4.98	0.9310	112.36	0.06	0.9862
	308	24.87	3.72	0.9186	909.89	0.04	0.9854
	318	24.29	3.98	0.8963	95.24	0.05	0.9892
ÇBA2	298	96.47	14.77	0.8986	140.85	0.22	0.9967
	308	70.40	7.97	0.9772	136.99	0.13	0.9947
	318	58.28	6.73	0.9824	129.87	0.10	0.9944
ÇBA3	298	10.66	3.00	0.9247	108.70	0.02	0.9546
	308	16.27	3.36	0.9872	88.50	0.03	0.9871
	318	12.77	2.62	0.7421	76.34	0.02	0.9561
ÇBA4	298	78.67	11.26	0.9237	123.46	0.25	0.9986
	308	62.47	9.78	0.9071	111.11	0.12	0.9938
	318	57.72	10.06	0.9814	96.15	0.19	0.9997
ÇBA5	298	11.82	2.60	0.9692	105.26	0.02	0.9866
	308	8.62	2.39	0.9778	98.04	0.02	0.9760
	318	5.19	2.05	0.9866	89.29	0.01	0.9868

Çizelge 4.149. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izoterm sabitleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm, t=240 dak)

Kompozit Türü	T (K)	Freundlich Sabitleri			Langmuir Sabitleri		
		K_F $(mgg^{-1})(Lmg^{-1})^{1/n}$	n	R^2	Q_{max} (mgg^{-1})	b $(Lmol^{-1})$	R^2
ÇBA1	298	11.80	3.57	0.9460	62.50	0.03	0.9770
	308	8.53	3.18	0.979	52.63	0.03	0.9950
	318	2.88	2.01	0.9900	58.82	0.01	0.9920
ÇBA2	298	43.45	6.58	0.9750	100.00	0.08	0.9970
	308	26.98	4.20	0.9730	99.01	0.05	0.9960
	318	12.22	2.58	0.9370	97.09	0.07	0.9910
ÇBA3	298	2.88	2.45	0.9930	45.45	0.02	0.9940
	308	5.08	2.92	0.9690	38.46	0.02	0.9820
	318	5.79	2.84	0.9850	33.33	0.01	0.9890
ÇBA4	298	13.93	2.92	0.9010	125.00	0.04	0.9960
	308	10.84	2.67	0.9800	100.00	0.02	0.9850
	318	4.00	1.77	0.9830	111.11	0.01	0.9890
ÇBA5	298	4.82	2.90	0.9720	35.37	0.02	0.9960
	308	2.90	2.40	0.9840	34.48	0.01	0.9920
	318	1.18	1.86	0.9880	30.30	0.01	0.9960

Çizelge 4.150. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonu termodinamik parametreleri

Kompozit	T (K)	lnK_L	(-)ΔG (kJmol^{-1})	ΔH (kJmol^{-1})	ΔS (kJmol^{-1}K^{-1})
ÇBA1	298	2.24	5,56	22.36	93.94
	308	2.67	6.82		
	318	2.81	7.42		
ÇBA2	298	3.95	9.79	25.61	118.8
	308	4.30	11.00		
	318	4.60	12.16		
ÇBA3	298	2.87	7.10	18.94	87.55
	308	3.16	8.09		
	318	3.35	8.87		
ÇBA4	298	3.62	8.98	21.61	102.43
	308	3.84	9.84		
	318	4.17	11.02		
ÇBA5	298	2.28	5.66	21.66	91.62
	308	2.56	6.56		
	318	2.83	7.49		

Çizelge 4.151. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonu termodinamik parametreleri

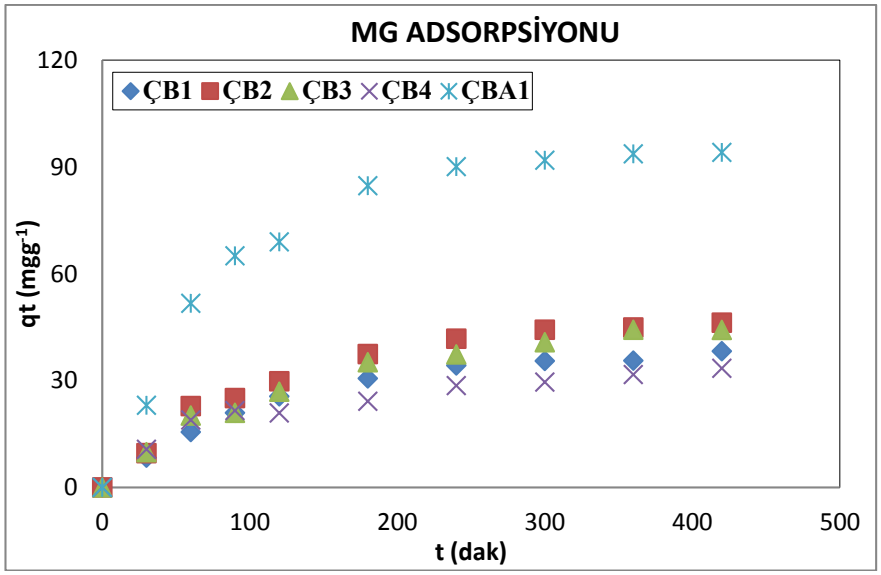
Kompozit	T (K)	lnK	(-)ΔG (kJmol^{-1})	ΔH (kJmol^{-1})	ΔS (kJmol^{-1}K^{-1})
ÇBA1	298	2.57	6.36	21.5	93.61
	308	2.91	7.44		
	318	3.11	8.23		
ÇBA2	298	2.77	6.87	35.88	142.75
	308	3.00	7.67		
	318	3.69	9.75		
ÇBA3	298	2.49	6.17	22.42	95.94
	308	2.80	7.16		
	318	3.06	8.09		
ÇBA4	298	2.40	5.95	38.21	148.24
	308	2.93	7.51		
	318	3.37	8.91		
ÇBA5	298	2.16	5.34	22.26	92.53
	308	2.40	6.15		
	318	2.72	7.20		

Çizelge 4.152. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonu termodinamik parametreleri

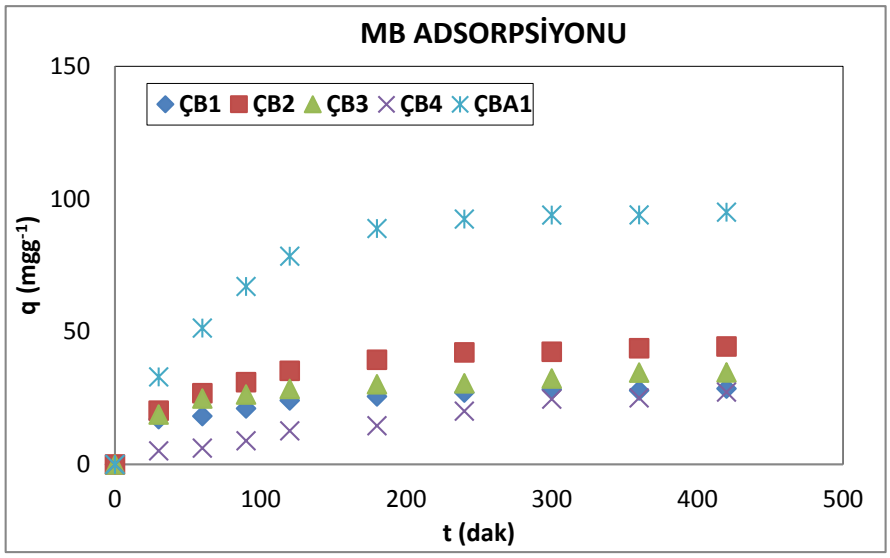
Kompozit	T (K)	lnK	(-)ΔG (kJmol^{-1})	(-)ΔH (kJmol^{-1})	(-)ΔS (kJmol^{-1}K^{-1})
ÇBA1	298	2.65	6.58	7.95	5.35
	308	2.27	5.82		
	318	2.46	6.50		
ÇBA2	298	4.01	9.45	31.87	73.8
	308	3.52	9.00		
	318	3.21	8.48		
ÇBA3	298	1.80	4.45	6.98	7.77
	308	1.97	5.05		
	318	1.61	4.27		
ÇBA4	298	4.12	10.22	11.23	5.06
	308	3.37	8.62		
	318	3.85	10.17		
ÇBA5	298	1.67	4.13	19.87	52.84
	308	1.40	3.60		
	318	1.16	3.07		

Çizelge 4.153. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonu termodinamik parametreleri

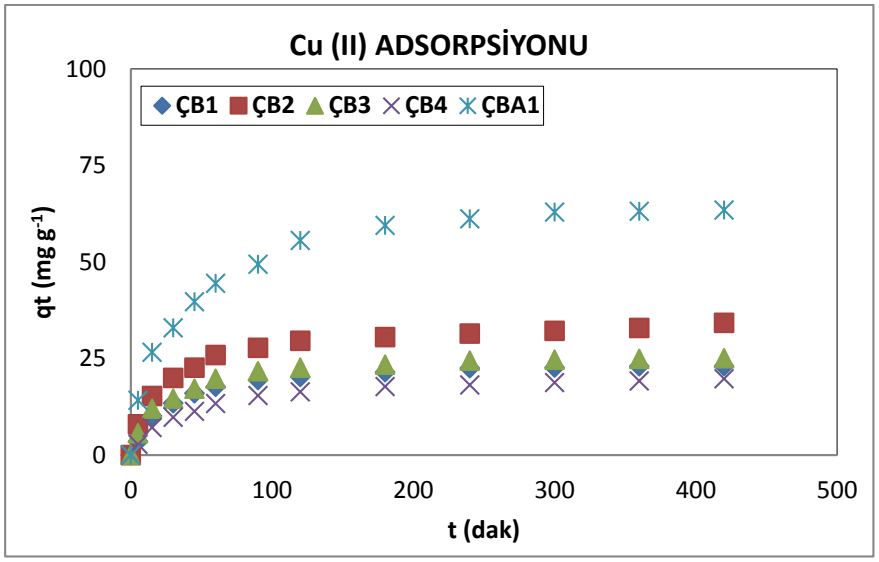
Kompozit Türü	T (K)	lnK$_L$	(-)ΔG (kJmol^{-1})	(-)ΔH (kJmol^{-1})	(-)ΔS (kJmol^{-1}K^{-1})
ÇBA1	298	1.90	4.7	33.84	96.61
	308	1.88	4.82		
	318	1,03	2.72		
ÇBA2	298	3.10	7.69	7.67	1.11
	308	2.57	6.58		
	318	2.92	7.72		
ÇBA3	298	1.68	4.16	2.56	1.48
	308	1.65	4.22		
	318	1.33	3.51		
ÇBA4	298	2.44	6.05	58.2	175.51
	308	1.61	4.13		
	318	0.96	2.55		
ÇBA5	298	1.74	4.32	34.33	100.52
	308	1.36	3.48		
	318	0.87	2.30		



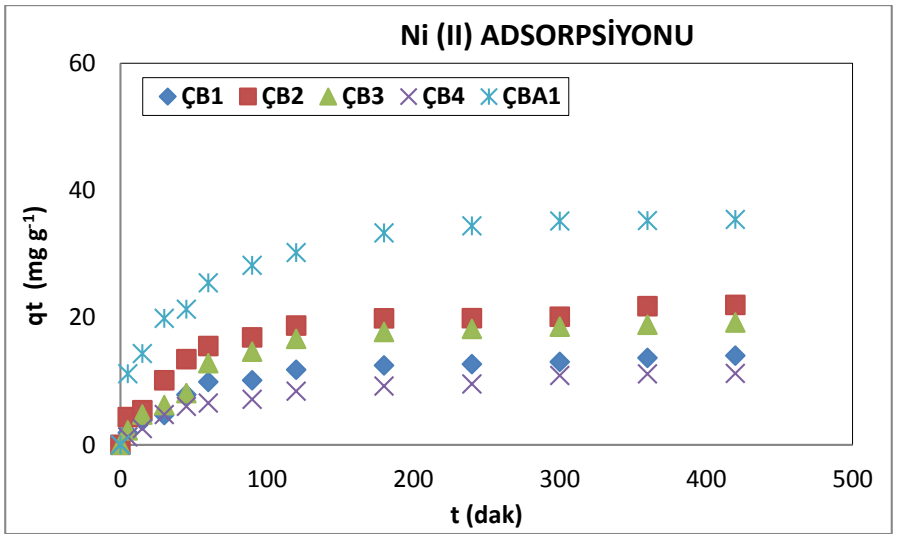
Şekil 4.1. Farklı çapraz-bağlayıcılarla hazırlanmış ÇB (Çitosan-Bentonit) ve akrilik asit eklenmiş ÇBA1 kompozitlerinin MG adsorpsiyonu kapasitelerinin kıyaslanması (C_o=50 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



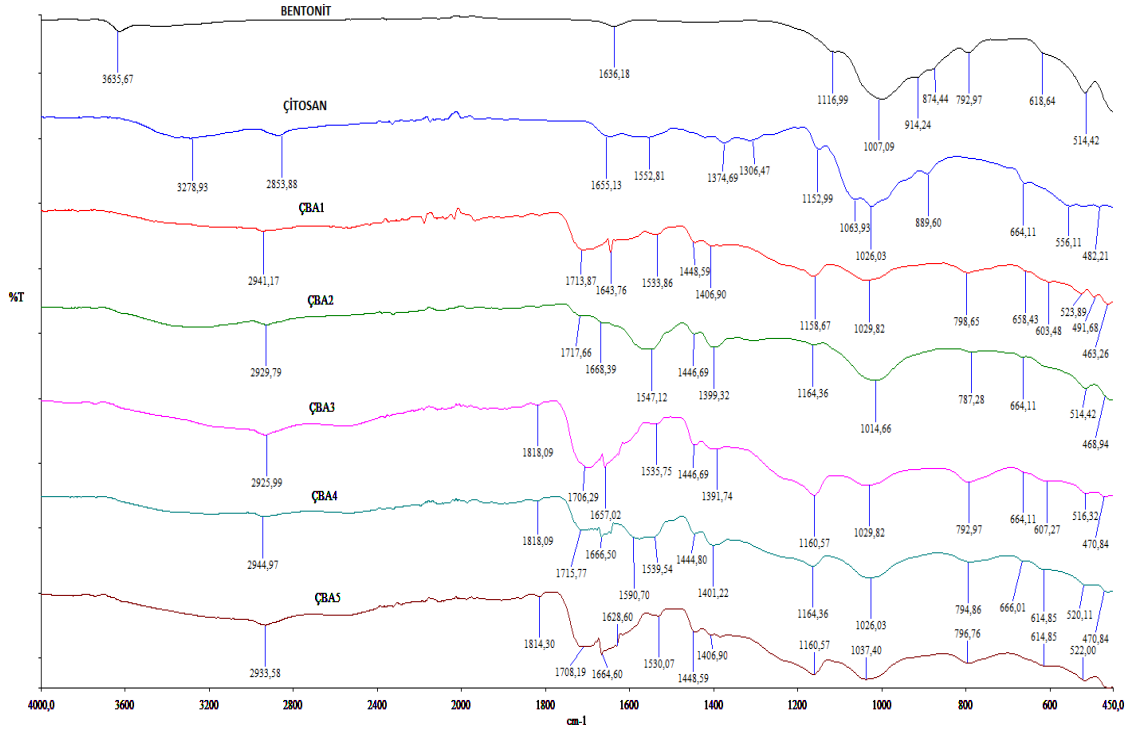
Şekil 4.2. Farklı çapraz-bağlayıcılarla hazırlanmış ÇB (Çitosan-Bentonit) ve akrilik asit eklenmiş ÇBA1 kompozitlerinin MB adsorpsiyonu kapasitelerinin kıyaslanması (C_o=50 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



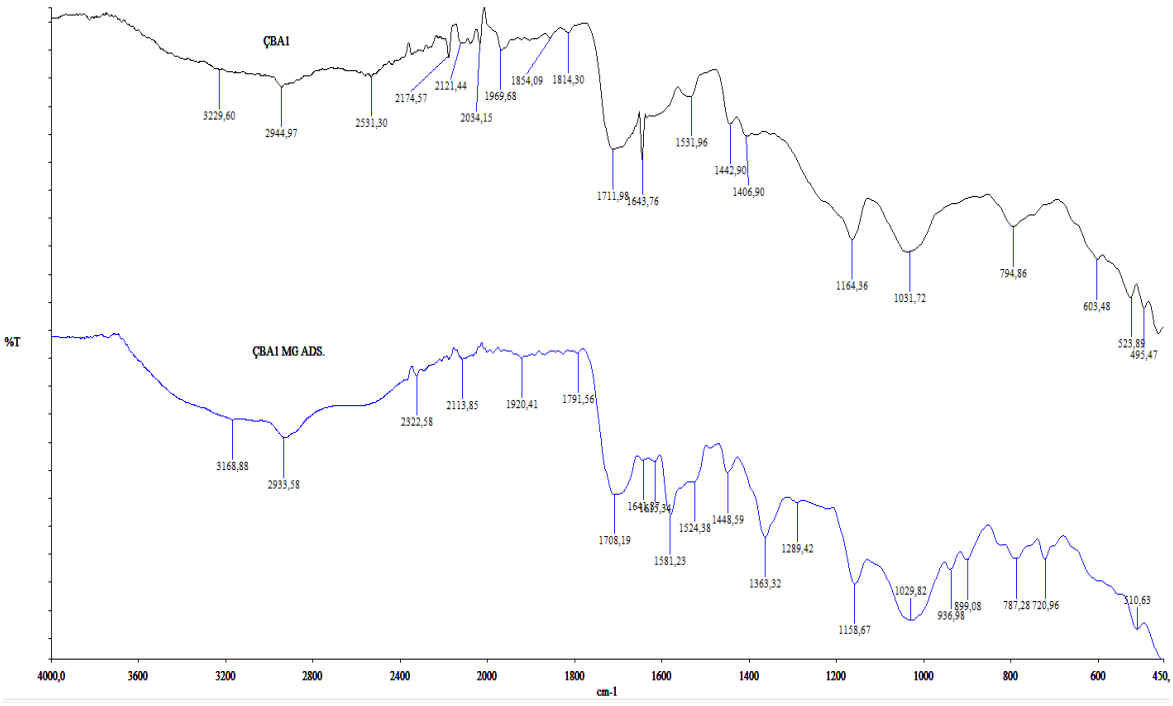
Şekil 4.3. Farklı çapraz-bağlayıcılarla hazırlanmış ÇB (Çitosan-Bentonit) ve akrilik asit eklenmiş ÇBA1 kompozitlerinin Cu(II) adsorpsiyonu kapasitelerinin kıyaslanması (C_o=50 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



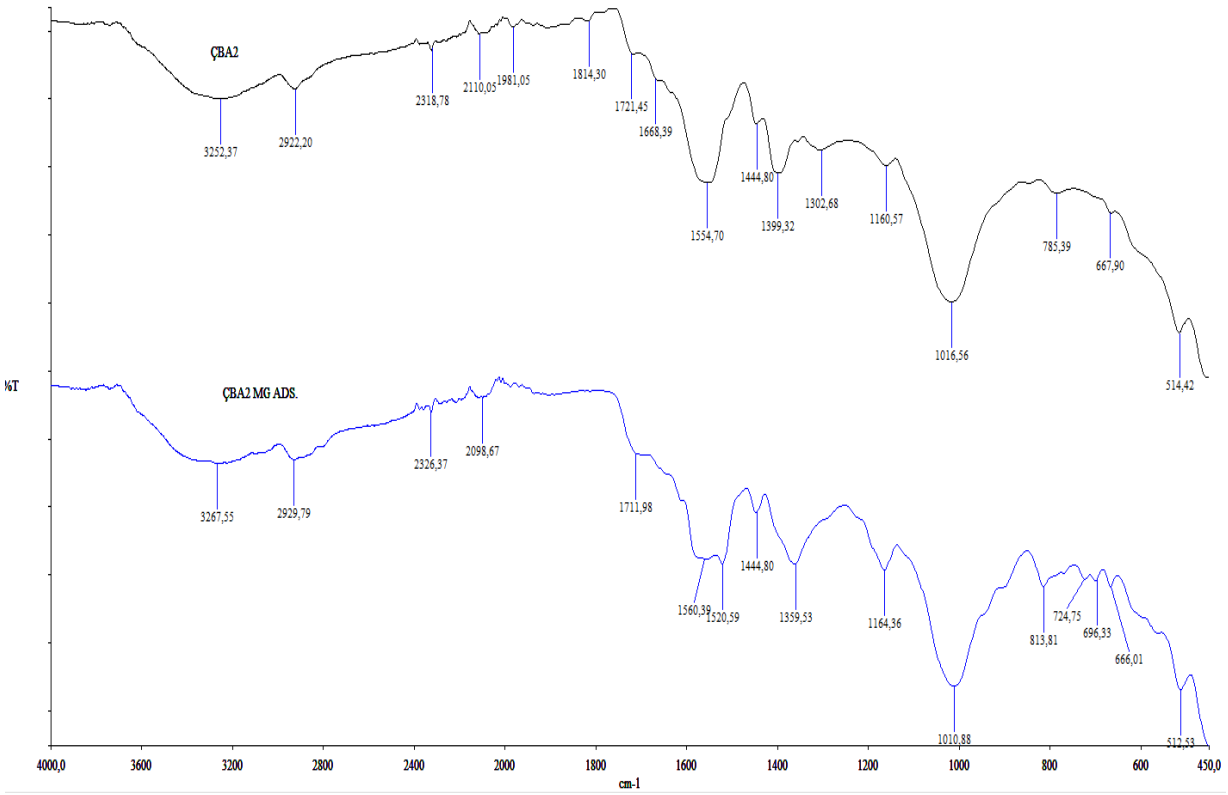
Şekil 4.4. Farklı çapraz-bağlayıcılarla hazırlanmış ÇB (Çitosan-Bentonit) ve akrilik asit eklenmiş ÇBA1 kompozitlerinin Ni(II) adsorpsiyonu kapasitelerinin kıyaslanması (C_o=50 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



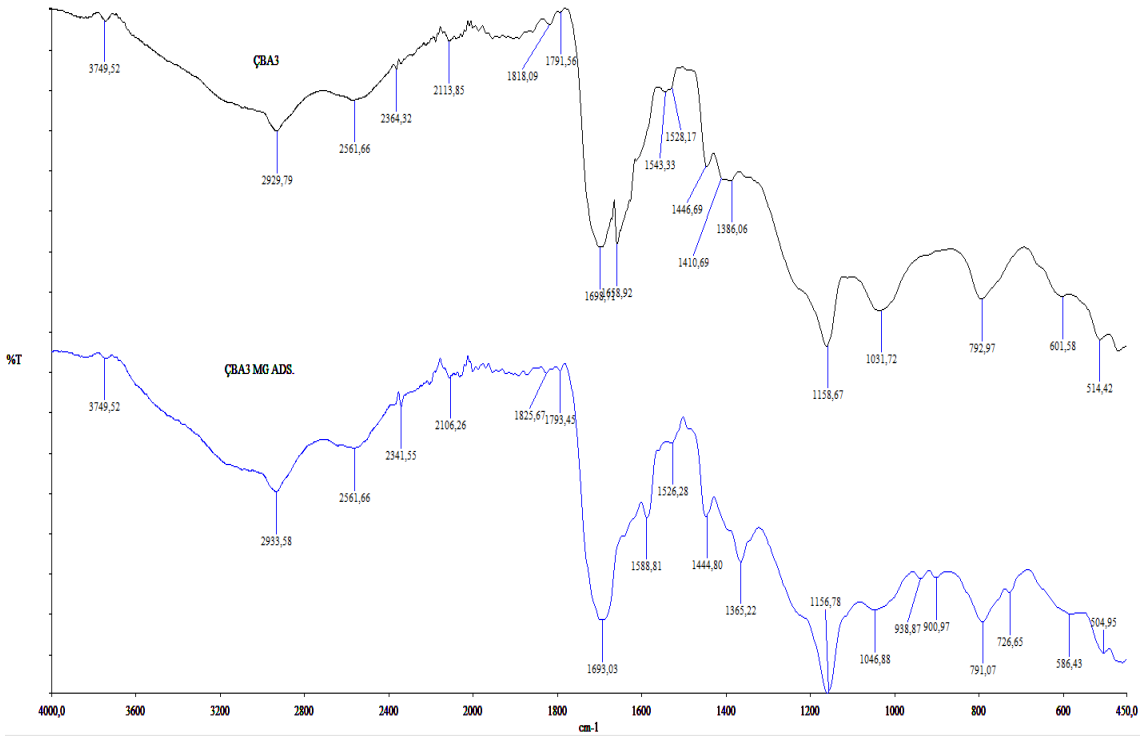
Şekil 4.5. Çitosan, bentonit, ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4, ÇBA5 kompozitlerinin IR analizleri



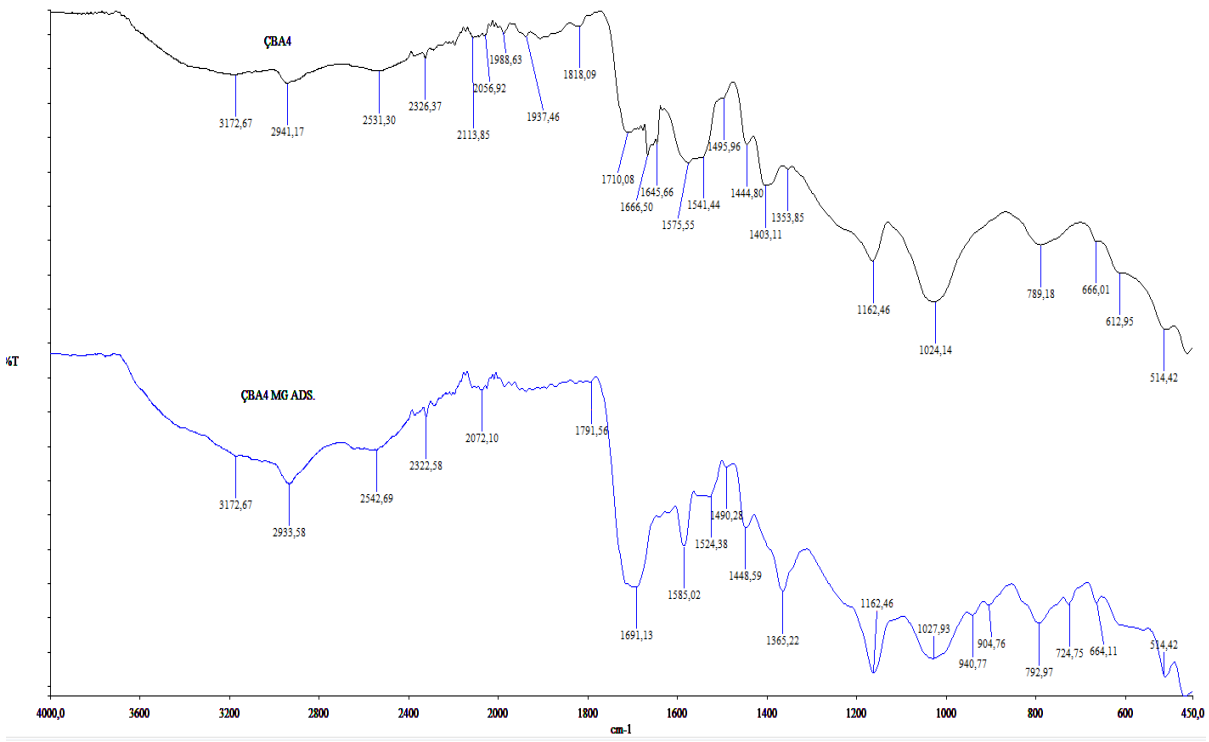
Şekil 4.6. ÇBA1, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA1 IR analizleri



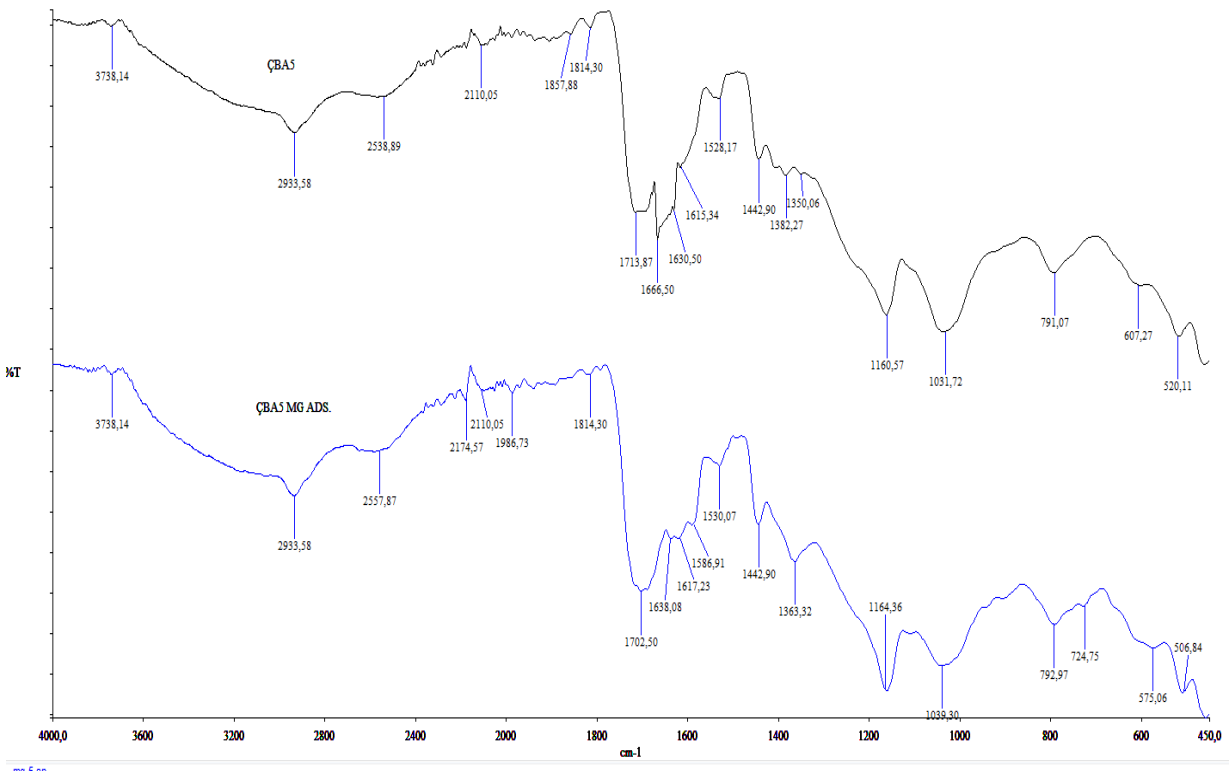
Şekil 4.7. ÇBA2, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA2 IR analizleri



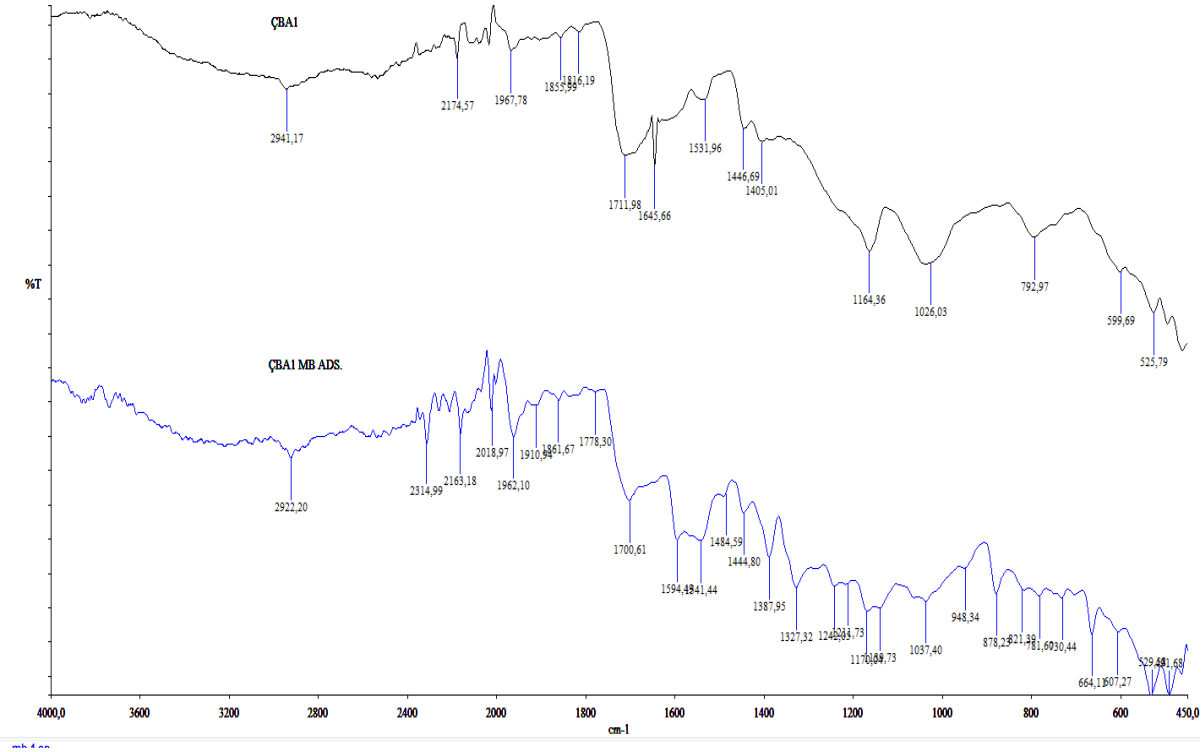
Şekil 4.8. ÇBA3, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA3 IR analizler



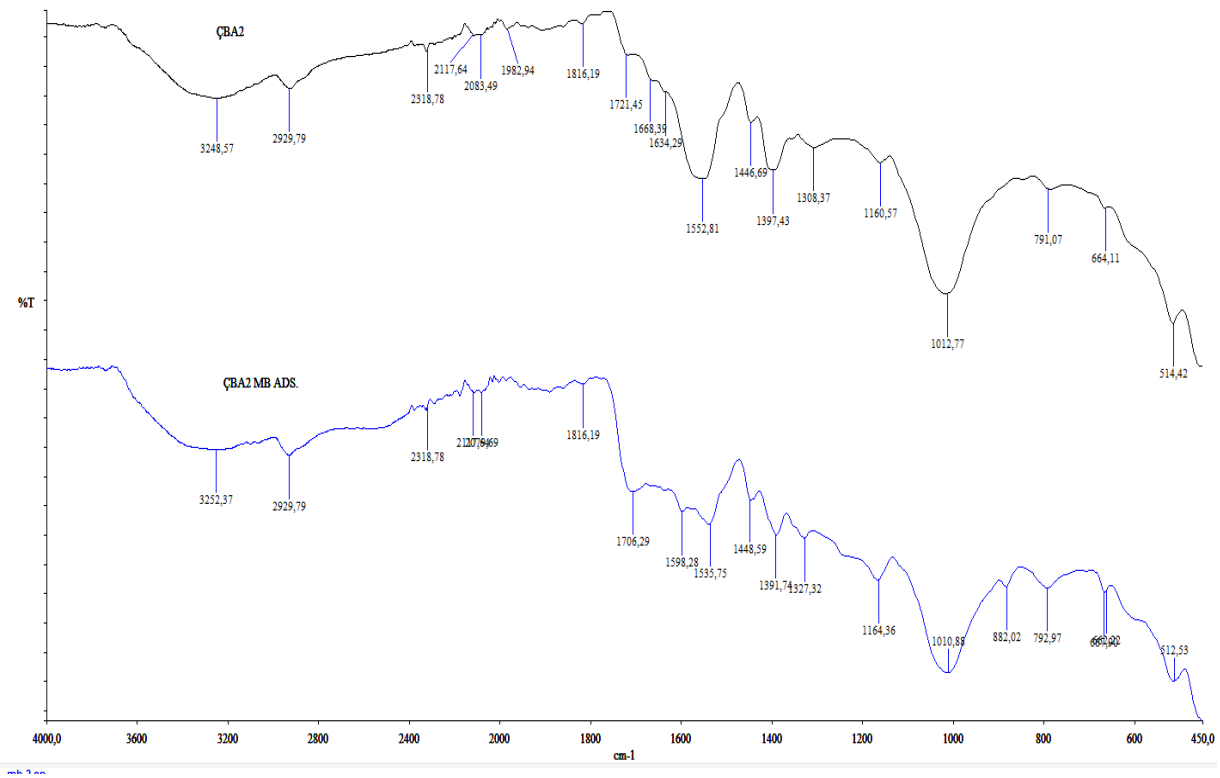
Şekil 4.9. ÇBA4, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA4 IR analizleri



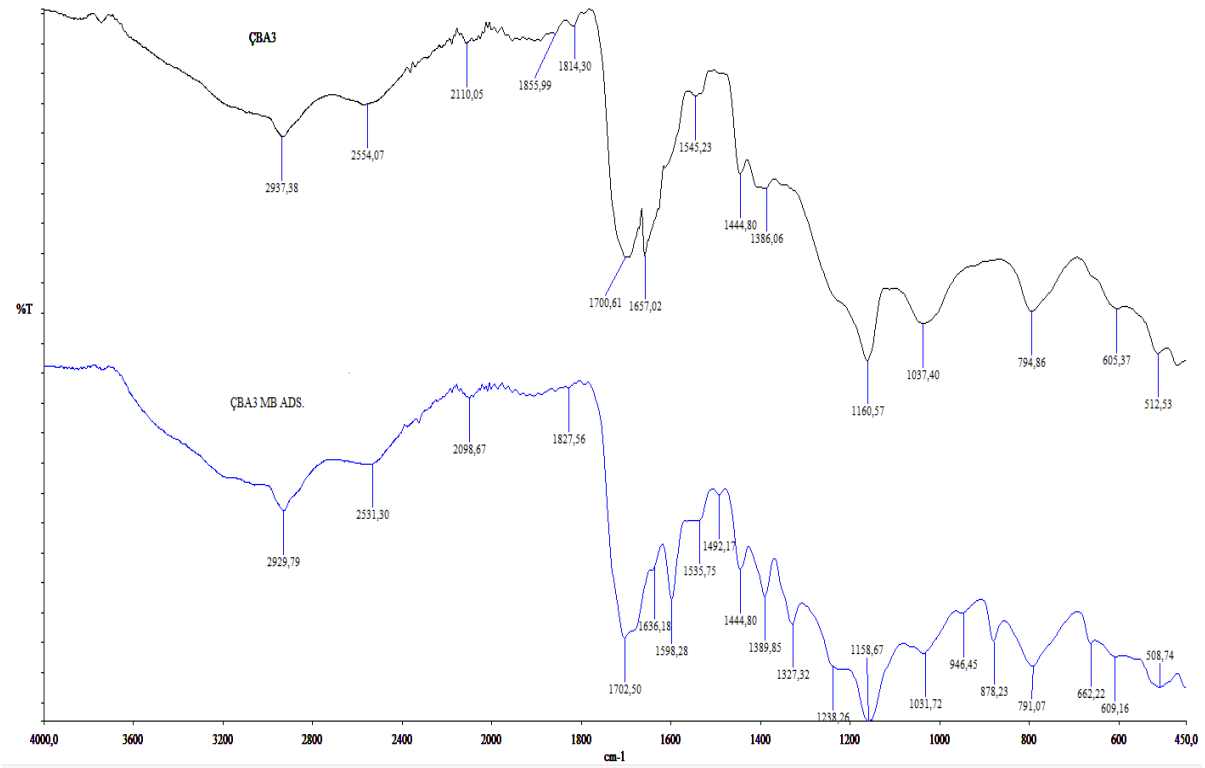
Şekil 4.10. ÇBA5, MG adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri



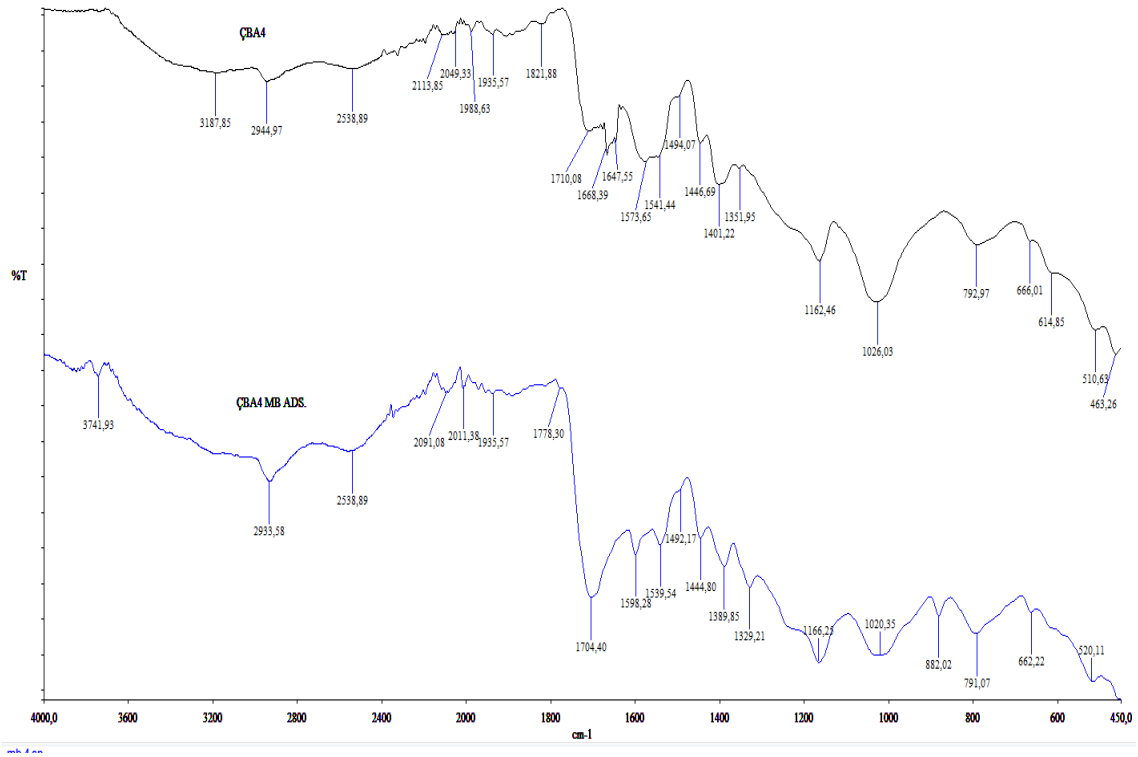
Şekil 4.11. ÇBA1, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA1 IR analizleri



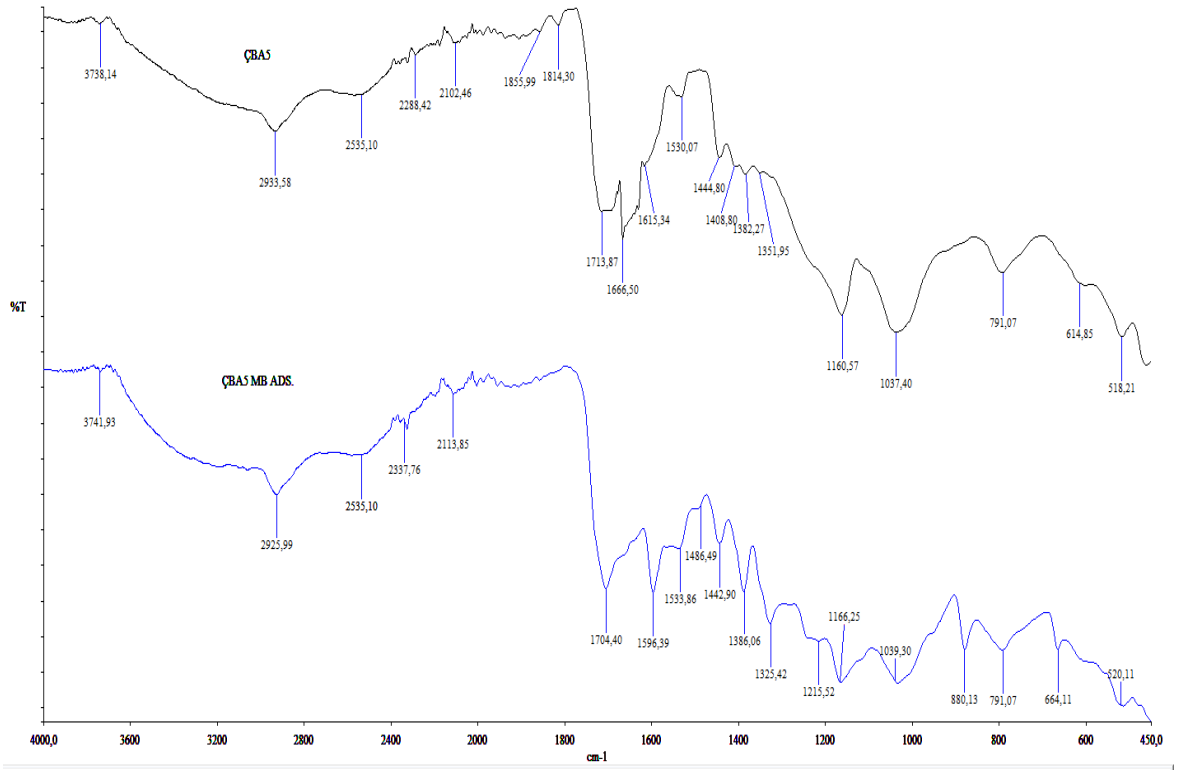
Şekil 4.12. ÇBA2, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA2 IR analizleri



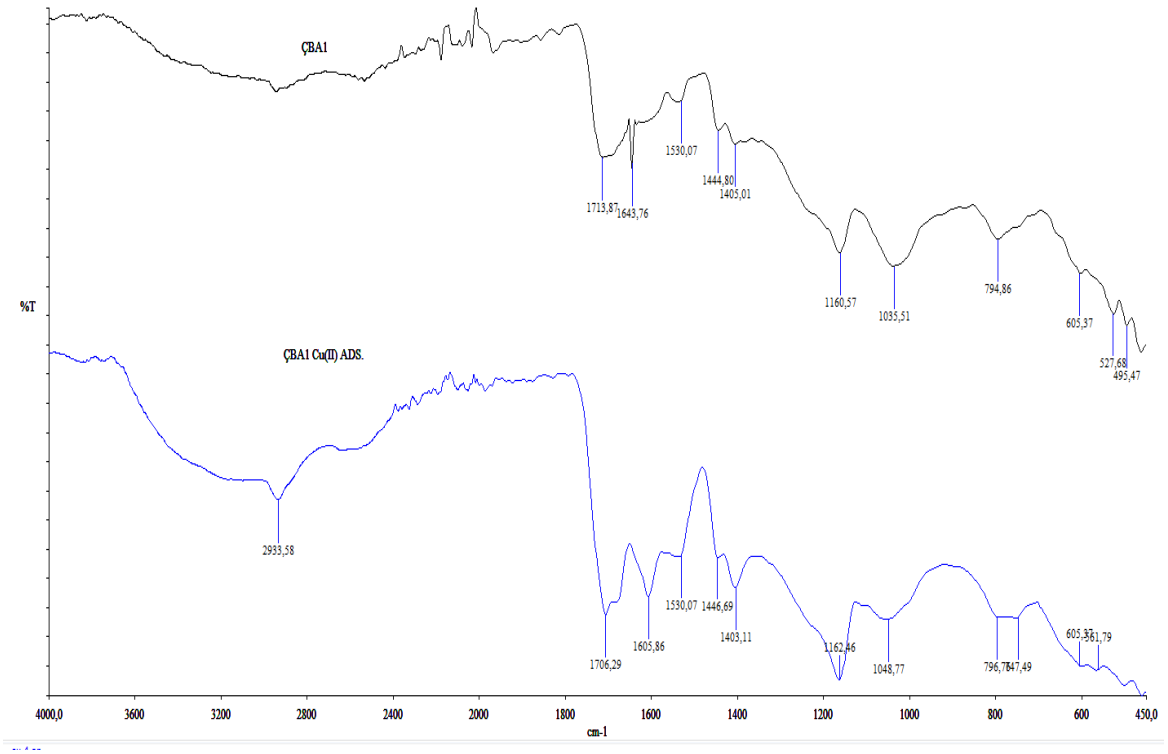
Şekil 4.13. ÇBA3, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA3 IR analizleri



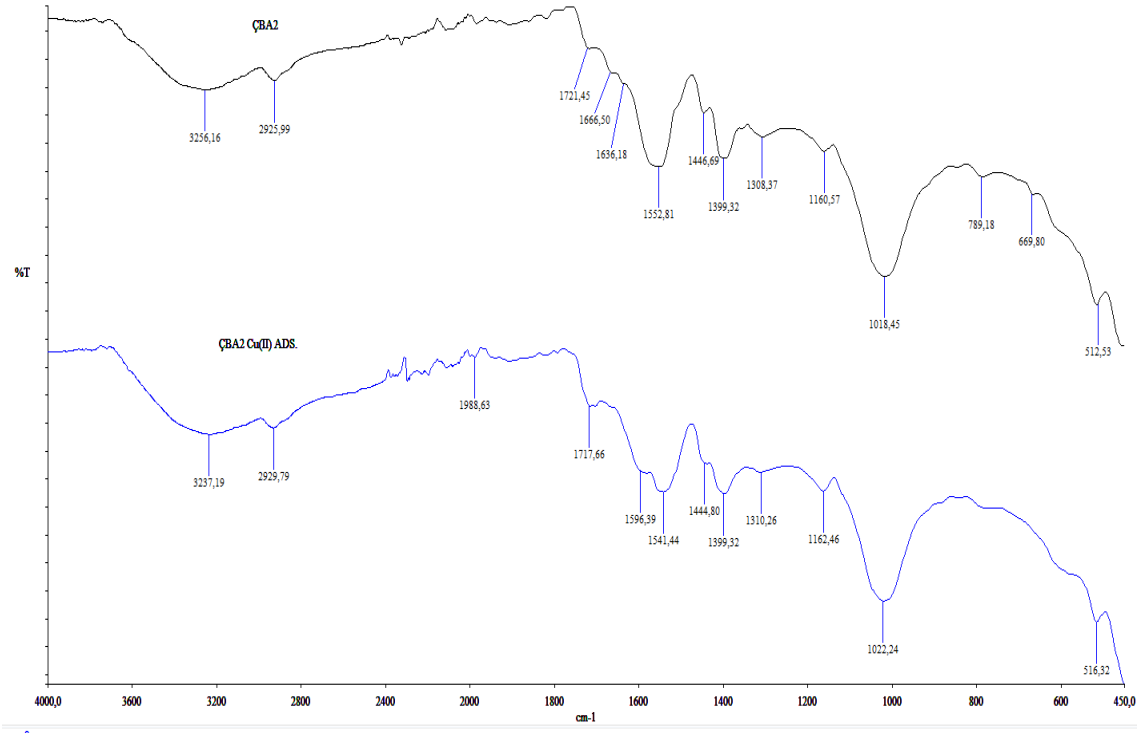
Şekil 4.14. ÇBA4, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA4 IR analizleri



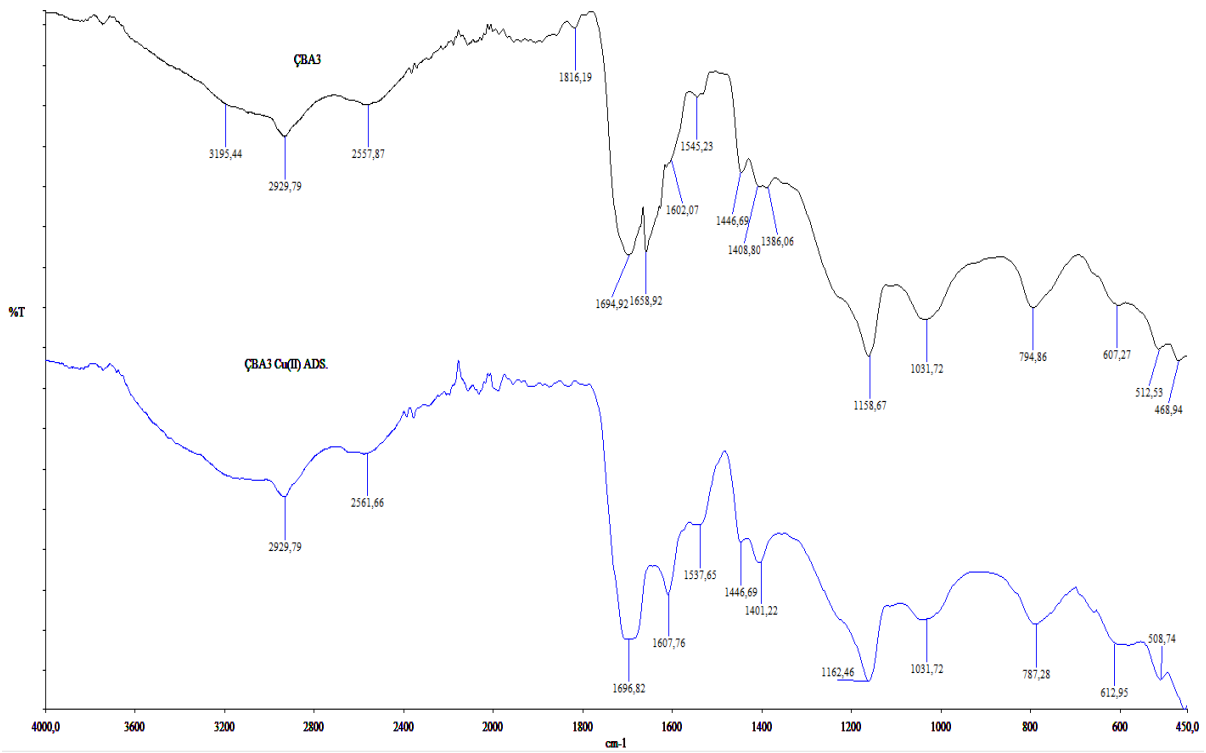
Şekil 4. 15. ÇBA5, MB adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri



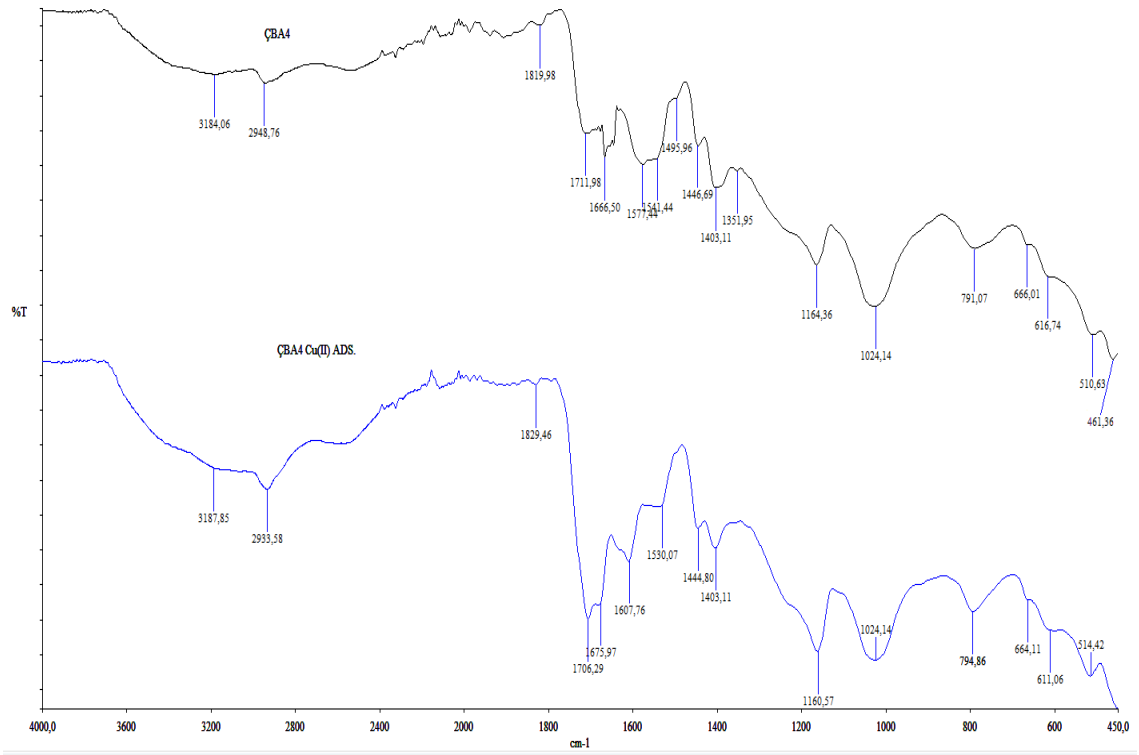
Şekil 4.16. ÇBA1, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA1 IR analizleri



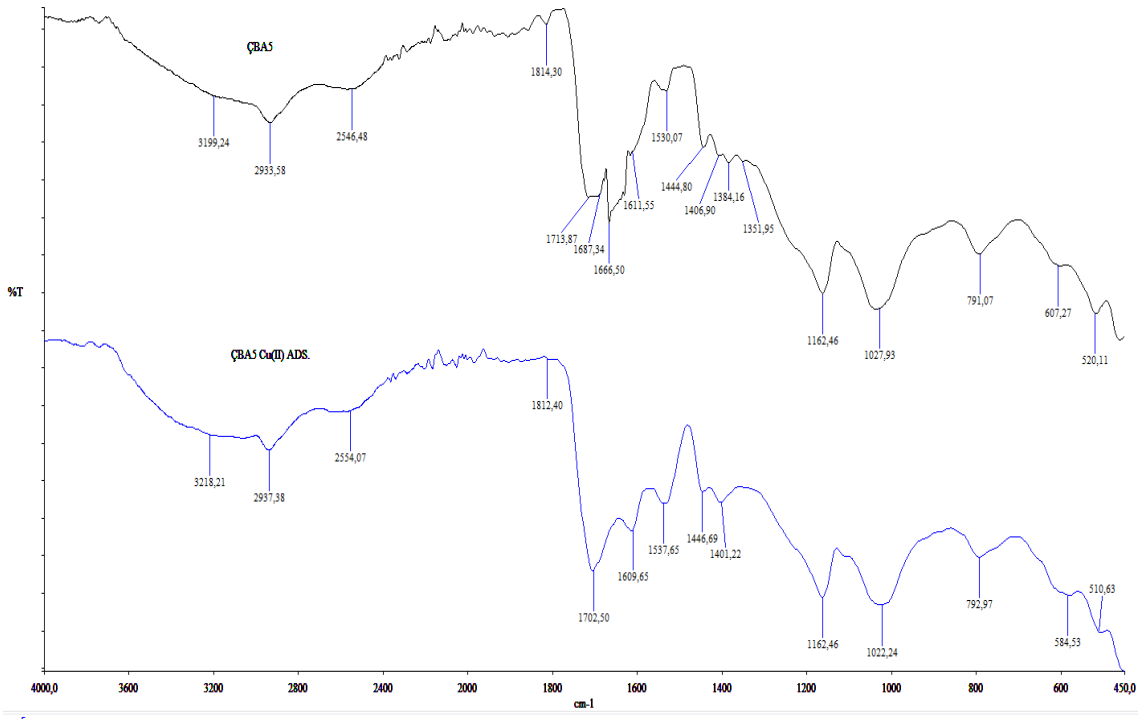
Şekil 4.17. ÇBA2, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA2 IR analizleri



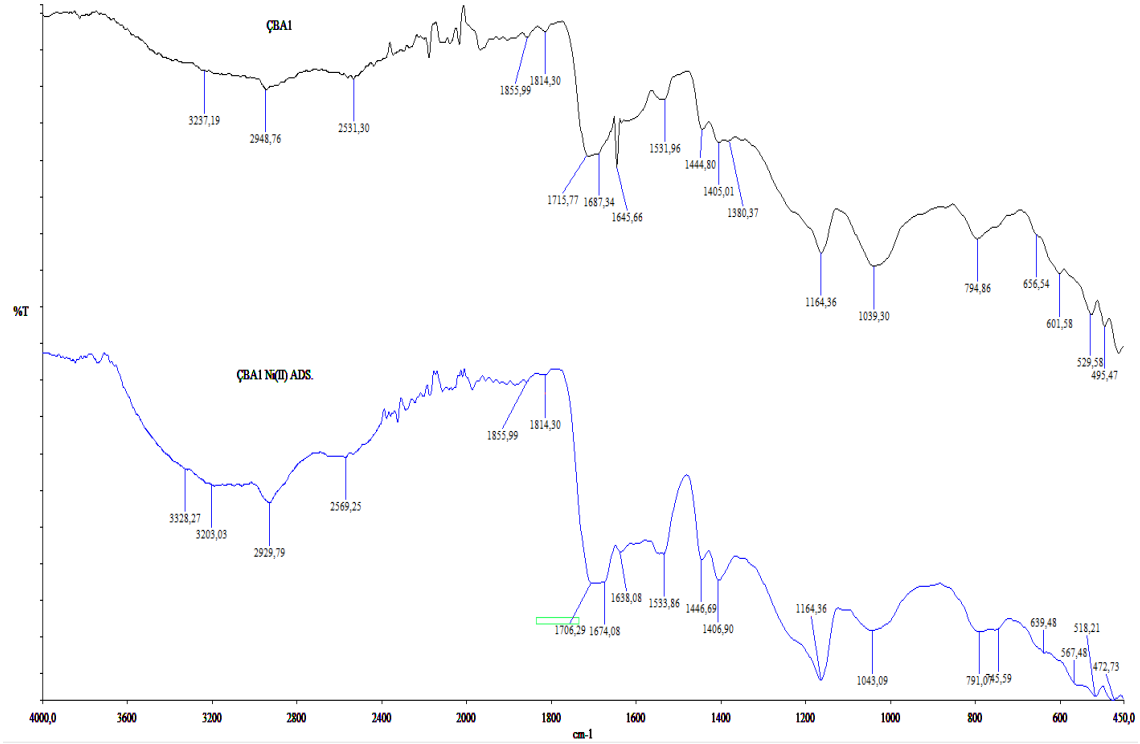
Şekil 4.18. ÇBA3, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA3 IR analizleri



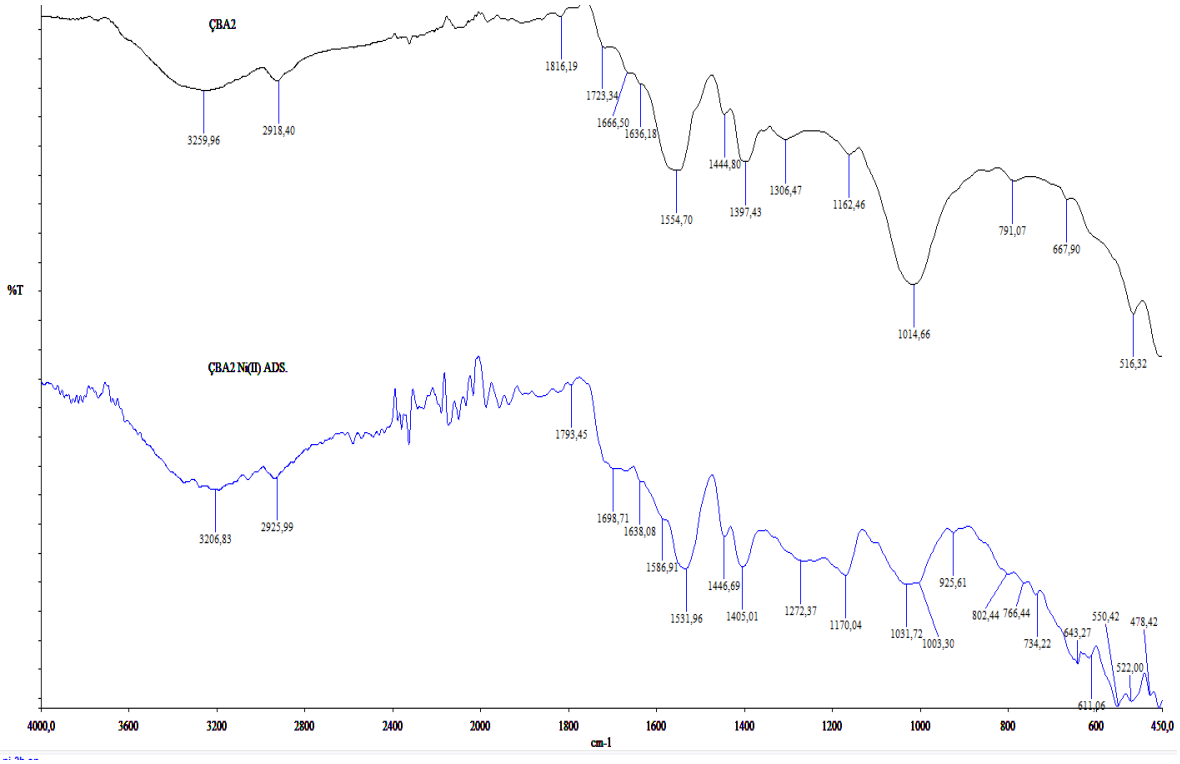
Şekil 4.19. ÇBA4, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA4 IR analizleri



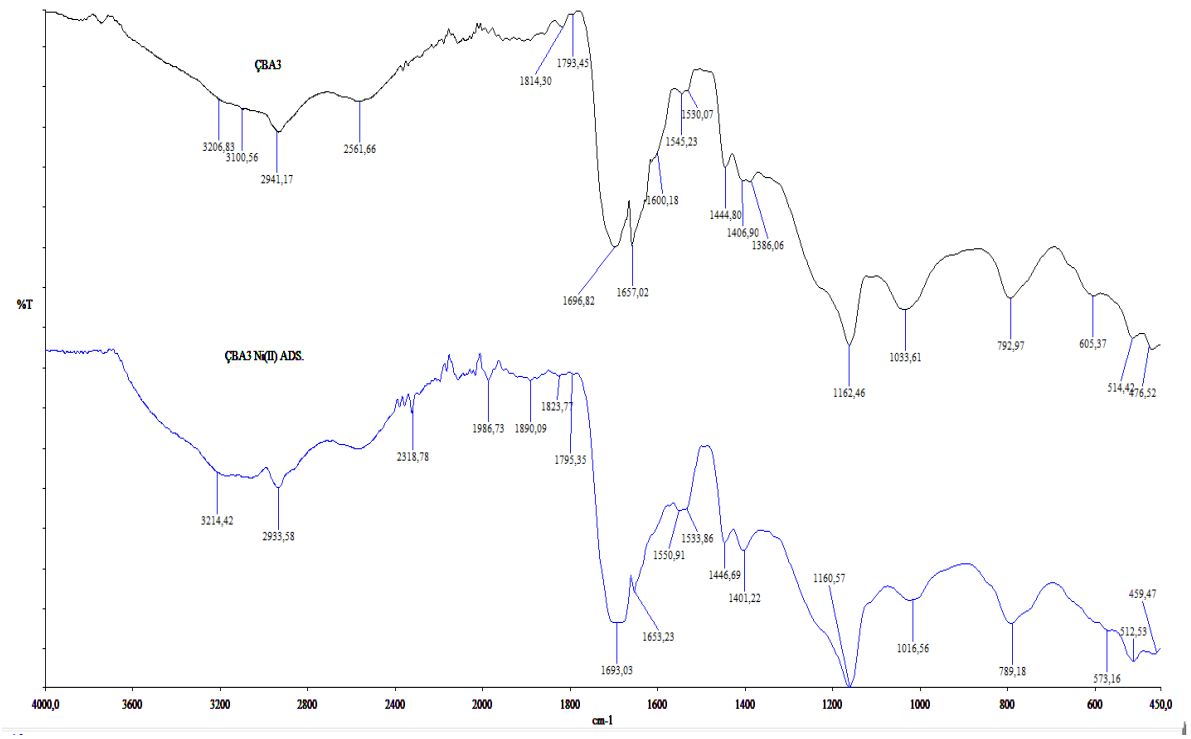
Şekil 4.20. ÇBA5, Cu(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri



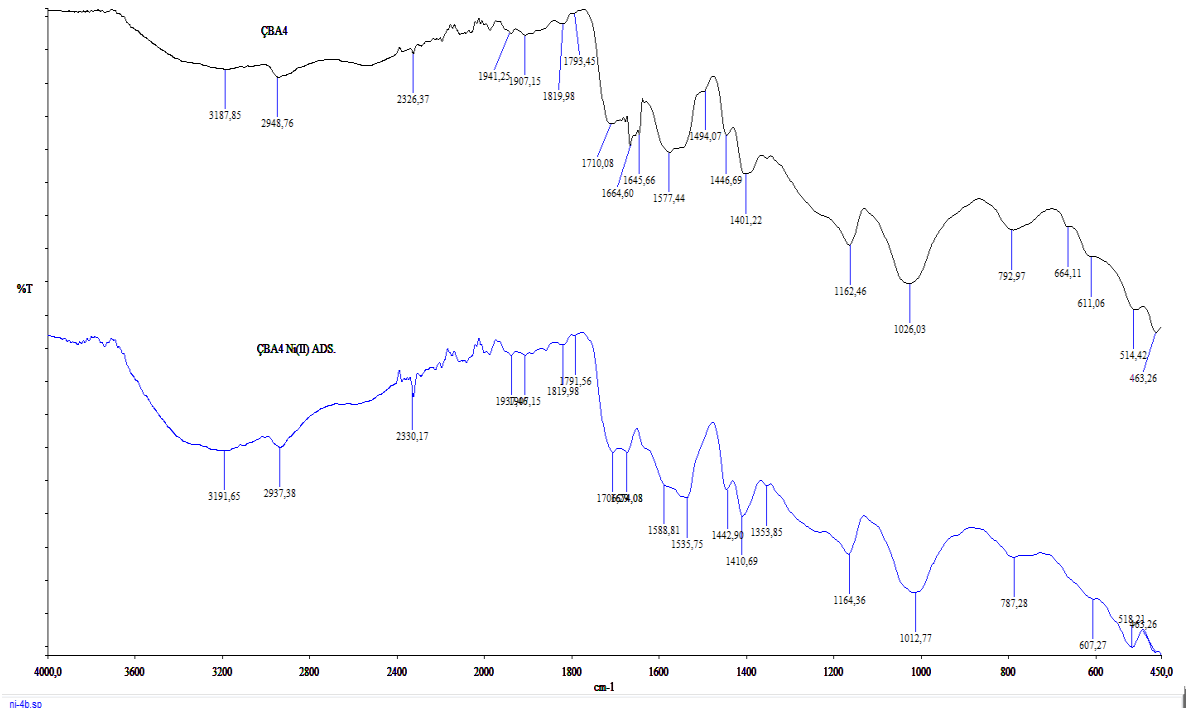
Şekil 4.21. ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri



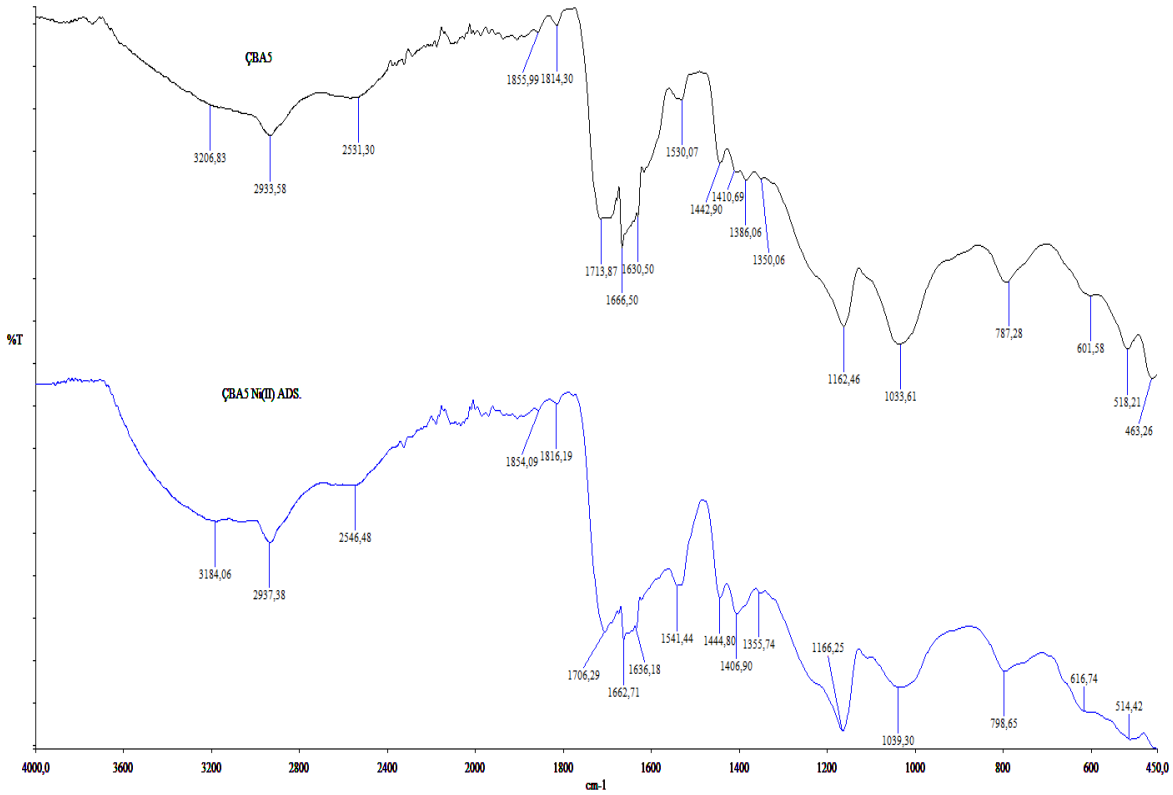
Şekil 4.22. ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri



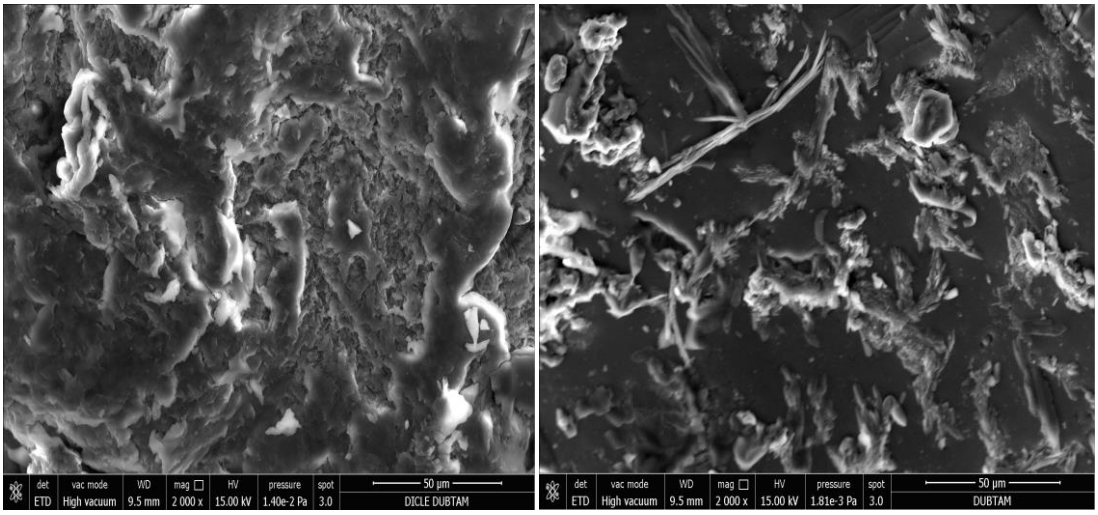
Şekil 4.23. ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri



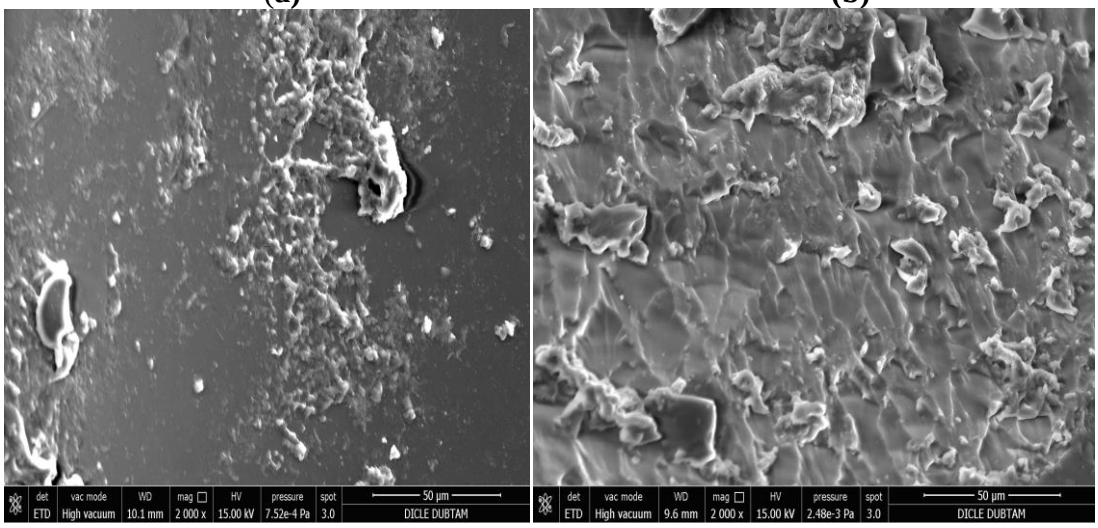
Şekil 4.24. ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri



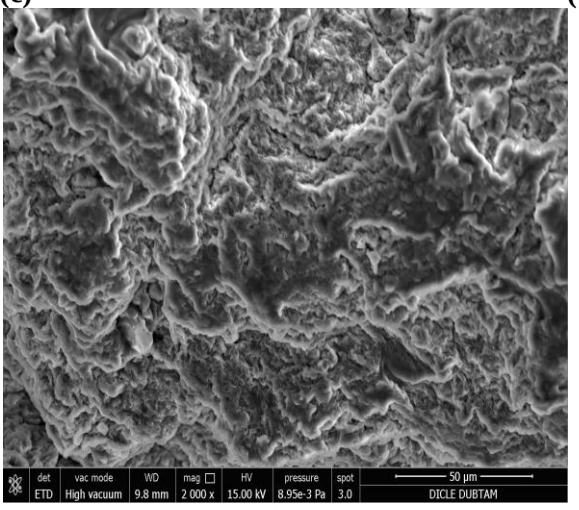
Şekil 4.25. ÇBA5, Ni(II) adsorpsiyonu sonrası ÇBA5 IR analizleri



(a) **(b)**

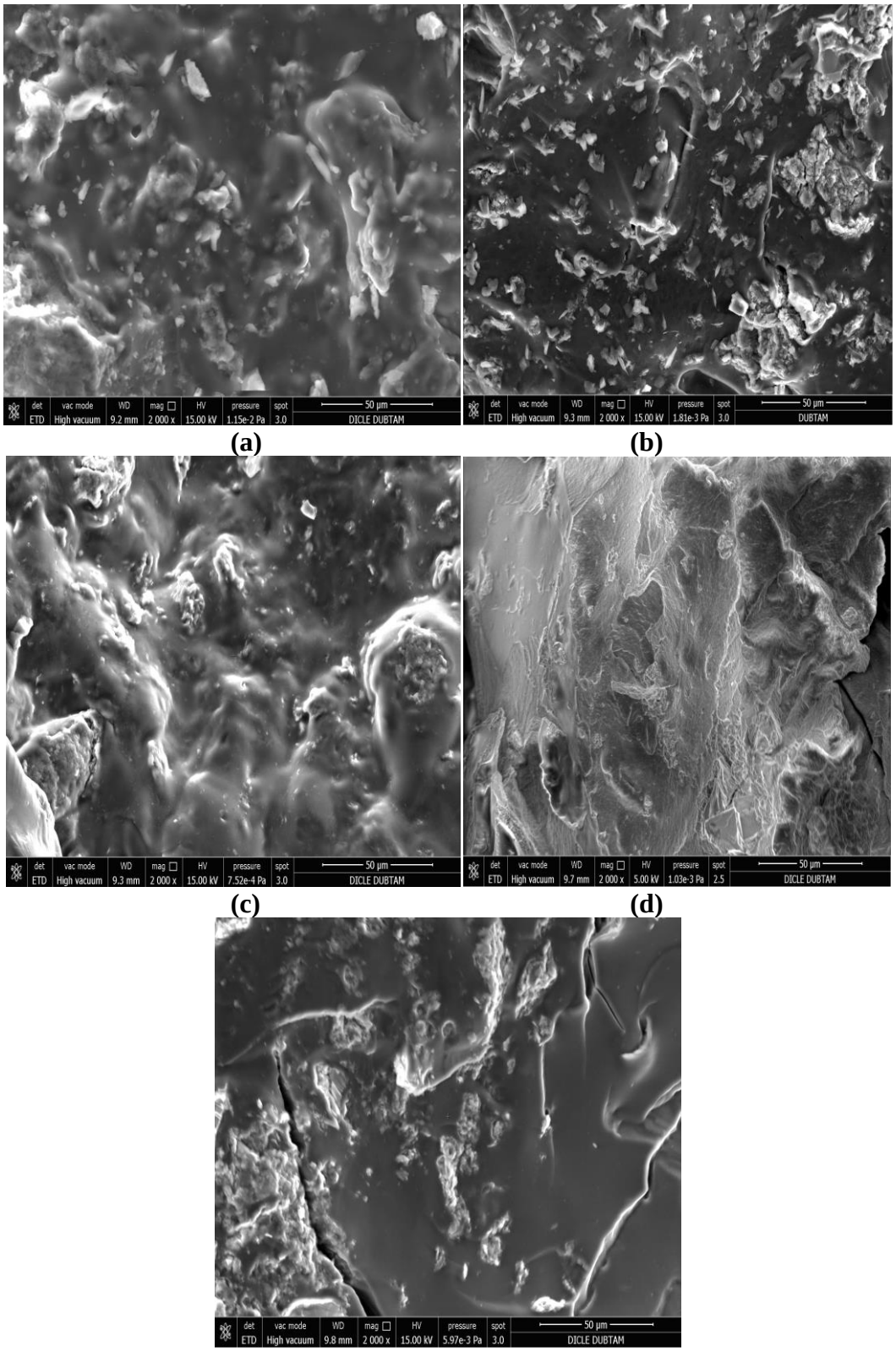


(c) **(d)**

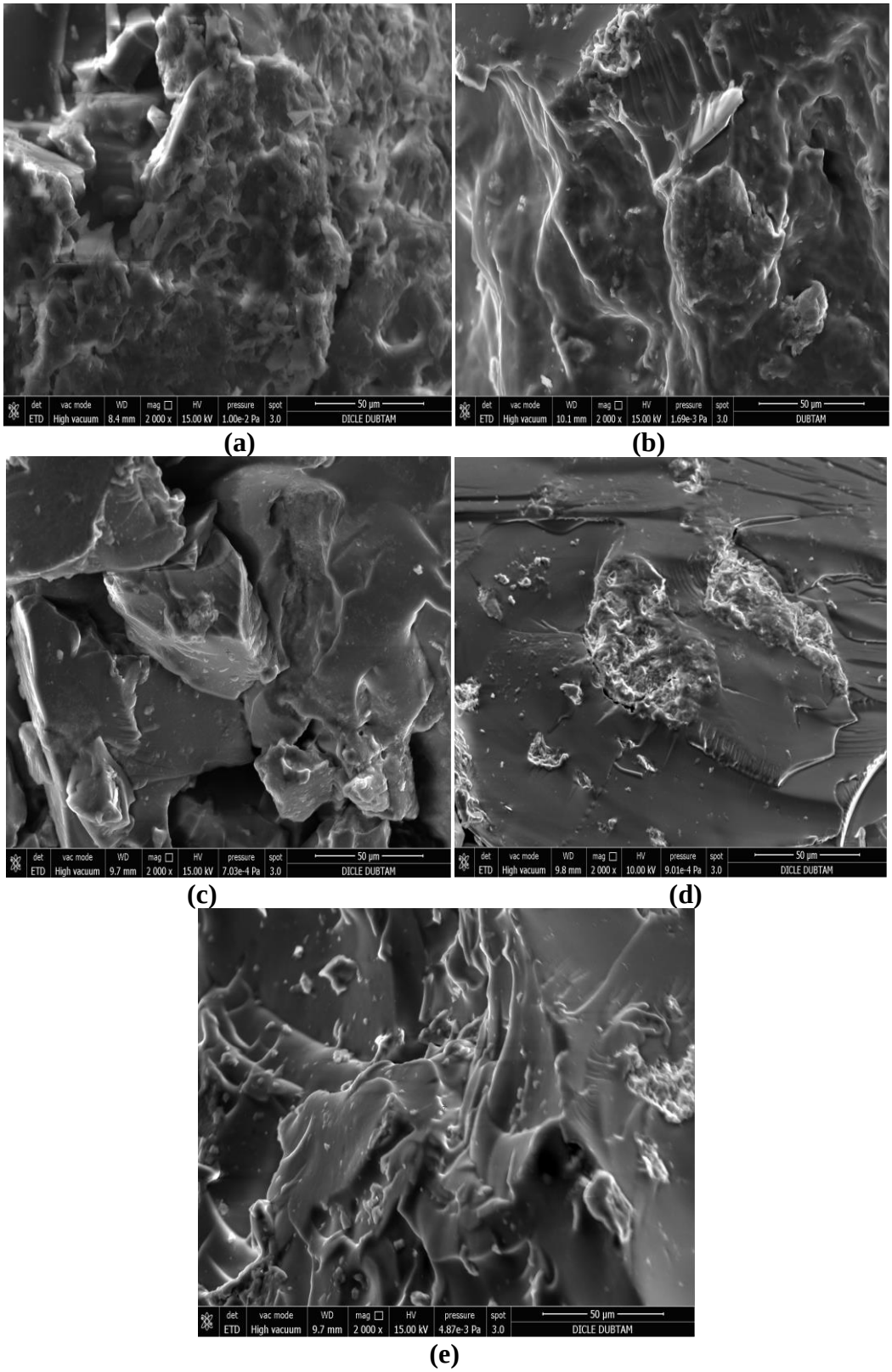


(e)

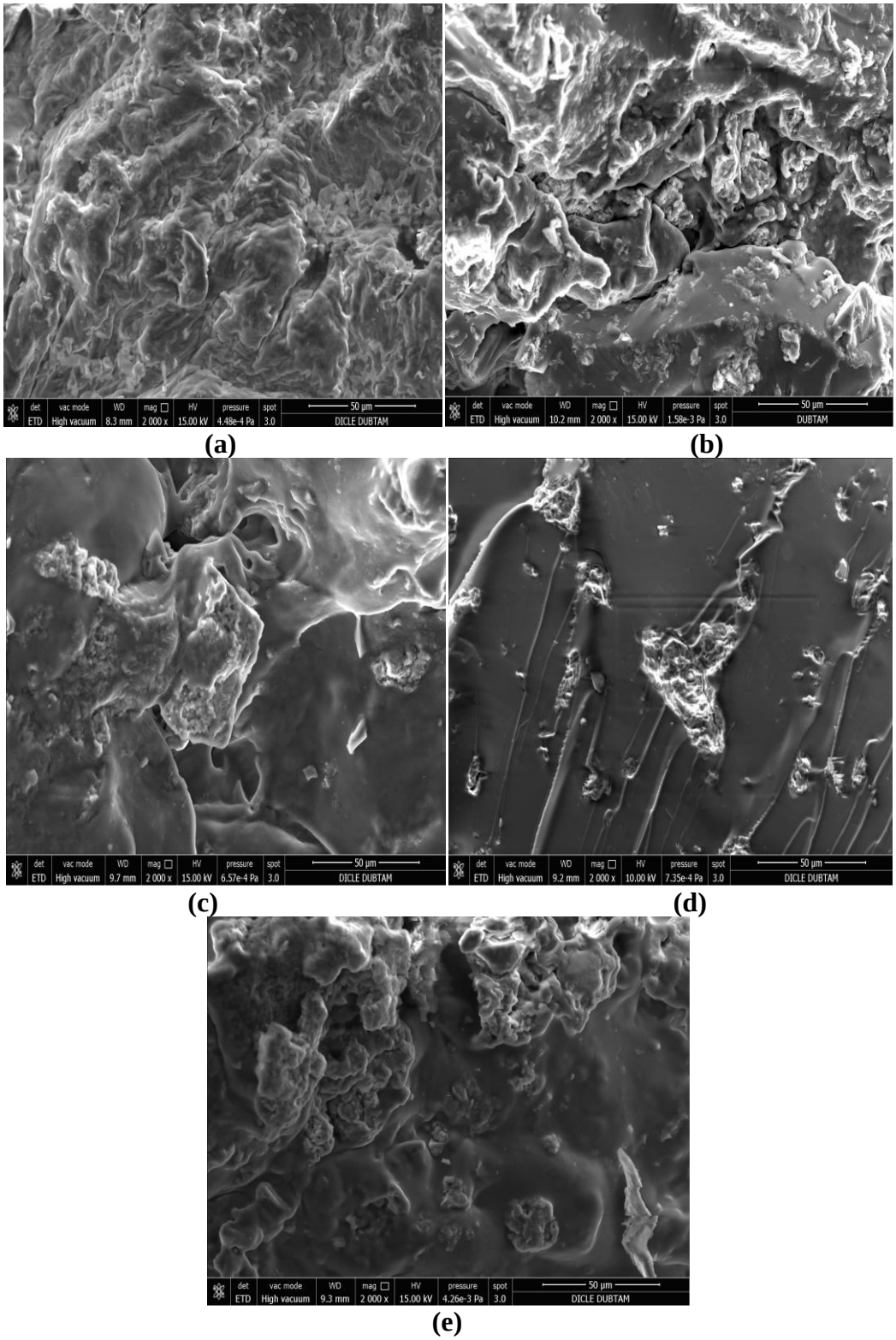
Şekil 4.26. (a) ÇBA1 (b) ÇBA1 MG adsorplanmış (c) ÇBA1 MB adsorplanmış (d) ÇBA1 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA1 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri



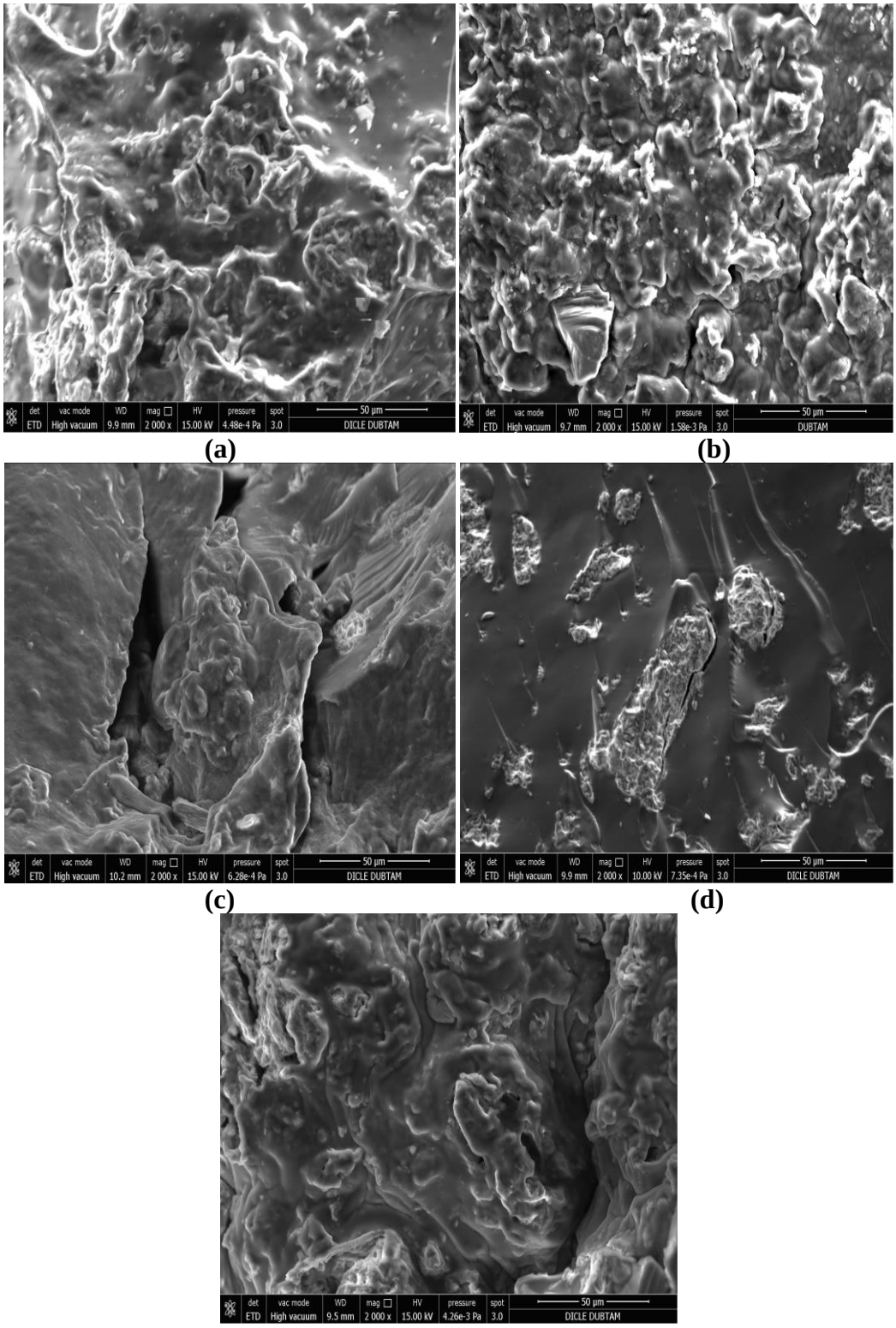
Şekil 4.27. (a) ÇBA2 (b) ÇBA2 MG adsorplanmış (c) ÇBA2 MB adsorplanmış (d) ÇBA2 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA2 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri



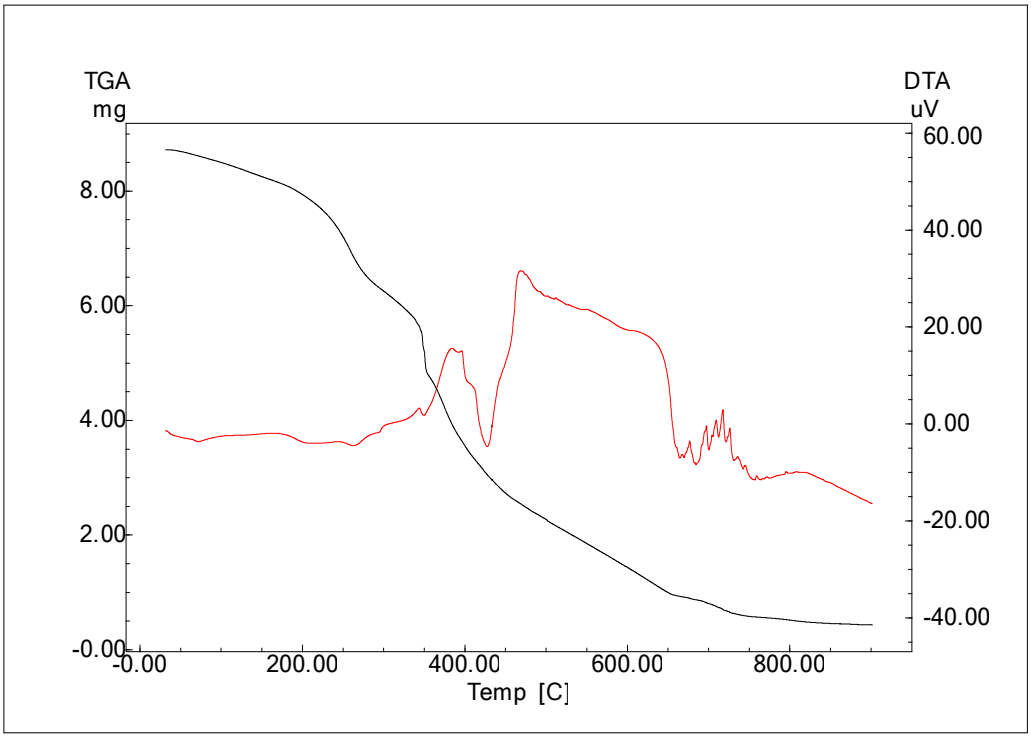
Şekil 4.28. (a) ÇBA3 (b) ÇBA3 MG adsorplanmış (c) ÇBA3 MB adsorplanmış (d) ÇBA3 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA3 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri



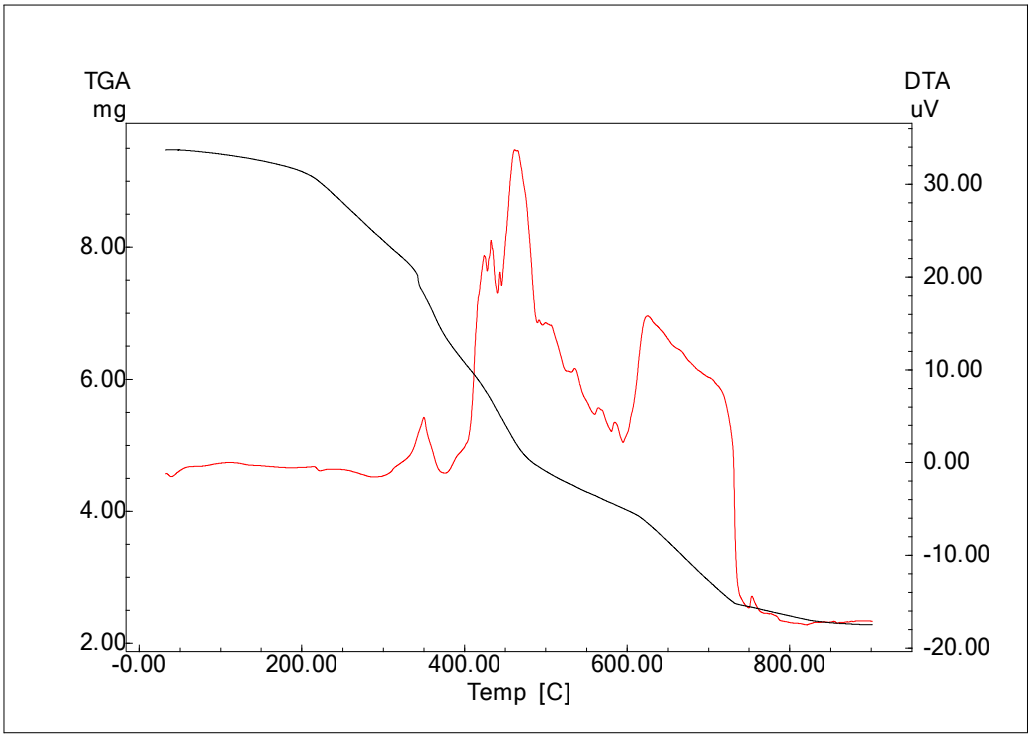
Şekil 4.29. (a) ÇBA4 (b) ÇBA4 MG adsorplannmış (c) ÇBA4 MB adsorplanmış (d) ÇBA4 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA4 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri



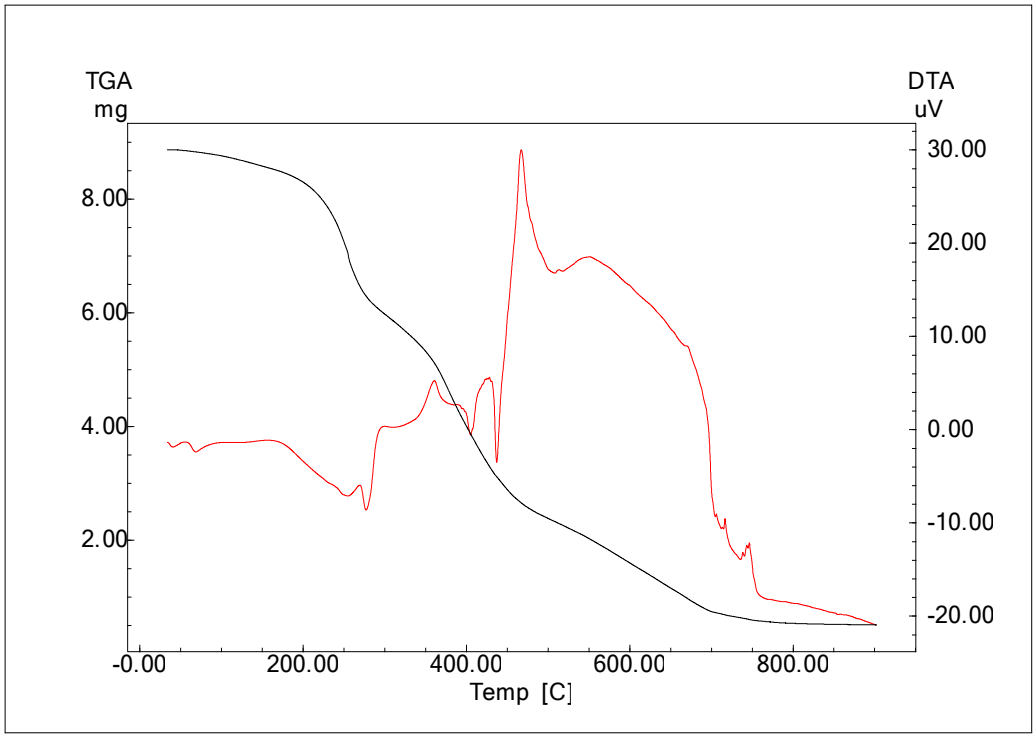
Şekil 4.30. (a) ÇBA5 (b) ÇBA5 MG adsorplanmış (c) ÇBA5 MB adsorplanmış (d) ÇBA5 Cu(II) adsorplanmış (e) ÇBA5 Ni(II) adsorplanmış SEM görüntüleri



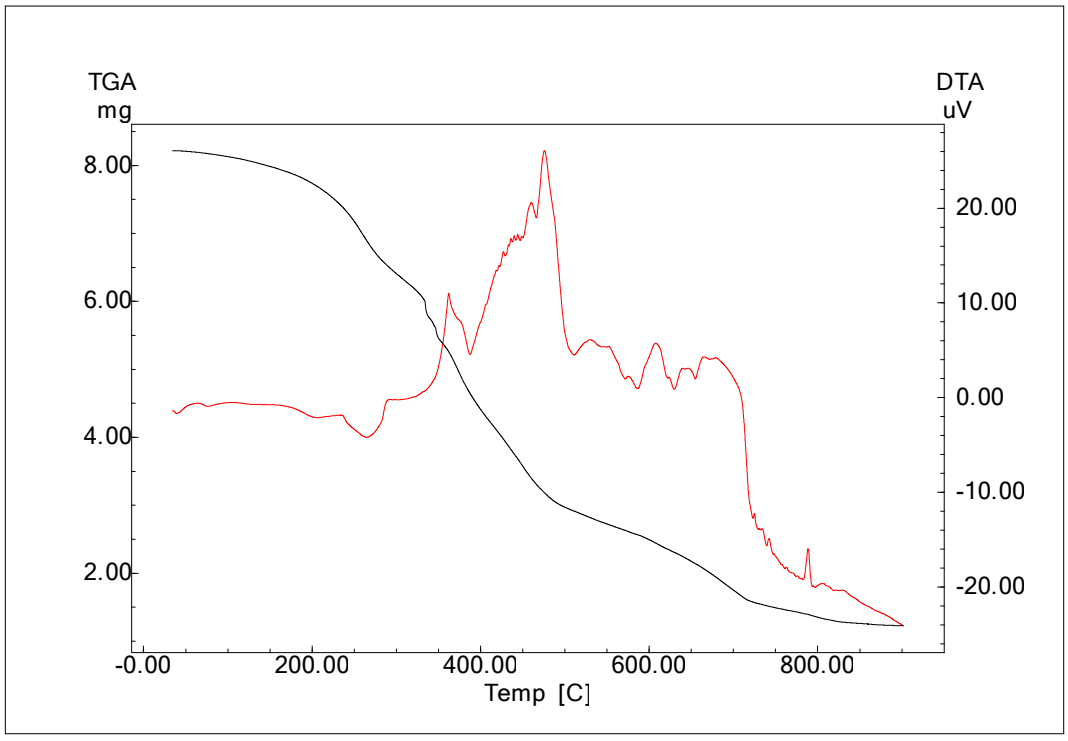
Şekil 4.31. ÇBA1 kompozitine ait TGA-DTA grafiği



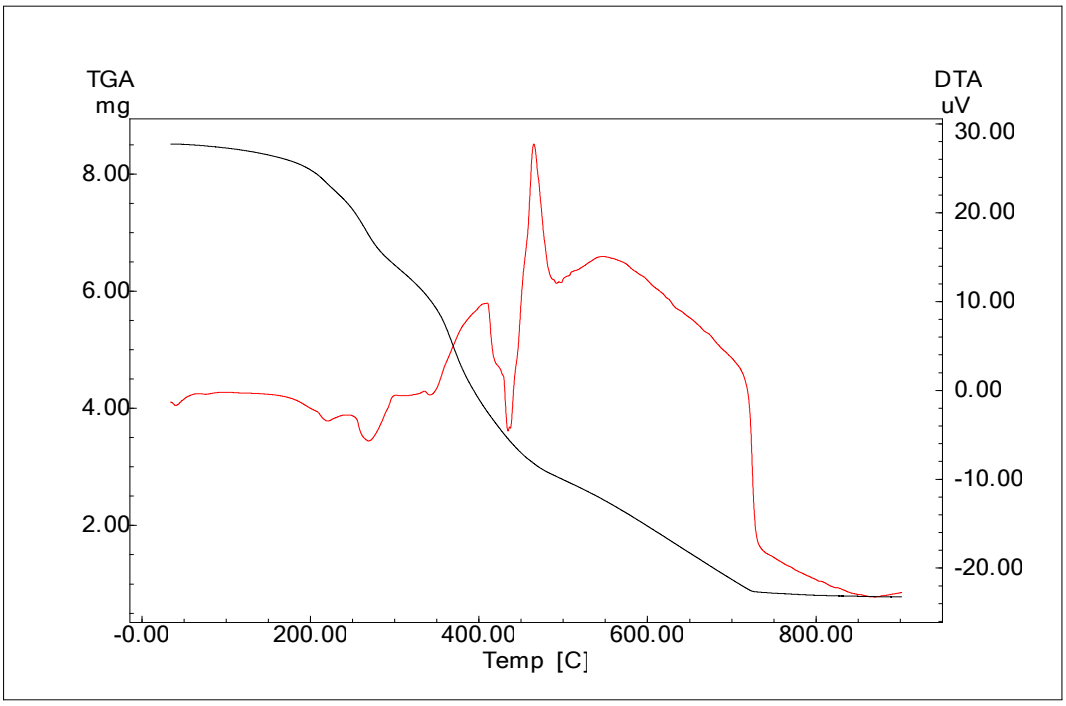
Şekil 4.32. ÇBA2 kompozitine ait TGA-DTA grafiği



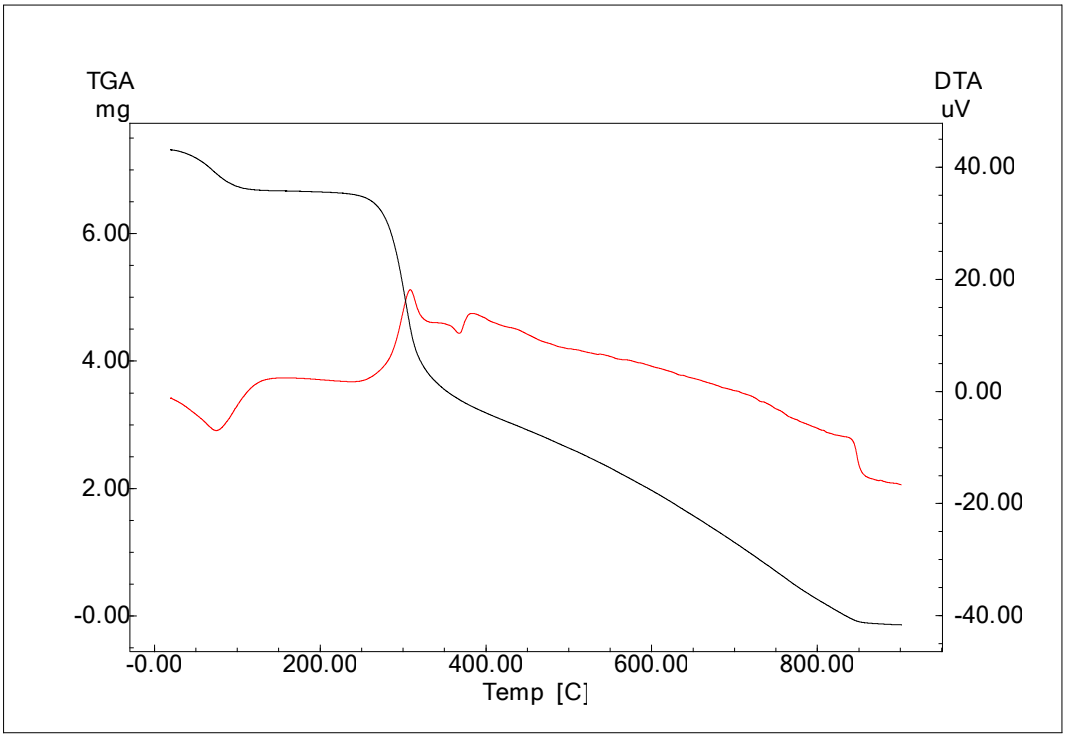
Şekil 4.33. ÇBA3 kompozitine ait TGA-DTA grafiği



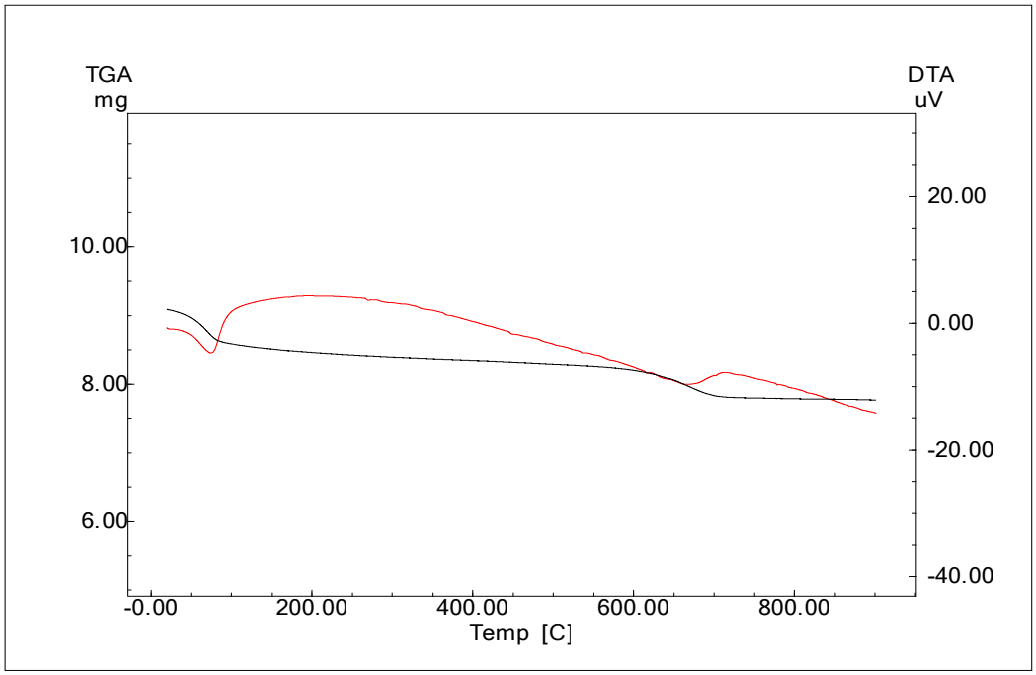
Şekil 4.34. ÇBA4 kompozitine ait TGA-DTA grafiği



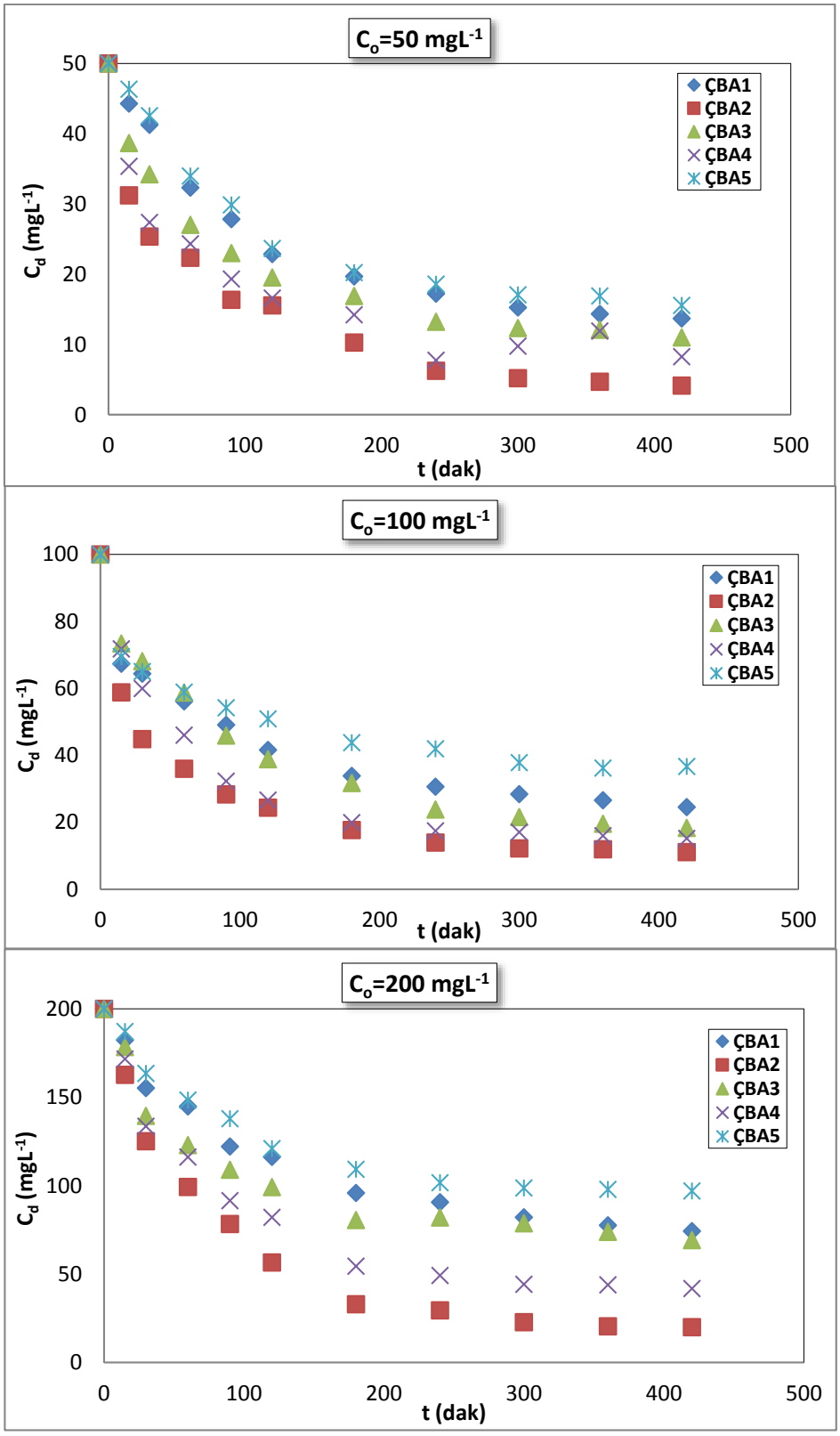
Şekil 4.35. ÇBA5 kompozitine ait TGA-DTA grafiği



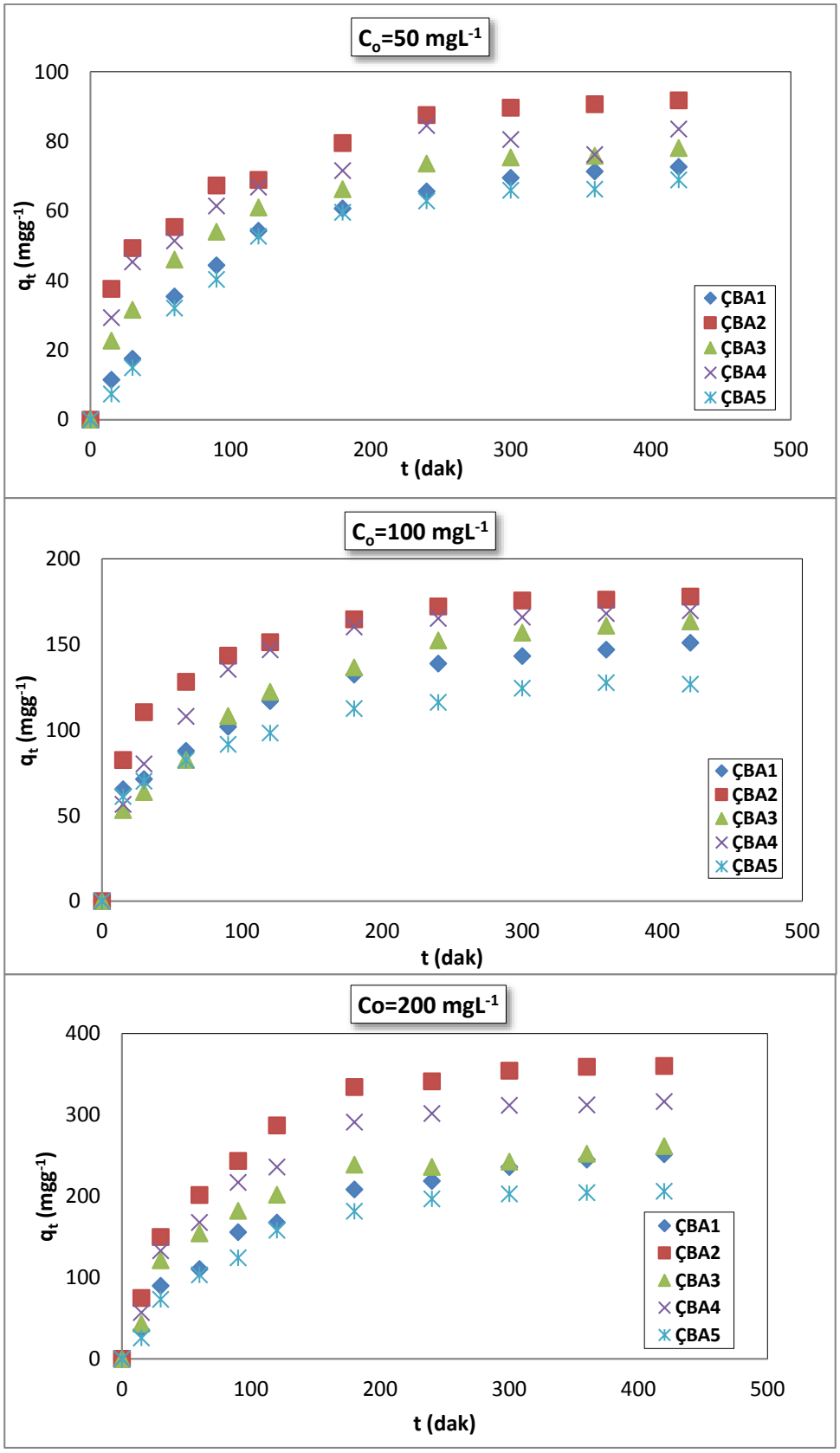
Şekil 4.36. Çitosana ait TGA-DTA grafiği



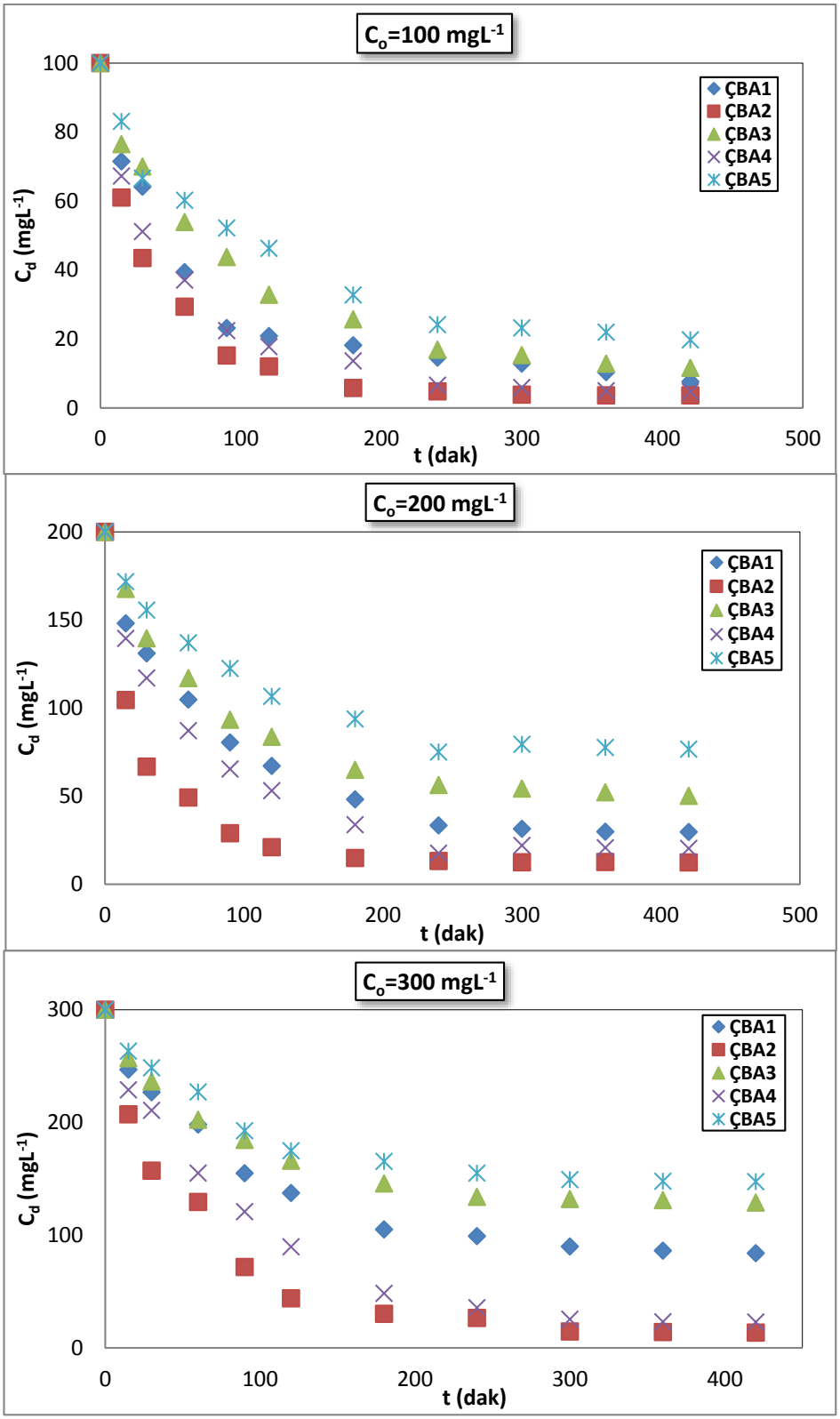
Şekil 4.37. Bentonite ait TGA-DTA grafiği



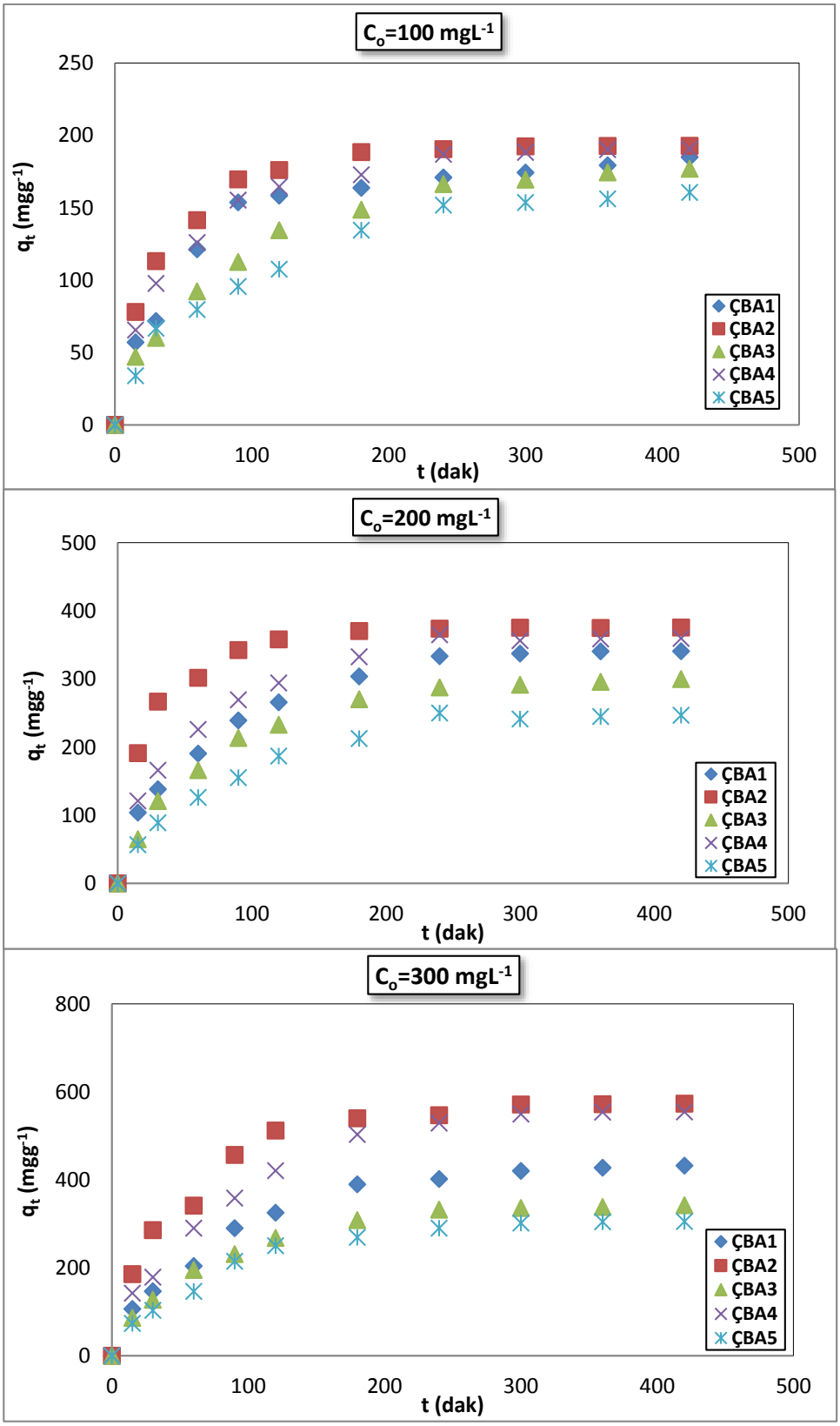
Şekil 4.38. Farklı başlangıç derişimlerindeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik eğrileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



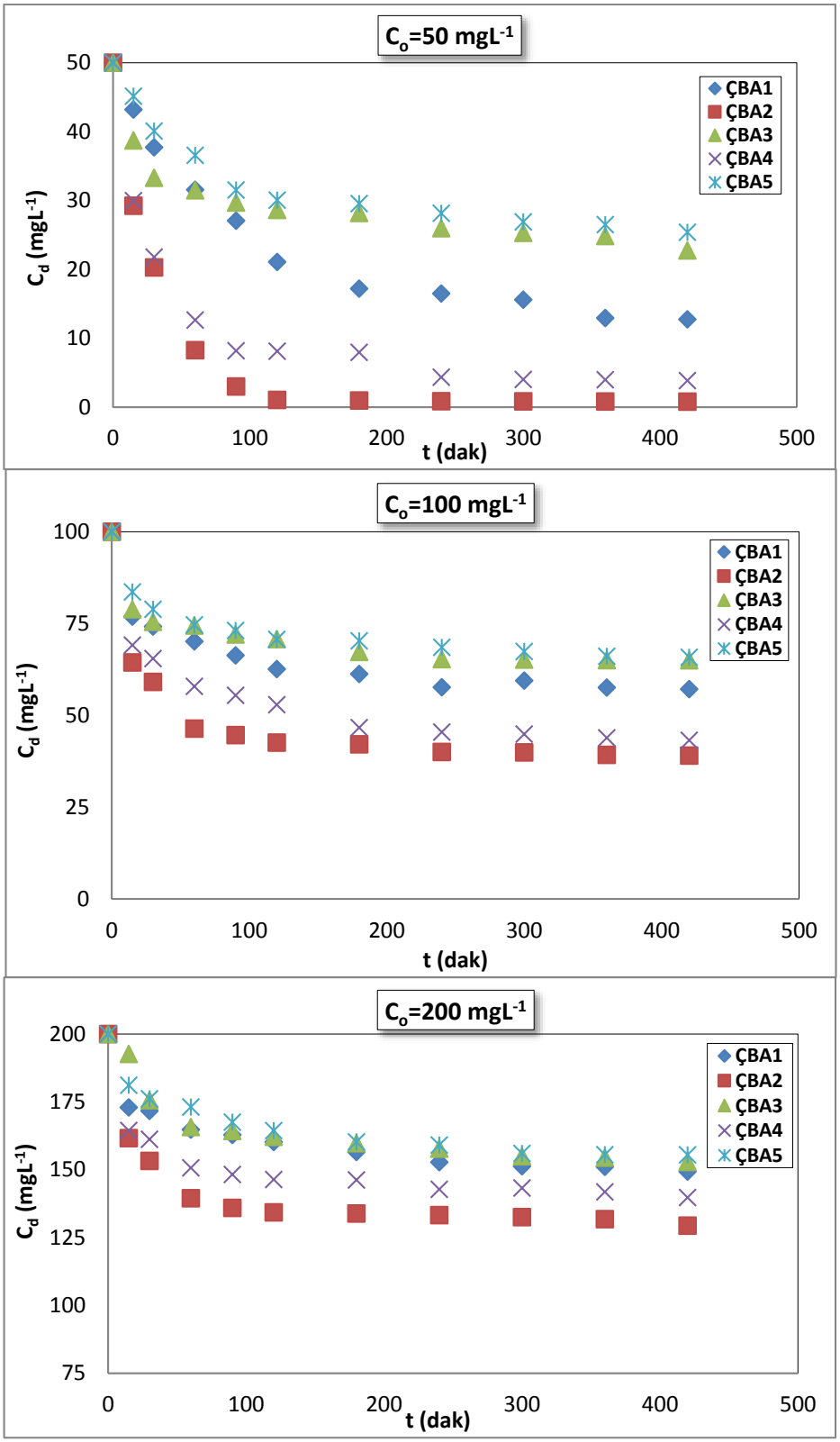
Şekil 4.39. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan MG miktarına başlangıç derişiminin etkisi (m=0.025 g, V=50 mL,T=298 K, hız=120 rpm)



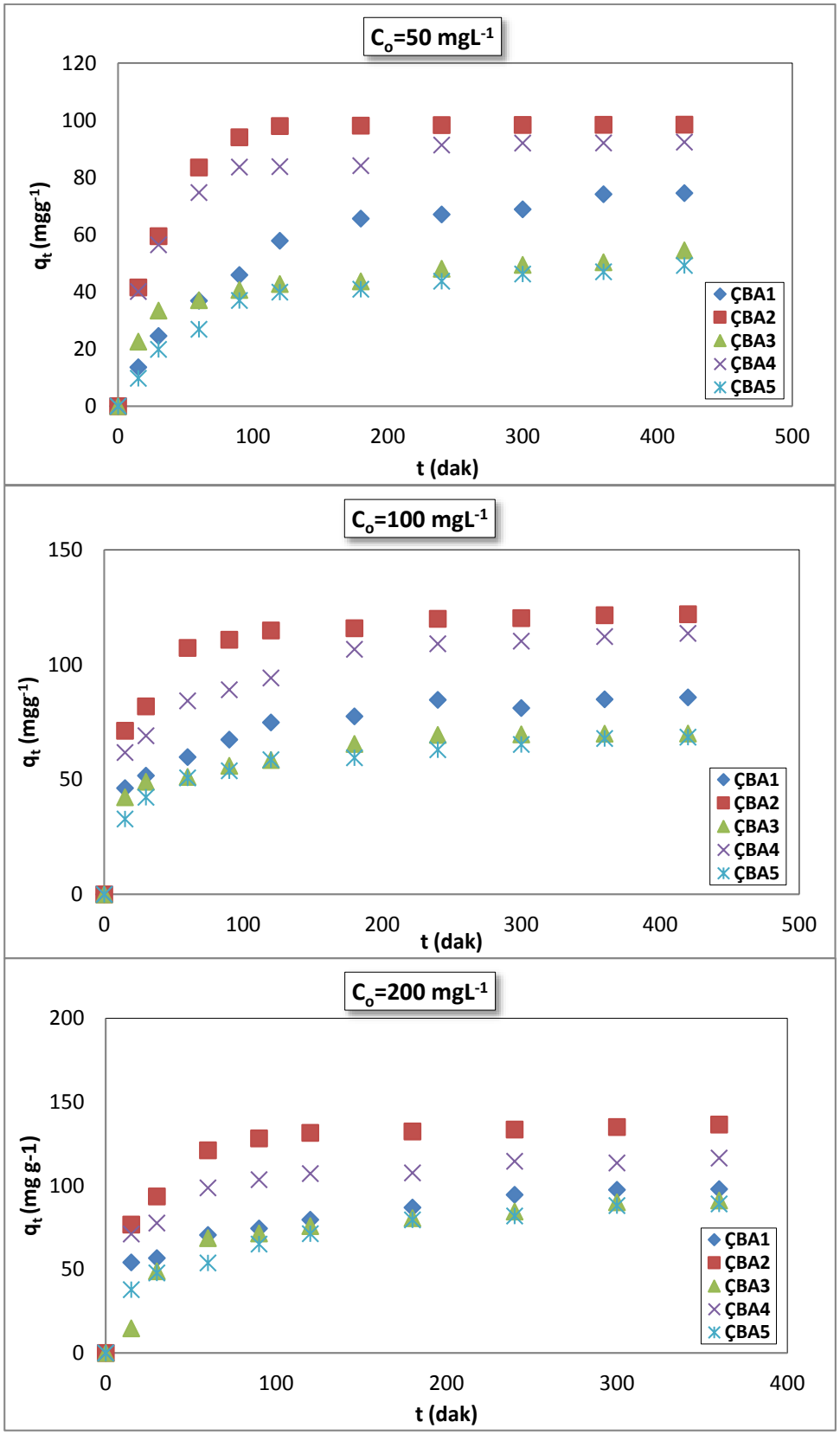
Şekil 4.40. Farklı başlangıç derişimlerindeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik eğrileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



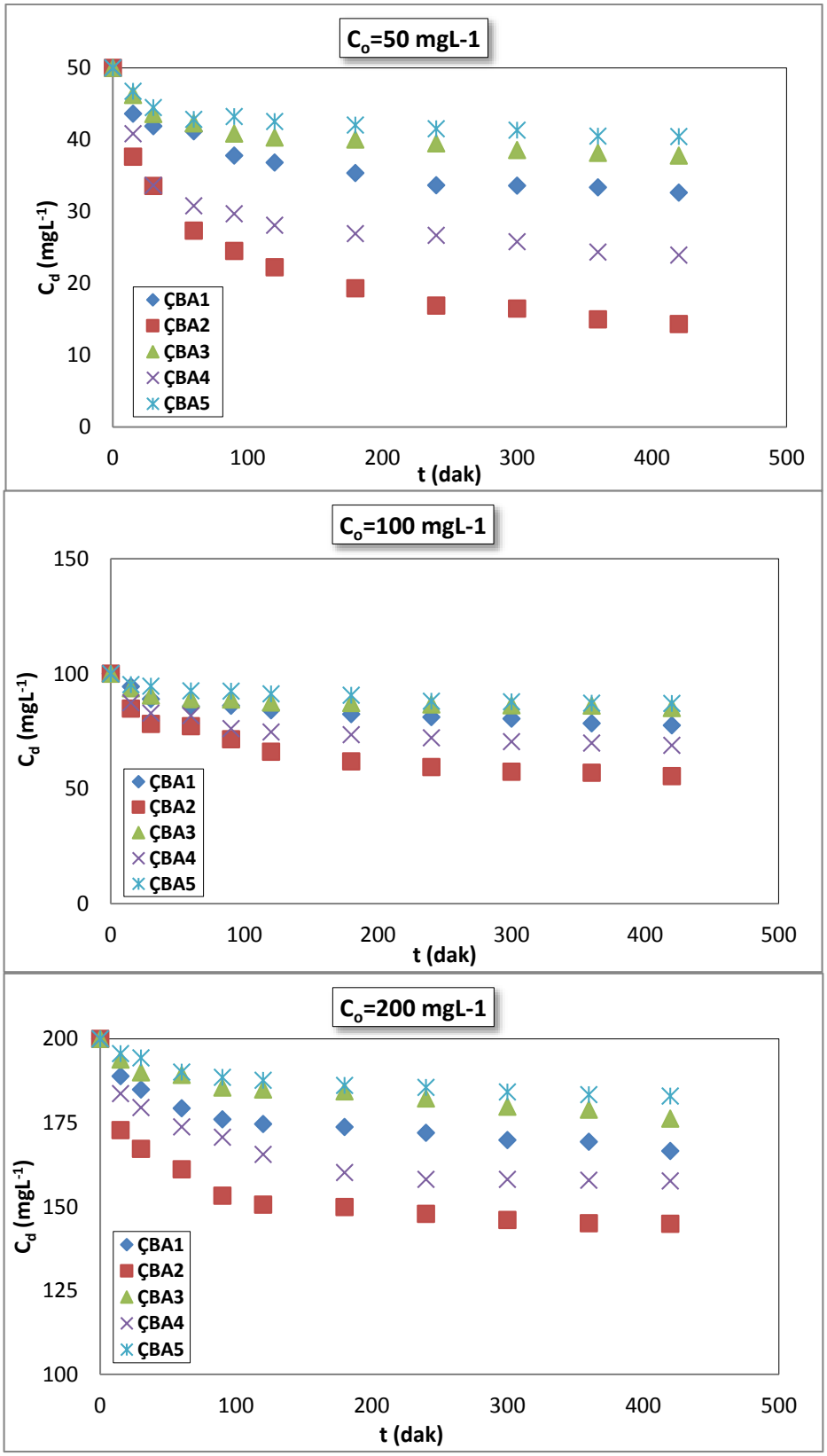
Şekil 4.41. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan MB miktarına başlangıç derişiminin etkisi (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



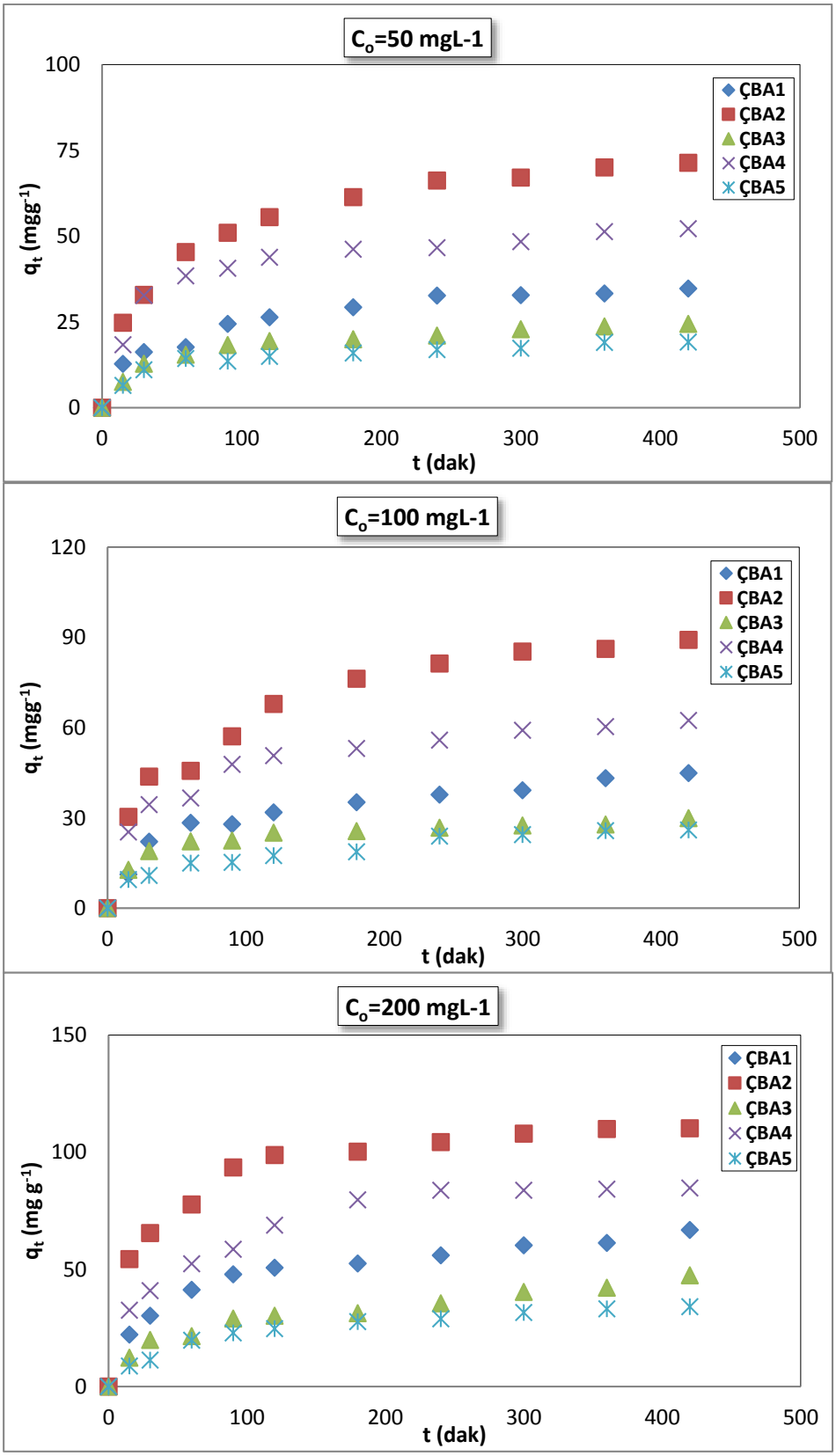
Şekil 4.42. Farklı başlangıç derişimlerindeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik eğrileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



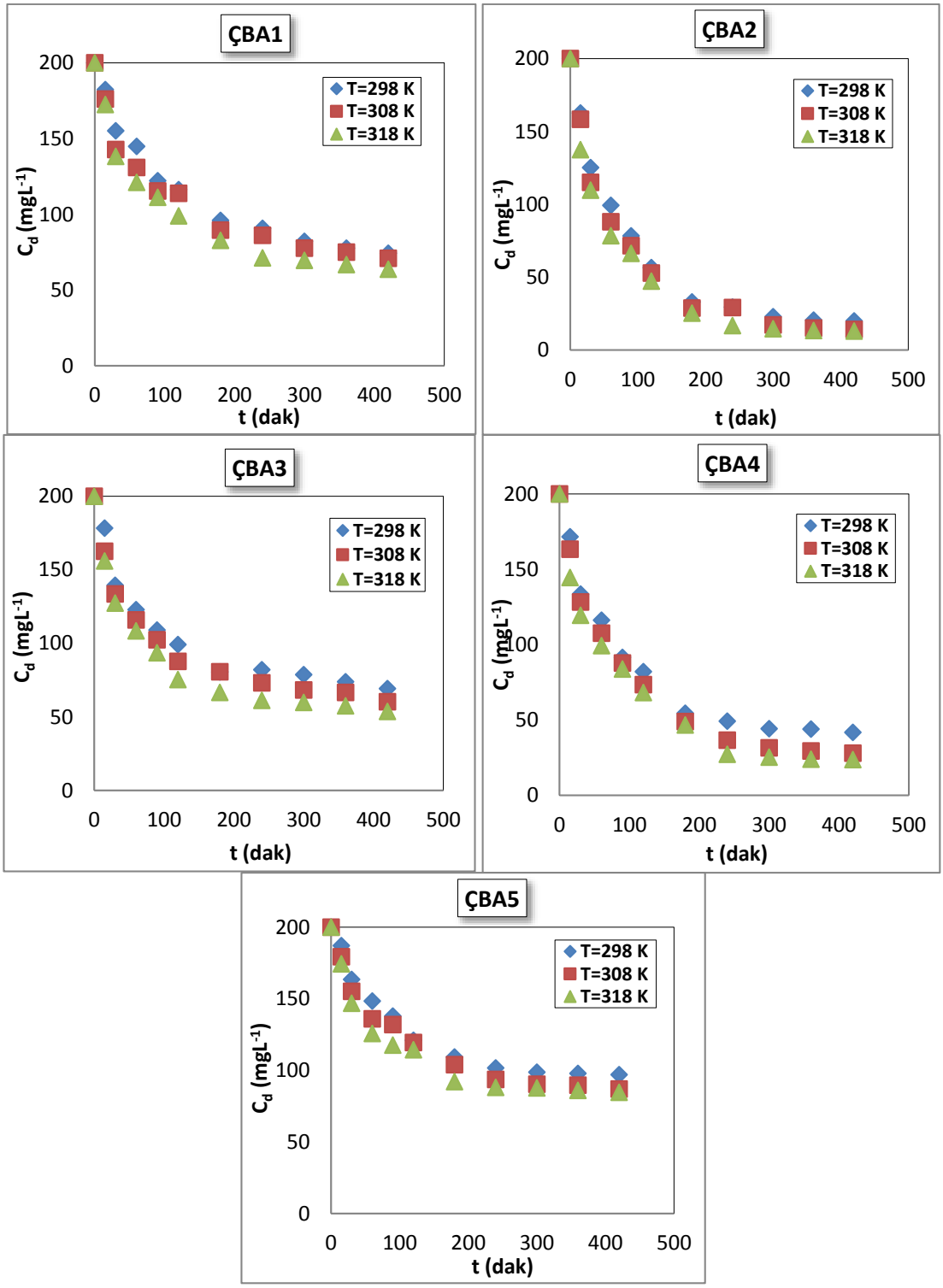
Şekil 4.43. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan Cu(II) miktarına başlangıç derişiminin etkisi (m=0.025 g, V=50 mL,T=298 K, hız=120 rpm)



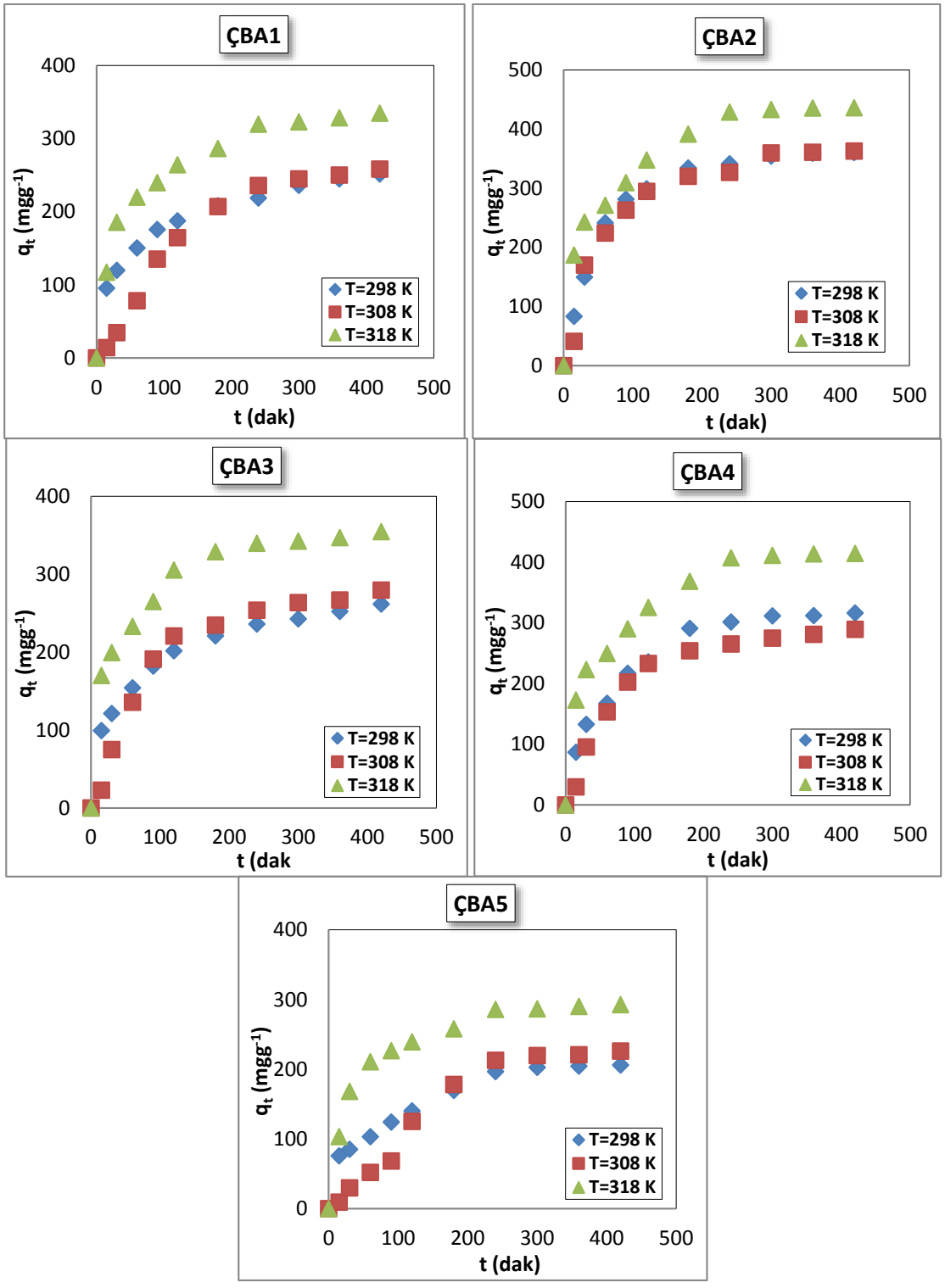
Şekil 4.44. Farklı başlangıç derişimlerindeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun kinetik eğrileri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



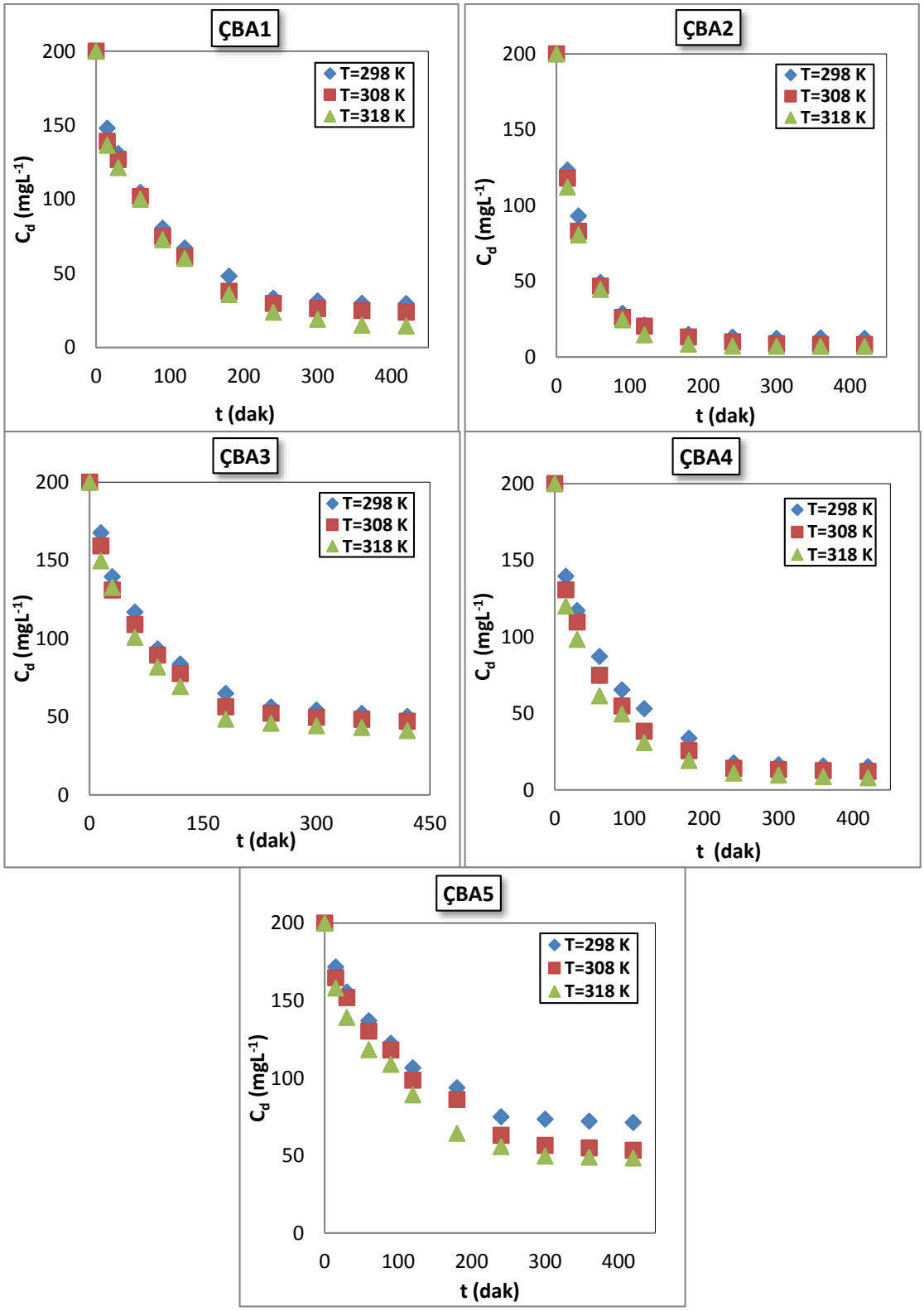
Şekil 4.45. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan Ni(II) miktarına başlangıç derişiminin etkisi (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



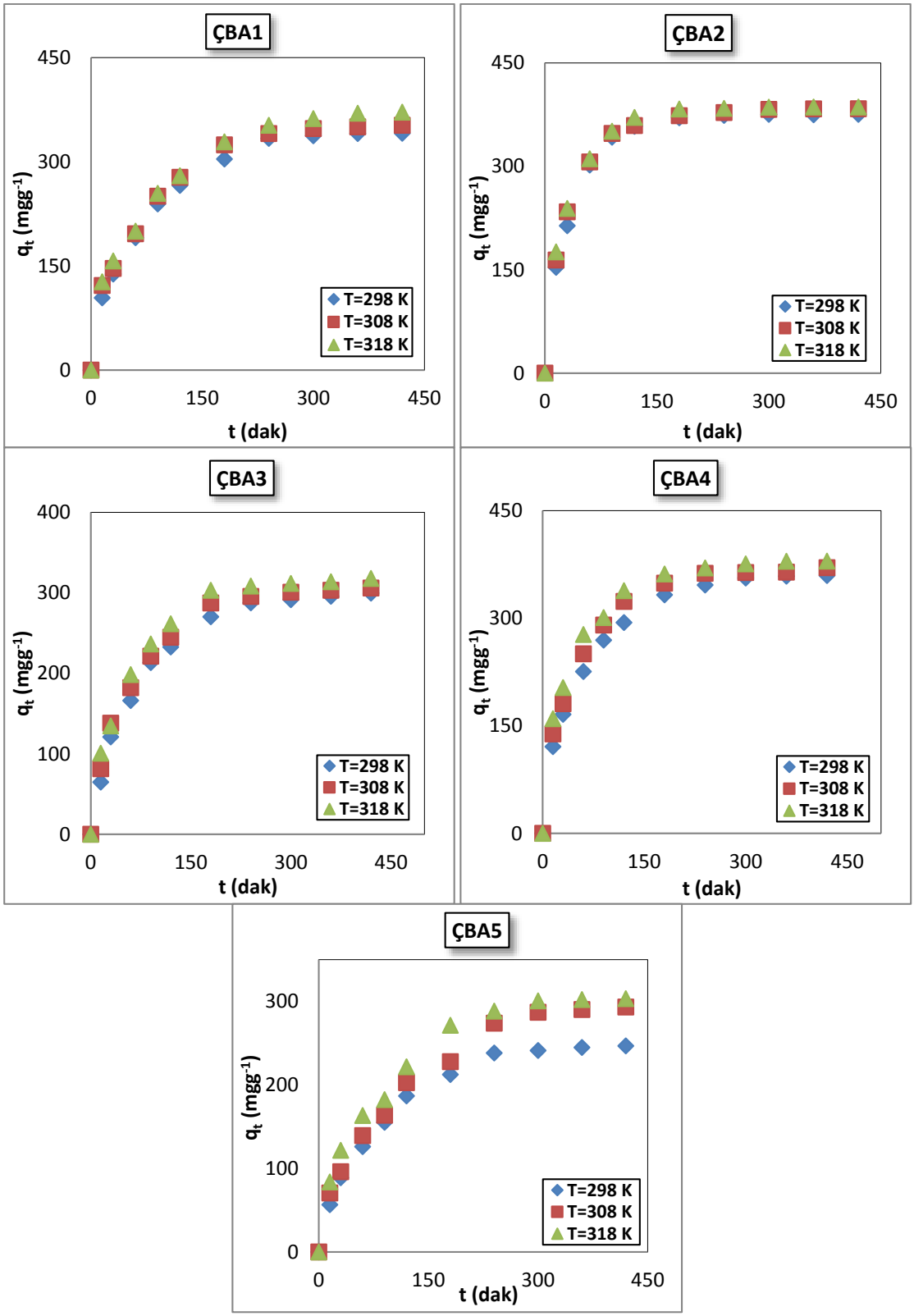
Şekil 4.46. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonun kinetik eğrileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



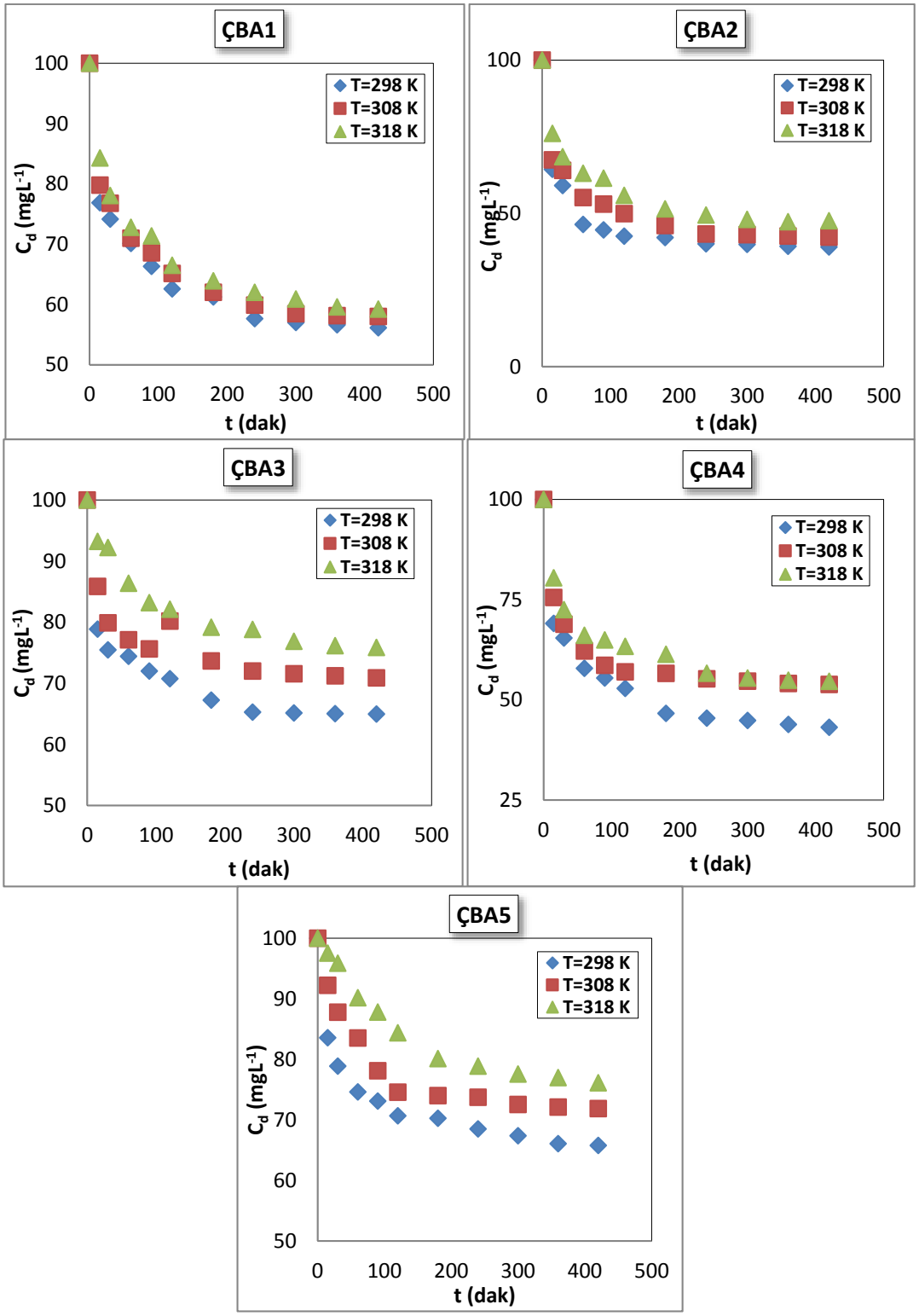
Şekil 4.47. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan MG miktarına sıcaklığın etkisi (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



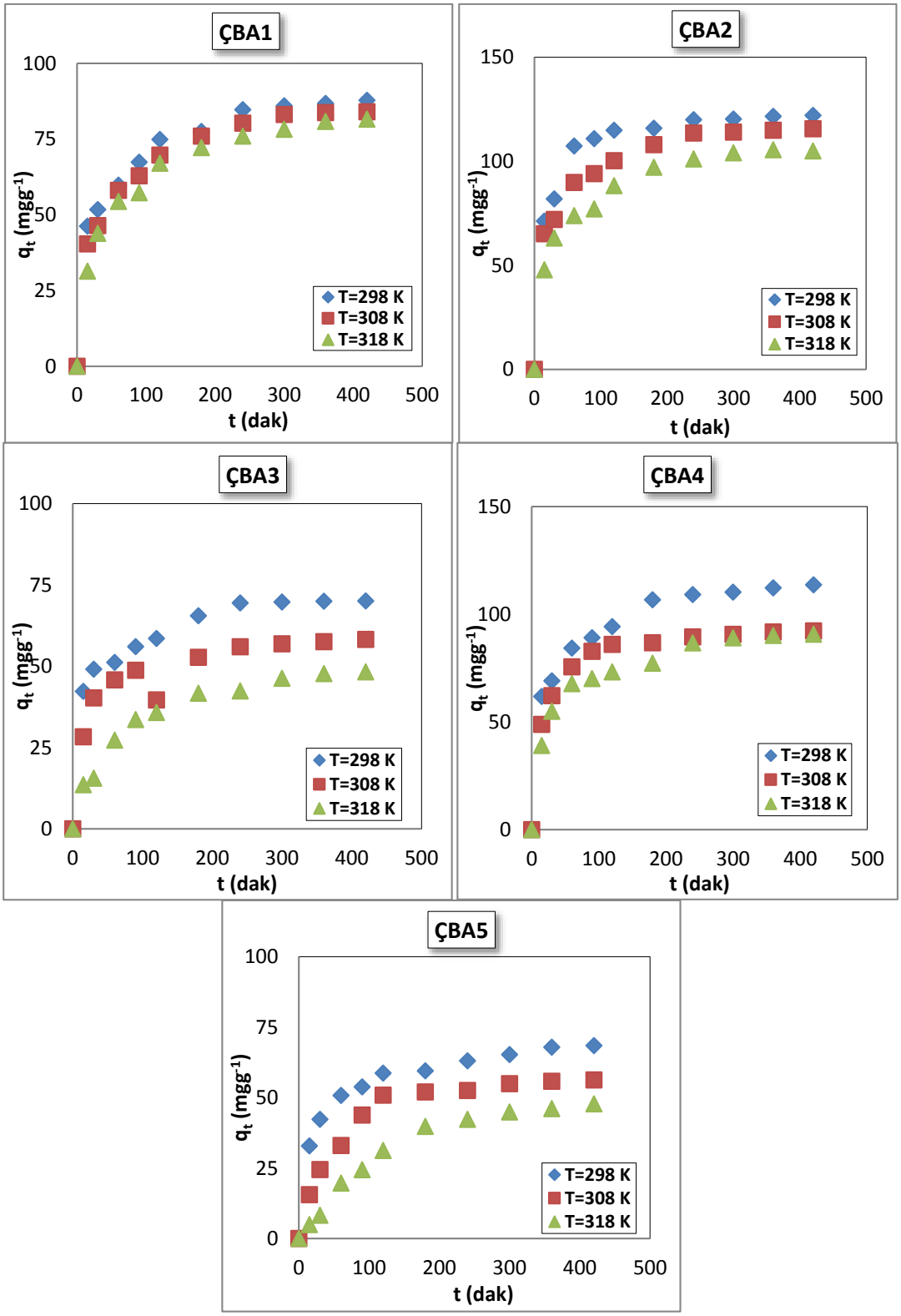
Şekil 4.48. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonun eğrileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



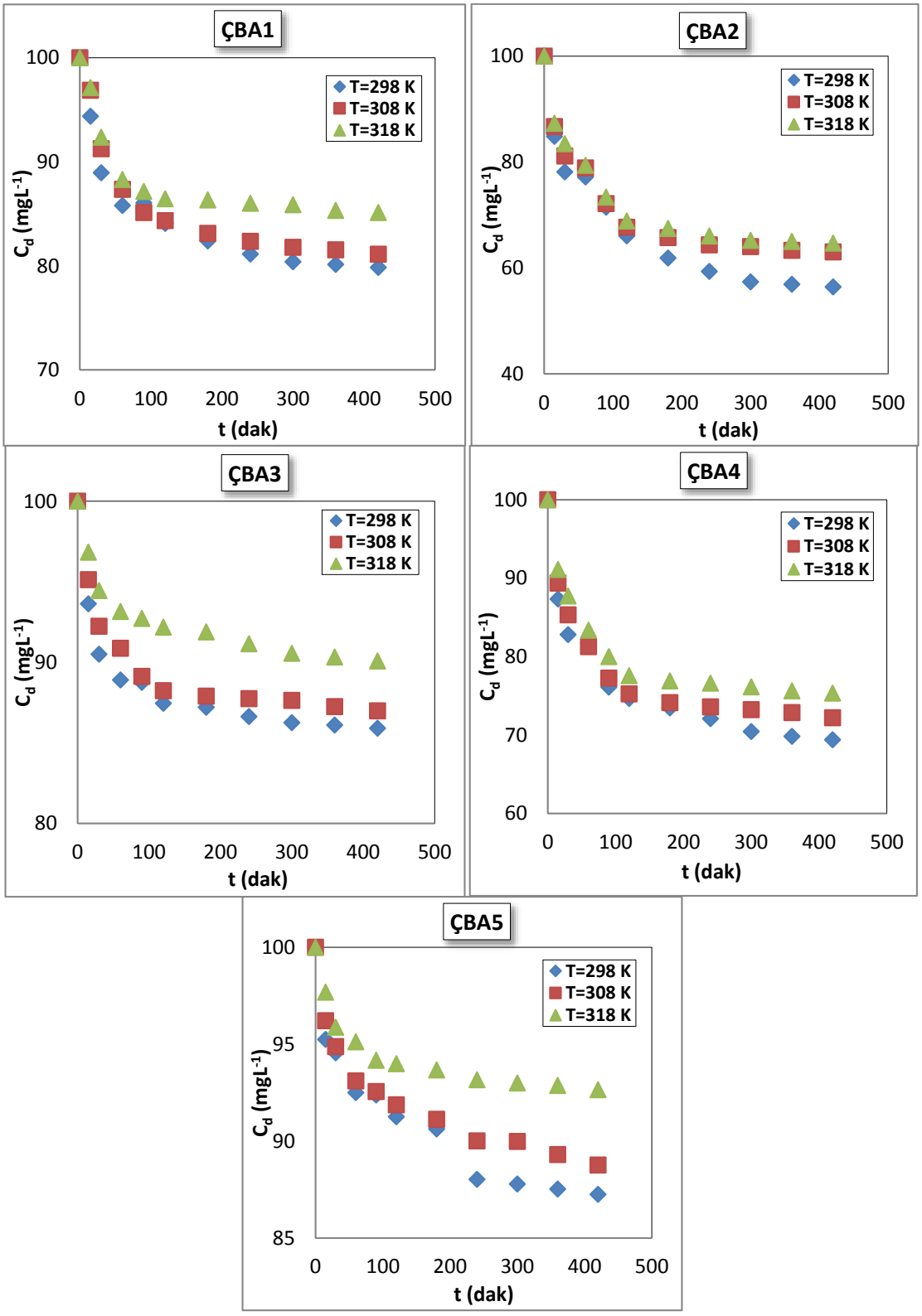
Şekil 4.49. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan MB miktarına sıcaklığın etkisi (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



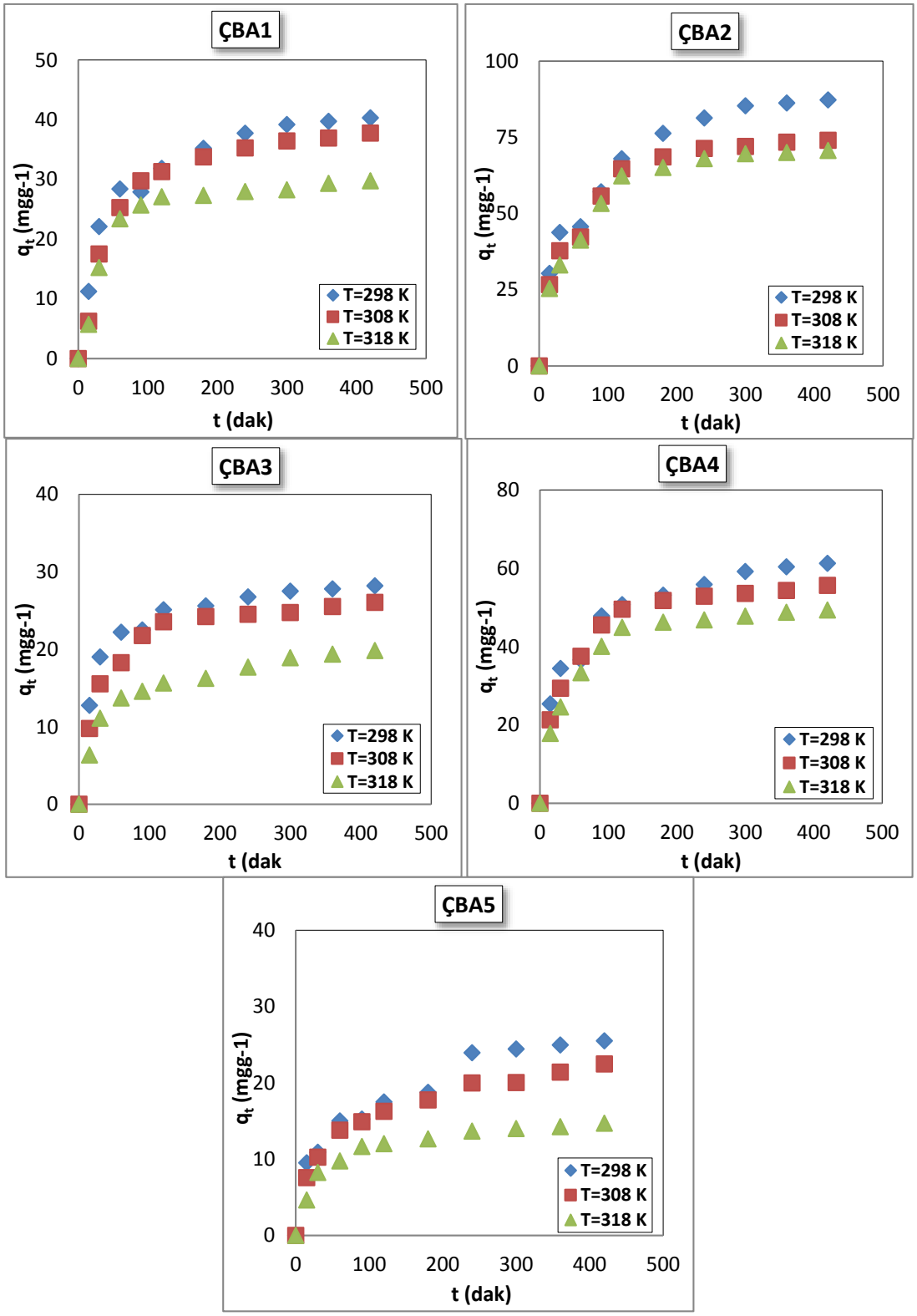
Şekil 4.50. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonun kinetik eğrileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



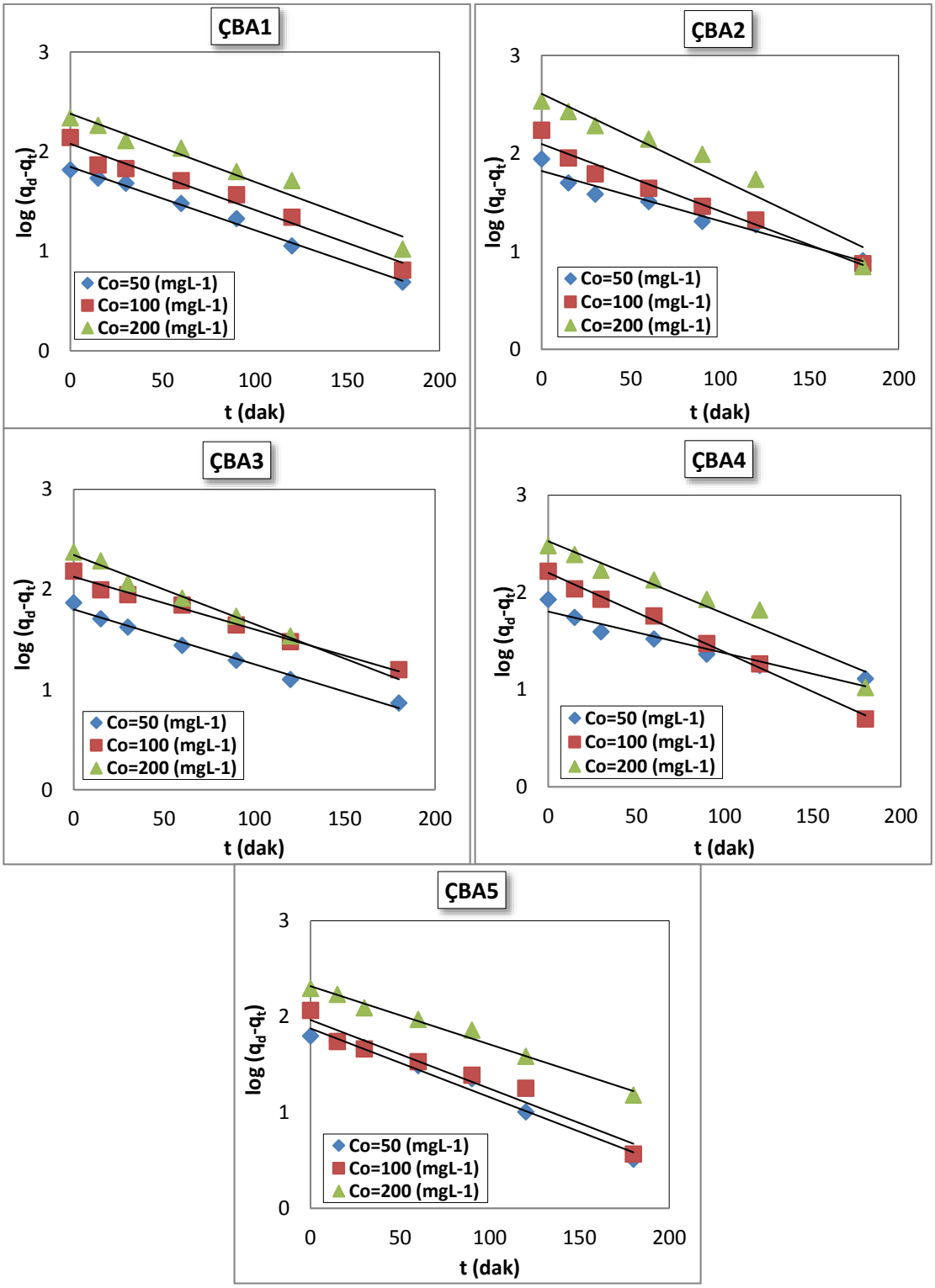
Şekil 4.51. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan Cu(II) miktarına sıcaklığın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



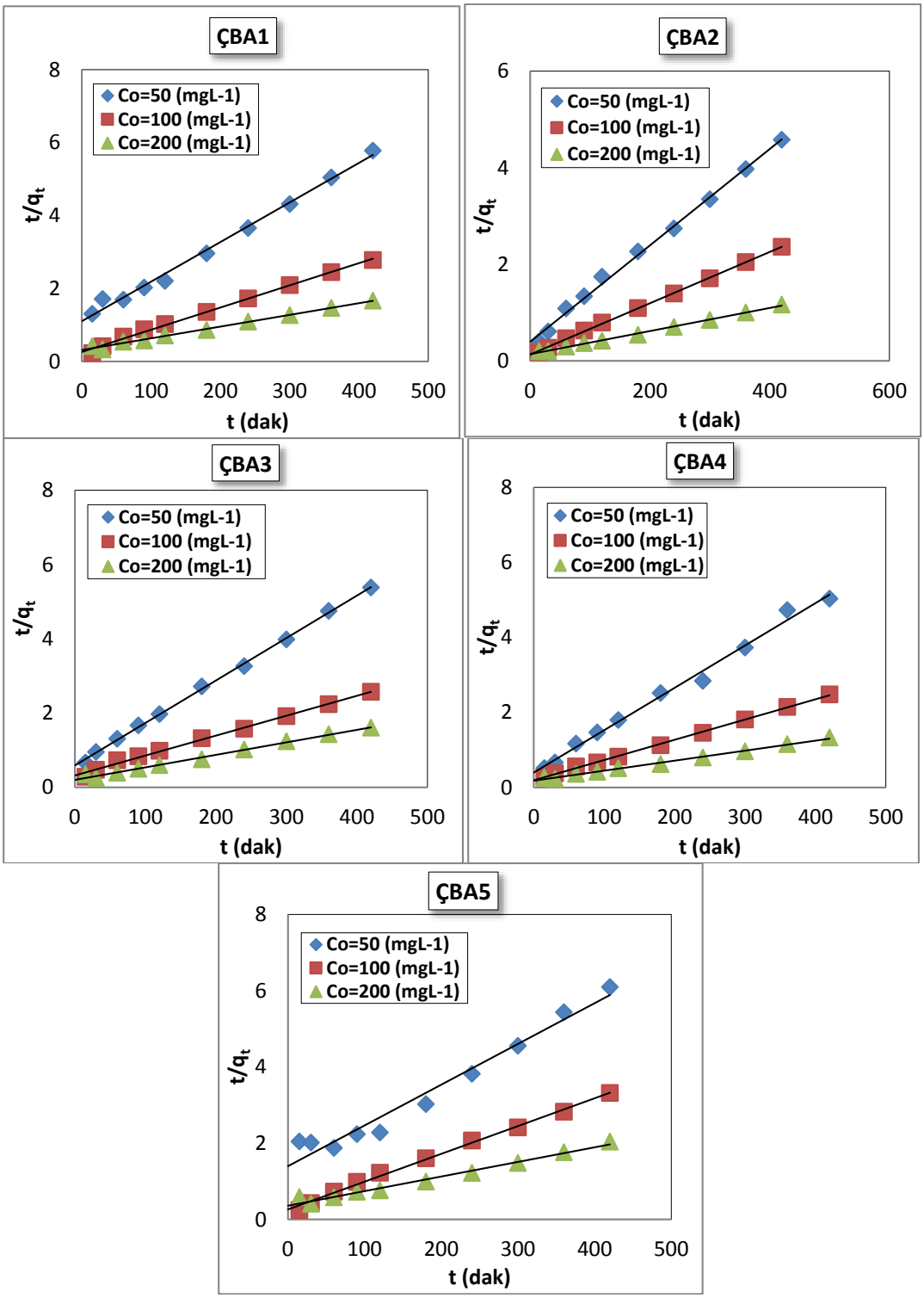
Şekil 4.52. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonun kinetik (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



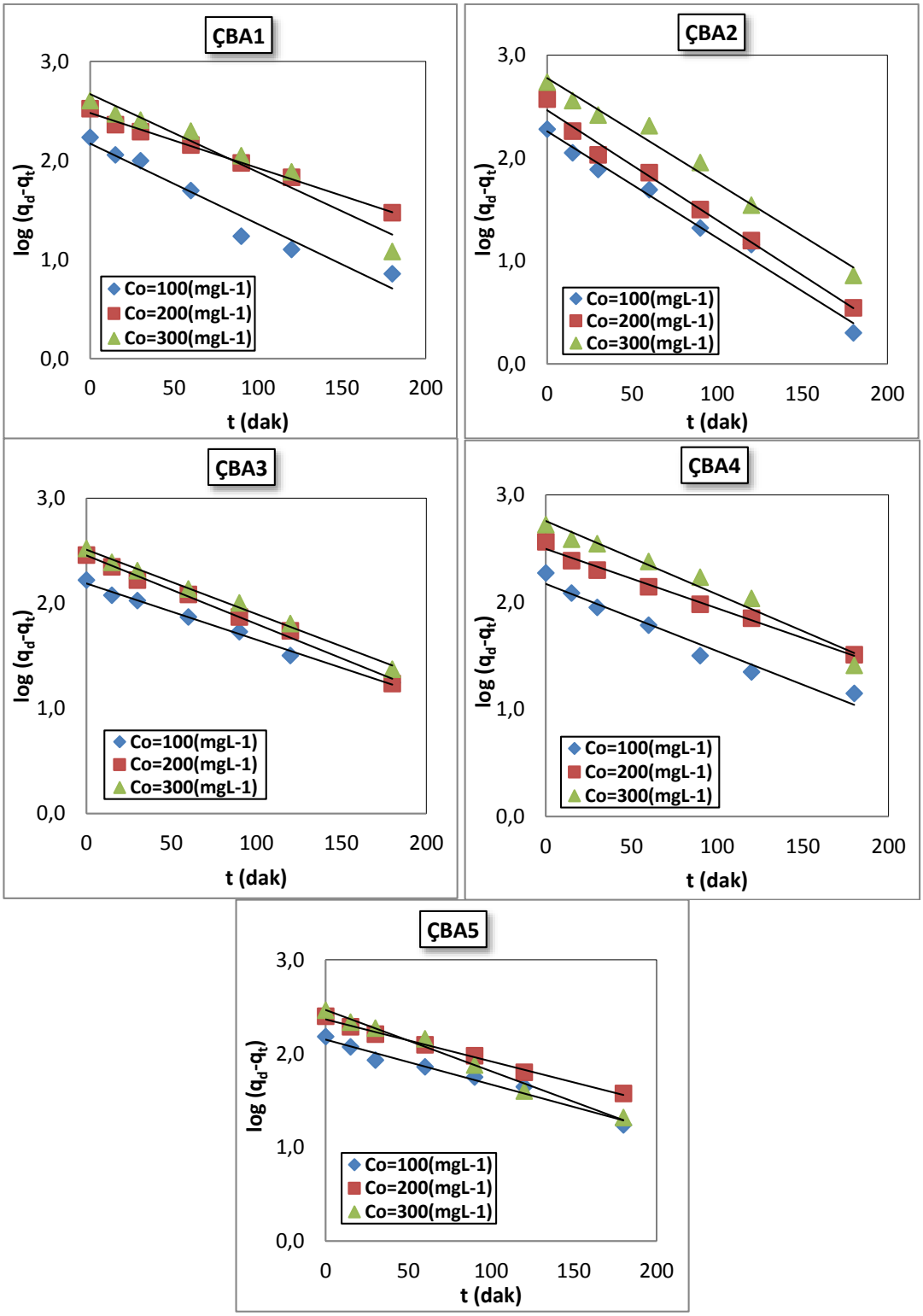
Şekil 4.53. ÇBA kompozitleri üzerinde adsorplanan Ni(II) miktarına sıcaklığın etkisi (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



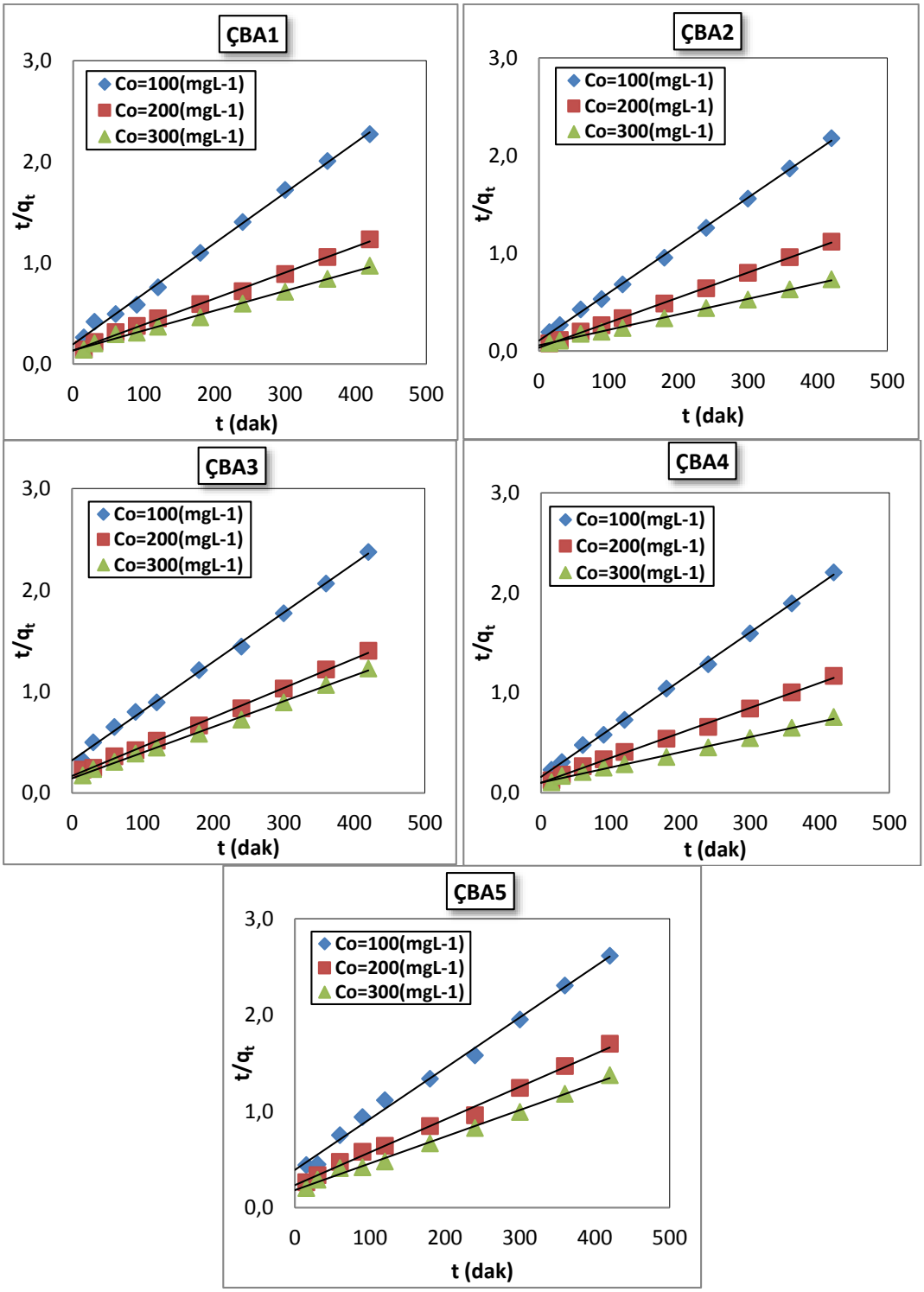
Şekil 4.54. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



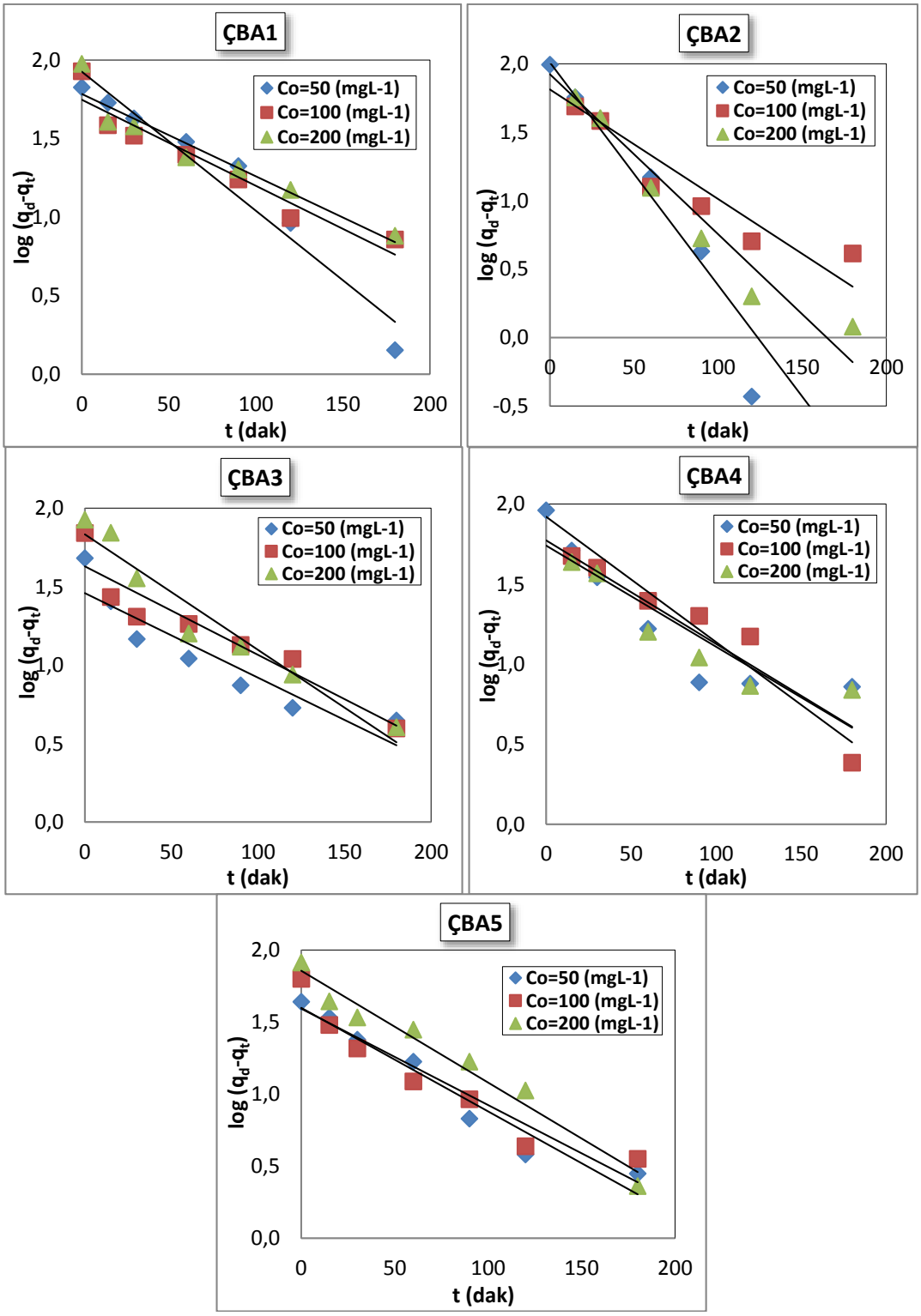
Şekil 4.55. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



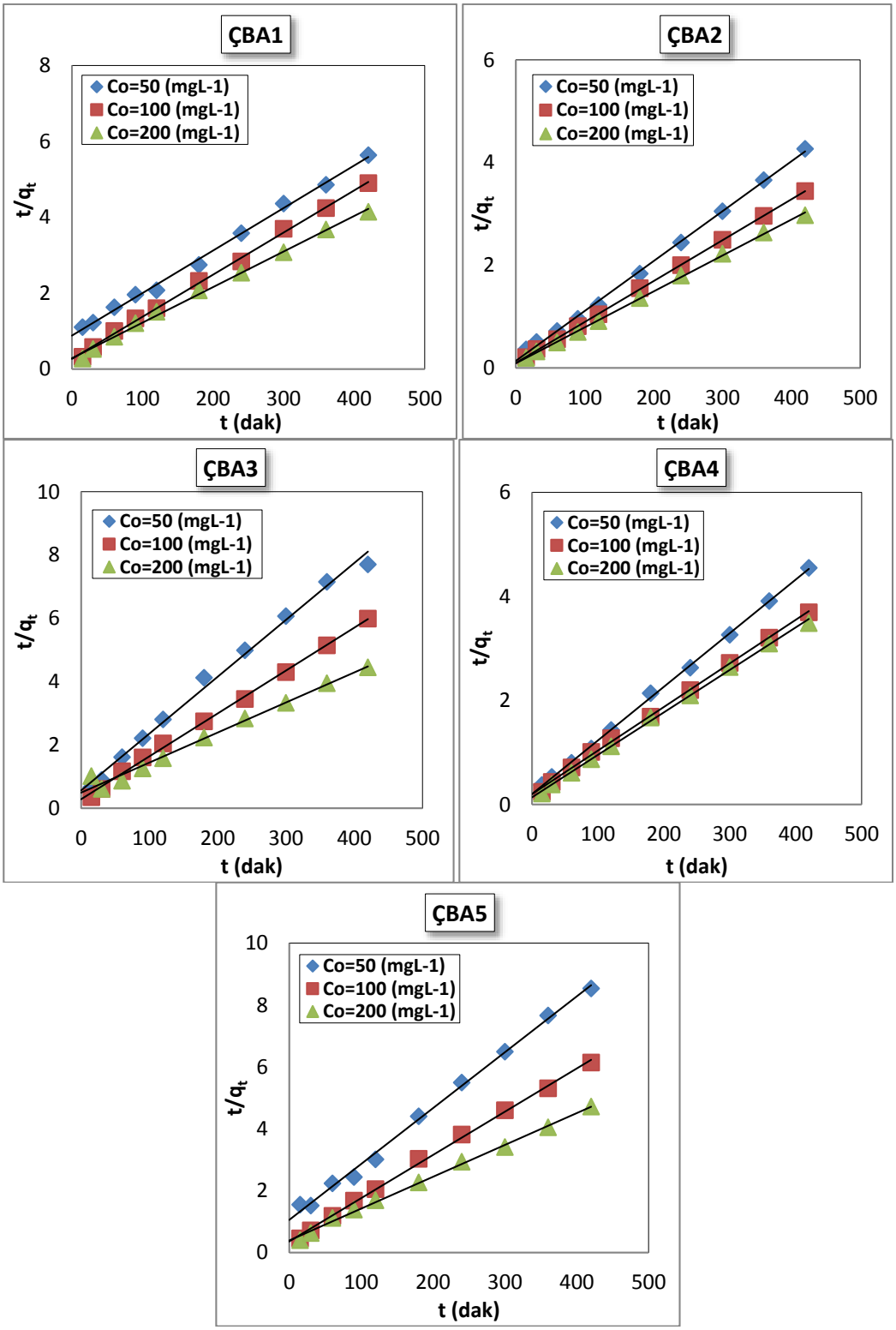
Şekil 4.56. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



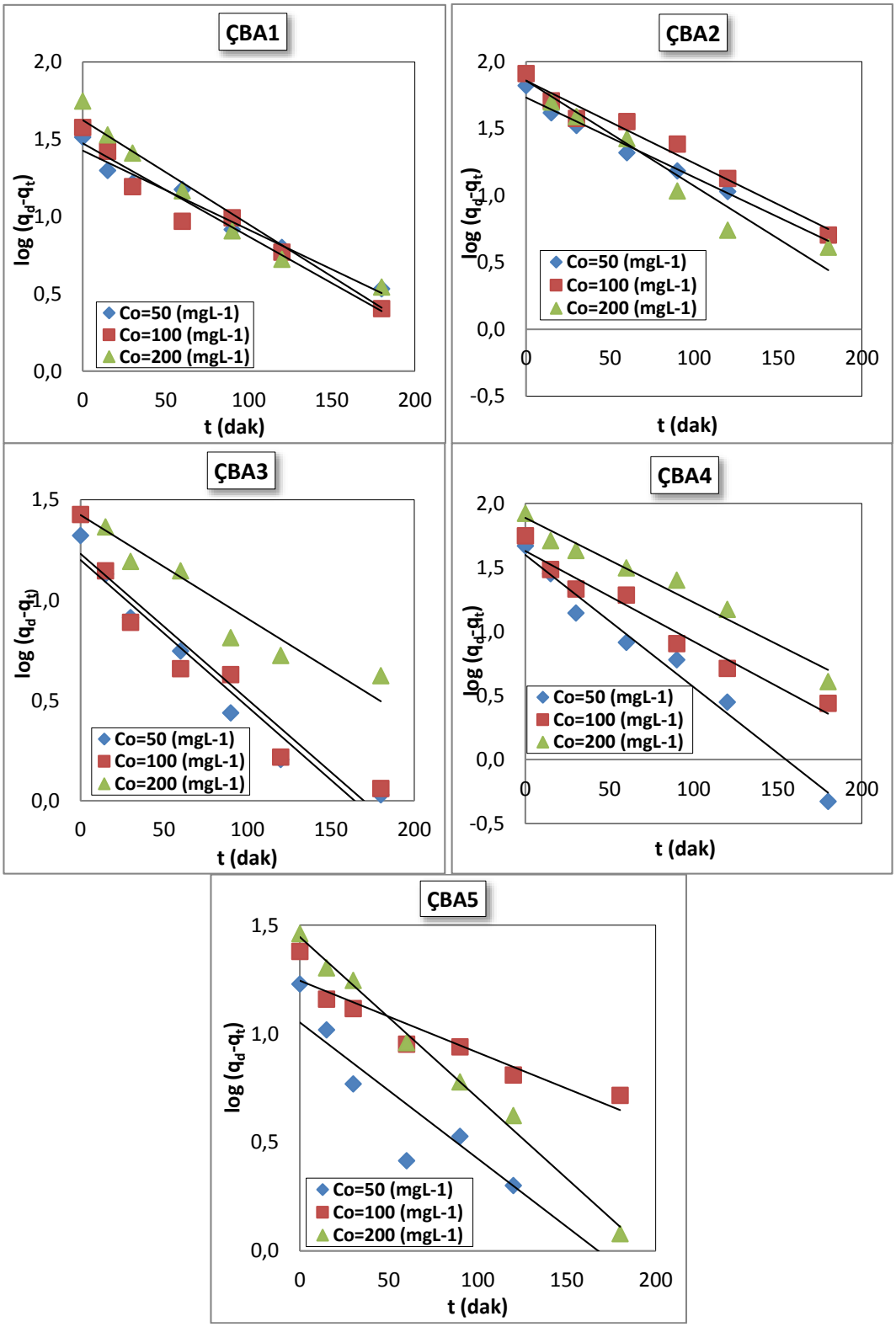
Şekil 4.57. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



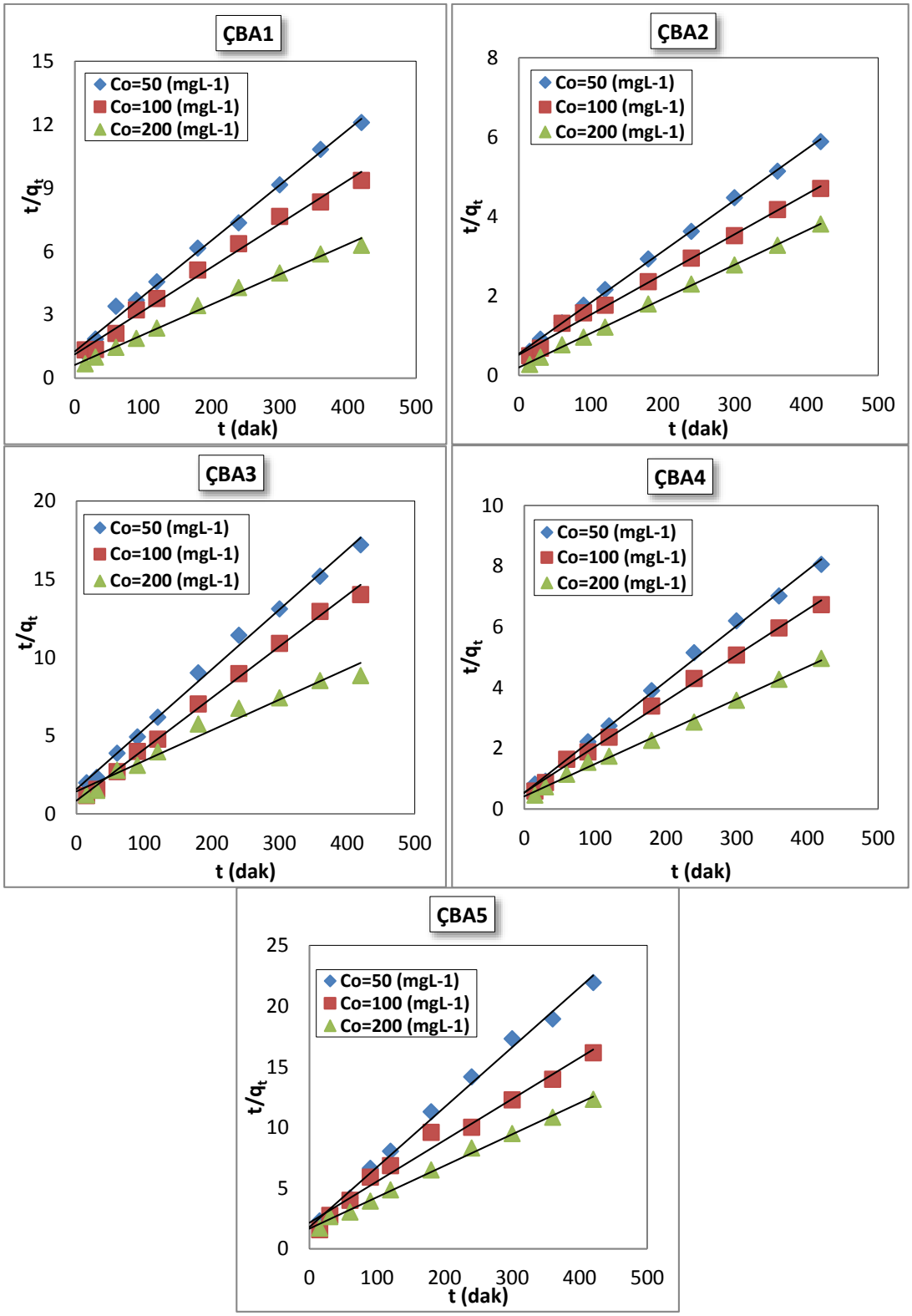
Şekil 4.58. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



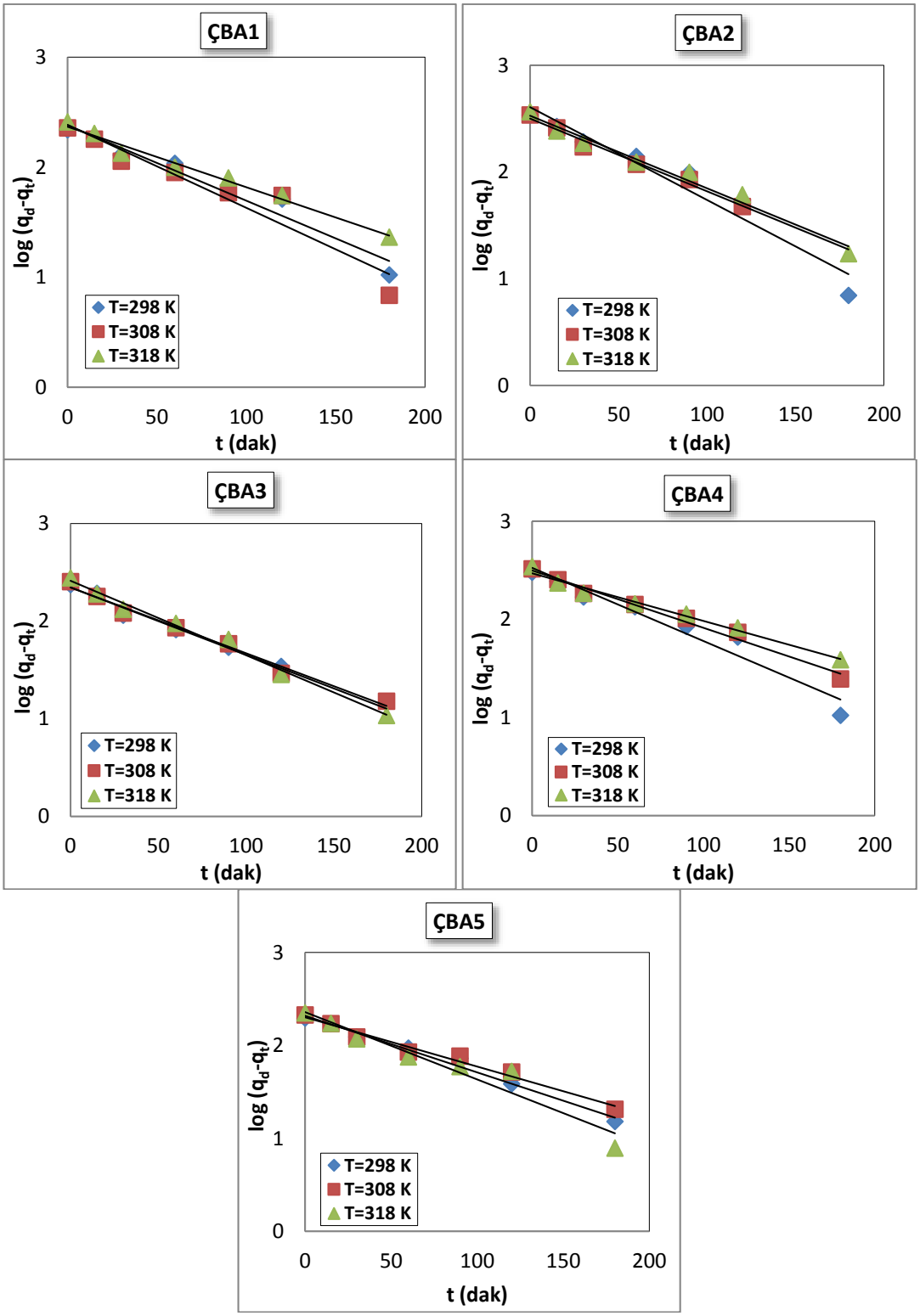
Şekil 4.59. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



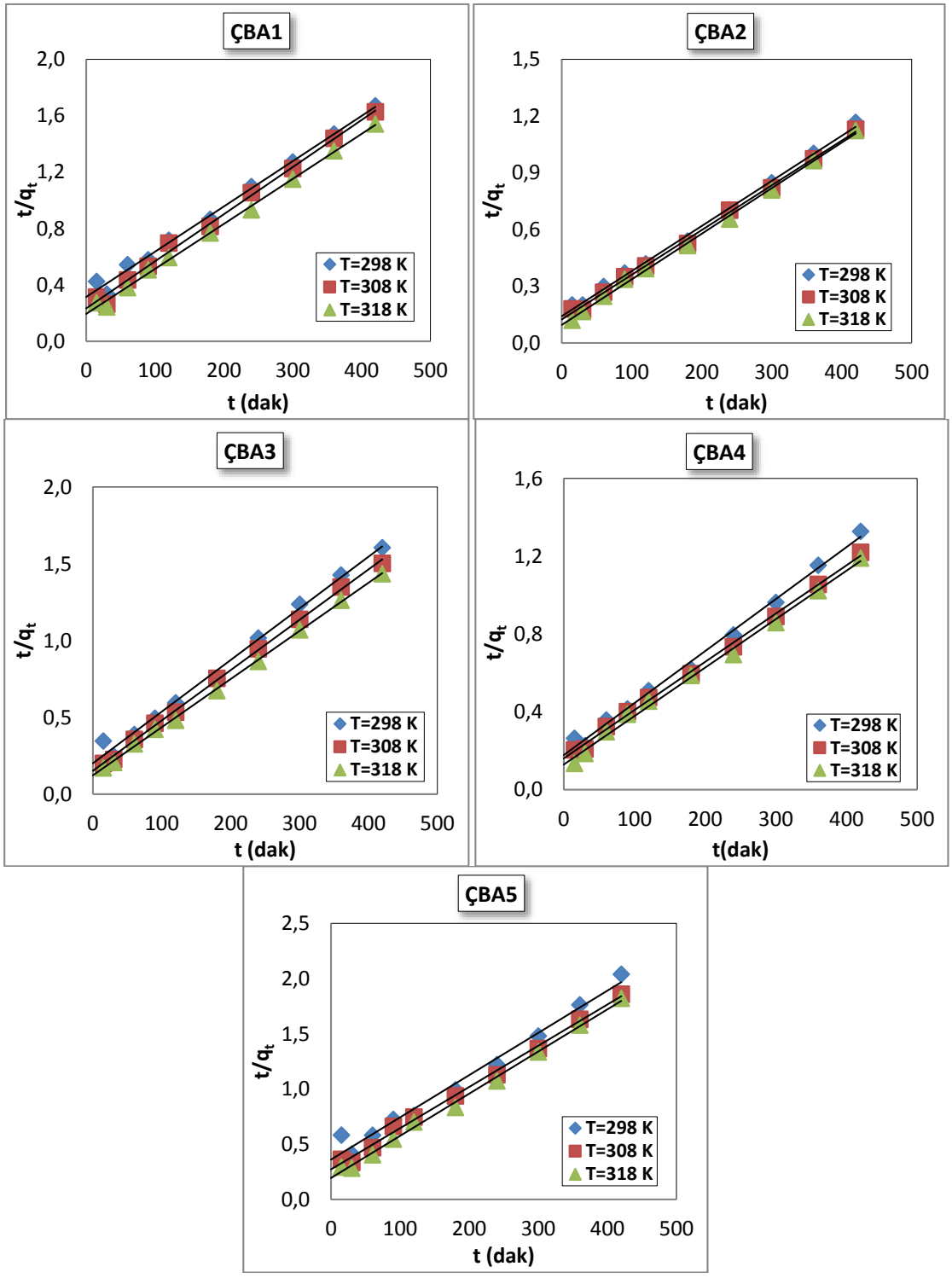
Şekil 4.60. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



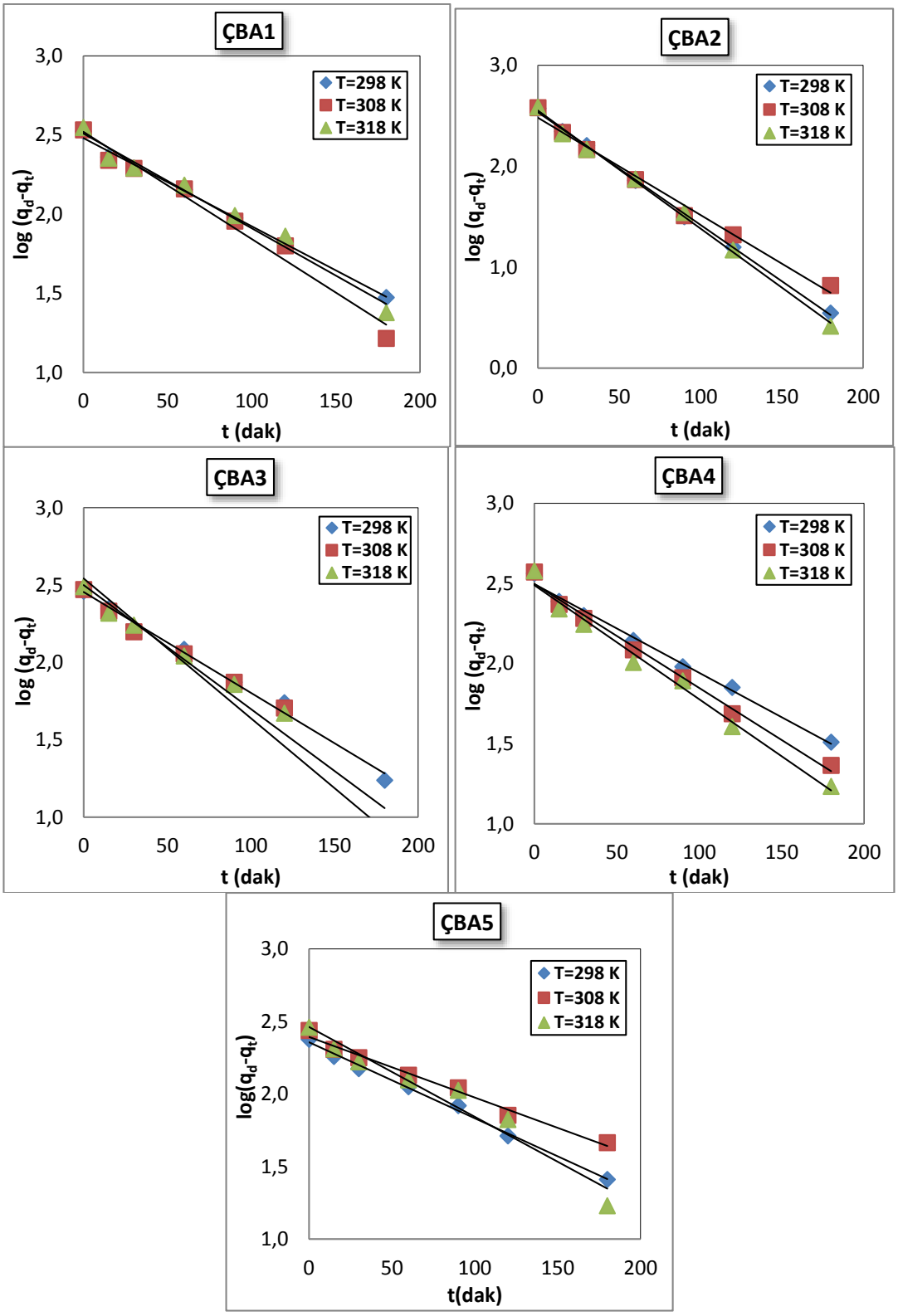
Şekil 4.61. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



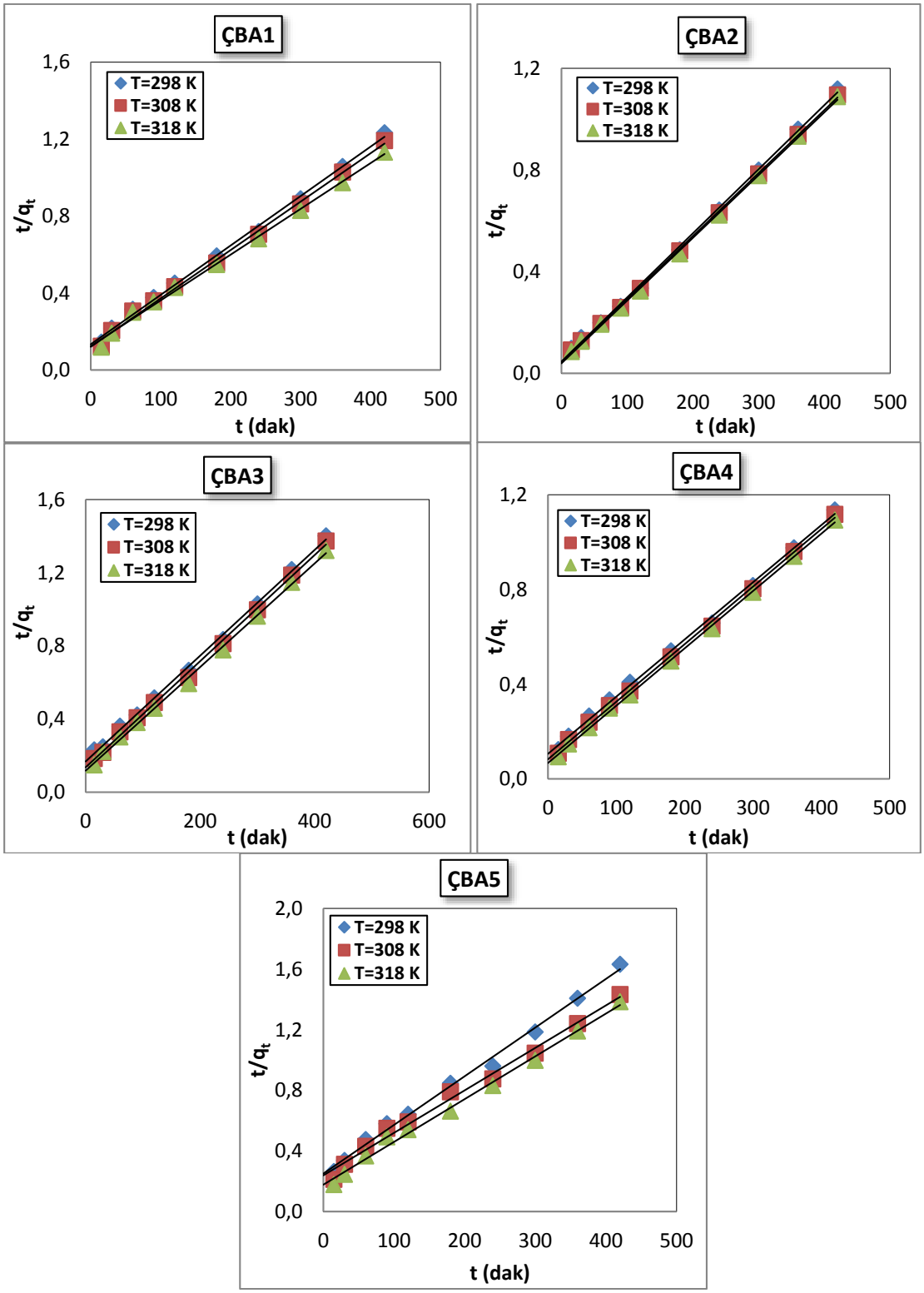
Şekil 4.62. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



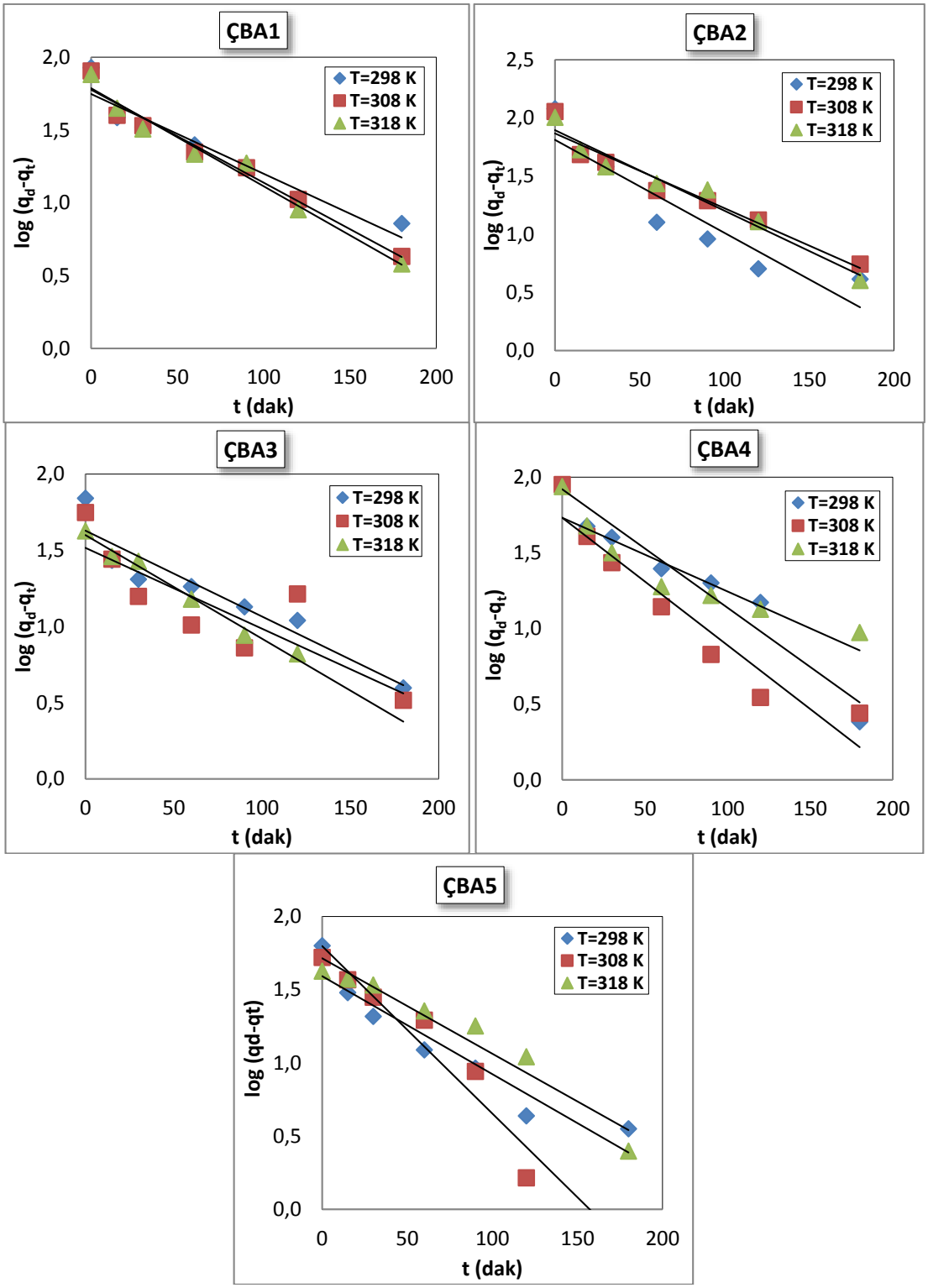
Şekil 4.63. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



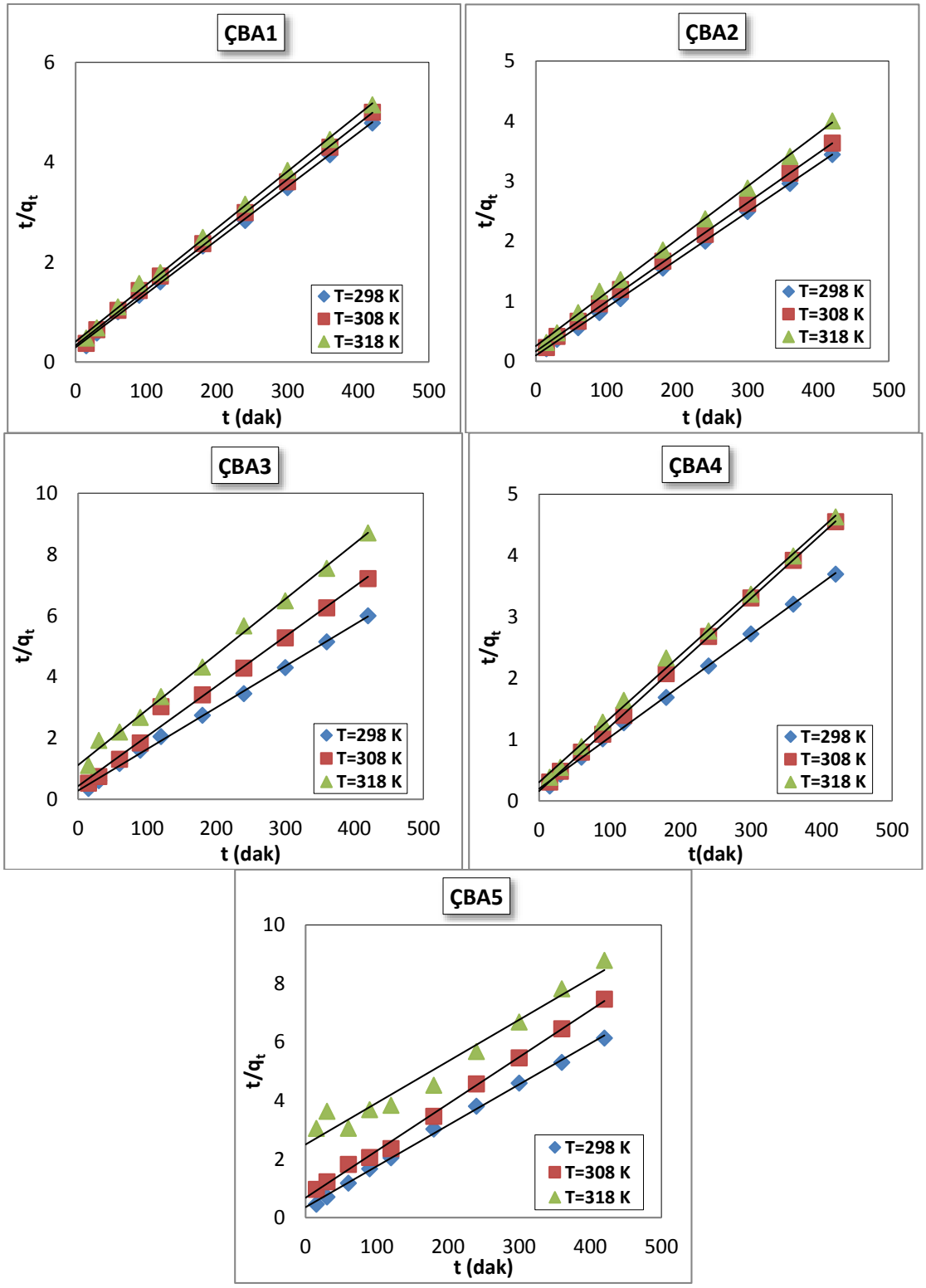
Şekil 4.64. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



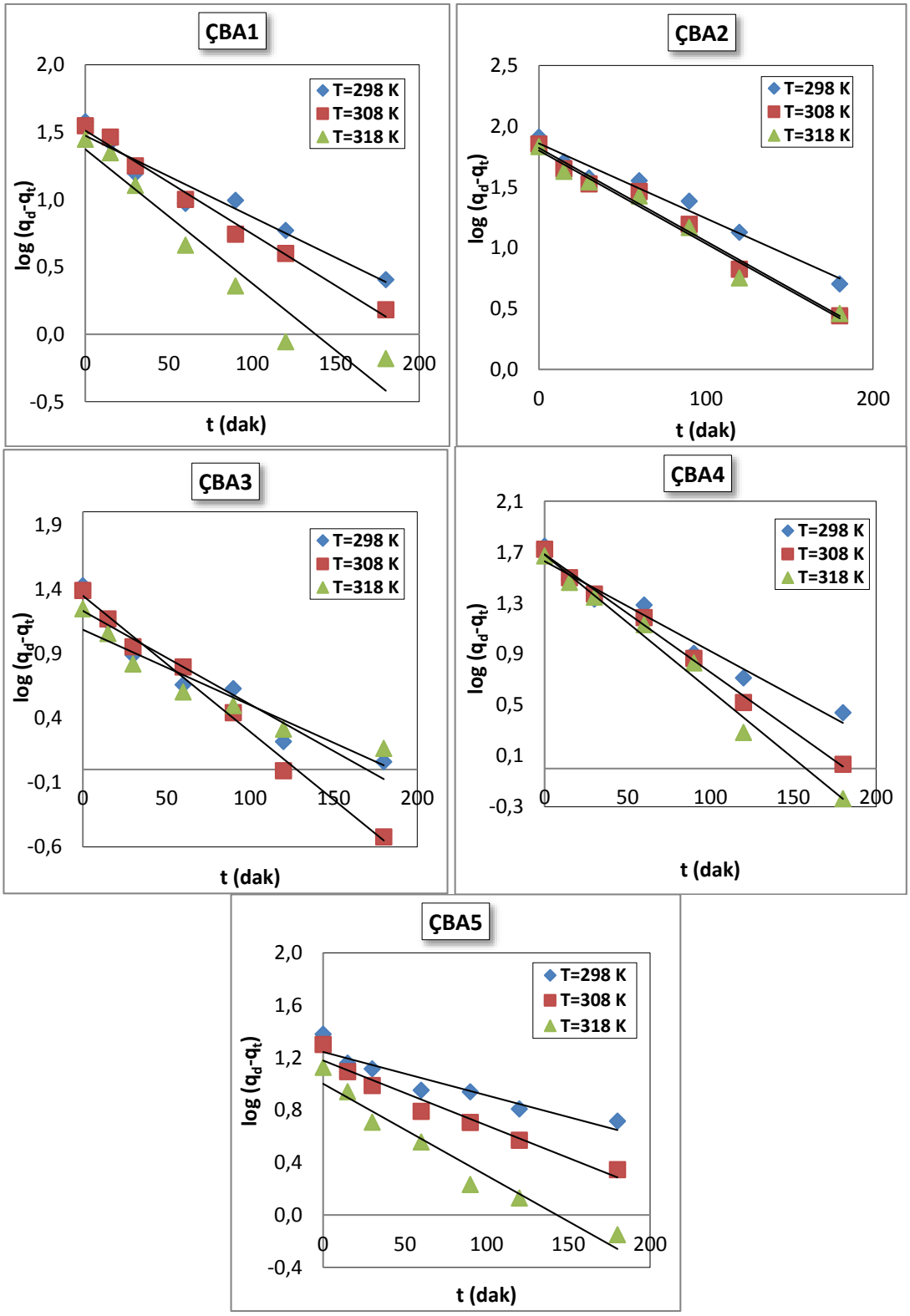
Şekil 4.65. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



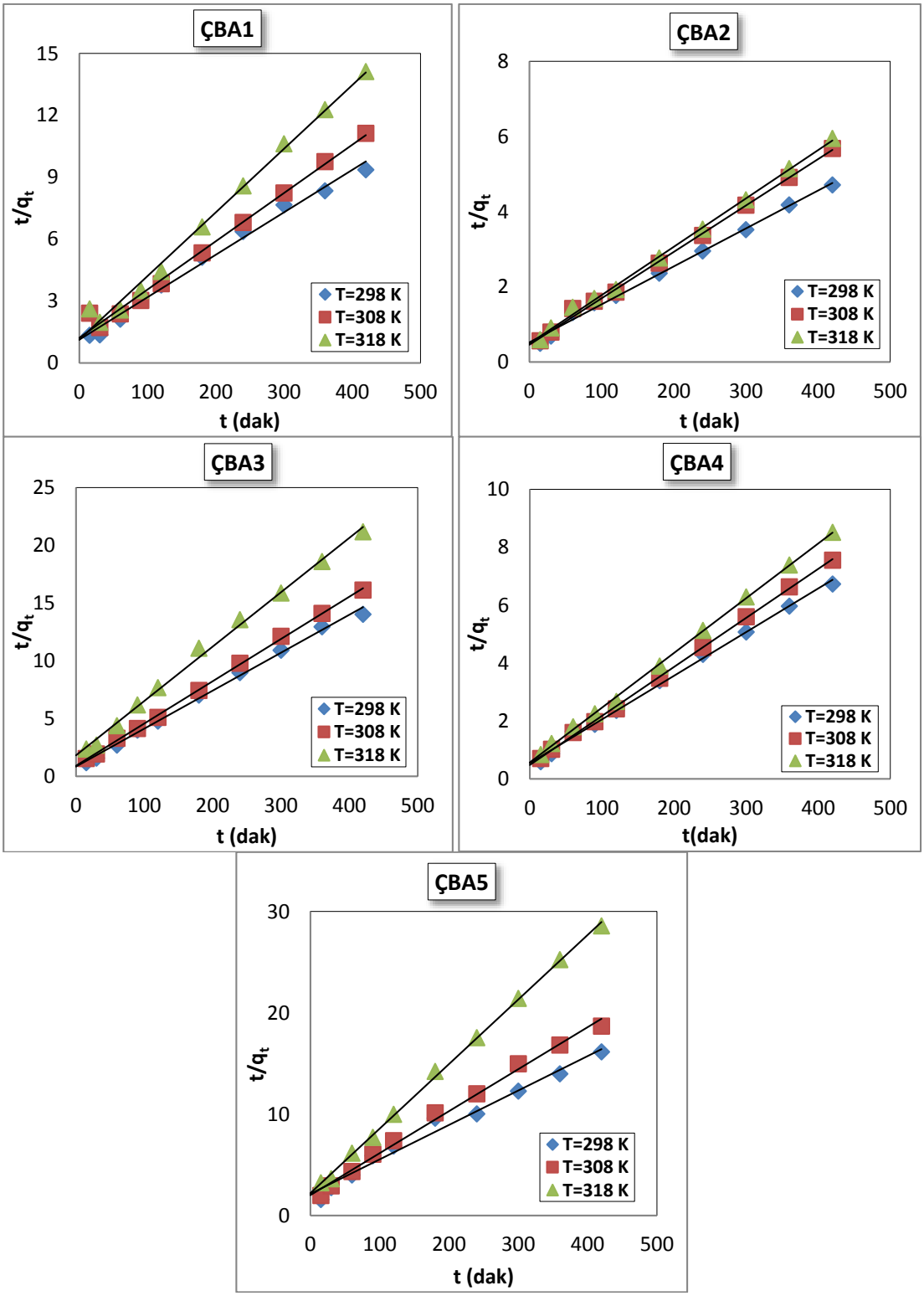
Şekil 4.66. Farklı sıcaklıklardaki Cu (II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



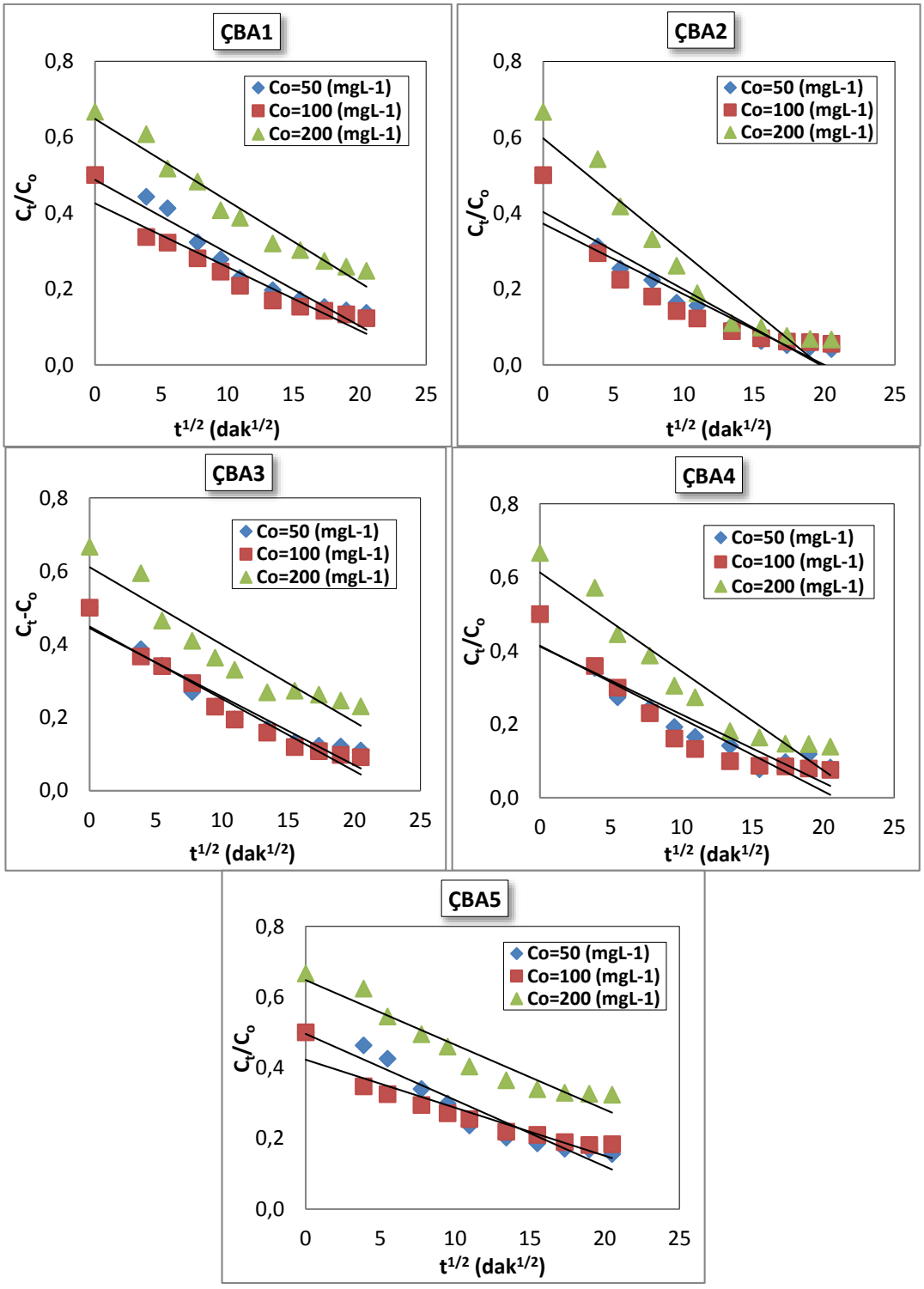
Şekil 4.67. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



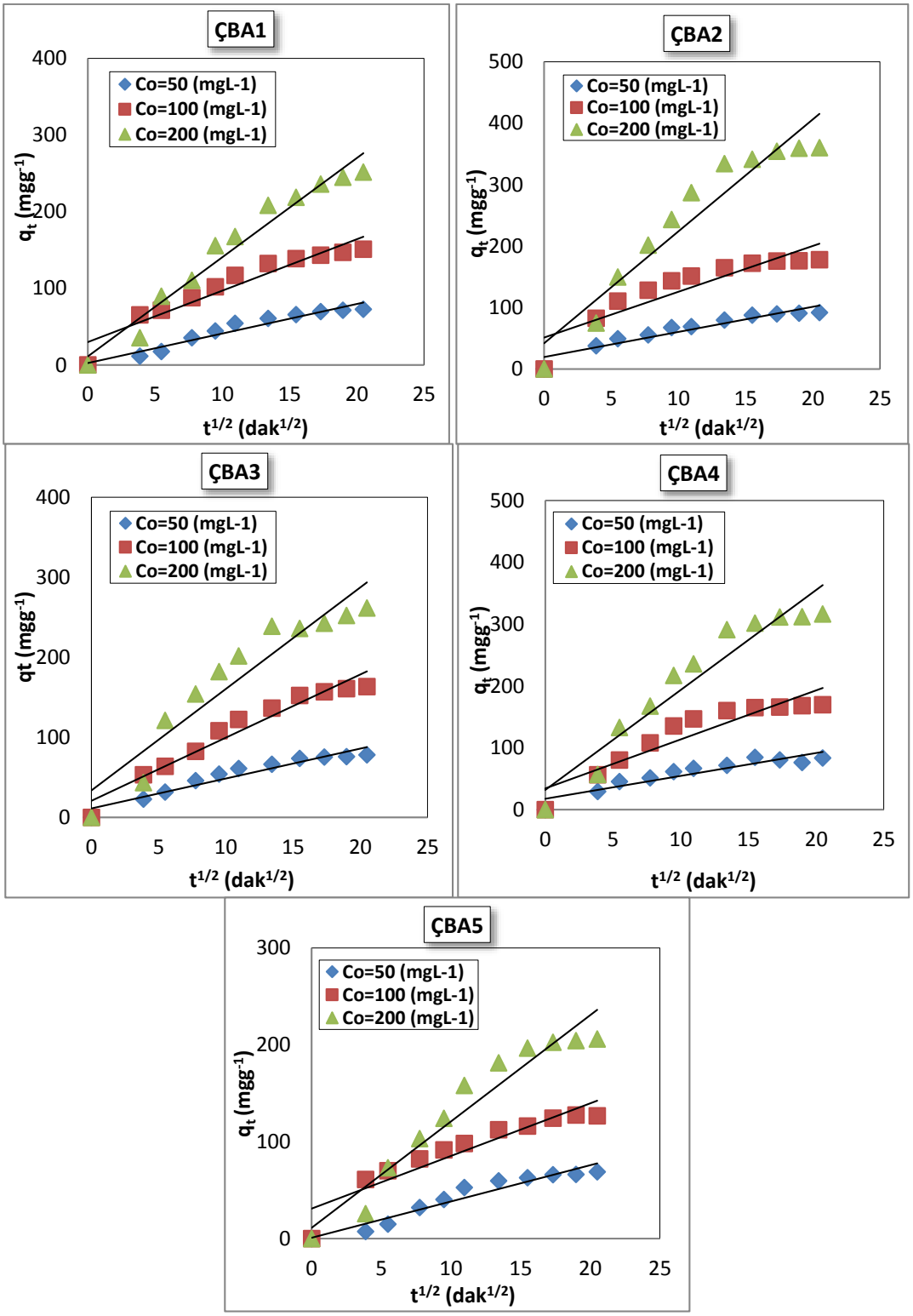
Şekil 4.68. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-birinci mertebe çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



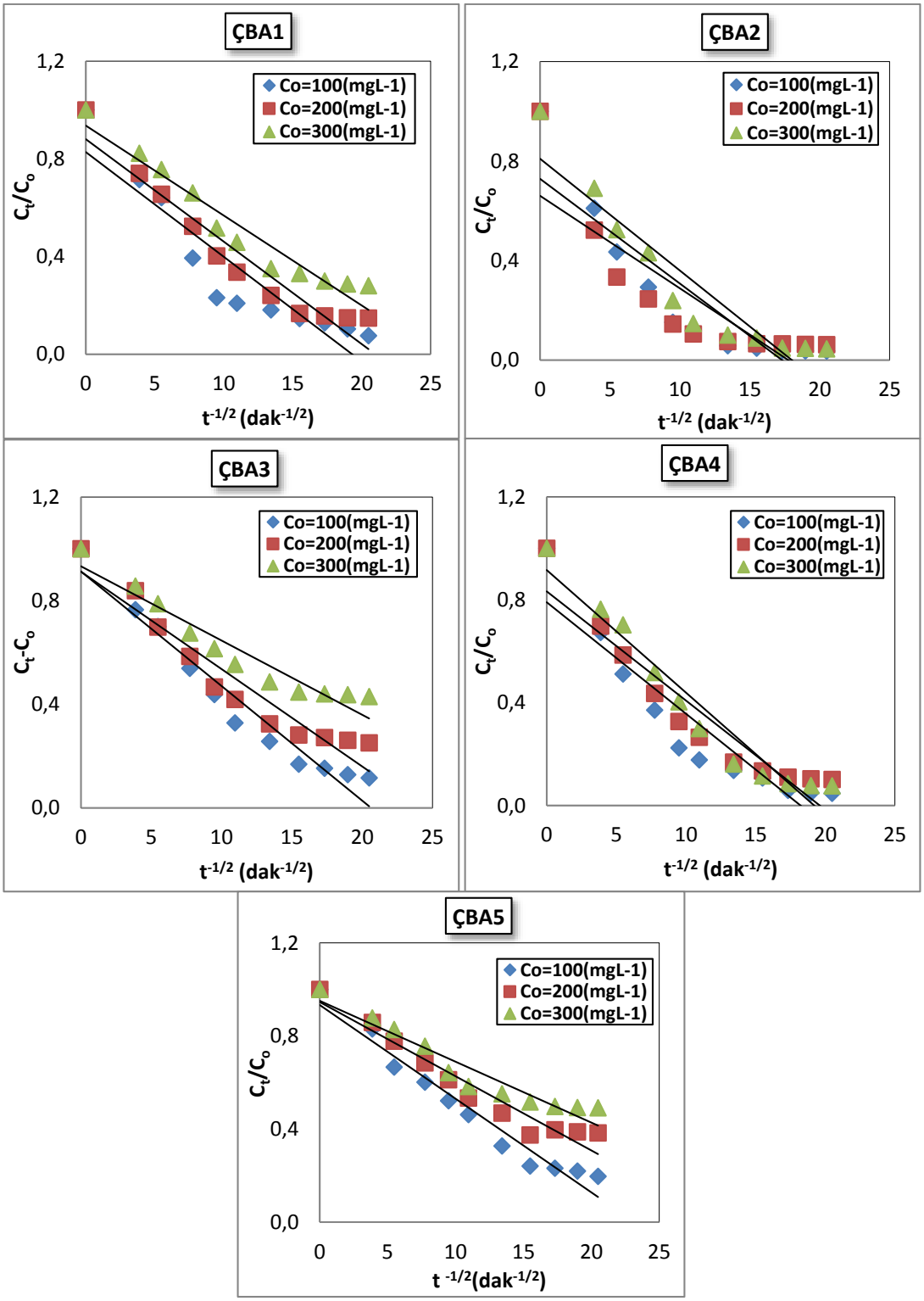
Şekil 4.69. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun psödo-ikinci mertebe çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



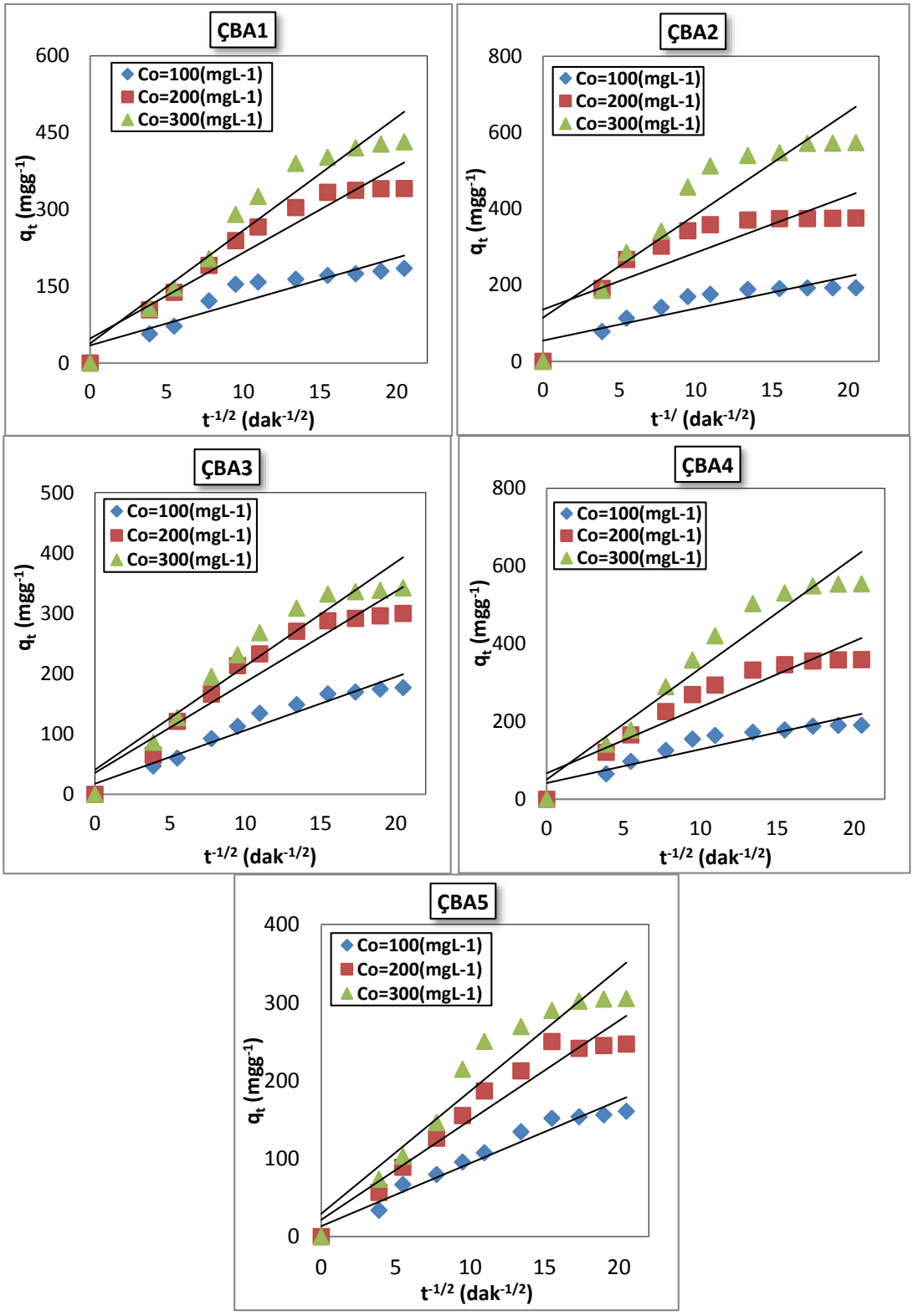
Şekil 4.70. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



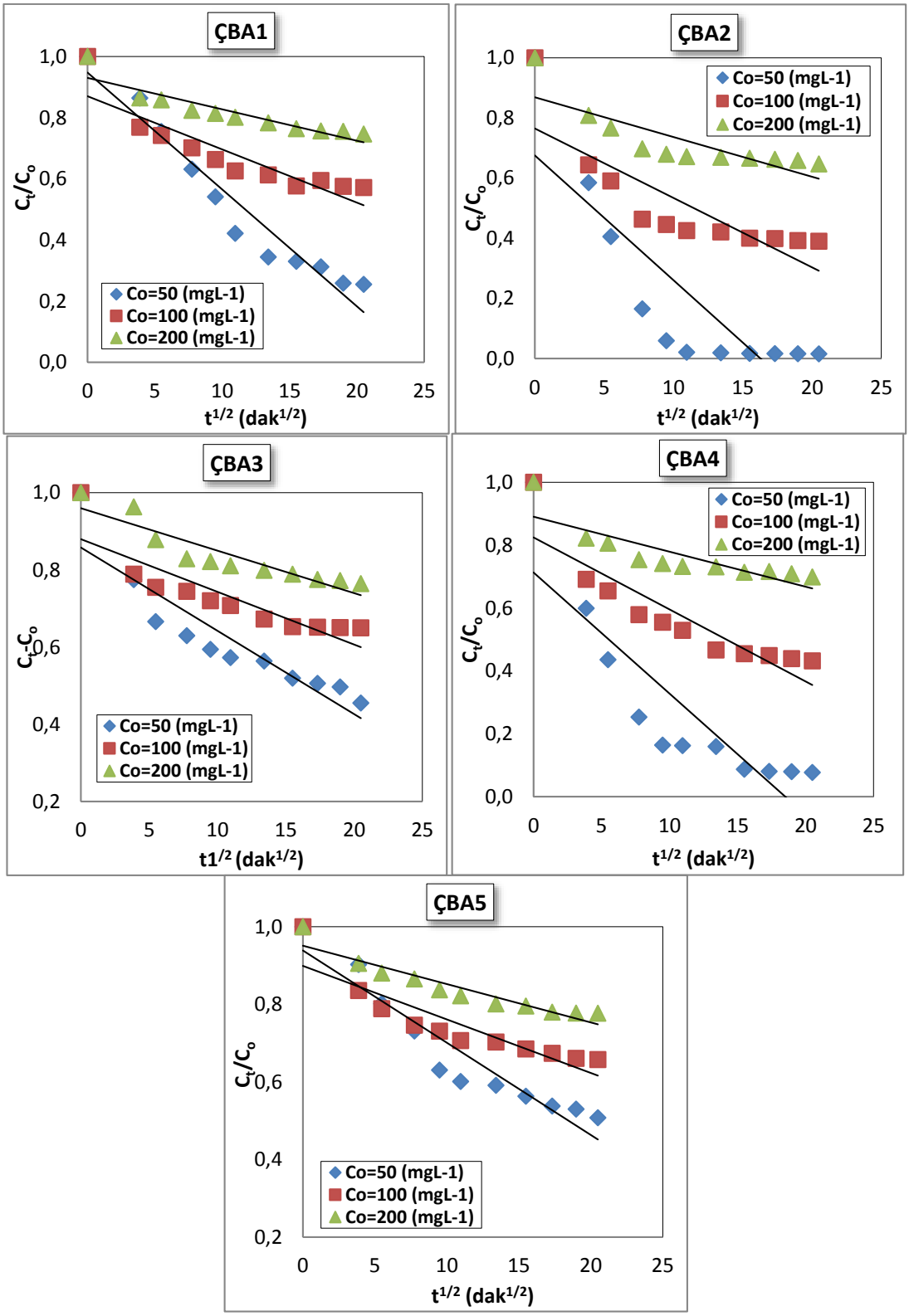
Şekil 4.71. Farklı başlangıç derişimlerdeki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



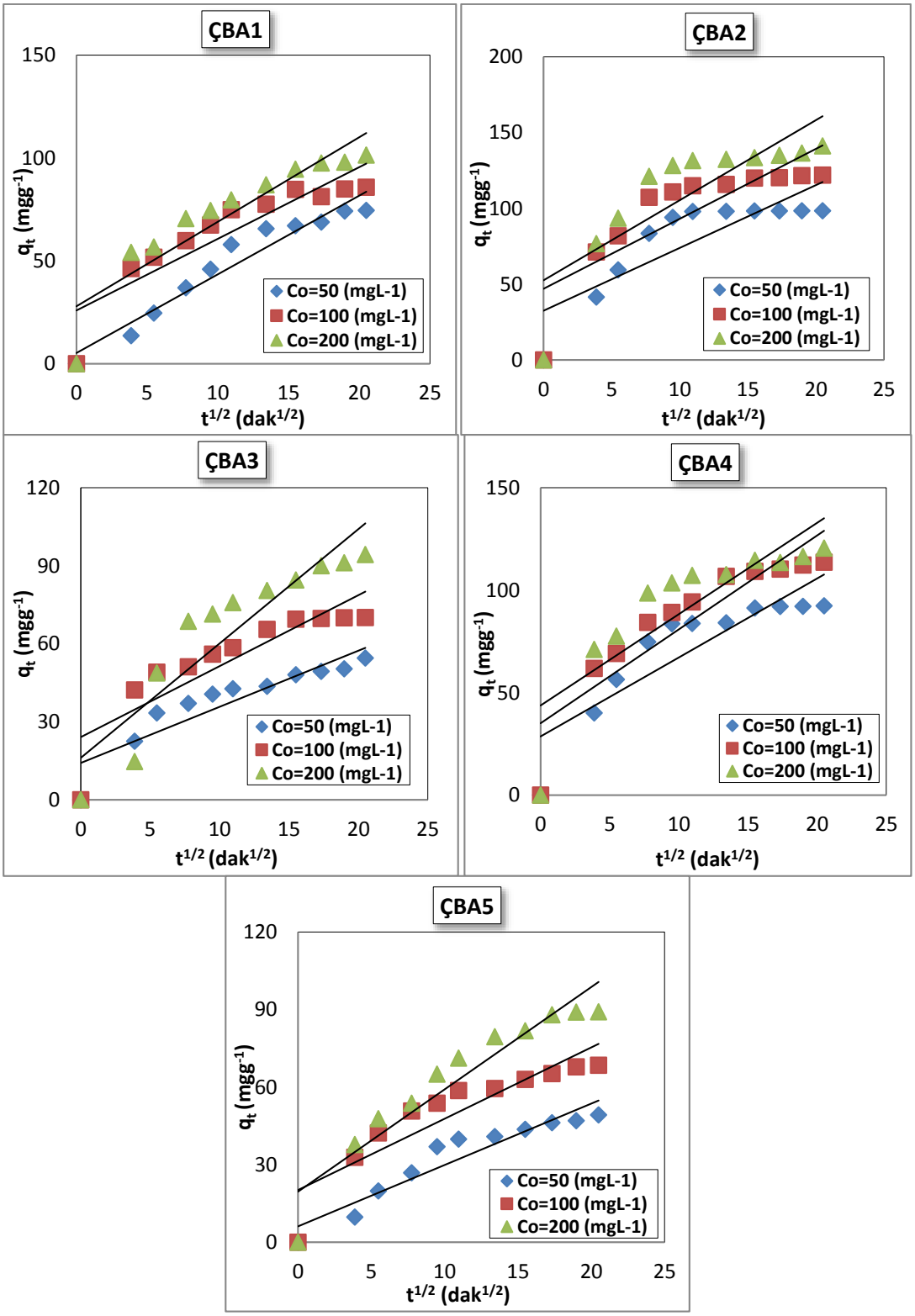
Şekil 4.72. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



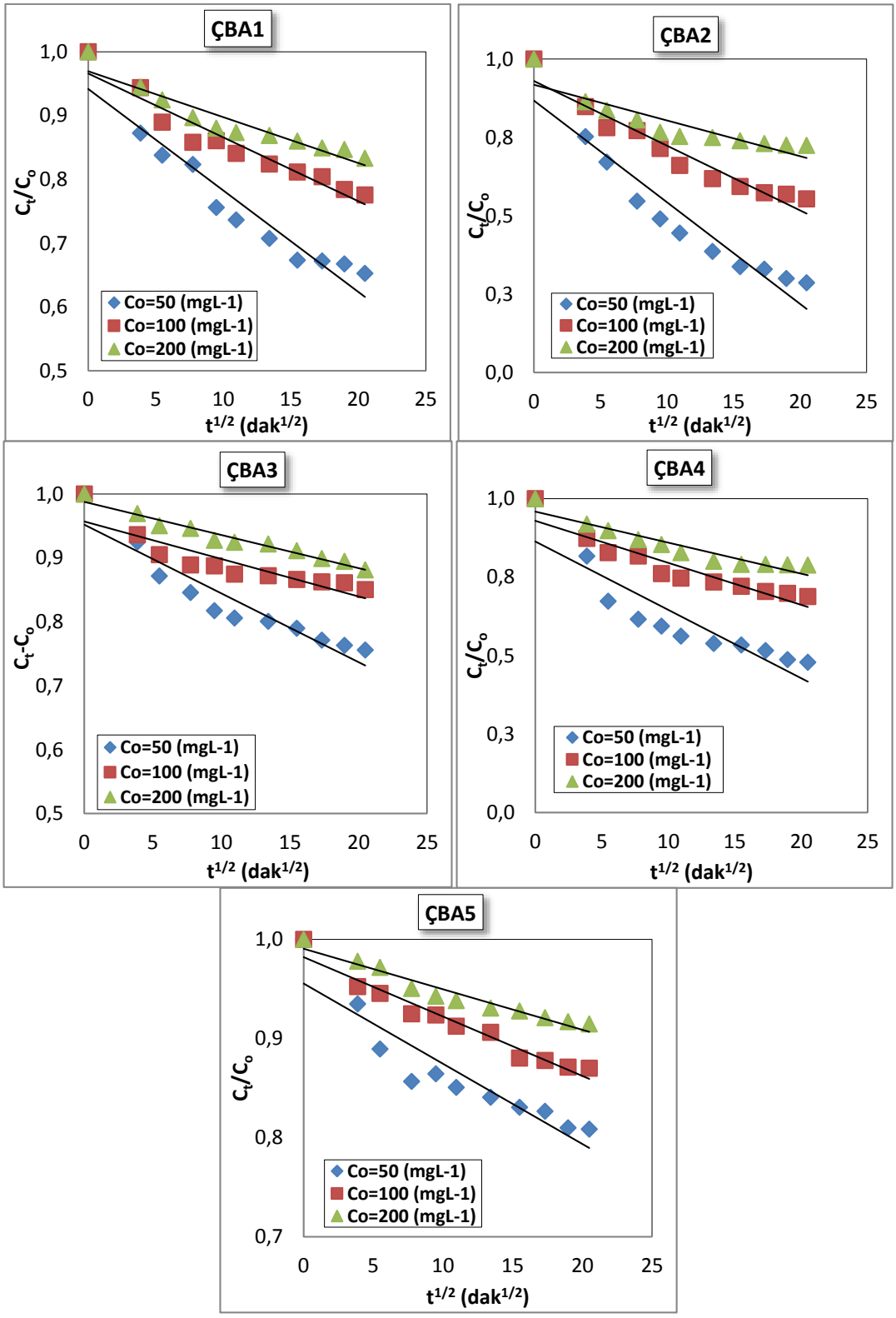
Şekil 4.73. Farklı başlangıç derişimlerdeki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



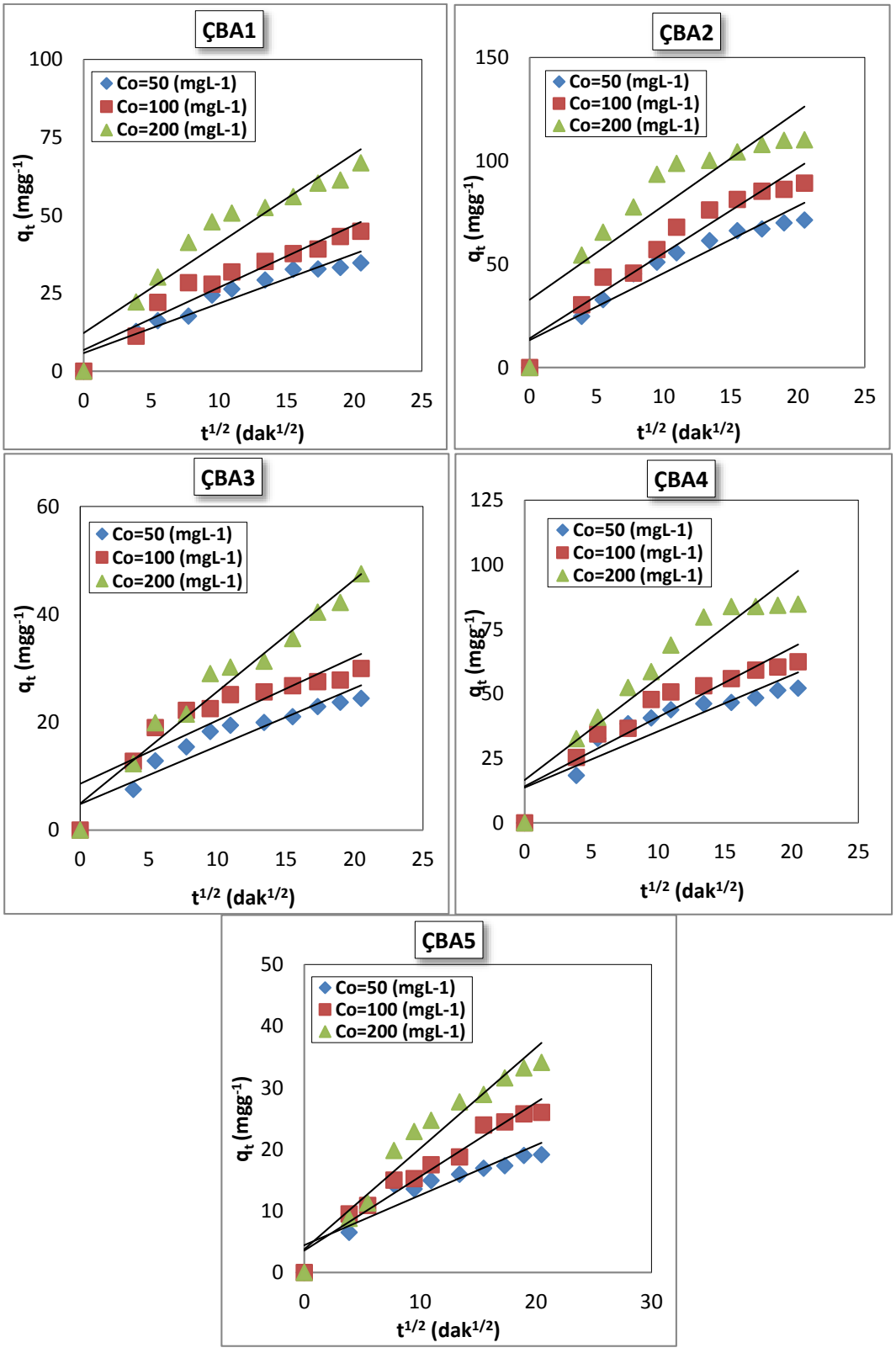
Şekil 4.74. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



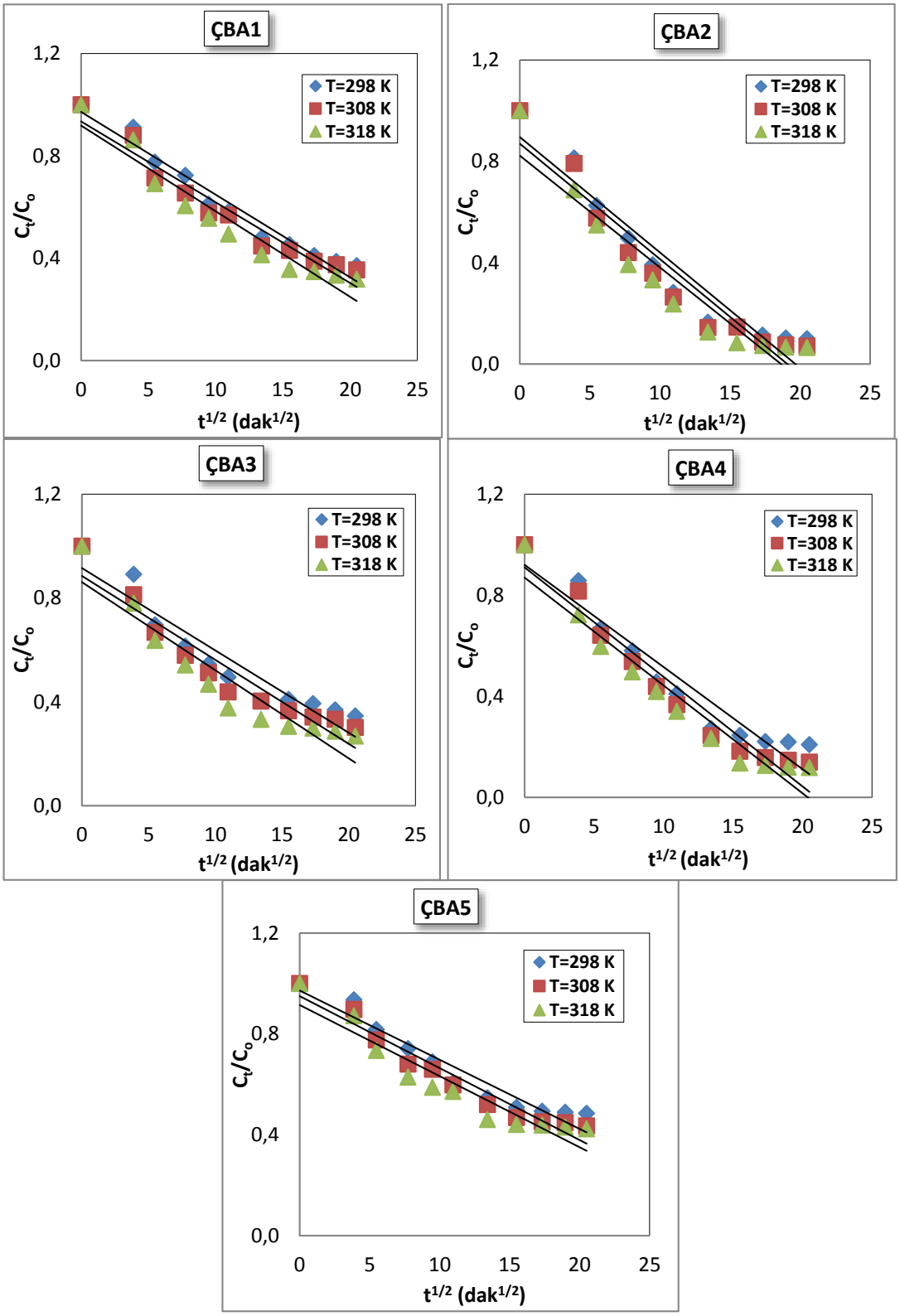
Şekil 4.75. Farklı başlangıç derişimlerdeki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



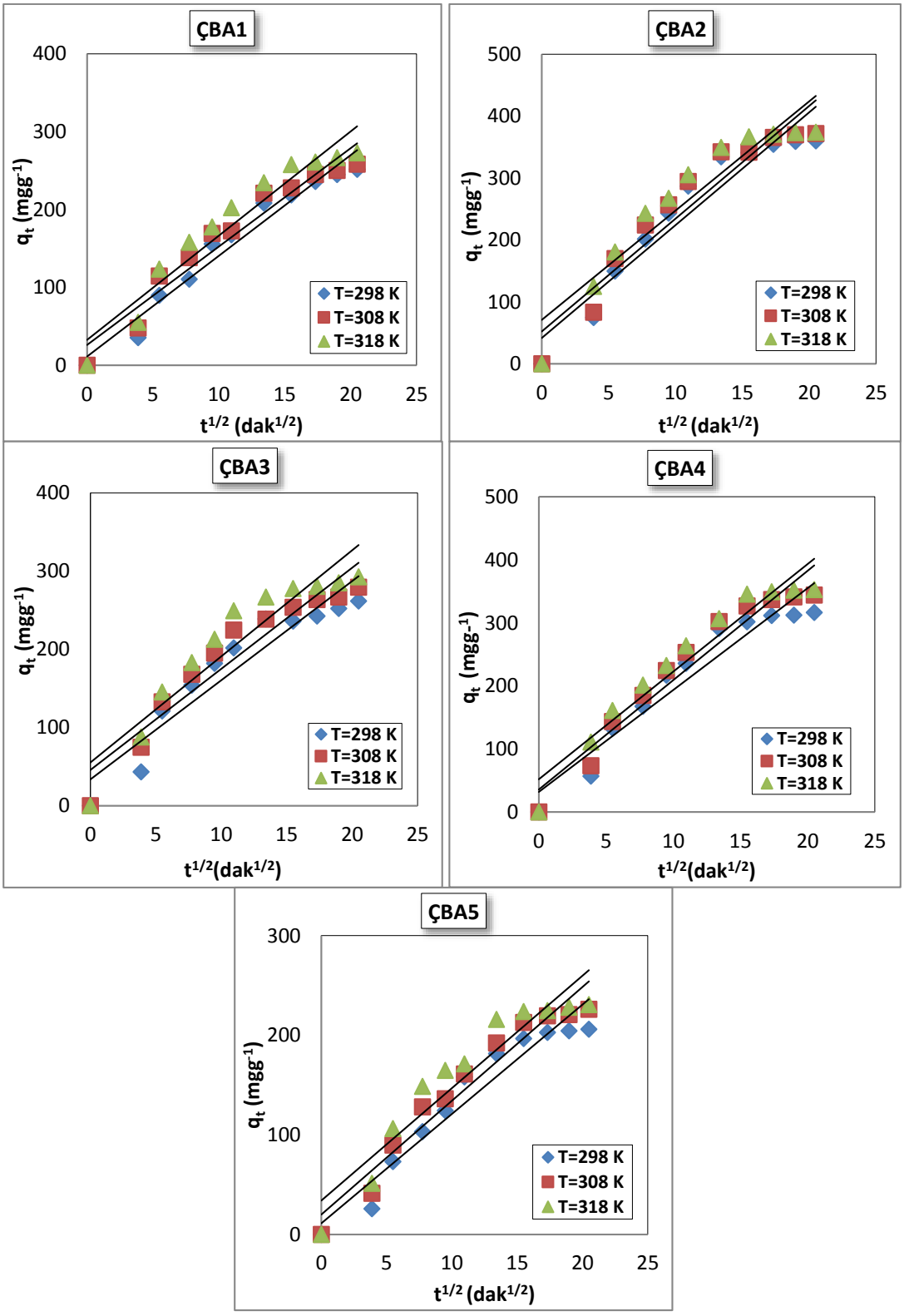
Şekil 4.76. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



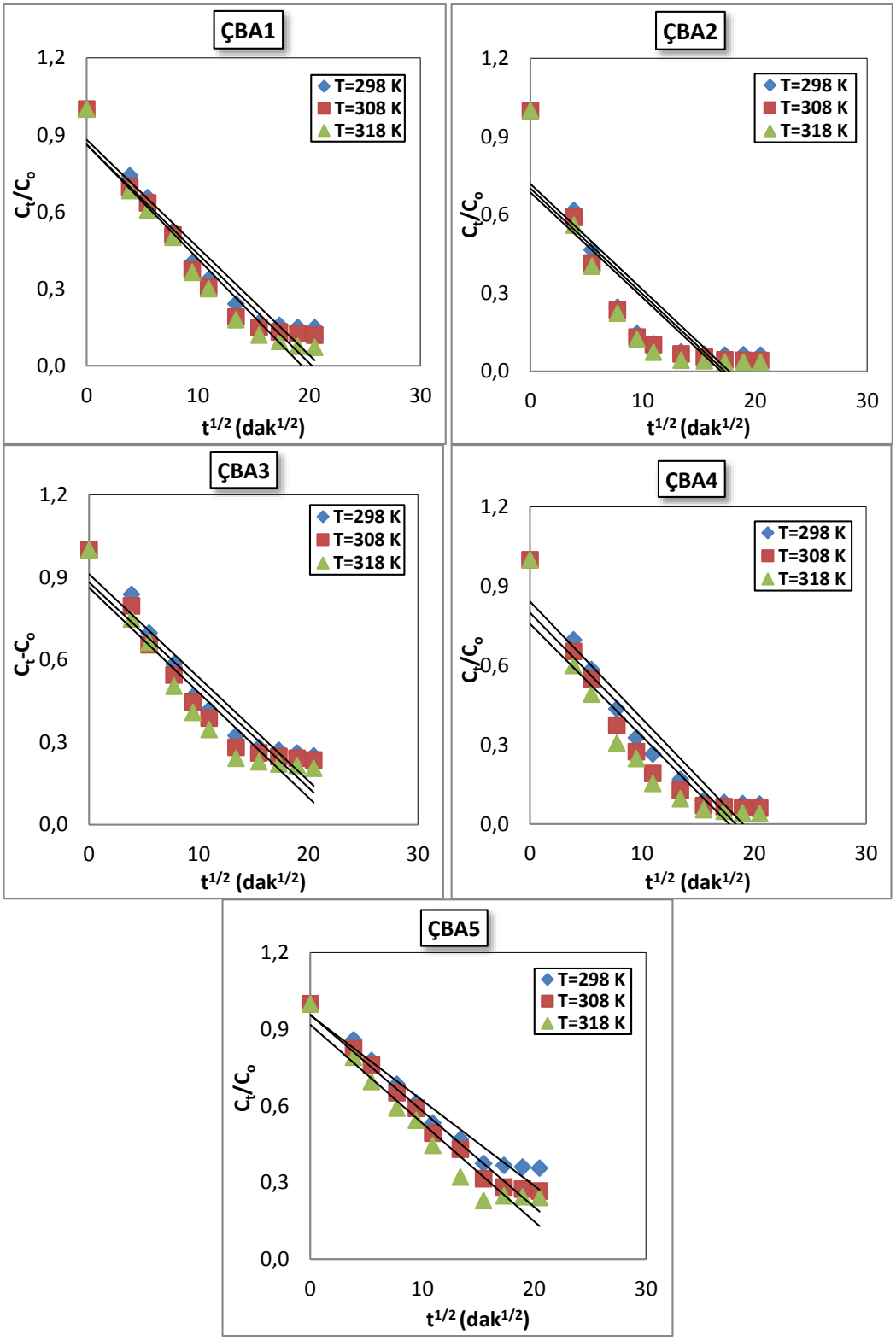
Şekil 4.77. Farklı başlangıç derişimlerdeki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (m=0.025 g, V=50 mL, T=298 K, hız=120 rpm)



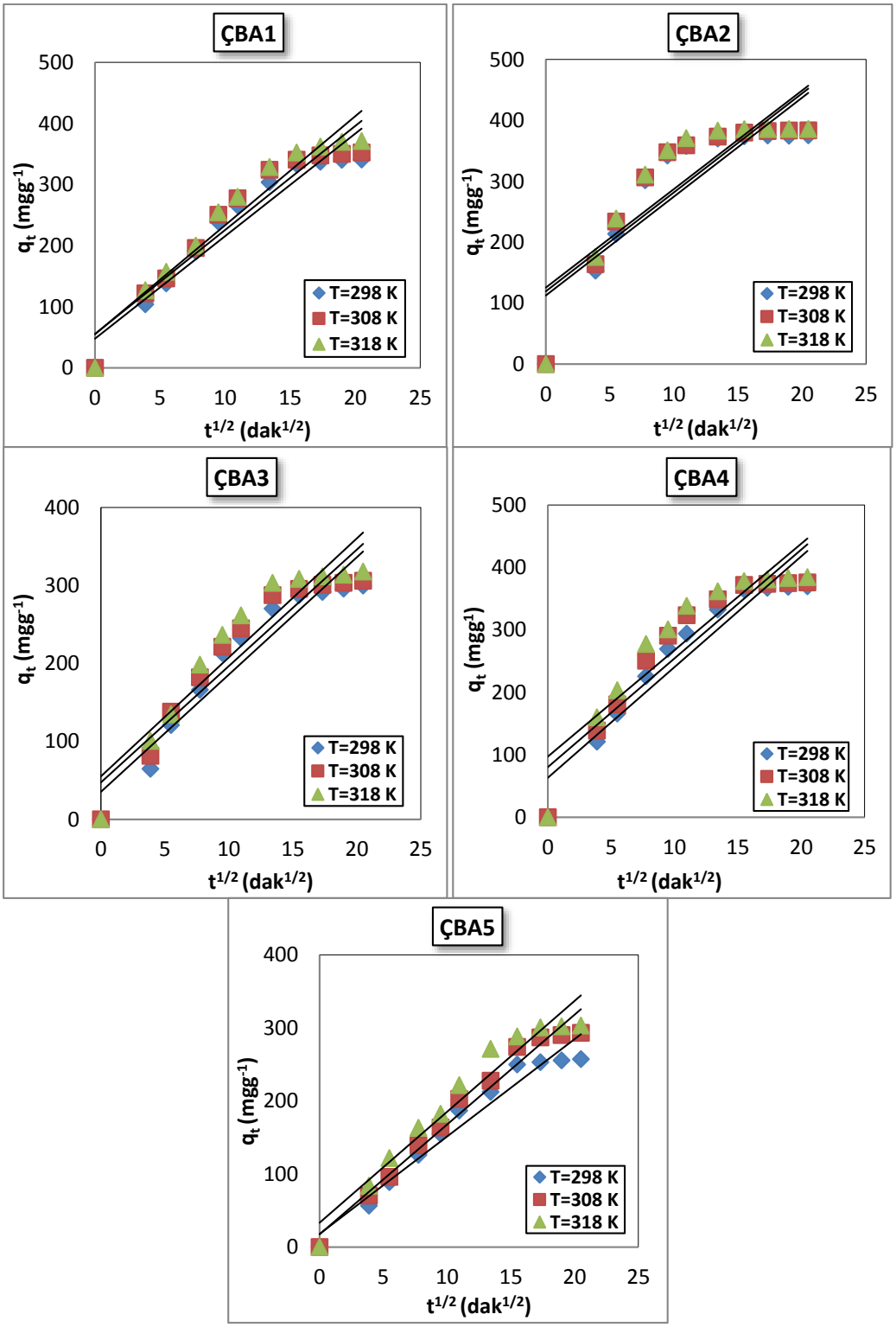
Şekil 4.78. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=200 mgL^{-1},m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



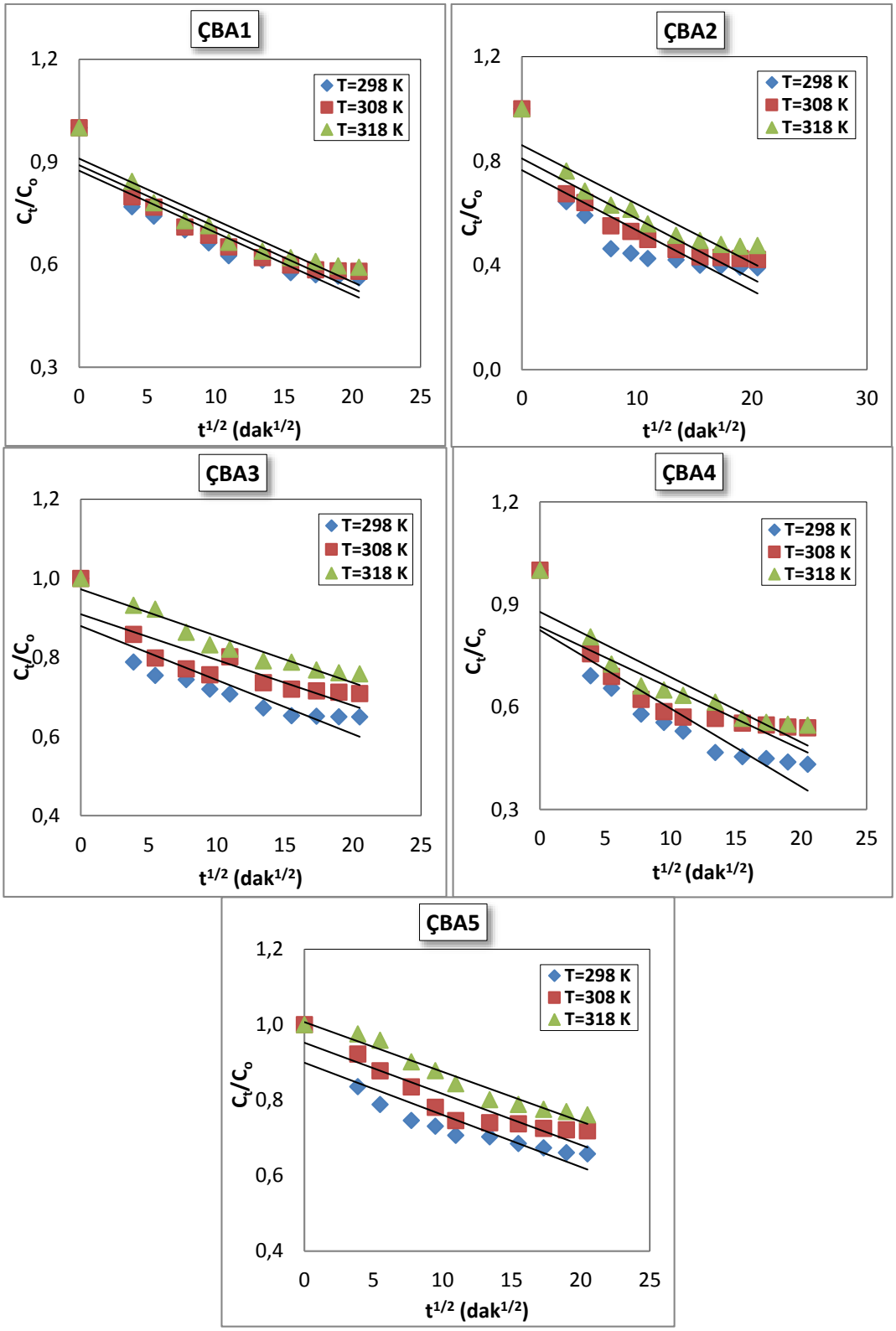
Şekil 4.79. Farklı sıcaklıklardaki MG'nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



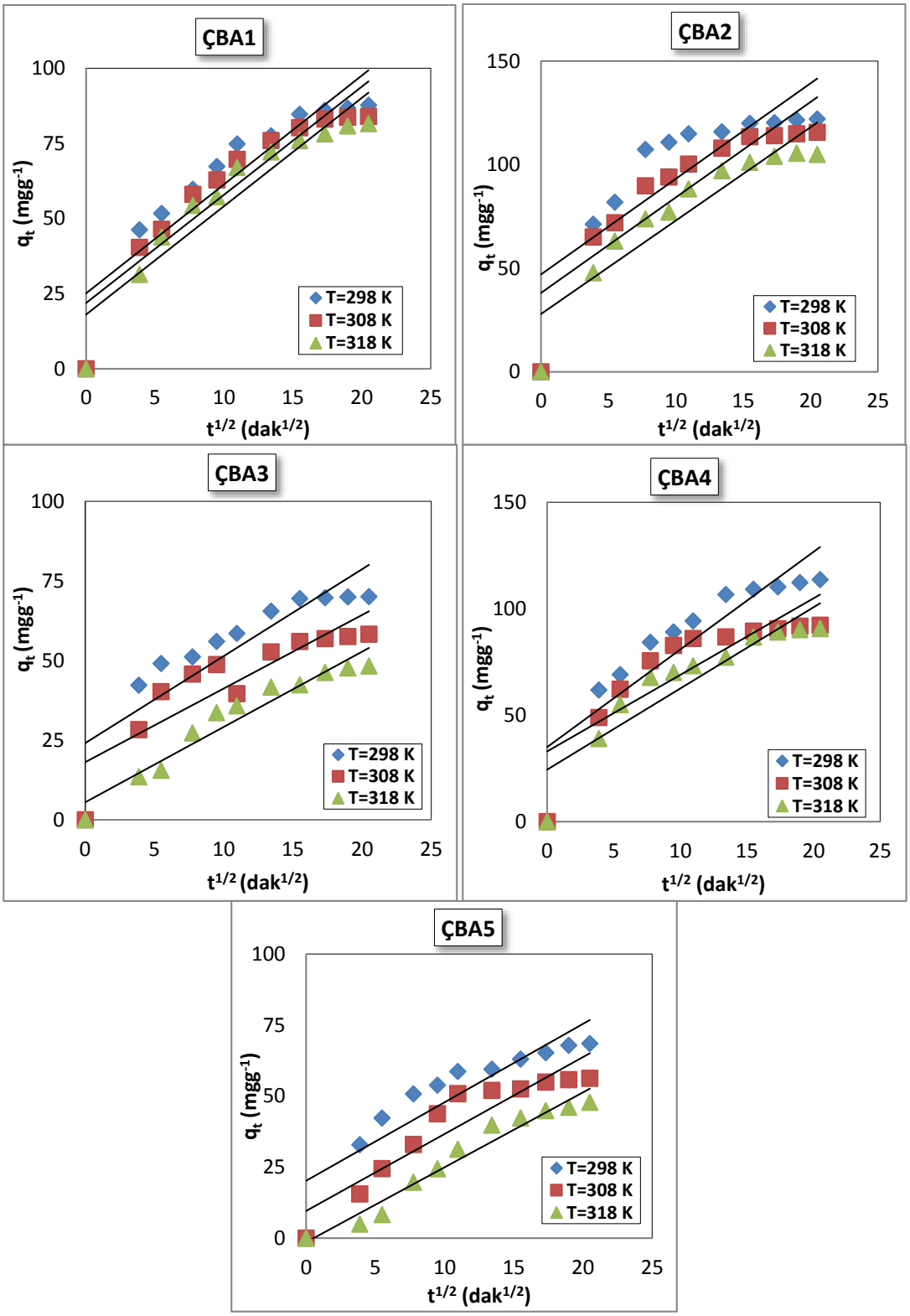
Şekil 4.80. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



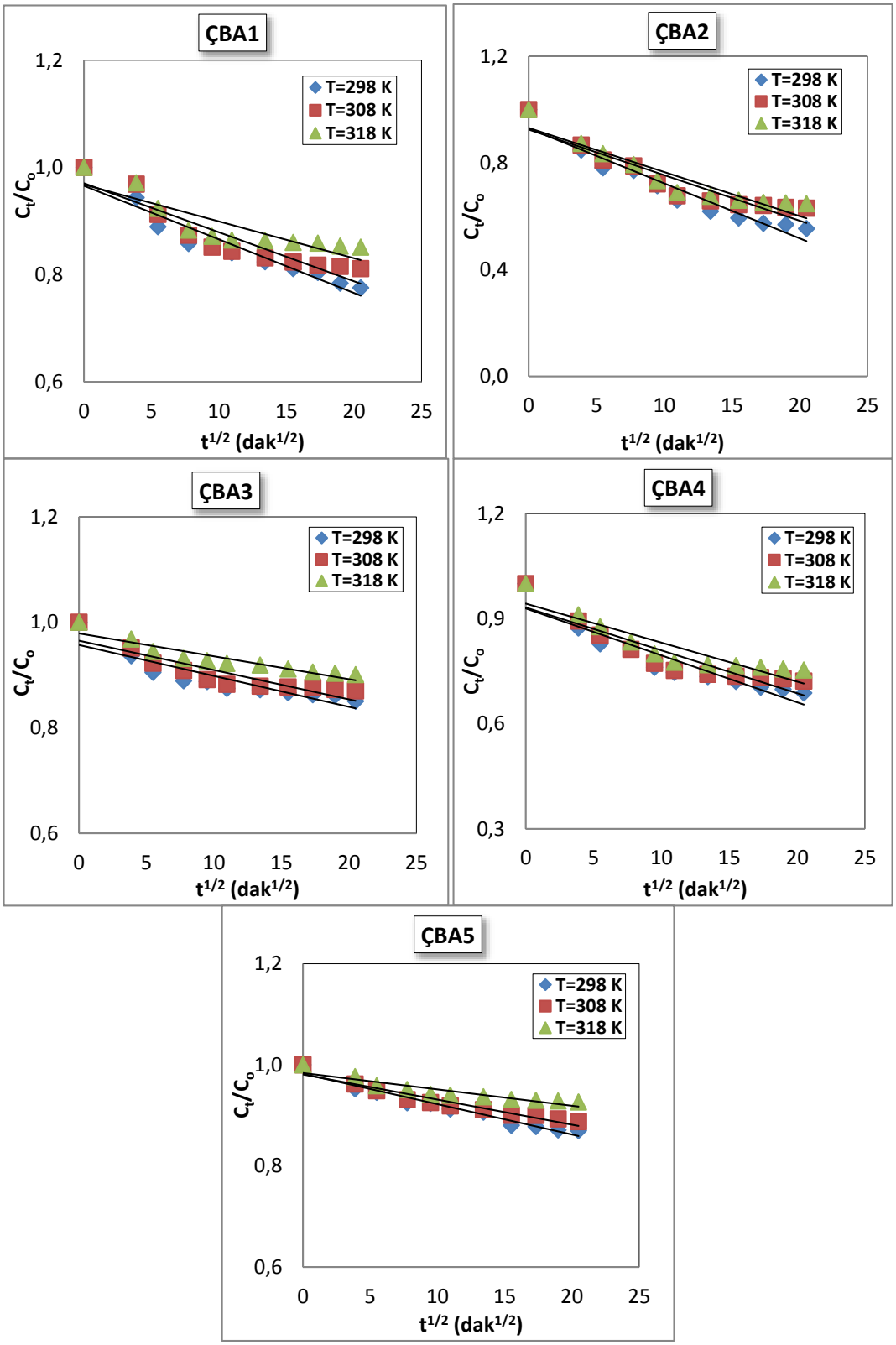
Şekil 4.81. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm



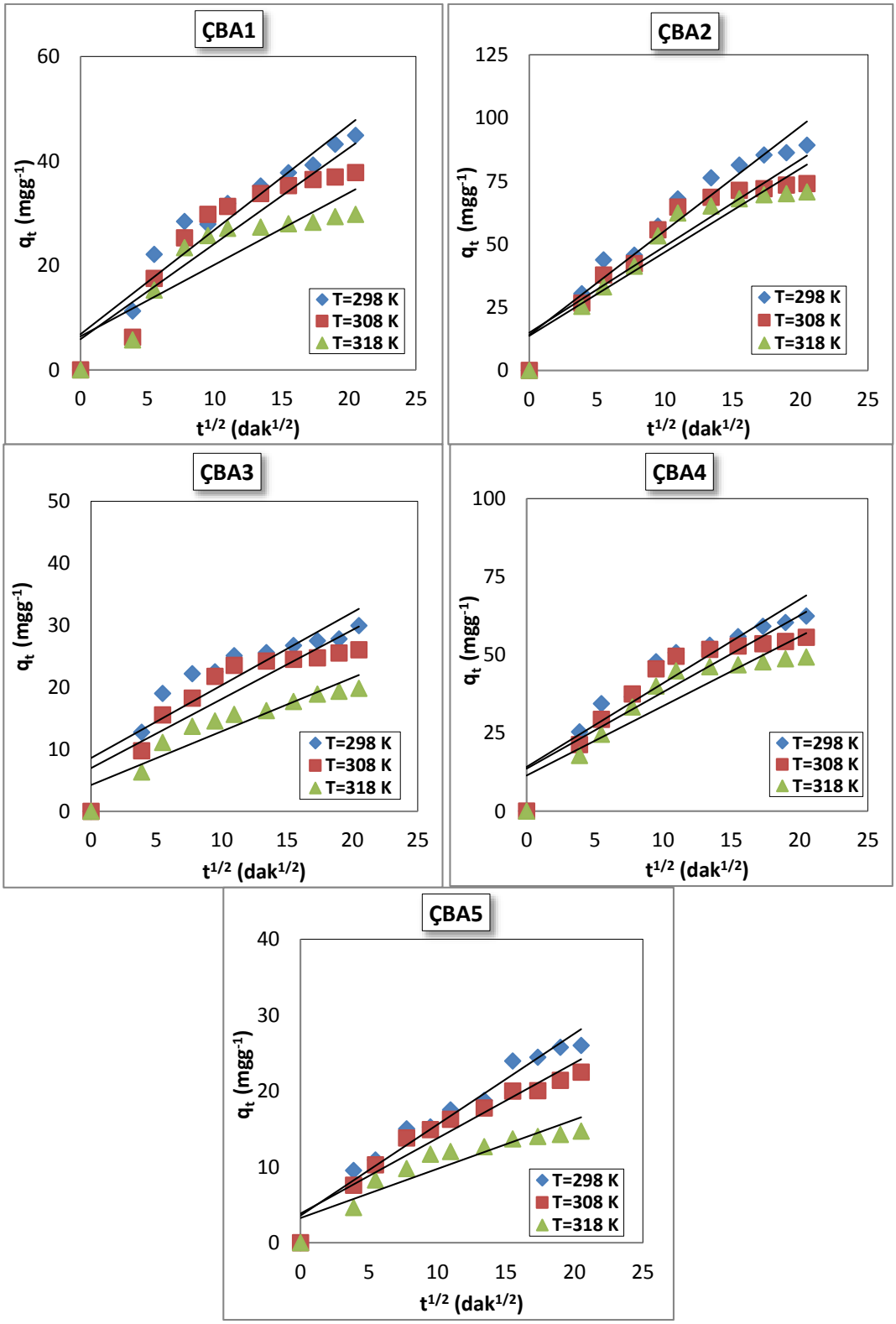
Şekil 4.82. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



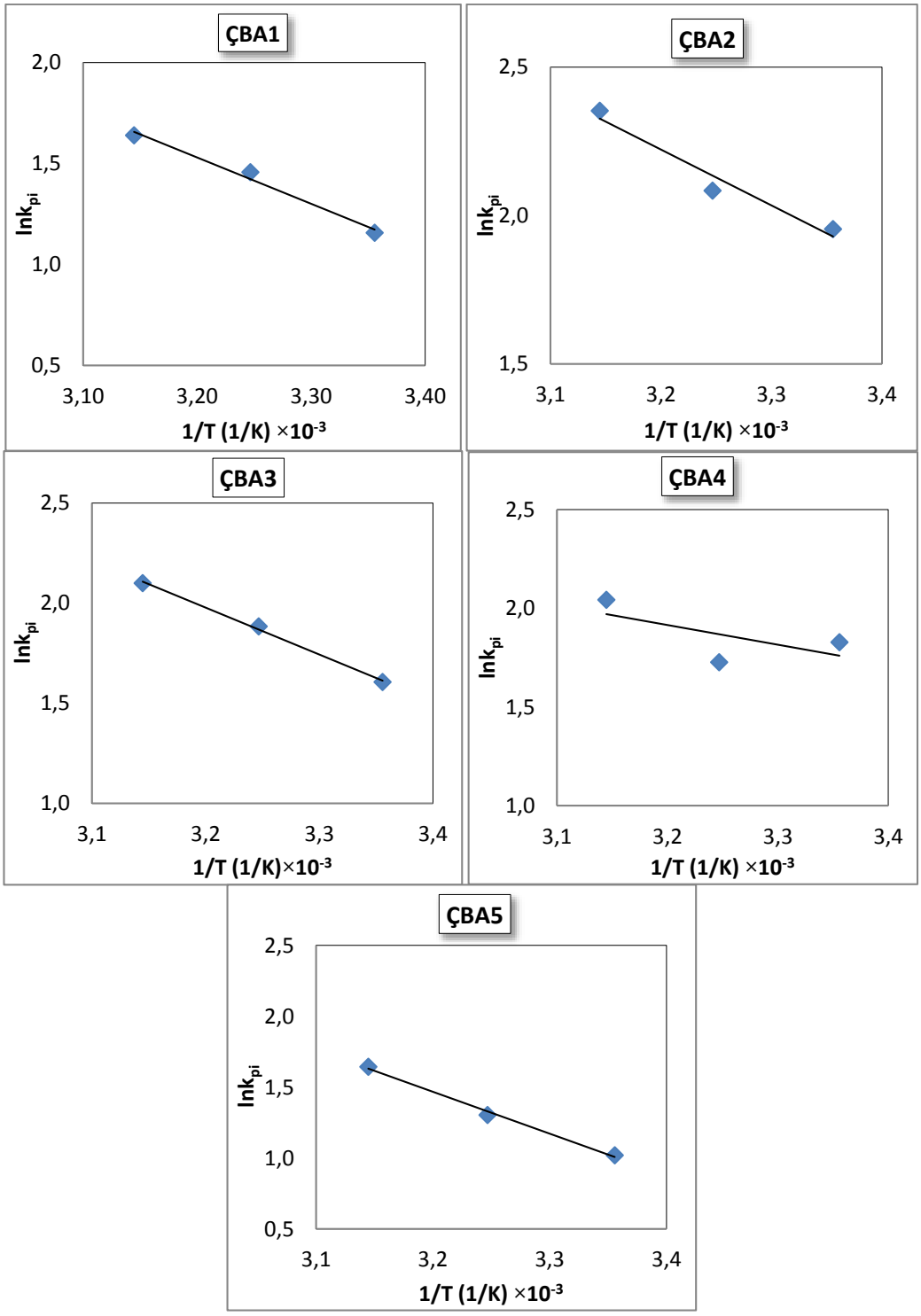
Şekil 4.83. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



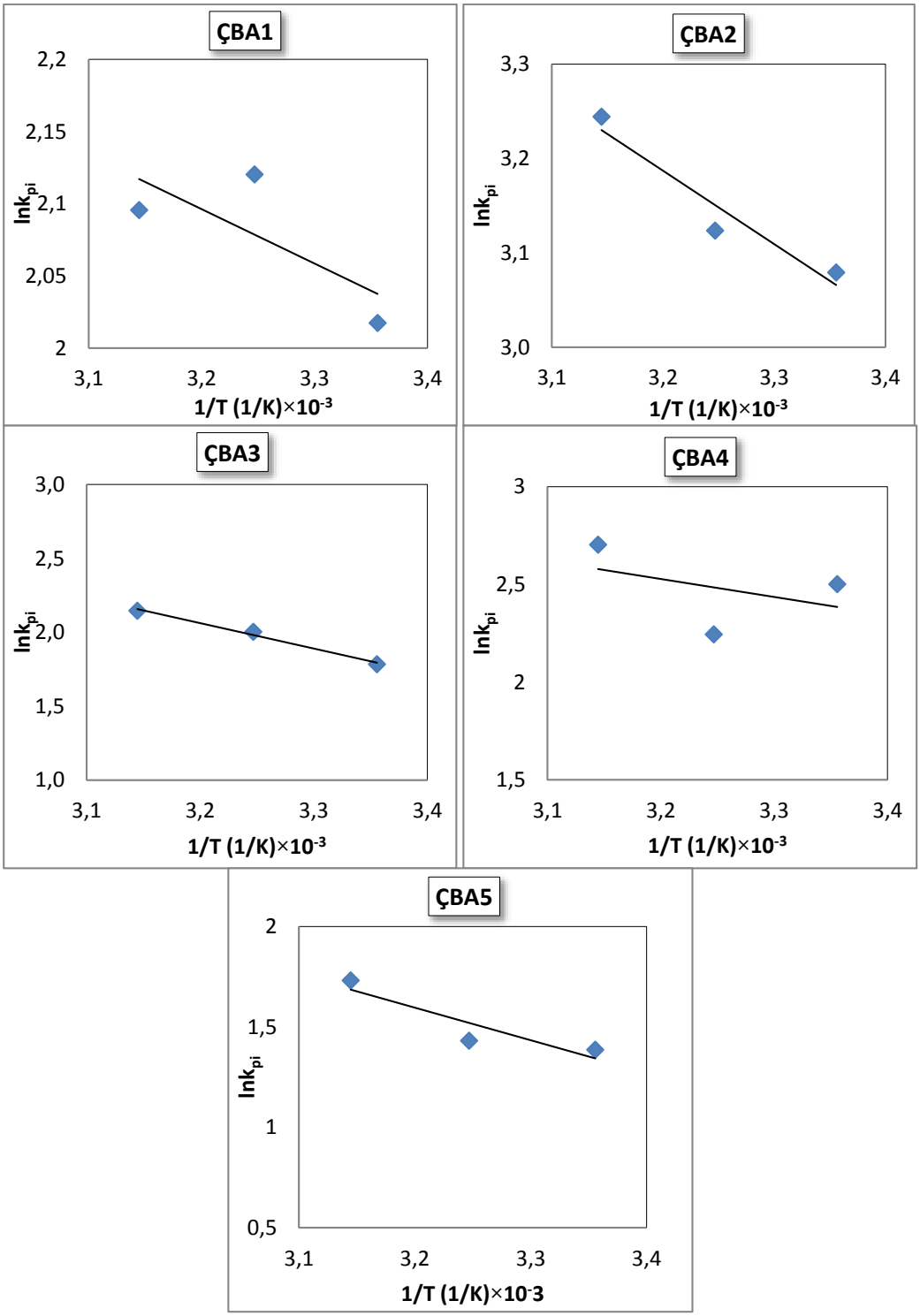
Şekil 4.84. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



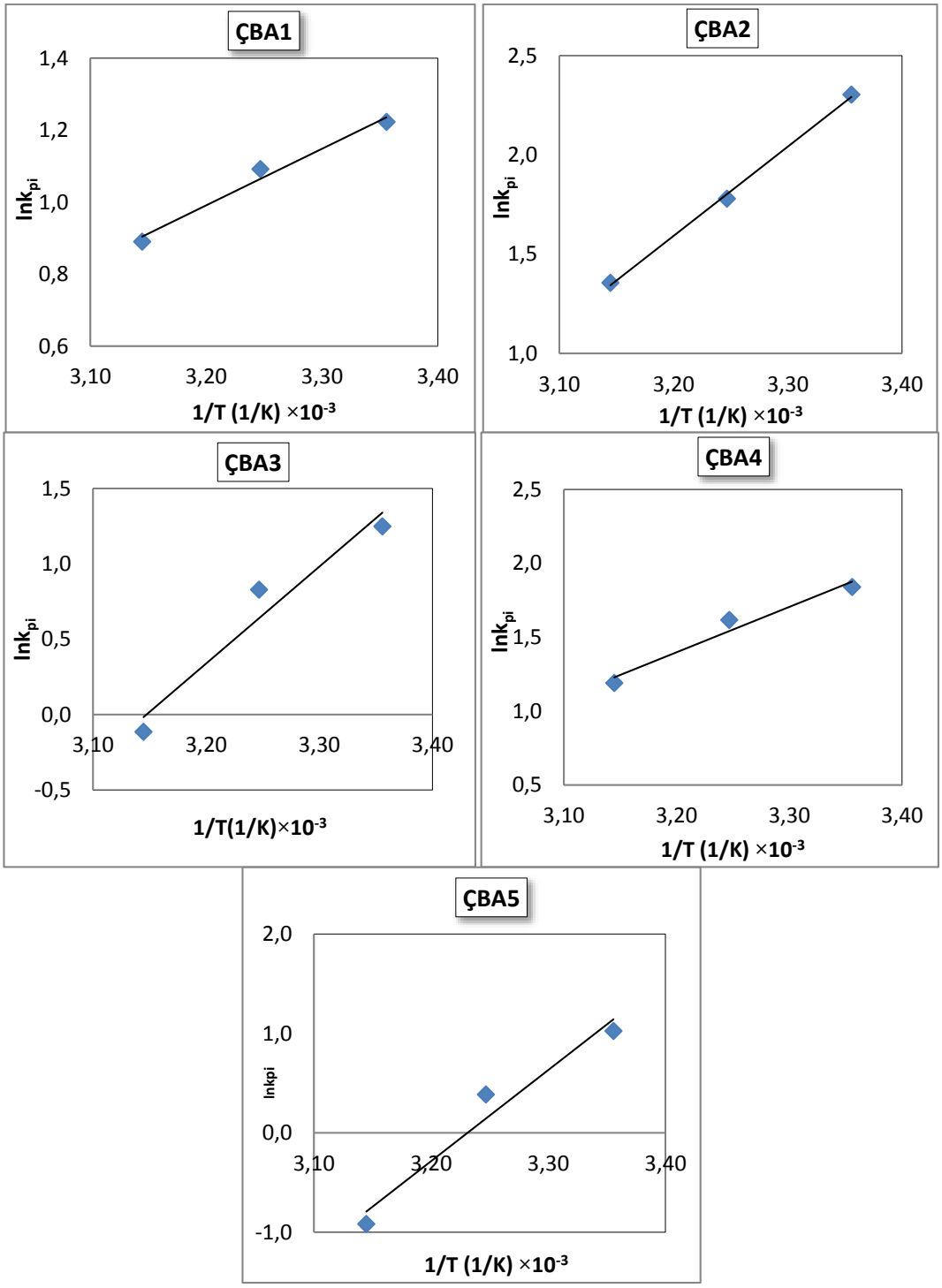
Şekil 4.85. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



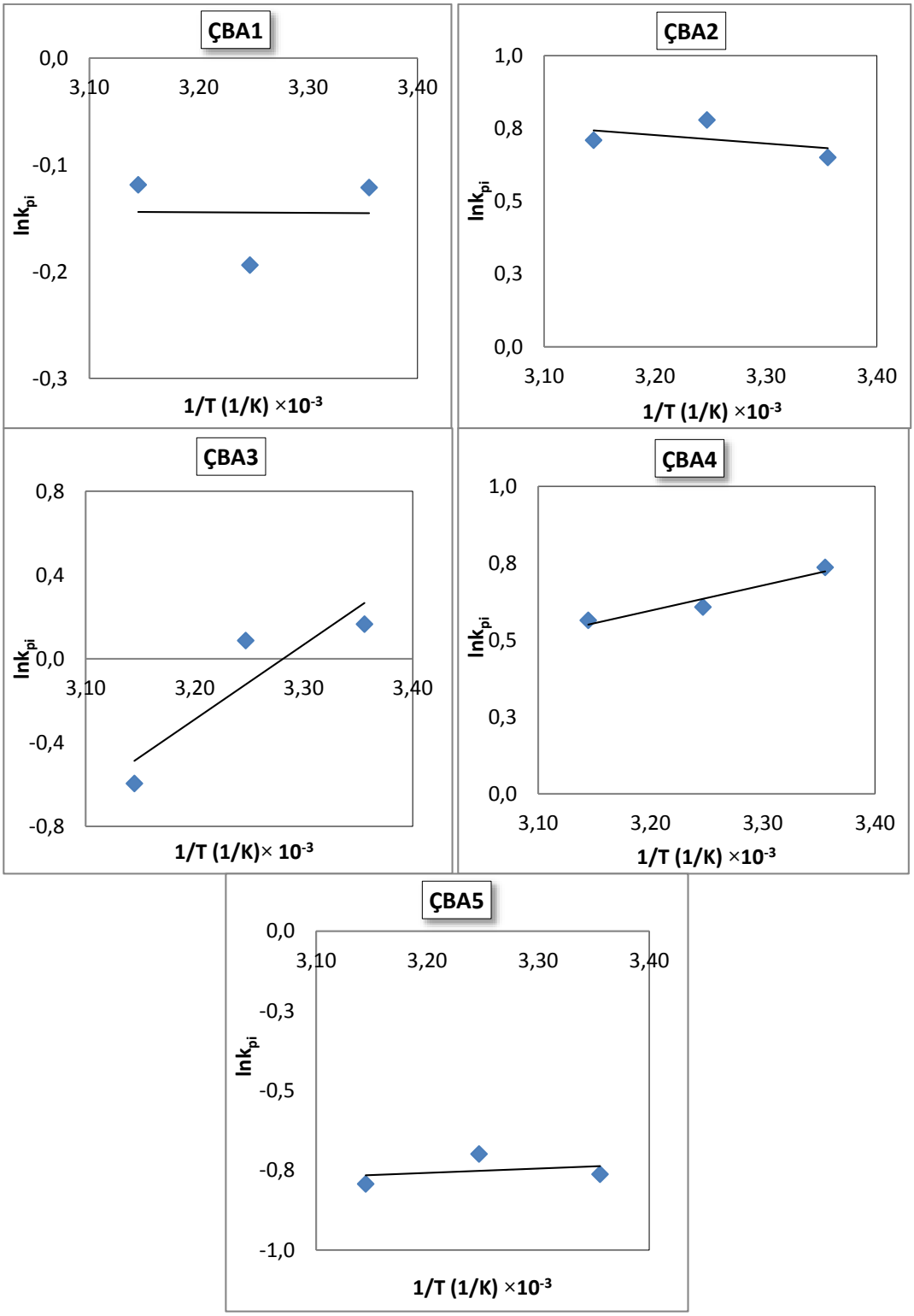
Şekil 4.86. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunda Arhenius denkleminin çizgisel çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



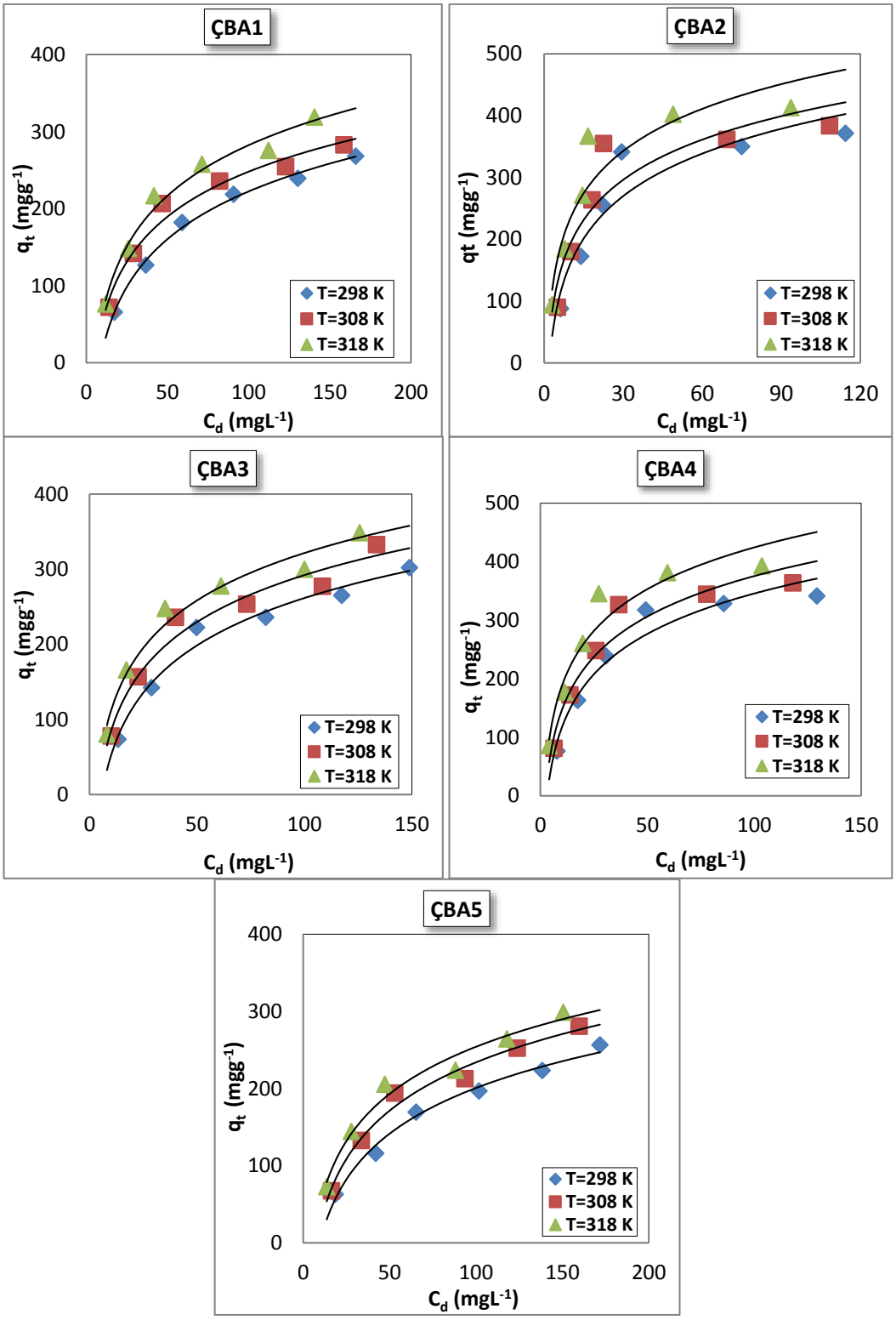
Şekil 4.87. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunda Arhenius denkleminin çizgisel çizimleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



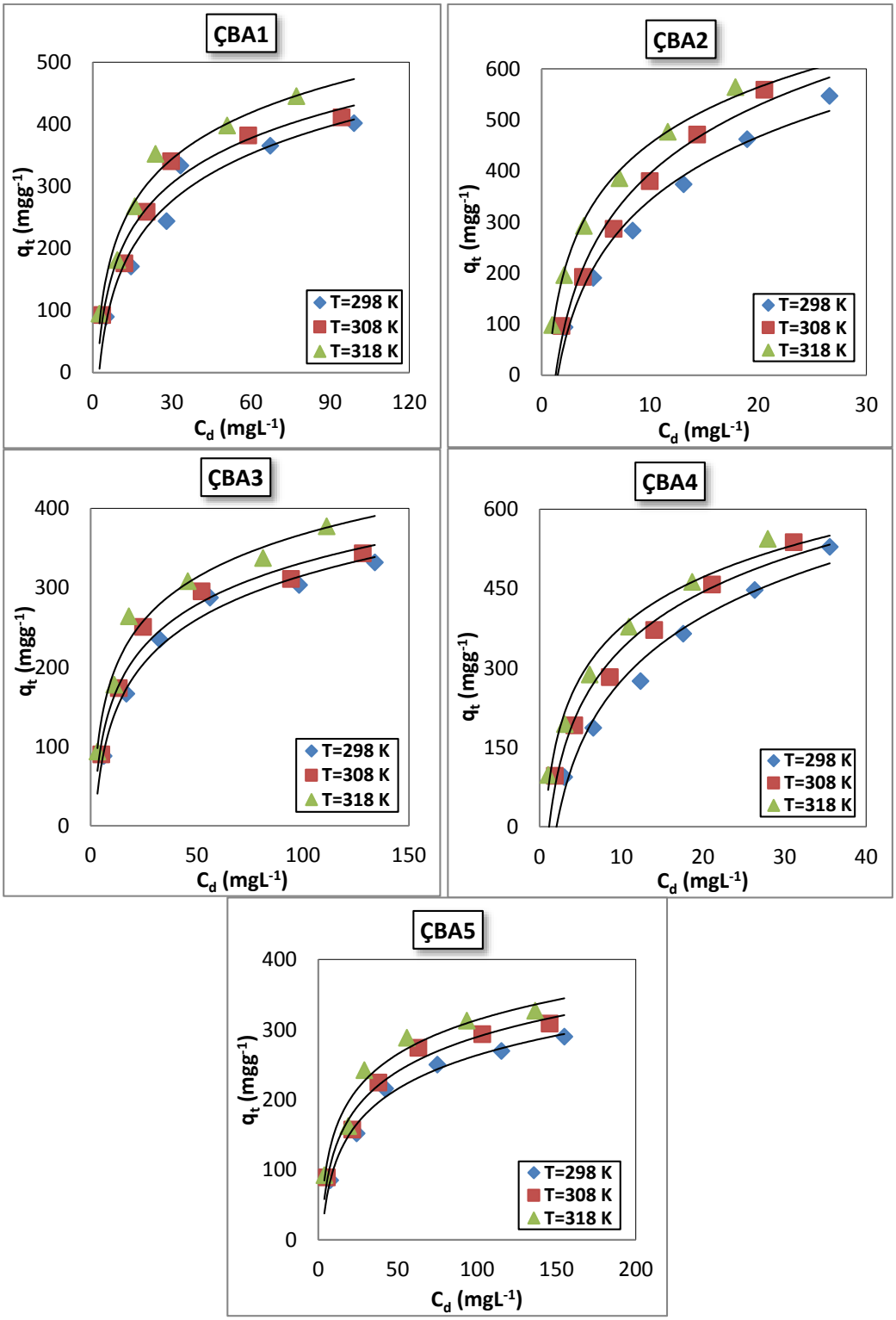
Şekil 4.88. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunda Arrhenius denkleminin çizgisel çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



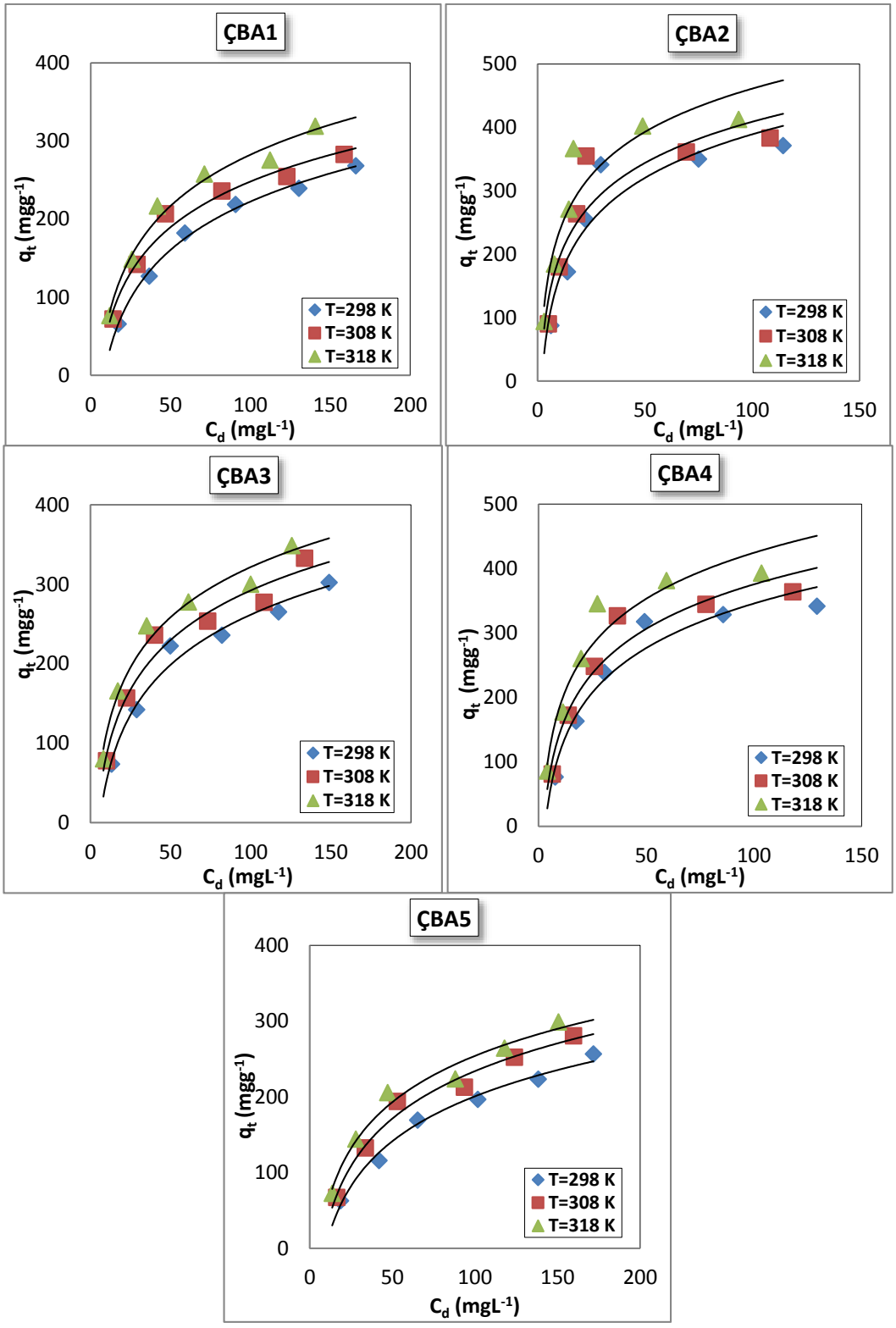
Şekil 4.89. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunda Arrhenius denkleminin çizgisel çizimleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



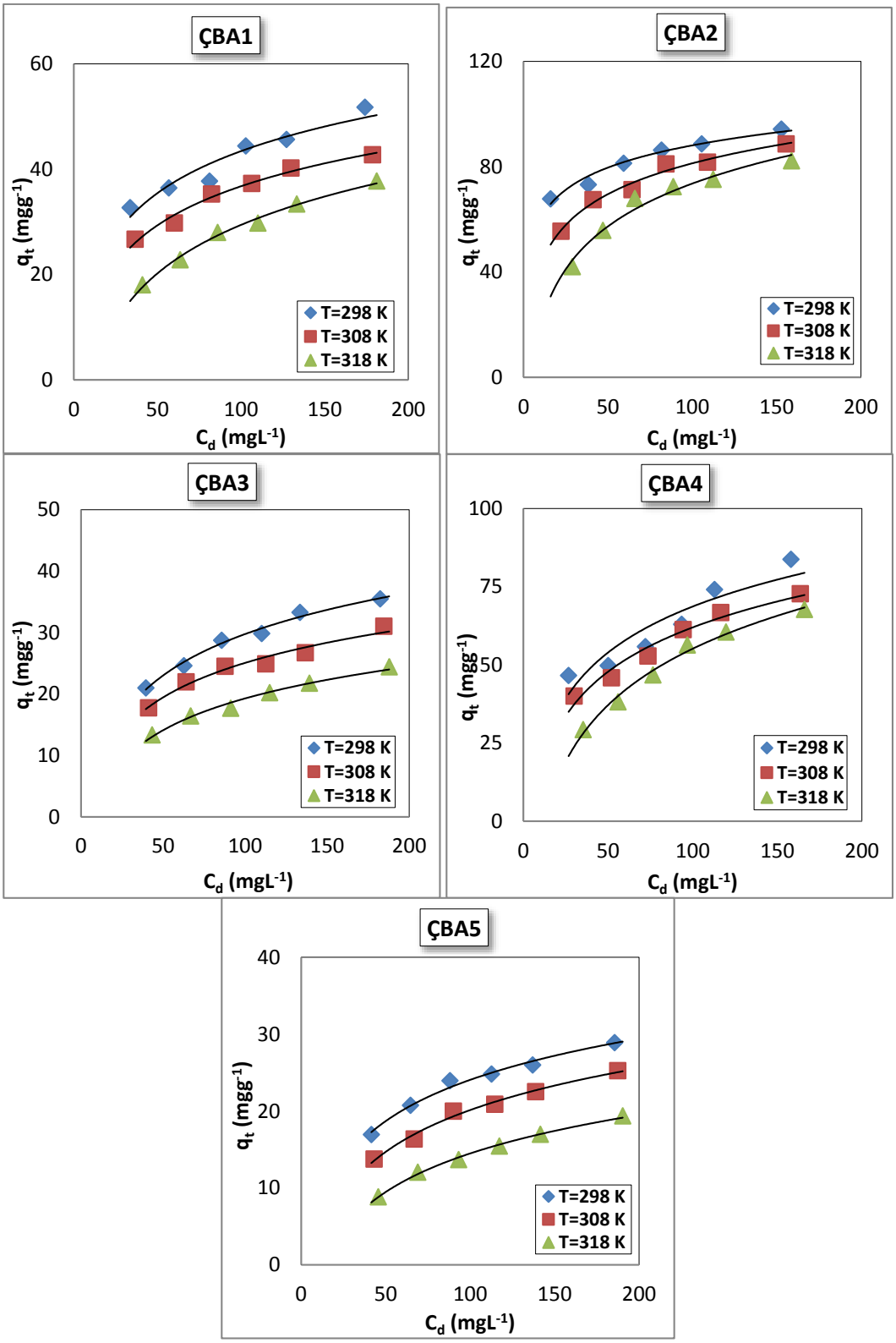
Şekil 4.90. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun izoterm eğrileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



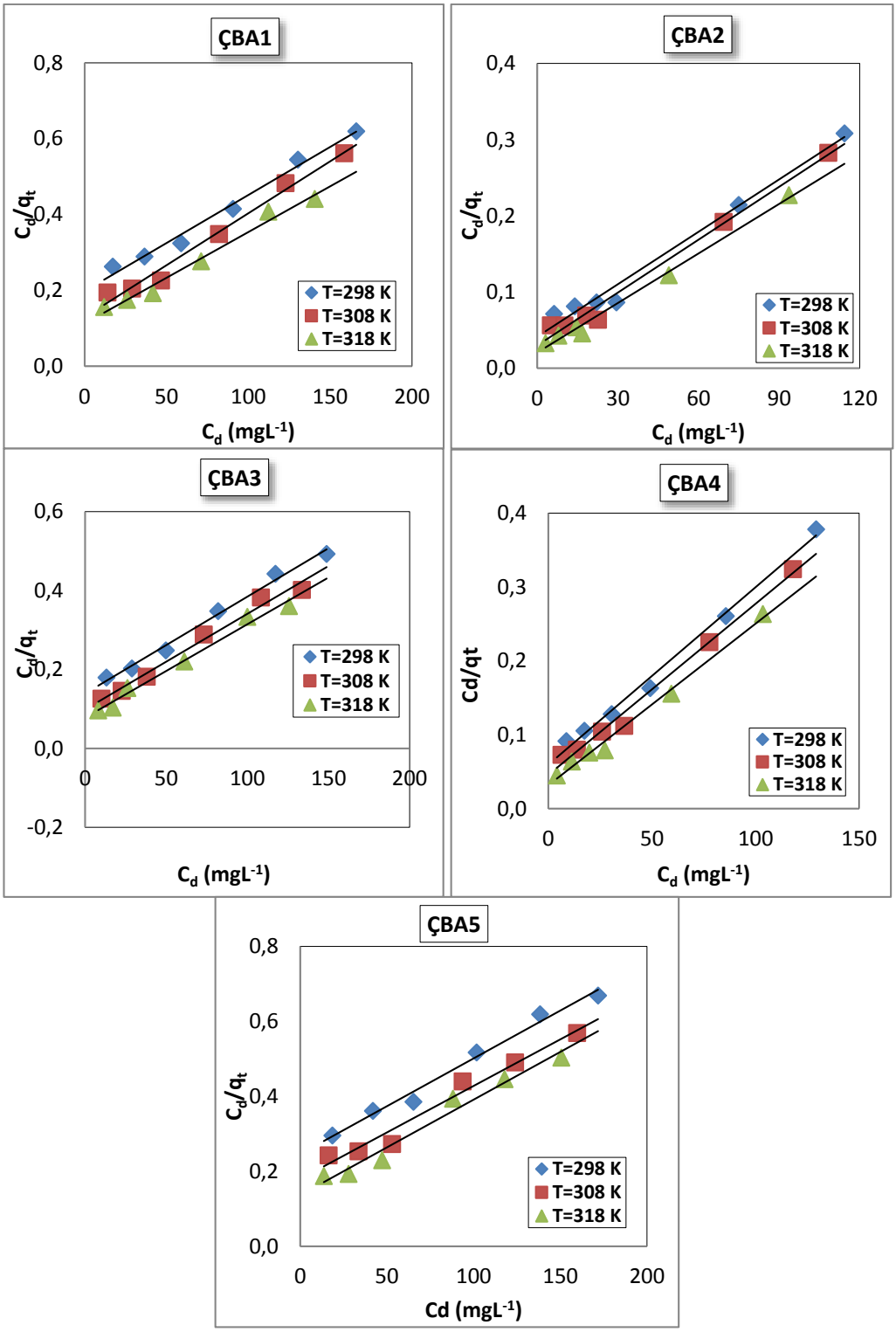
Şekil 4.91. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun izoterm eğrileri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



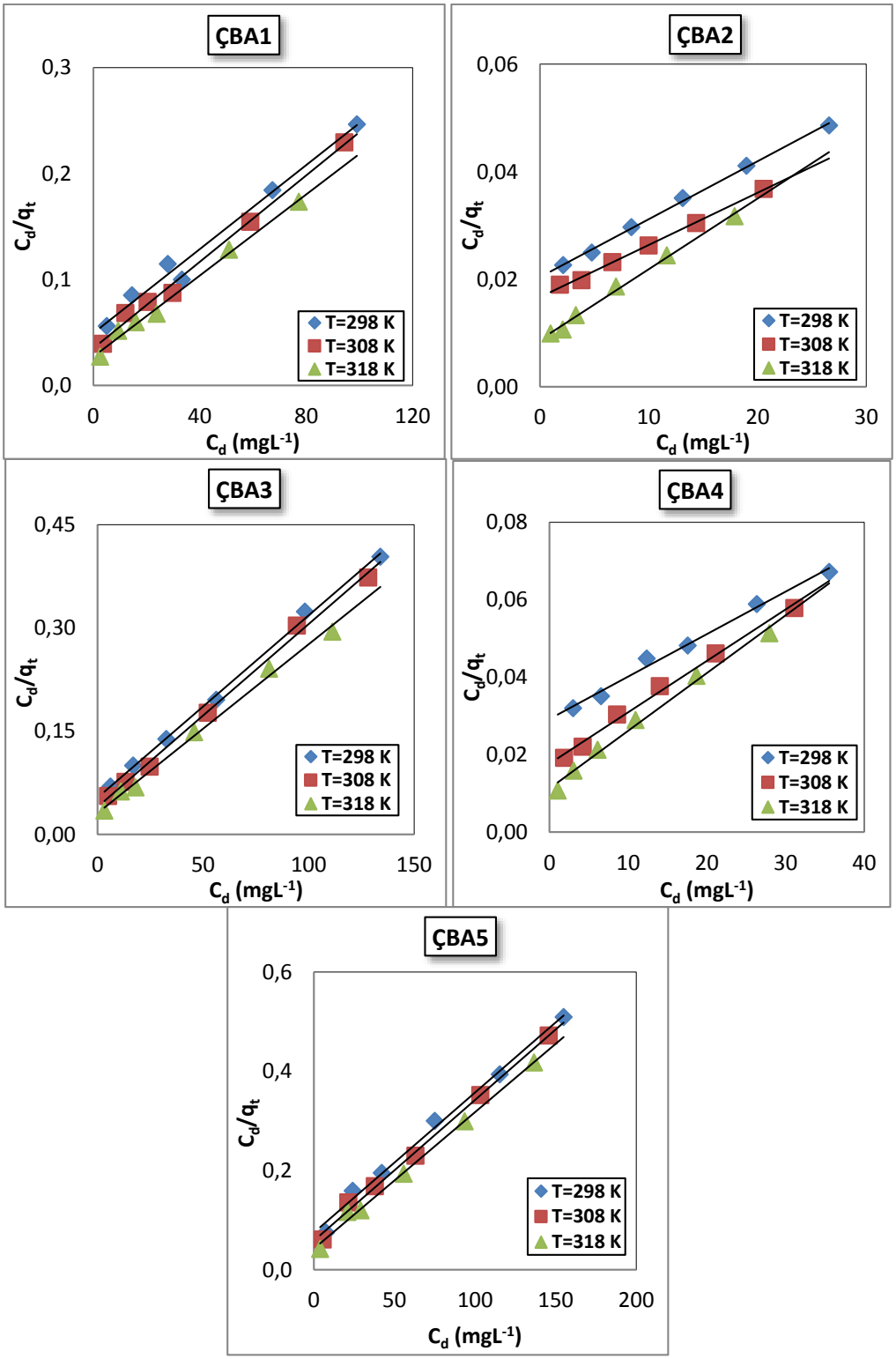
Şekil 4.92. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun izoterm eğrileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



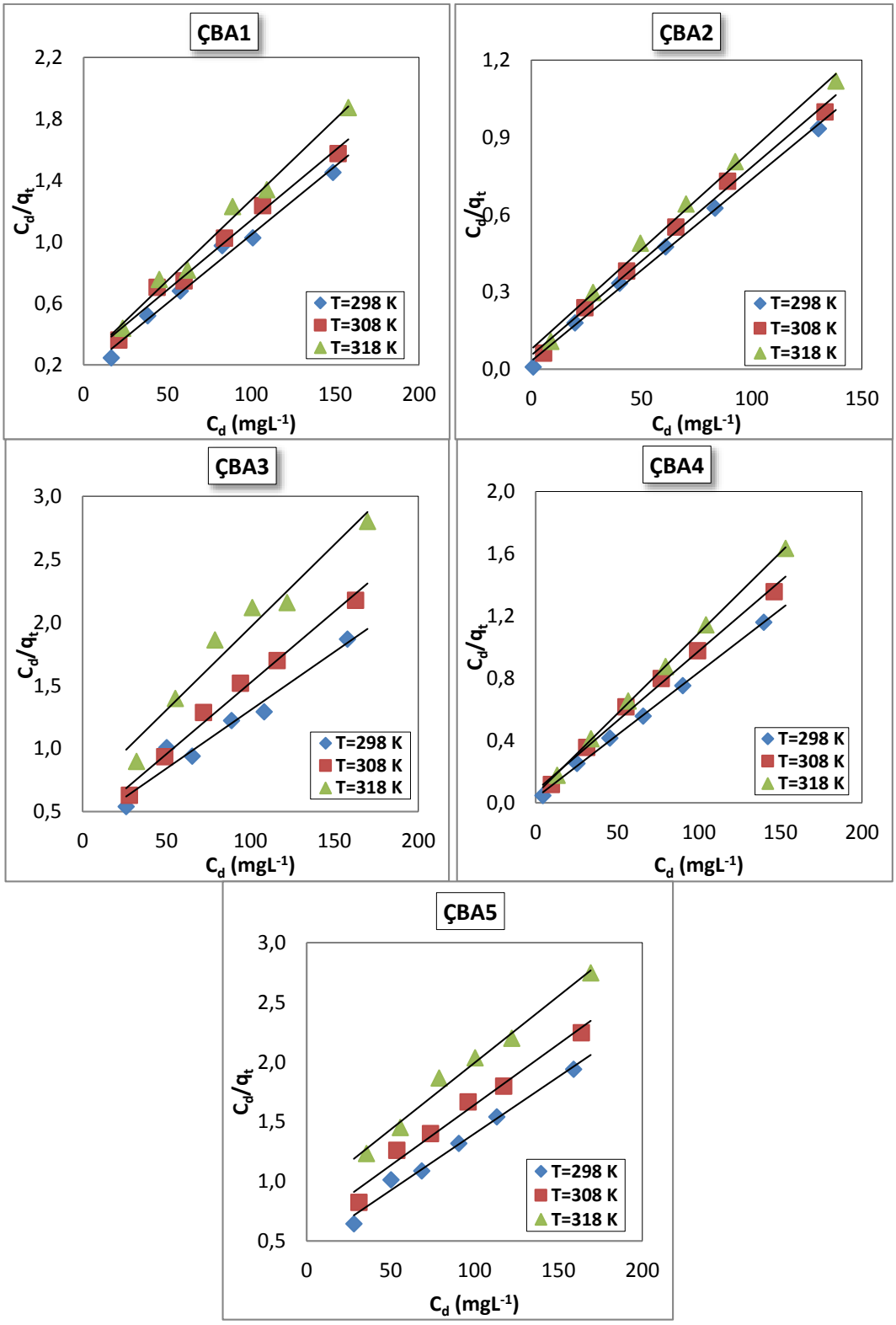
Şekil 4.93. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyonunun izoterm eğrileri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



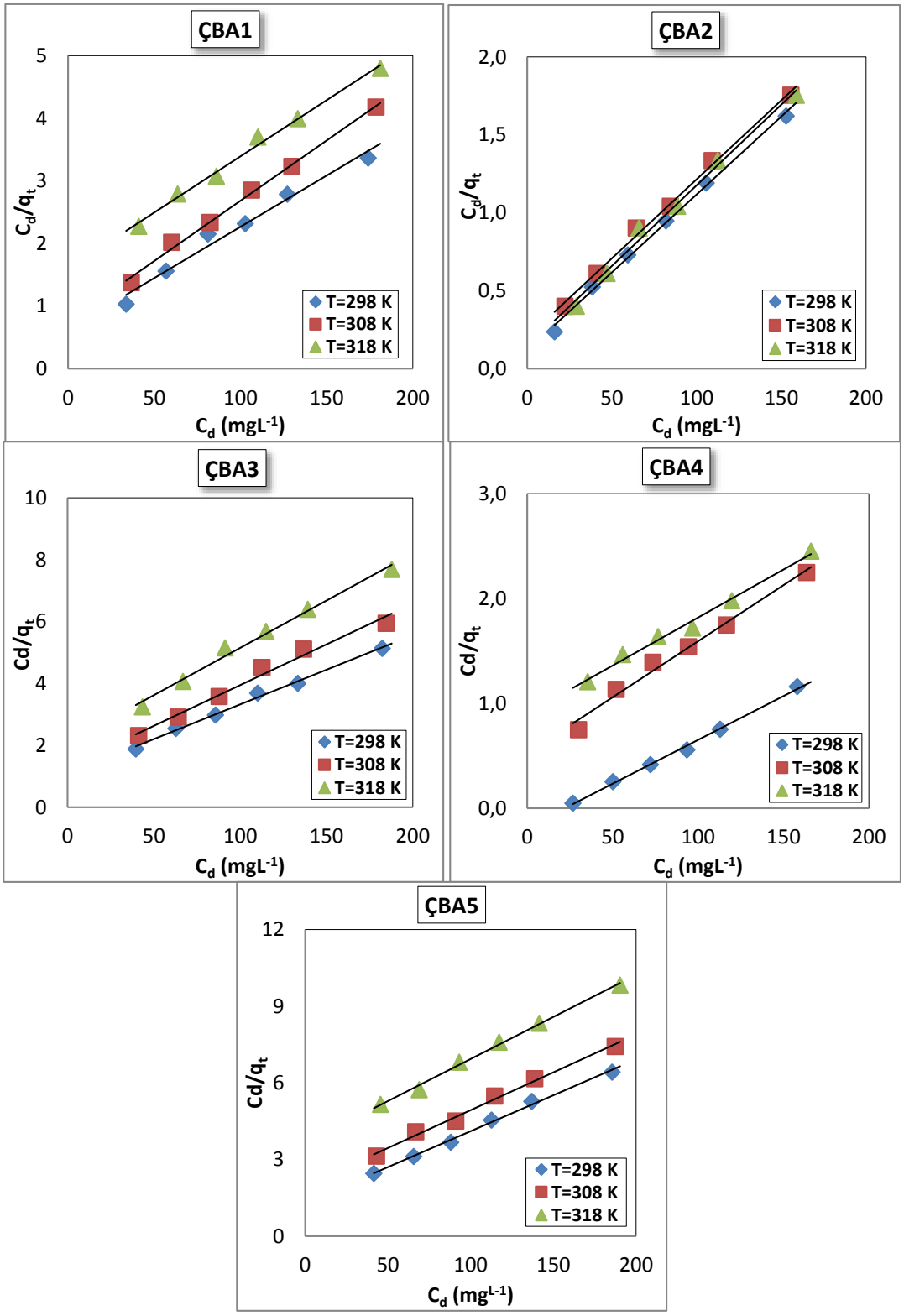
Şekil 4.94. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel halleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



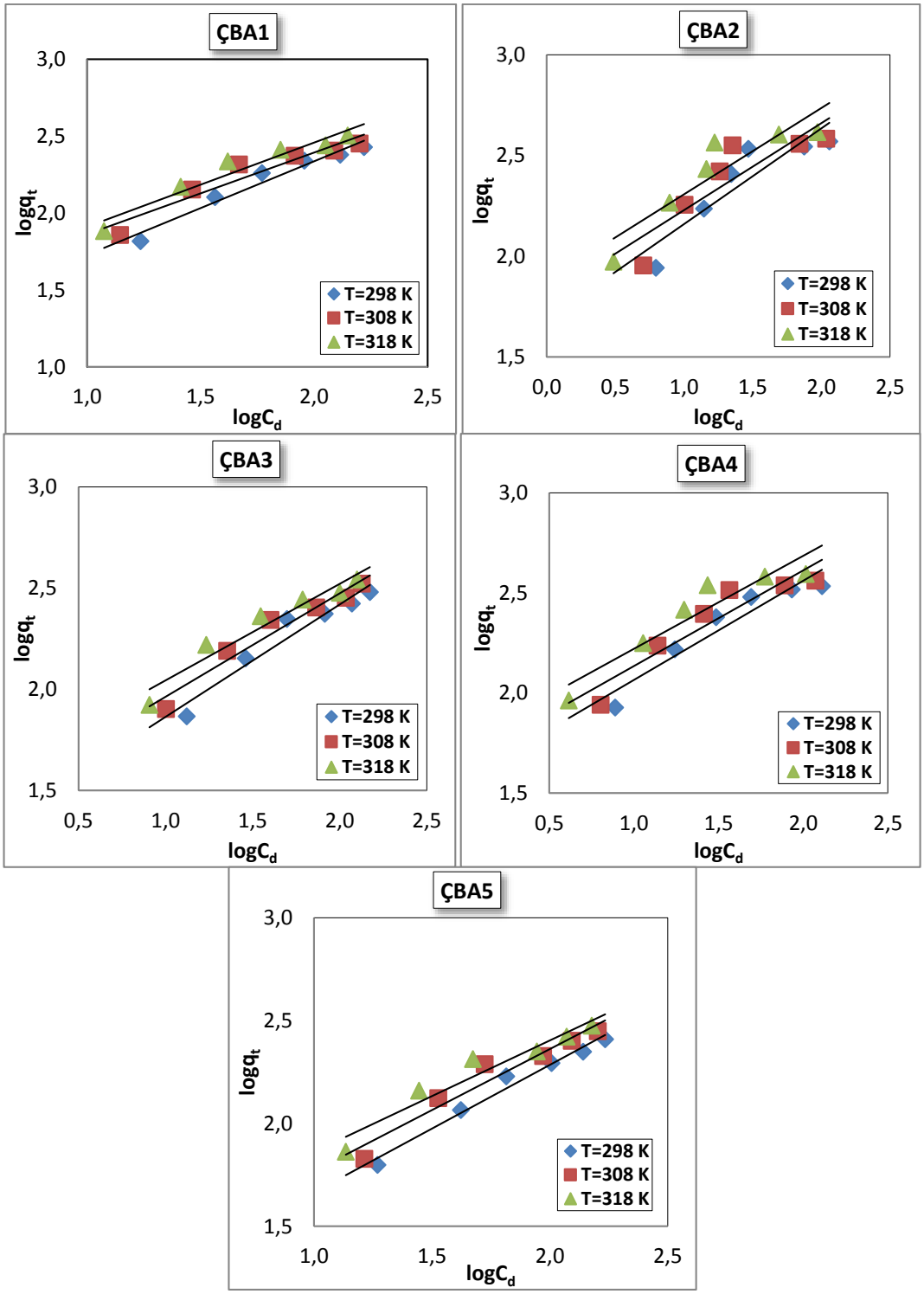
Şekil 4.95. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel halleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



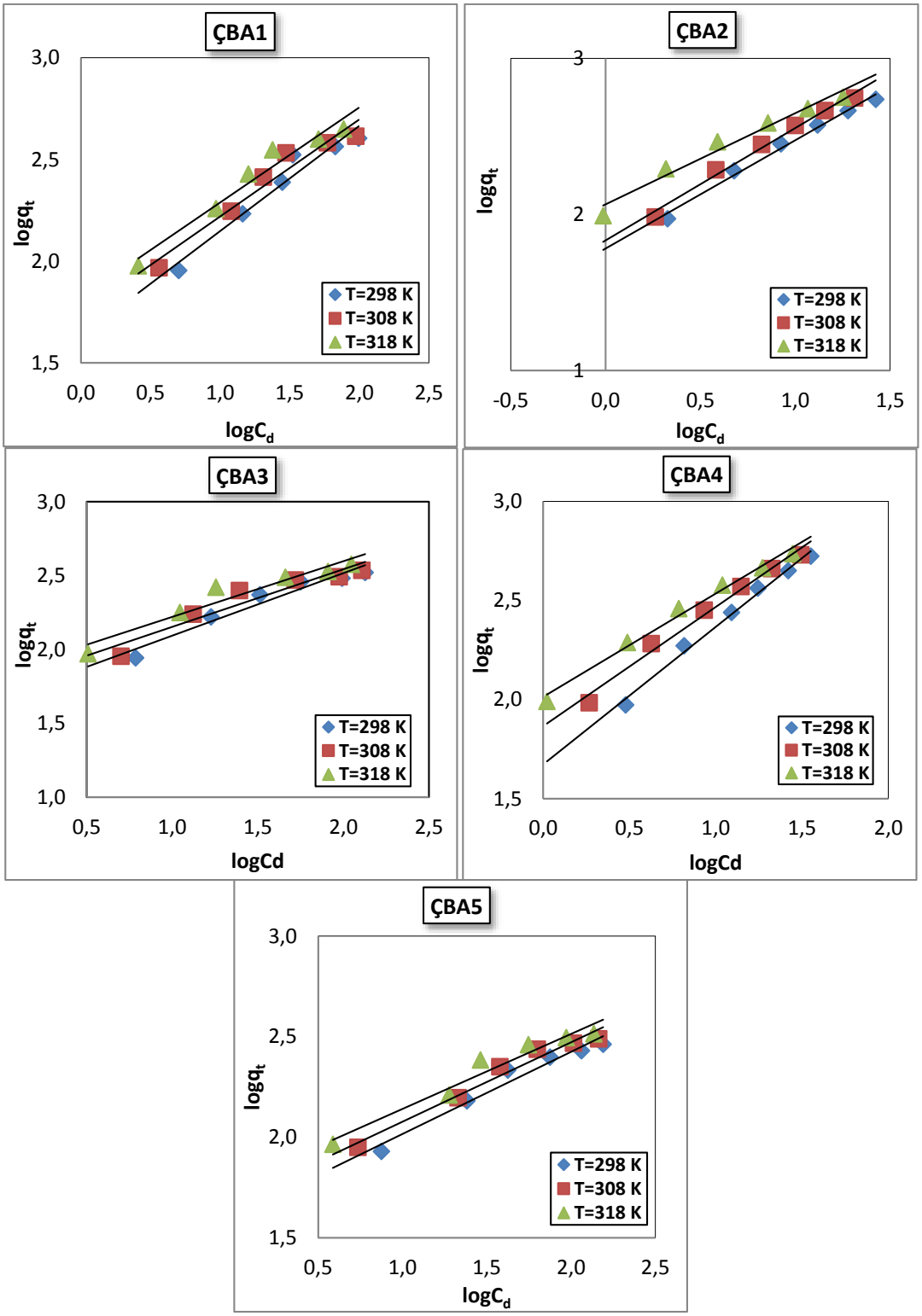
Şekil 4.96. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel halleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



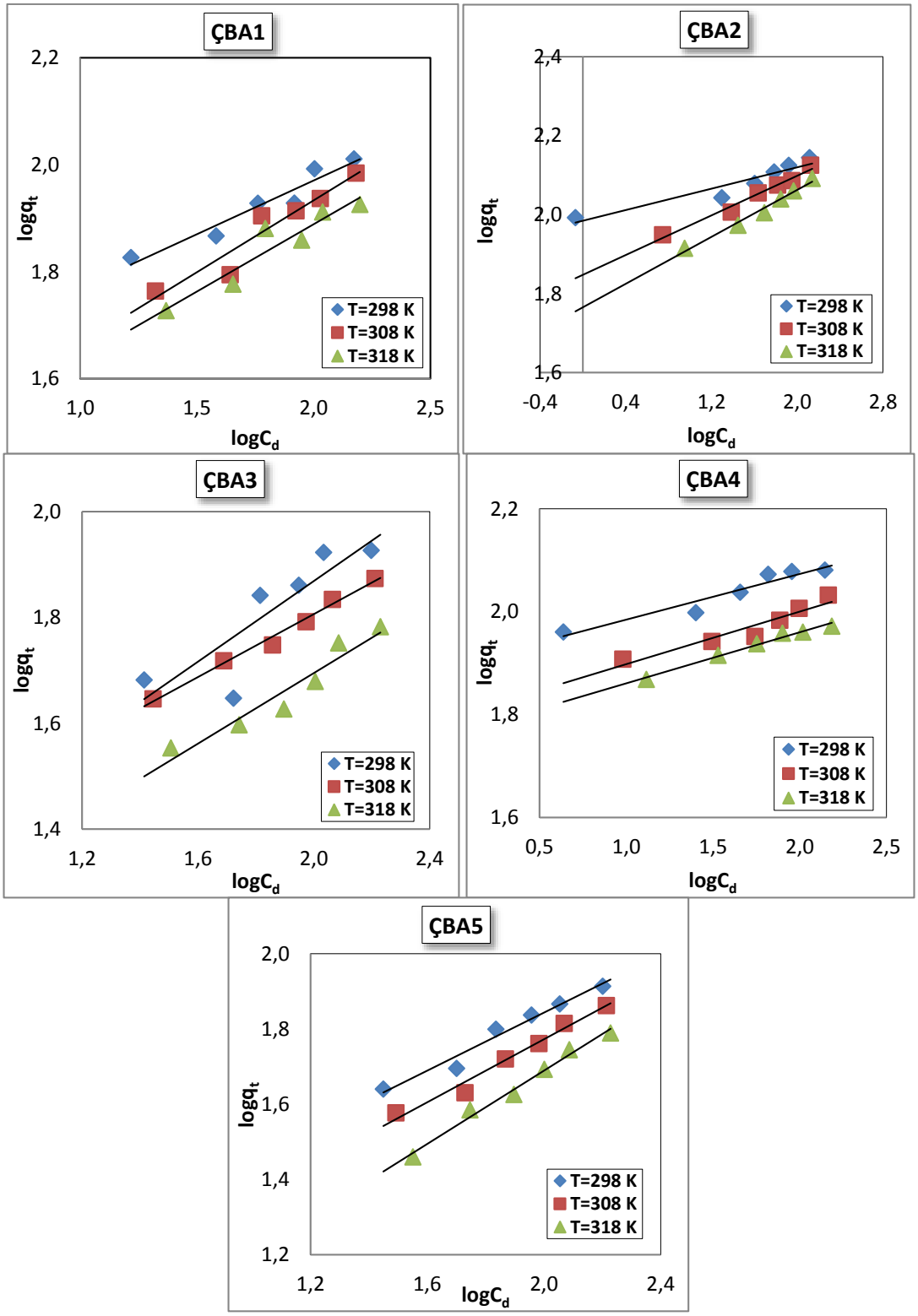
Şekil 4.97. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Langmuir tipi çizgisel halleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



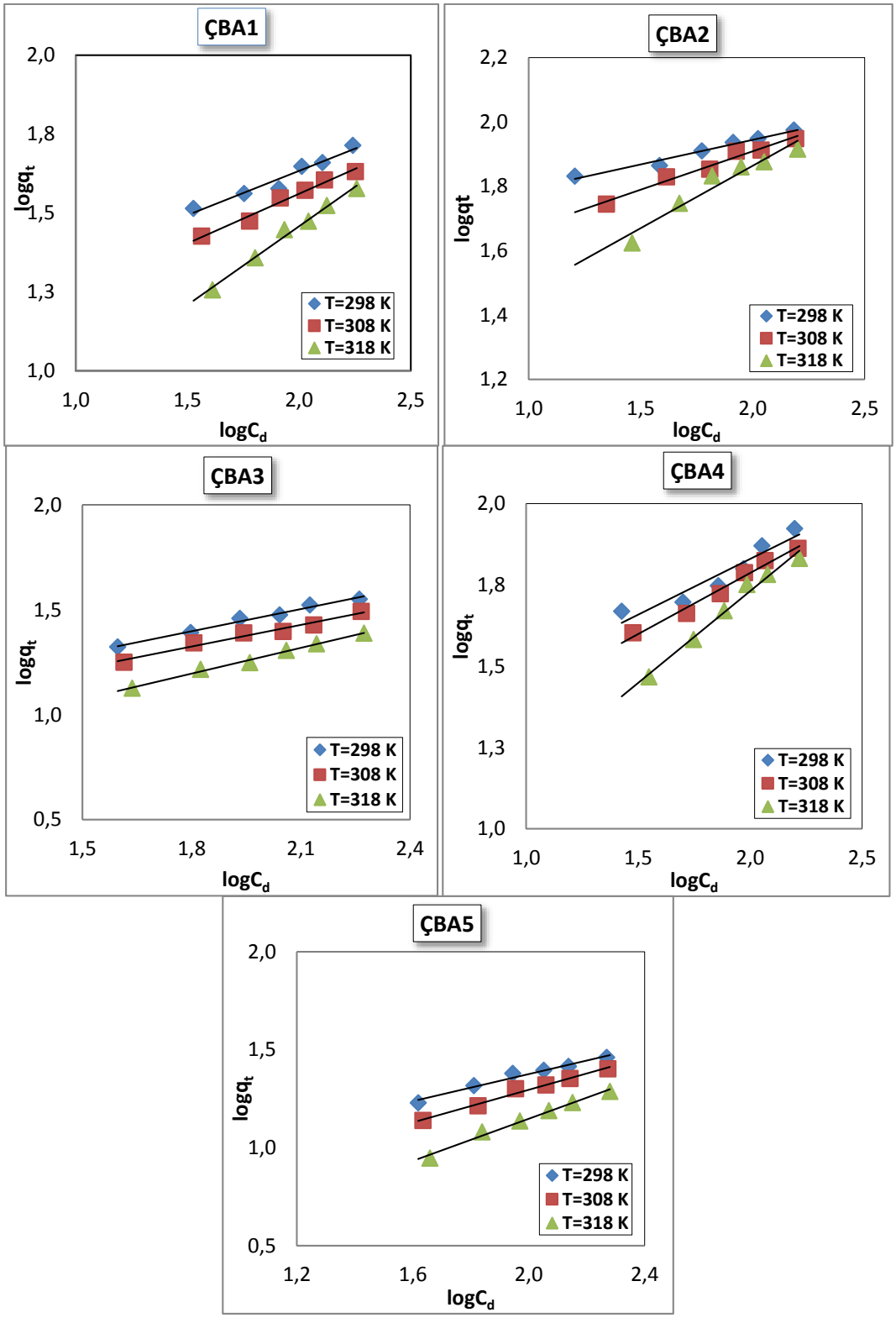
Şekil 4.98. Farklı sıcaklıklardaki MG' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



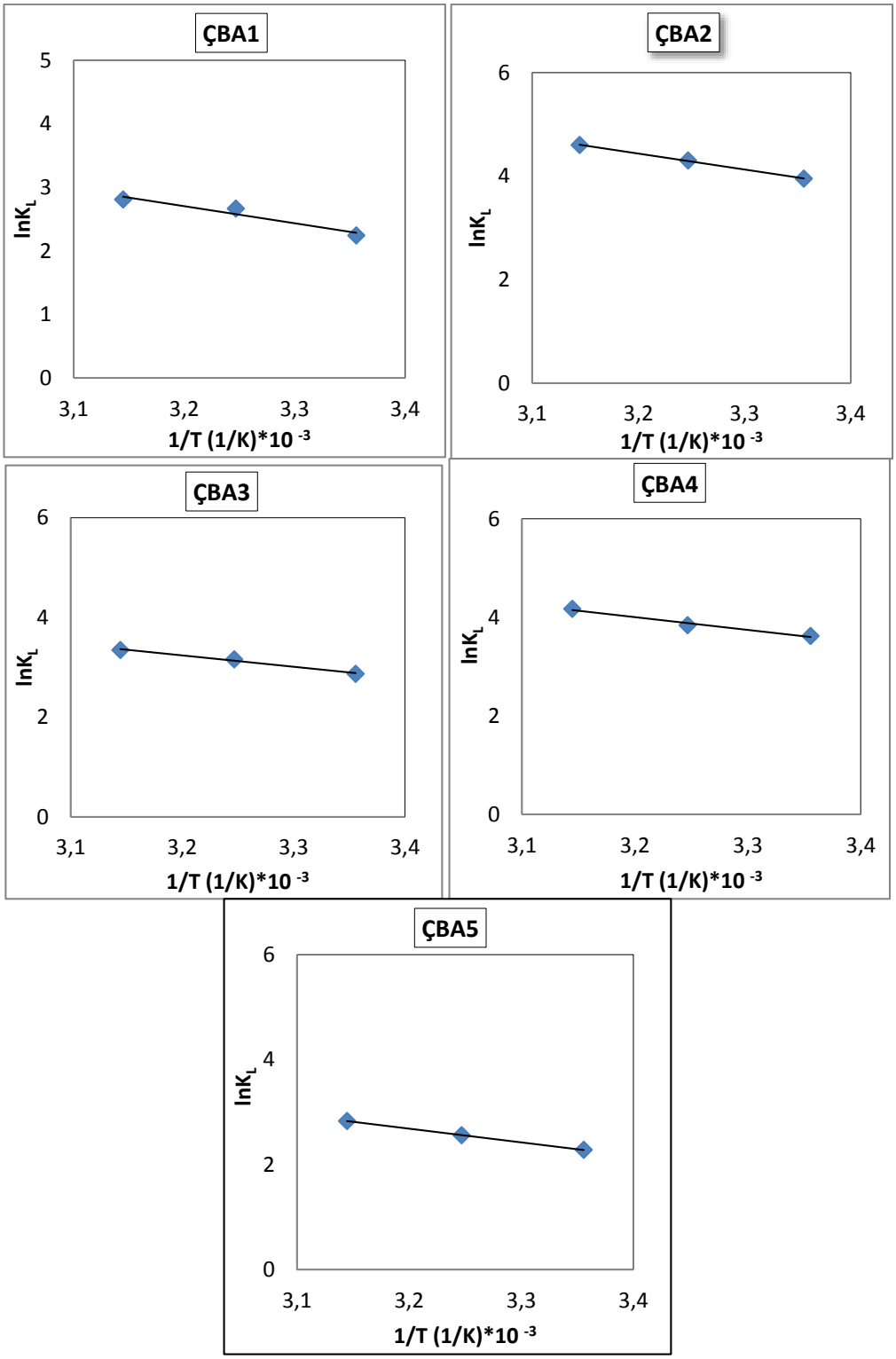
Şekil 4.99. Farklı sıcaklıklardaki MB' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (C_o=200 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



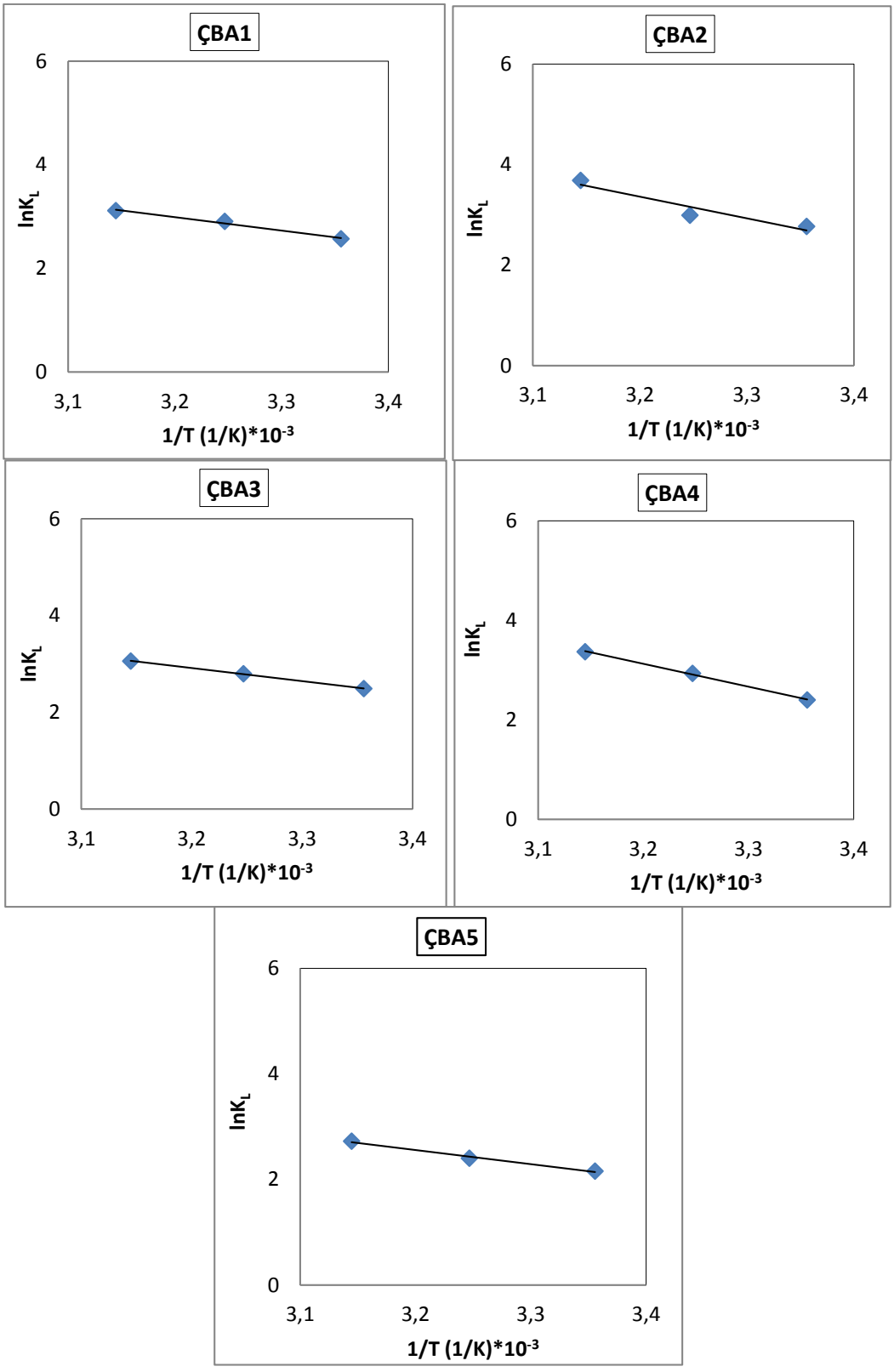
Şekil 4.100. Farklı sıcaklıklardaki Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



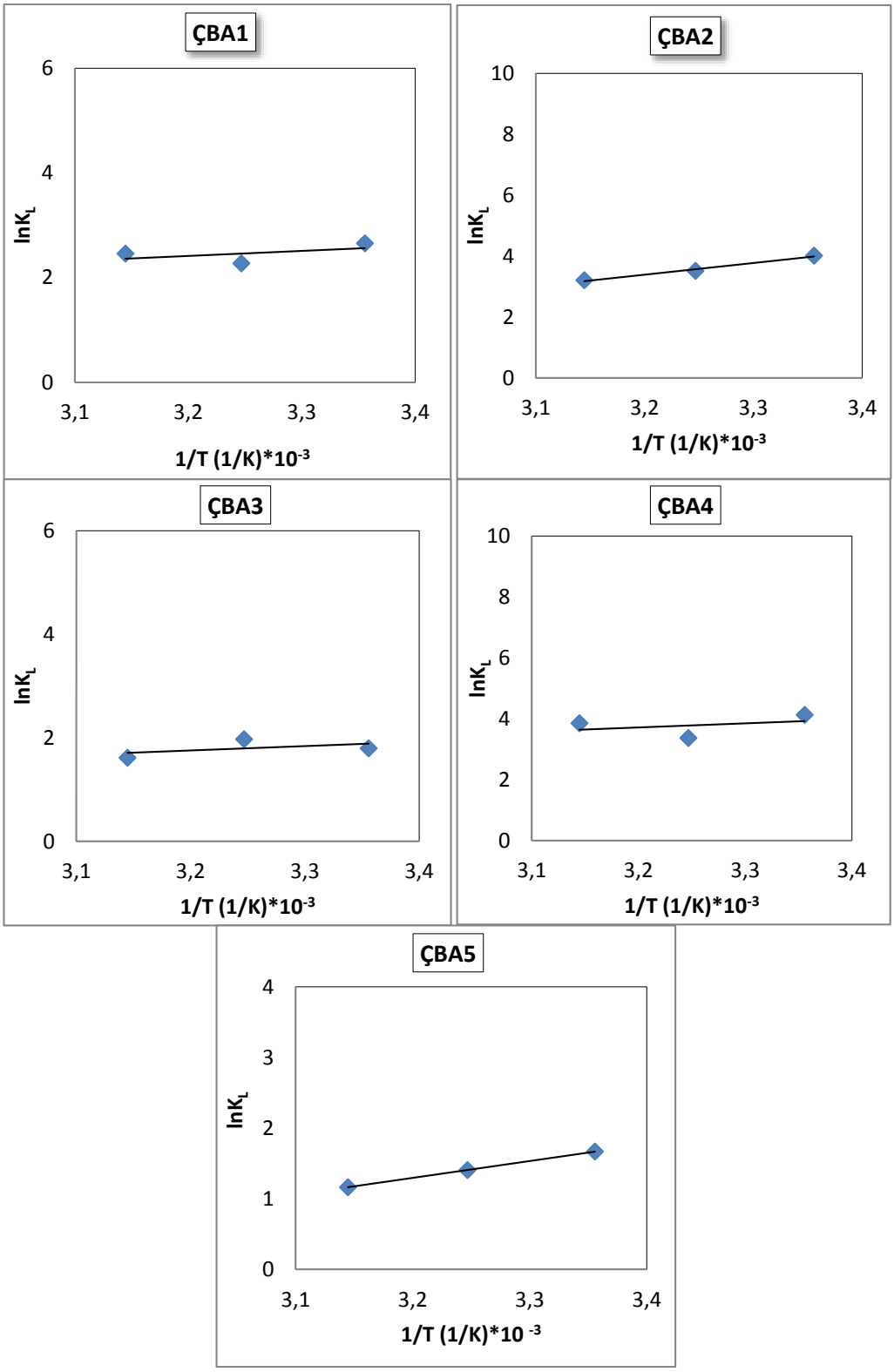
Şekil 4.101. Farklı sıcaklıklardaki Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerinde adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (C_o=100 mgL^{-1}, m=0.025 g, V=50 mL, hız=120 rpm)



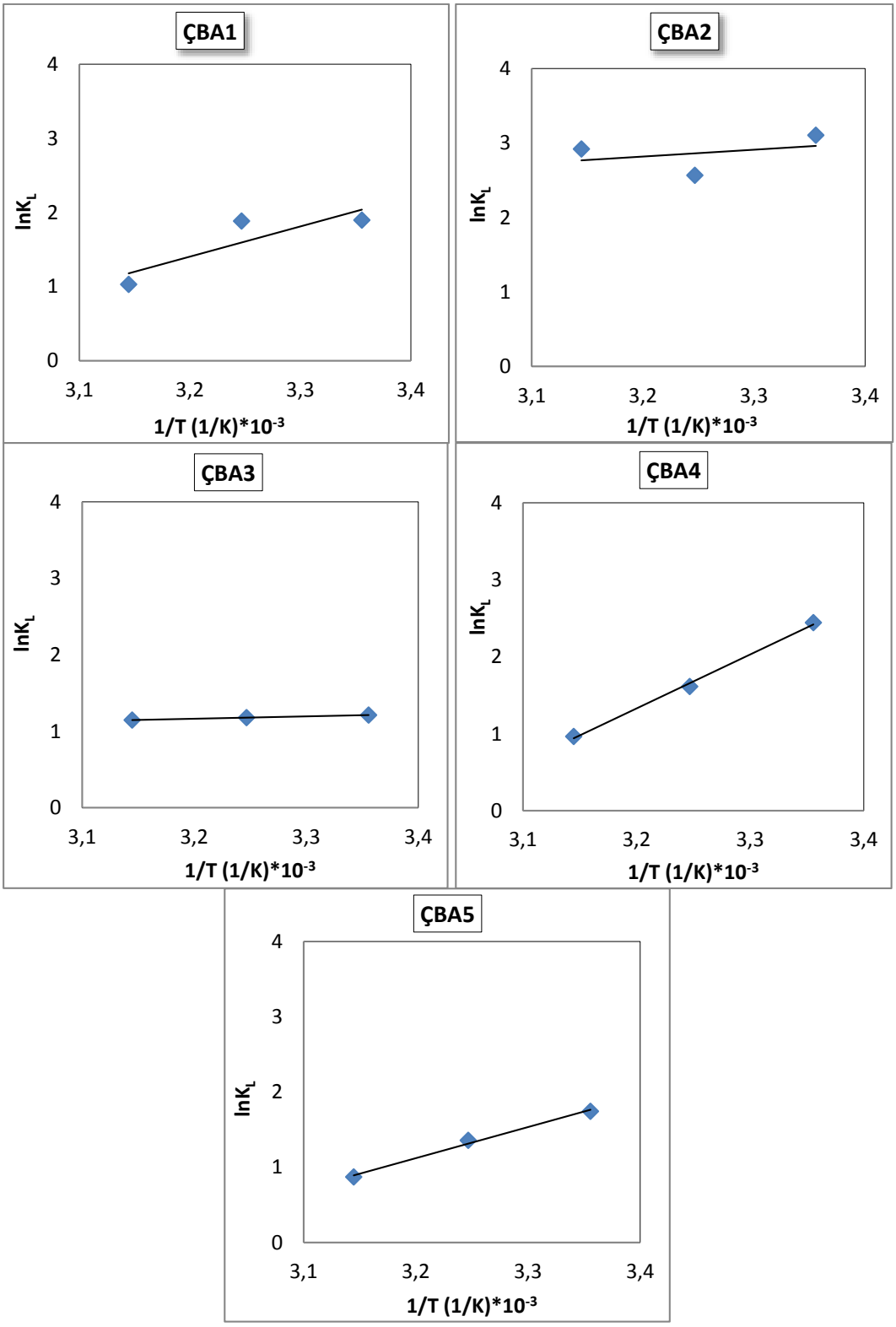
Şekil 4.102. MG' nin ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonuna ilişkin Van' t Hoff çizimleri



Şekil 4.103. MB' nin ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonuna ilişkin Van' t Hoff çizimleri



Şekil 4.104. Cu(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonuna ilişkin Van' t Hoff çizimleri



Şekil 4.105. Ni(II)' nin ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonuna ilişkin Van' t Hoff çizimleri

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmanın ön araştırmalarında, kullanılan adsorbentlerle daha yüksek adsorpsiyon kapasitesi elde etmek amacıyla, öncelikle farklı çapraz-bağlayıcılar kullanılarak çapraz-bağlayıcı etkisi incelendi. Bu amaçla çitosan, bentonit maddelerine ÇB1 için divinil benzen, ÇB2 için N,N-Metilen bisakrilamid, ÇB3 için N,N,N,N-tetrametillendiamin ve ÇB4 için etilenglikoldimetakrilat eklendi. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi ÇB2 kompoziti ile elde edildi fakat bu değerler literatür değerleriyle kıyaslandığında düşük olduğundan kompozitlere monomer (AA) eklendi.

ÇBA1 için N,N-Metilen bisakrilamid ile akrilik asit eklenip; ÇB1, ÇB2, ÇB3, ÇB4 ve ÇBA1 maddeleri hazırlanarak MG, MB boyar madde ile Cu(II), Ni(II) metal iyonlarının adsorpsiyon kapasiteleri incelendi (Şekil 4.1-4). Elde edilen sonuçlara göre en yüksek adsorpsiyon kapasitesi tüm adsorbatlar (MG, MB, Cu(II) ve Ni(II)) için ÇBA1 kompozitiyle elde edildi. Böylece ideal olan kompozit için hem MBA' nın en iyi çapraz bağlayıcı olduğu hem de akrilik asit monomerinin katılmasının adsorpsiyon kapasitesini büyük oranda artırdığı gözlemlendi.

Daha sonra, ÇBA1 kompozitinde bulunan MBA çapraz-bağlayıcı ve akrilik asit monomer oranlarının değişimiyle elde edilen ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerin birbirinden farklı adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu tespit edildi. Böylece sulu çözeltiden MG ve MB boyar maddeleri ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyonlarının uzaklaştırılması amacıyla farklı oranlarda akrilik asit ve MBA kullanarak çitosan ve bentonit maddeleri ile hazırlanan ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitleri adsorbent olarak kullanıldı.

5.1. Adsorbentlerin Karakterizasyon Çalışmalarının Değerlendirilmesi

5.1.1. FTIR Analizlerinin Değerlendirilmesi

Çalışmada kullanılan ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerinin yüzey fonksiyonel gruplarını belirlemek ve AA ile MBA oranlarının farklılıklarından oluşan değişimleri gözlemlemek için IR spektrumları alındı. Ayrıca kompozitlerin oluşumunda pik dalga sayısında meydana gelen değişimleri ve yeni pikleri gözlemlemek amacıyla çitosan ve bentonitin IR spektrumları da alınarak birbirleriyle kıyaslandı (Şekil 4.5).

Çitosanın IR spektrumunda 3200-3650 cm^{-1} arasında yayvan bir O-H, -NH_2 gerilme titreşimi, 2853.88 $cm^{-1'}$ de alifatik C-H gerilme titreşimi, 1655.13 $cm^{-1'}$ de amit C=O gerilme titreşimi, 1552.99 $cm^{-1'}$ de amit N-H gerilme titreşimi, 1374.69 $cm^{-1'}$ de C-H simetrik bükülmesi, 1063.93, 1026.03, 1152.99 $cm^{-1'}$ de eter C-O bağından kaynaklanan gerilme titreşimleri ile 889.60 $cm^{-1'}$ deki çitosanın şeklinden kaynaklanan titreşimi görülmektedir (Şekil 4.5) (Tran ve ark. 2013).

Bentonitin IR spektrumunda 3635.67 $cm^{-1'}$ de yapısal Si-OH, H-O-H gerilmesi, 1636.18 $cm^{-1'}$ de H-OH bükülme titreşimi, 1007.09, 1152.99 $cm^{-1'}$ de Si-O tetrahedral tabaka yapısı gerilme titreşimi, 914.24 $cm^{-1'}$ de Al-O-(OH) titreşimi , 874.44 $cm^{-1'}$ de Al(Mg)-O titreşimi görülmektedir (Şekil 4.5). Benzer bulgular Canbaz (2008), Yang ve ark. (2010), Biyong ve ark. (2015) yaptığı çalışmalarda da görülmüştür.

Şekil 4.5' te ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozit spektrumlarında sırasıyla 1713.87, 1717.66, 1706.29, 1715.71 ve 1708.19 $cm^{-1'}$ deki yeni oluşan piklerin asidik C=O' ya ait titreşim olduğu böylece AA ile MBA' nın yapıya katılımını, ÇBA3 ve ÇBA5' te bu piklerin daha belirgin ve artışı bu kompozitlerdeki AA ve MBA oranlarının daha fazla oluşunun göstergesi olarak düşünülmektedir.

Kompozitlerin IR spektrumlarına bakıldığında; çitosan spektrumuna ait 2853.88 $cm^{-1'}$ de alifatik C-H gerilme titreşimi ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerin spektrumlarında sırasıyla 2941.17, 2929.79, 2925.99, 2944.97 ve 2933.58 $cm^{-1'}$ e kaydığı görülmektedir (Şekil 4.5) (Zhang ve ark. 2007). Çitosana ait 1552.99 $cm^{-1'}$ deki N-H gerilme titreşiminden kaynaklanan pik ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerine ait spektrumlarında sırasıyla 1533.86, 1547.12, 1535.75, 1539.54 ve 1530.07 $cm^{-1'}$ e kaydığı görülmektedir (Şekil 4.5). Ayrıca ÇBA2 ile ÇBA4 kompozitlerinin spektrumlarındaki bu piklerin diğer kompozitlerin piklerinden daha yayvan ve daha büyük olduğu görülmüş, bunun da ÇBA2' deki AA, ÇBA4' deki MBA miktarlarının az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4.5' e bakıldığında, C-O eter bağından kaynaklanan ve çitosana ait 1026.03 ile 1063.93 $cm^{-1'}$ deki pikler ile Si-O-Si gerilmesine ait bentonite ait 1007.09 $cm^{-1'}$ deki pik ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozit spektrumlarında tek bir pik olarak yayvanlaşmış ve sırasıyla 1029.82, 1014.66, 1029.82, 1026.03 ve 1037.40 cm^{-1} dalga sayısına kaydığı görülmektedir. Ayrıca, çitosana ait 1152.99 cm^{-1} 'deki pikin ÇBA1,

ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozit spektrumlarında 1158.67, 1164,36, 1160.57, 1164.36 ve 1160.57 cm^{-1} dalga sayısına kaydığı ve ÇBA3 kompozitinde daha da arttığı gözlenmiş, bu artışın ÇBA3 kompozitinde daha fazla AA' nın (C-OH titreşimi) oranının daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bentonit spektrumundaki 874.44 cm^{-1} (AlMgOH), 914.24 cm^{-1} (Al-O-(OH)) titreşimi) pikleri ile çitosan spektrumundaki 889.60 cm^{-1} (çitosanın sakkarit şeklinden gelen) piki tüm kompozit spektrumlarında kaybolmuştur (Şekil 4.5).

Çitosandaki C-H bükülmesine ait 1306.47 ve 1374.69 cm^{-1} pikleri ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozit spektrumlarında 1046.90, 1448.59, 1399.32, 1446.69, 1391.74, 1446.69, 1401.22, 1444.80, 1046.9 ve 1448.59 $cm^{-1'}$ deki dalga sayılarına kaymış olduğu Şekil 4.5' de gözükmektedir. IR spektrumlarında pik frekanslarındaki bu değişmeler fonksiyonel grubun enejisindeki değişmelere karşılık geldiğinden, meydan gelen kayma, kaybolma ve yeni piklerin oluşumu yapıya yeni maddeler eklendiğinin göstergesidir.

Kompozitlerin yüzeyinde mevcut fonksiyonel grupların ve boyar madde ile metal iyonların adsorpsiyonunda rol alan fonksiyonel grupları belirlemek için, kompozitlerin adsorpsiyon öncesi ve sonrası IR spektrumları alınmıştır (Şekil 4.6-4.25). FTIR spektrumlarında pik frekanslarındaki değişmeler fonksiyonel grubun enejisindeki değişmelere karşılık geldiğinden, adsorpsiyon sonrasında meydan gelen kayma yeni piklerin oluşması veya kaybolması gibi değişiklikler o piklerin adsorpsiyonda rol aldığının ve boyar maddeler için bu boyar maddelerin yapıya eklendiğinin bir göstergesidir.

Kompozitlerin MG boyar maddesinin adsorpsiyon öncesi ve adsorpsiyon sonrası IR analizlerine bakıldığında adsorpsiyon öncesinde yer alan ÇBA1 kompoziti için; 1711.98 $cm^{-1'}$ deki pikin 1708.19 $cm^{-1'}$ e, 1531.96 $cm^{-1'}$ deki pikin 1524.38 $cm^{-1'}$ e, 1164.36 $cm^{-1'}$ deki pikin 1158.67 $cm^{-1'}$ e (Şekil 4.6), ÇBA2 kompoziti için; 1721.45 $cm^{-1'}$ deki pikin 1711.98 $cm^{-1'}$ e, 1554.70 $cm^{-1'}$ deki pikin 1560.39 $cm^{-1'}$ e, 1160.56 $cm^{-1'}$ deki pikin 1164.36 $cm^{-1'}$ e (Şekil 4.7), ÇBA3 kompoziti için; 1698.12 $cm^{-1'}$ deki pikin 1693.03 $cm^{-1'}$ e, 1528.17 $cm^{-1'}$ deki pikin 1526.28 $cm^{-1'}$ e, 1158.67 $cm^{-1'}$ deki pikin 1156.78 cm-1' e (Şekil 4.8), ÇBA4 kompoziti için; 1710.08 $cm^{-1'}$ deki pikin 1691.13 $cm^{-1'}$ e, 1541.44 $cm^{-1'}$ deki pikin 1524.38 $cm^{-1'}$ e (Şekil 4.9), ÇBA5 kompoziti için;

1713.87 cm^{-1}' deki pikin 1702.50 cm^{-1}' e, 1528.17 cm^{-1}' deki pikin 1530.07 cm^{-1}' e , 1160.57 cm^{-1}' deki pikin 1164.36 cm^{-1}' e adsorpsiyon sonrasında (Şekil 4.10) kaydığı görülmektedir. Aromatik benzen halkasına ait C=C titreşimini gösteren ÇBA1 için; 1581.23 cm^{-1}, ÇBA2 için; 1520.59 cm^{-1}, ÇBA3 için; 1588.81 cm^{-1}, ÇBA4 için; 1585.02 cm^{-1}, ÇBA5 için; 1586.91 cm^{-1}; yine benzenin aromatik halkasına ait C-H bükülme titreşimini gösteren ÇBA1 için; 720.96, 889.08, 936.98 cm^{-1}, ÇBA2 için; 696.75, 724,75 cm^{-1}, ÇBA3 için; 726.65, 900.97, 938.87 cm^{-1}, ÇBA4 için; 724.75, 904.76, 940.77 cm^{-1}, ÇBA5 için; 724.75, 904.10, 941.50 cm^{-1}' de yeni pikler gözlemlenmiştir (Şekil 4.6-4.10).

Ayrıca aromatik benzen halkasına ait C-C titreşimine ait olduğu düşünülen ÇBA1 için yeni oluşan 1363.32 cm^{-1}, ÇBA2 için 1399.32 cm^{-1}' deki pikin 1359.53 cm^{-1}' e kayması ve bu pik miktarındaki artış, ÇBA3 için 1386.06 cm^{-1}' deki pikin 1365.22 cm^{-1}' e kayması ve bu pik miktarındaki artış, ÇBA4 için 1353.85 cm^{-1}' deki pikin 1365.22 cm^{-1}' e kayması ve bu pik miktarındaki artış, ÇBA5 için; 1382.27 cm^{-1}' deki pikin 1363.32 cm^{-1}' e kayması ve bu pik miktarındaki artış gözlemlenmiştir (Şekil 4.6-4.10) (Angelova ve ark. 2016, Bekçi 2009). Adsorpsiyon sonrasında meydana gelen bu piklerdeki kayma, yeni oluşan pikler ve pik oranlarındaki artışların MG boyar maddesinin kompozitlerin yüzeylerine adsorplanmış olmasının göstergesi olduğu düşünülmektedir.

Kompozitlerin MB boyar maddesinin adsorpsiyon öncesi ve adsorpsiyon sonrası IR analizlerinde adsorpsiyon öncesinde yer alan sırasıyla C-O-C, N-H (amit) titreşimine ait ÇBA1 kompoziti için; 1026.03 cm^{-1}' deki pikin 1037.40 cm^{-1}' e, 1531.96 cm^{-1}' deki pikin 1541.44 cm^{-1}' e (Şekil 4.11), ÇBA2 kompoziti için; 1012.77 cm^{-1}' den 1010.88 cm^{-1}' e, 1552.81 cm^{-1}' den 1535.75 cm^{-1}' e (Şekil 4.12), ÇBA3 kompoziti için; 1037.40 cm^{-1}' den 1031.72 cm^{-1}' e, 1545.23 cm^{-1}' den 1535.75 cm^{-1}' e, (Şekil 4.13), ÇBA4 kompoziti için; 1026.03 cm^{-1}' den 1020.35 cm^{-1}' e, 1541.44 cm^{-1}' den 1539.54 cm^{-1}' e (Şekil 4.14), ÇBA5 kompoziti için; 1037.40 cm^{-1}' den 1039.30 cm^{-1}' e, 1530.07 cm^{-1}' den 1533.86 cm^{-1}' e adsorpsiyon sonrasında (Şekil 4.15) kaydığı görülmektedir. Yine C=O bağına ait olduğu sanılan ve adsorpsiyon öncesinde ÇBA1 için 1645.60 cm^{-1}, ÇBA2 için 1668.39, 1634.29 cm^{-1}, ÇBA3 için 1657.02 cm^{-1}, ÇBA4 için 1668.39, 1647.55 cm^{-1}, ÇBA5 için 1666.50, 1615.34 cm^{-1} pikleri adsorpsiyon sonrasında kaybolduğu görülmektedir. Meydana gelen bu piklerdeki kaymalar ve piklerin kayboluşu adsorpsiyonun katı

yüzeyinde bu bağlarda (C-O-C, N-H) meydana geldiği düşünülmektedir (Weng ve ark. 2009, Anisuzzaman ve ark. 2015). Şekil 4.10-15' te görüldüğü üzere kompozitlerin MB boyar maddesi adsorpsiyon sonrasında ortaya çıkan sırasıyla aromatik C=C gerilmesi, aromatik C-C (veya C=S) gerilmesi, aromatik C-H bükülmesine ait olduğu düşünülen ÇBA1 için 1594.48, 1387.95, 878.23 cm^{-1}, ÇBA2 için 1598.29, 1327.32, 882.02 cm^{-1}, ÇBA3 için 1598.28, 1327.32, 878.23 cm^{-1}, ÇBA4 için 1598.28, 1389.85, 882.02 cm^{-1}, ÇBA5 için 1596.39, 1325.42, 880.13cm^{-1} yeni piklerin MB' nin ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerin yüzeyinde adsorplandığının kanıtını göstermektedir (Auta ve Hameed 2014) .

Şekil 4.16-20' de kompozitlerin Cu(II) metal iyonunun adsorpsiyon öncesi ve adsorpsiyon sonrası IR analizlerine göre; adsorpsiyon öncesinde kompozitlerin spektrumlarında yer alan sırasıyla N-H (veya COO^{-}) gerilme titreşimi, C-O (veya Si-O) gerilme titreşimi, C-H bükülme titreşimi ÇBA1 için 1444.80 cm^{-1}'den 1446.69 cm^{-1}'e, 1035.51 cm^{-1}' den 1048.77 cm^{-1}' e, 794.86 cm^{-1}'den 796.71 cm^{-1}' e, ÇBA2 için 1446.69 cm^{-1}' den 1444.80 cm^{-1}' e, 1018.45 cm^{-1}' den 1022.24 cm^{-1}' e, 789.18 cm^{-1}' den 786.10 cm^{-1}'e, ÇBA3 için 1446.69 cm^{-1}' de azalmış, 1031.72 cm^{-1}' de azalmış, 794.86 cm^{-1}' den 787.28 cm^{-1}'e, ÇBA4 için 1541.44 cm^{-1}' den 1530.07 cm^{-1}' e, 1024.14 cm^{-1}' de azalmış, 791.07 cm^{-1}' den 794.86 cm^{-1}' e, ÇBA5 için 1444.80 cm^{-1}' den 1446.69 cm^{-1}' e, 1027.93 cm^{-1}' den 1022.24 cm^{-1}' e, 791.07 cm^{-1}' den 792.97 cm^{-1}' e kaymalara ve azalmalara uğradığı görülmüştür. Kompozit spektrumlarında adsorpsiyon sonrası meydana gelen bu kayma ve azalmalar Cu(II) metal iyonu adsorpsiyonunun adsorbent yüzeyindeki bu piklere ait gruplarda (N-H, C-O, C-H) meydana geldiği düşünülmektedir. Yine aynı spektrumlarda kompozitlerin adsorpsiyon öncesinde meydana gelen ÇBA1'de (C=O, amit) 1643.76 cm^{-1}, ÇBA2' de (C=O, amit) 1666.50, 1636.18 cm^{-1}, ÇBA3' te (C=O, amit) 1658.92, (C-H bükülmesi) 1386.06 cm^{-1}, ÇBA4' te (C=O, amit) 1666.50, (N-H, amit) 1577.44 cm^{-1}, ÇBA5' te (C=O, amit) 1666.50 cm^{-1}, (N-H, amit) 1577.44 cm^{-1}' deki dalga sayılarının kaybolması adsorpsiyonun bu gruplar üzerinden gerçekleştiğinin kanıtını göstermektedir (Badruddoza ve ark. 2011).

Şekil 4.21-25' te kompozitlerin Ni(II) metal iyonunun adsorpsiyon öncesi ve adsorpsiyon sonrası IR analizlerine göre; adsorpsiyon öncesinde kompozitlerin spektrumlarında yer alan sırasıyla asidik C=O gerilme titreşimi, amit C=O gerilme titreşimi, C-O (Si-O) gerilme titreşimi, C-H (Si-O) bükülme titreşimi ÇBA1 için:

1664.66 cm^{-1}' den 1638.08 cm^{-1}' e, 1531.96 cm^{-1}' den 1533.86 cm^{-1}' e, 1039.30 cm^{-1}' den 1043.09 cm^{-1}' e, 794.86 cm^{-1}' den 791.07 cm^{-1}' e, ÇBA2 için: 1666.50 cm^{-1}' den 1638.08 cm^{-1}' e, 1554.70 cm^{-1}' den 1531.96 cm^{-1}' e, 1014.66 cm^{-1}' den 1031.72 cm^{-1}' e, 791.07 cm^{-1}' den 802.44 cm^{-1}' e, ÇBA3 için: 1657.02. cm^{-1}' den, 1653.23 cm^{-1}' e, 1545.23 cm^{-1}' den 1550.91 cm^{-1}' e, 1033.61 cm^{-1}' den 1016.56 cm^{-1}' e, 792.97 cm^{-1}' den 789.18 cm^{-1}' e, ÇBA4 için: 1664.60 cm^{-1}' den 1654.08 cm^{-1}' e, 1577.44 cm^{-1}' den, 1588.81 cm^{-1}' e, 1026.03 cm^{-1}' den, 1012.77 cm^{-1}' e, ÇBA5 için: 1666.50 cm^{-1}' den 1662.70 cm^{-1}' e, 1530.07 cm^{-1}' den 1541.44 cm^{-1}' e, 1033.61 cm^{-1}' den 1039.30 cm^{-1}' e, 787.28 cm^{-1}' den 798.65 cm^{-1}' e adsorpsiyon sonrasında kaymalara ve azalmalara uğradığı görülmüştür. Kompozit spektrumlarında adsorpsiyon sonrası meydana gelen bu kayma ve azalmalar Ni(II) metal iyonu adsorpsiyonunun adsorbent yüzeyindeki bu piklere ait gruplarda (asidik C=O, amit C=O, C-H, C-O, Si-O) meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca, aynı spektrumlarda kompozitlerin adsorpsiyon öncesinde meydana gelen ÇBA1' de (C-H bükülme) 1380.37 cm^{-1}, ÇBA2' de (C=O, amit) 1666.50, 1636.36 cm^{-1}, ÇBA3' te (C-H bükülme) 1386.06, ÇBA4' te (C=O, amit) 1645.66, (N-H, amit) 1497.07 cm^{-1}, ÇBA5' te (N-H, amit) 1577.44 cm^{-1}' deki dalga sayılarının adsorpsiyon sonrasında kaybolması adsorpsiyonun bu gruplar üzerinden gerçekleştiğinin de kanıtını göstermektedir (Hadi 2012, Shanmugapriya ve ark. 2013, Ba ve ark. 2014)

5.1.2. SEM Analizleri Değerlendirilmesi

ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerin adsorpsiyon öncesi ve sonrası yüzey morfolojilerini aydınlatmak için SEM görüntüleri alındı. Şekil 4.26 a, b, c, d, e - 30 a, b, c, d, e incelendiğinde hazırlanan ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerin MG, MB, Cu(II) ve Ni(II) adsorpsiyon öncesi ve adsorpsiyon sonrası görüntüleri birbirinden farklı olduğu dolayısıyla adsorpsiyon sonrası yüzey morfolojilerinde değişme meydana geldiği görülmektedir.

5.1.3. TGA-DTA Analizleri Değerlendirilmesi

Kompozitlerin termal kararlılıklarının araştırılmasında kullanılır. Programlı olarak arttırılan veya azaltılan sıcaklık sonucunda bir maddenin kütlesinde meydana gelecek olan azalmalar, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak belirlenir, sıcaklık ve kütle arasında termogram (termal bozunma eğrileri) eğrileri elde edilir. Sıcaklık artışı sonucunda meydana gelen kütle kayıpları genel olarak su gibi uçucu bileşiklerin

yapıdan ayrılması veya maddenin ayrışmasıdır. Yüksek sıcaklıkta bozunmanın neden olduğu buharlaşabilen ürünlerin oluşumuyla olan ağırlık kaybı sıcaklığın fonksiyonu olarak gözlemlenir. TGA analizi ile ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitleri ile çitosan ve bentonitin termal analizleri sonucu elde edilen verileri Şekil 4.31-37' te gösterilmektedir. Bu grafiklerde termogravimetrik analiz, TGA grafiği olup sıcaklık değişimine bağlı olarak ağırlık kaybını göstermektedir. Diferansiyel termal analiz, DTA grafiği endotermik veya ekzotermik reaksiyonların izlenmesinde veri sağlamaktadır. Endotermik reaksiyonlar sonucu örnek dışarıdan ısı alır ve bu durumda oluşan pik negatiftir. Ekzotermik reaksiyonlarda ise, örnek dışarıya ısı verir ve bu durumda oluşan pik pozitiftir. Genellikle örnek içerisinde, CO_2 çıkışı, suyun uzaklaşması (kuruma), kristal yapının değişmesi, bozunma ve erime gibi fiziksel özellikler endotermik reaksiyonlarının sonucudur. Örnekte meydana gelen kristalleşmeler ise ekzotermik pikler ile temsil edilir.

ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitleri ile çitosan ve bentonitin TGA-DTA termogramları Şekil 4.31-37' de verilmiş olup, analiz sonuçları Çizelge 4.1' de gösterilmektedir. Kompozitlerin T_{20} (%20 kütle kaybının gerçekleştiği sıcaklık) ve T_{50} (%50 kütle kaybının gerçekleştiği sıcaklık) sıcaklıkları, TGA eğrilerinden; T_{on} (bozunmanın başladığı sıcaklık) sıcaklıkları ve bozunma basamak sayıları, TGA' nın türevi olan DTA eğrilerinden yararlanılarak belirlendi. DTA eğrilerindeki pik değerleri, maksimum bozunma hızına karşılık gelen sıcaklık (T_{max}) değerlerini ifade etmektedir.

10-100 ^oC arasında gözlenen kütle kayıpları kompozit yapısına absorblanmış suyun uzaklaşmasını göstermektedir (Solmaz 2014). % 50 kütle kaybının gerçekleştiği sıcaklık değeri ile kalıntı karbon miktarı, sıcaklığa karşı dayanıklılığın en iyi göstergeleri olarak bilinmektedir (Dilek 2011).

ÇBA1 kompozitinin ilk bozunmaya başladığı sıcaklık TGA eğrisine göre 230 ^oC (T_{on}), 1. T_{max}, kütle kaybı 280 ^oC, % 25.4; 2. T_{max} ve kütle kaybı 343 ^oC, % 35; 3. T_{max}, kütle kaybı 352 ^oC, % 43.7; 4. T_{max}, kütle kaybı 652 ^oC, % 89.6, 5. T_{max} ve kütle kaybı 731 ^oC, %93.6 olup; % 20 ve % 50' lik kütle kayıplarının gözlendiği sıcaklıklar sırasıyla 280 ve 352 ^oC olarak bulundu. 900 ^oC' deki kalıntı miktarı ise % 7.18 olarak bulundu. ÇBA1' in DTA eğrisinde 420, 650 ^oC' de endotermik; 390, 480 ve 700 ^oC' de ise ekzotermik pikler gözlendi (Şekil 4.31).

ÇBA2 kompozitinin ilk bozunmaya başladığı sıcaklık TGA eğrisine göre 211^{o}C (T_{on}), 1. T_{max}, kütle kaybı 338 ^{o}C, % 19.78; 2. T_{max}, kütle kaybı 375 ^{o}C, % 29.5; 3. T_{max}, kütle kaybı 468 ^{o}C, % 47.9; 4. T_{max}, kütle kaybı 615 ^{o}C, % 58.68, 5. T_{max}, kütle kaybı 729 ^{o}C, % 72.24 olup; %20 ve %50' lik kütle kayıplarının gözlendiği sıcaklıklar sırasıyla 211 ve 468 ^{o}C olarak bulundu. 900 ^{o}C' deki kalıntı miktarı ise % 24 olarak bulundu. ÇBA2' nin DTA eğrisinde 370 ve 600 ^{o}C' de endotermik; 350, 480 ve 620 ^{o}C' de ise ekzotermik pikler gözlendi (Şekil 4.32).

ÇBA3 kompozitinin ilk bozunmaya başladığı sıcaklık TGA eğrisine göre 211 ^{o}C (T_{on}), 1. T_{max}, kütle kaybı 265 ^{o}C, % 25.56; 2. T_{max}, kütle kaybı 360 ^{o}C, % 42.15; 3. T_{max}, kütle kaybı, 451 ^{o}C, % 67.65; 4. T_{max}, kütle kaybı 694 ^{o}C, % 91.3 olup; % 20 ve % 50' lik kütle kayıplarının gözlendiği sıcaklıklar sırasıyla 211 ve 360 ^{o}C olarak bulundu. 900^{o}C' deki kalıntı miktarı ise % 5.2 olarak bulundu. ÇBA3' ün DTA eğrisinde 280, 410, 425 ve 500 ^{o}C' de endotermik; 350, 480 ve 550 ^{o}C' de ise ekzotermik pikler gözlendi (Şekil 4.33).

ÇBA4 kompozitinin ilk bozunmaya başladığı sıcaklık TGA eğrisine göre 218 ^{o}C (T_{on}), 1. T_{max}, kütle kaybı 276 ^{o}C, % 18.47; 2. T_{max}, kütle kaybı 333 ^{o}C, % 26.73; 3. T_{max}, kütle kaybı 480 ^{o}C, % 61.91; 4. T_{max}, kütle kaybı, 718 ^{o}C, % 80.60 olup; % 20 ve % 50' lik kütle kayıplarının gözlendiği sıcaklıklar sırasıyla 276 ve 480 ^{o}C olarak bulundu. 900 ^{o}C' deki kalıntı miktarı ise % 14.9 olarak bulundu. ÇBA4' ün DTA eğrisinde 290, 400, 500, 580 ve 610 ^{o}C' de endotermik; 390, 480, 620, 700 ve 790 ^{o}C' de ise ekzotermik pikler gözlendi (Şekil 4.34).

ÇBA5 kompozitinin ilk bozunmaya başladığı sıcaklık TGA eğrisine göre 198 ^{o}C (T_{on}), 1. T_{max}, kütle kaybı 248 ^{o}C, % 12.68; 2. T_{max}, kütle kaybı 279 ^{o}C, % 20.71; 3. T_{max}, kütle kaybı 348 ^{o}C, % 32.70; 4. T_{max}, kütle kaybı 450 ^{o}C, % 61.99, 5. T_{max}, kütle kaybı 722 ^{o}C, % 89.63 olup; % 20 ve % 50' lik kütle kayıplarının gözlendiği sıcaklıklar sırasıyla 279 ve 450 ^{o}C olarak bulundu. 900 ^{o}C' deki kalıntı miktarı ise % 9.1 olarak bulundu. ÇBA5' nin DTA eğrisinde 280, 440 ve 500 ^{o}C' de endotermik; 400, 480 ve 550 ^{o}C' de ise ekzotermik pikler gözlendi (Sadeghi 2011) (Şekil 4.35).

Çitosanın ilk bozunmaya başladığı sıcaklık TGA eğrisine göre 95 ^{o}C (T_{on}), 1. T_{max}, kütle kaybı 96 ^{o}C, % 7.5; 2. T_{max}, kütle kaybı 279 ^{o}C, % 7.3; 3. T_{max}, kütle kaybı 318 ^{o}C, % 57; 4. T_{max}, kütle kaybı 318 ^{o}C, % 29.33; 5. T_{max}, kütle kaybı 846 ^{o}C, %

89.63 olup; % 20 ve % 50' lik kütle kayıplarının gözlendiği sıcaklıklar sırasıyla 279 ve 318 ^{o}C olarak bulundu. 900 ^{o}C' deki kalıntı miktarı ise % 0 olarak bulundu. Çitosanın DTA eğrisinde 95 ve 370 ^{o}C'de endotermik; 318 ^{o}C' de ise ekzotermik pikler gözlendi (Şekil 4.36).

Bentonitin ilk bozunmaya başladığı sıcaklık TGA eğrisine göre 86 ^{o}C (T_{on}), 1. T_{max}, kütle kaybı 86 ^{o}C, % 5.03; 2. T_{max}, kütle kaybı 629 ^{o}C, % 5.36; 3. T_{max}, kütle kaybı 699 ^{o}C, % 3.28 olarak tespit edildi. 900 ^{o}C' deki kalıntı miktarı ise % 86.3 olarak bulundu. Bentonitin DTA eğrisinde 86 ^{o}C' de endotermik; 716 ^{o}C' de ise ekzotermik pikler gözlendi (Şekil 4.37).

TGA eğrilerine göre 900 ^{o}C'deki kalıntı miktarları göz önüne alındığında ÇBA seri kompozitlerinin termal kararlılık sırası büyükten küçüğe doğru sırası ile (Çizelge 4.1): bentonit>ÇBA2>ÇBA4>ÇBA5>ÇBA1>ÇBA3>Çitosan şeklinde bulundu. Dolayısıyla termal açıdan ÇBA2 kompozitinin en kararlı yapı olduğu ve tüm kompozitlerin bentonit katılımıyla termal açıdan çitosana göre çok daha daynıklı olduğu bulundu. Ayrıca DTA eğrilerinden elde edilen sonuçlara göre tüm kompozitlerdeki endotermik ve ekzotermik piklerinin farklı olması kompozitlerin oluşma aşamalarındaki AA, MBA farklı oranlarından meydana geldiği düşünülmektedir.

5.2. Kinetik Çalışmaların Değerlendirilmesi

5.2.1. Başlangıç Derişimi Etkisinin Değerlendirilmesi

Tüm adsorbentlerin MG, MB boyar madde ile Cu(II), Ni(II) metal iyonlarının adsorpsiyon süreci öncelikle farklı başlangıç derişimleriyle kinetik olarak incelendi ve denge süreleri belirlendi. MG, Cu(II) ve Ni(II) için 50, 100 ve 200 mgL^{-1}, MB için ise 100, 200 ve 300 mgL^{-1}, başlangıç derişimli çözeltilerle yapılan kinetik incelemede zamanla denge derişimi azalmakta ve adsorplanan MG, MB, Cu(II) ve Ni(II) miktarı artmaktadır (Çizelge 4.2-5, Şekil 4.38-45).

Şekil 4.38-45 incelendiğinde farklı başlangıç derişimli çalışmaların hepsinde başlangıçta adsorpsiyonun çok hızlı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi başlangıçta adsorpsiyon için uygun yüzey alanının fazla olmasıdır. Zamanla bu yerler dolmaya başlar ve denge durumuna yaklaşıldıkça adsorpsiyon hızı yavaşlamaktadır. Şekil ve çizelgelerden görüldüğü gibi farklı başlangıç derişimli ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve

ÇBA5 adsorbentlerin MG, MB, Cu(II) ve Ni(II) adsorpsiyon çalışmaların hepsinde 420 dakika sonra adsorplanan miktarın hemen hemen yarısından fazlası ilk 30 dakikada adsorplanmaktadır. MG adsorpsiyonunda; 120. ve 180. dakikada adsorpsiyon yavaş yavaş artmakta ve 240. ve 300. dakikalarda dengeye ulaşmaktadır. MB, Cu(II) ve Ni(II) adsorpsiyonunlarında ise; 90. ve 120. dakikada adsorpsiyon yavaş yavaş artmakta ve 180. ve 240. dakikalarda dengeye ulaşmaktadır. Tüm adsorbatlar için yapılan çalışmalarda denge süresi 240 dakika olarak belirlendi. Ayrıca Şekil 4.38-4.41' de MG, MB, Cu(II) ve Ni(II) adsorpsiyonların hepsinde ÇBA2 kompozitinin diğer adsorbatlara göre en iyi adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi MG adsorpsiyonu için ÇBA2>ÇBA4>ÇBA1>ÇBA3>ÇBA5; MB, Cu(II) ve Ni(II) adsorpsiyonları için ise ÇBA2>ÇBA4>ÇBA3>ÇBA1>ÇBA5 olarak tespit edilmiştir.

Tüm kompozitlerin MG ve MB boyar maddeleri ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyonları adsorpsiyonunda; başlangıç derişimi arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin arttığı görülmüştür. MG adsorpsiyonunda başlangıç derişimi 50 mgL^{-1} 'den 100 mgL^{-1}' e ve 100 mgL^{-1}' den 200 mgL^{-1}' e çıkarken adsorpsiyon kapasitesi; ÇBA1 kompoziti için 65.58 mgg^{-1}' den 138.76 mgg^{-1}' e, 138.76 mgg^{-1}' den 218.68 mgg^{-1}' e, ÇBA2 kompoziti için 87.52 mgg^{-1}' den 172.08 mgg^{-1}' e, 172.08 mgg^{-1}' den 341.11 mgg^{-1}' e, ÇBA3 kompoziti için 73.58 mgg^{-1}' den 152.32 mgg^{-1}' e, 152.32 mgg^{-1}' den 255.96 mgg^{-1}' e, ÇBA4 kompoziti için 84.52 mgg^{-1}' den 165.14 mgg^{-1}' e, 165.14 mgg^{-1}' den 301.60 mgg^{-1}' e, ÇBA5 kompoziti için 62.84 mgg^{-1}' den 116.10 mgg^{-1}' e, 116.10 mgg^{-1}' den 196.62 mgg^{-1}' e çıktığı görülmüştür (Çizelge 4.2, Şekil 4.38, 4.39).

MB adsorpsiyonunda başlangıç derişimi 100 mgL^{-1}'den 200 mgL^{-1}' e ve 200 mgL^{-1}'den 300 mgL^{-1}' e çıkarken adsorpsiyon kapasitesi; ÇBA1 kompoziti için 170.92 mgg^{-1}' den, 333.40 mgg^{-1}' e, 333.40 mgg^{-1}' den, 401.89 mgg^{-1}' e, ÇBA2 kompoziti için 190.49 mgg^{-1}' den 373.77 mgg^{-1}' e, 373.77 mgg^{-1}' den 546.84 mgg^{-1}' e, ÇBA3 kompoziti için 166.30 mgg^{-1}' den 287.51 mgg^{-1}' e, 287.51 mgg^{-1}' den 332.03 mgg^{-1}' e, ÇBA4 kompoziti için 186.88 mgg^{-1}' den 364.84 mgg^{-1}' e, 364.84 mgg^{-1}' den 528.90 mgg^{-1}' e, ÇBA5 kompoziti için 151.76 mgg^{-1}' den 250.00 mgg^{-1}' e, 250.00 mgg^{-1}' den 290.00 mgg^{-1}' e çıktığı görülmüştür (Çizelge 4.3, Şekil 4.40, 4.41).

Cu(II) adsorpsiyonunda başlangıç derişimi 50 mgL^{-1}' den 100 mgL^{-1}' e ve 100 mgL^{-1}' den 200 mgL^{-1}' e çıkarken adsorpsiyon kapasitesi; ÇBA1 kompoziti için 67.02 mgg^{-1}' den 119.50 mgg^{-1}' e, 119.95 mgg^{-1}' den 133.50 mgg^{-1}' e, ÇBA2 kompoziti için 98.30 mgg^{-1}' den 119.95 mgg^{-1}' e, 119.95 mgg^{-1}' den 133.50 mgg^{-1}' e, ÇBA3 kompoziti için 48.06 mgg^{-1}' den 69.45mgg^{-1}' e, 69.45 mgg^{-1}' den 84.50 mgg^{-1}' e, ÇBA4 kompoziti için 91.32 mgg^{-1}' den 109.12 mgg^{-1}' e, 109.12 mgg^{-1}' den 114.50 mgg^{-1}' e, ÇBA5 kompoziti için 43.69 mgg^{-1}' den 63.00 mgg^{-1}' e, 63.00 mgg^{-1}' den 81.80 mgg^{-1}' e çıktığı görülmüştür (Çizelge 4.4, Şekil 4.42, 4.43).

Ni(II) adsorpsiyonunda başlangıç derişimi 50 mgL^{-1}' den 100 mgL^{-1}' e ve 100 mgL^{-1}' den 200 mgL^{-1}' e çıkarken adsorpsiyon kapasitesi; ÇBA1 kompoziti için 32.67 mgg^{-1}' den 37.74 mgg^{-1}' e, 37.74 mgg^{-1}' den 56.00 mgg^{-1}' e, ÇBA2 kompoziti için 66.20 mgg^{-1}' den 81.30 mgg^{-1}' e, 81.30 mgg^{-1}' den 104.30mgg^{-1}' e, ÇBA3 kompoziti için 21.01 mgg^{-1}' den 26.75 mgg^{-1}' e, 26.75 mgg^{-1}' den 35.50 mgg^{-1}' e, ÇBA4 kompoziti için 46.63 mgg^{-1}' den 55.85mgg^{-1}' e, 55.85 mgg^{-1}' den 83.76 mgg^{-1}' e, ÇBA5 kompoziti için 16.93 mgg^{-1}' den 23.95 mgg^{-1}' e, 23.95 mgg^{-1}' den 28.90 mgg^{-1}' e çıktığı görülmüştür (Çizelge 4.5, Şekil 4.44, 4.45).

5.2.2. Sıcaklık Etkisinin Değerlendirilmesi

ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 ile MG ve MB boyar maddeleri ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyonları adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi kinetik olarak incelendi. MG ve MB adsorpsiyonunda tüm adsorplayıcılar içinde fazla olmamakla beraber sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun arttığı (Çizelge 4.6-15, Şekil 4.46-49.) böylece ÇBA kompozitlerinin MG ve MB boyar madde adsorpsiyonlarının endotermik proses olduğu söylenebilir.

Sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun artması ya adsorplayıcı yüzeyindeki aktif adsorpsiyon merkezlerin sayısının artması, ya da adsorplayıcı birimlerinin desolve olması sonucu adsorplayıcıyı çevreleyen sınır tabaka kalınlığının azalması ve buna bağlı olarak adsorplanan birimlerin adsorplayıcıya olan kütle transferine karşı sınır tabaka direncinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.6-10 incelendiğinde, MG adsorpsiyonunda sıcaklık 298 K' den 308 K' e ve 308 K' den 318 K' e çıkarken adsorpsiyon kapasitesi; ÇBA1 kompoziti için 218.68 mgg^{-1}' den 227.77 mgg^{-1}' e, 227.77 mgg^{-1}' den 257.60 mgg^{-1}' e, ÇBA2 kompoziti için

341.11 mgg^{-1}' den 341.81mgg^{-1}' e, 341.88 mgg^{-1}' den 366.64 mgg^{-1}' e, ÇBA3 kompoziti için 235.96 mgg^{-1}' den 253.68 mgg^{-1}' e, 253.68 mgg^{-1}' den 277.67 mgg^{-1}' e, ÇBA4 kompoziti için 301.60 mgg^{-1}' den 326.74 mgg^{-1}' e, 326.74 mgg^{-1}' den 345.44 mgg^{-1}' e, ÇBA5 kompoziti için 196.62 mgg^{-1}' den 212.72 mgg^{-1}' e, 212.72 mgg^{-1}' den 223.74 mgg^{-1}' e arttığı görülmüştür.

Çizelge 4.11-15 incelendiğinde, MB adsorpsiyonunda sıcaklık 298 K' den 308 K' e ve 308 K' den 318 K' e çıkarken adsorpsiyon kapasitesi; ÇBA1 kompoziti için 333.40 mgg^{-1}' den 340.53 mgg^{-1}' e, 340.73 mgg^{-1}' den 352.34 mgg^{-1}' e, ÇBA2 kompoziti için 373.77 mgg^{-1}' den 380.04 mgg^{-1}' e, 380.04 mgg^{-1}' den 385.64 mgg^{-1}' e, ÇBA3 kompoziti için 287.51 mgg^{-1}' den 295.50 mgg^{-1}' e, 295.50 mgg^{-1}' den 308.42 mgg^{-1}' e, ÇBA4 kompoziti için 364.84 mgg^{-1}' den 371.96 mgg^{-1}' e, 371.96 mgg^{-1}' den 378.20 mgg^{-1}' e, ÇBA5 kompoziti için 250.00 mgg^{-1}' den 274.00 mgg^{-1}' e, 270.00 mgg^{-1}' den 288.42 mgg^{-1}' e arttığı görülmüştür.

Cu(II) ve Ni(II) metal iyonları adsorpsiyonunda ise tüm adsorplayıcılar içinde fazla olmamakla beraber sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.16-25, Şekil 4.50-53.). Adsorpsiyon miktarındaki bu azalma Cu(II) ve Ni(II) iyonlarının ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonlarının ekzotermik olduğunu gösterir.

Çizelge 4.16-20 incelendiğinde, Cu(II) adsorpsiyonunda sıcaklık 298 K' den 308 K' e ve 308 K' den 318 K' e çıkarken adsorpsiyon kapasitesi; ÇBA1 kompoziti için 84.70 mgg^{-1}' den 80.24 mgg^{-1}' e, 80.24 mgg^{-1}' den 75.95 mgg^{-1}' e, ÇBA2 kompoziti için 119.95 mgg^{-1}' den 113.50 mgg^{-1}' e, 113.50 mgg^{-1}' den 101.10 mgg^{-1}' e, ÇBA3 kompoziti için 69.45 mgg^{-1}' den 55.98 mgg^{-1}' e, 55.98 mgg^{-1}' den 42.36 mgg^{-1}' e, ÇBA4 kompoziti için 109.12 mgg^{-1}' den 89.50 mgg^{-1}' e, 89.50 mgg^{-1}' den 86.66 mgg^{-1}' e, ÇBA5 kompoziti için 63.50 mgg^{-1}' den 52.50 mgg^{-1}' e, 52.50 mgg^{-1}' den 42.26 mgg^{-1}' e azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.21-25 incelendiğinde, Ni(II) adsorpsiyonunda sıcaklık 298 K' den 308 K' e ve 308 K'den 318 K' e çıkarken adsorpsiyon kapasitesi; ÇBA1 kompoziti için 37.74 mgg^{-1}' den 35.28 mgg^{-1}' e, 35.28 mgg^{-1}' den 27.98 mgg^{-1}' e, ÇBA2 kompoziti için 81.30 mgg^{-1}' den 71.30 mgg^{-1}' e, 71.30 mgg^{-1}' den 67.96 mgg^{-1}' e, ÇBA3 kompoziti için 26.75 mgg^{-1}' den 24.52 mgg^{-1}' e, 24.52 mgg^{-1}' den 17.70 mgg^{-1}' e, ÇBA4 kompoziti için 55.85

mgg^{-1}' den 52.84 mgg^{-1}' e, 52.84 mgg^{-1}' den 86.66 mgg^{-1}' e, ÇBA5 kompoziti için 23.95 mgg^{-1}' den 19.98 mgg^{-1}' e, 19.98 mgg^{-1}' den 13.68 mgg^{-1}' e azaldığı görülmüştür.

5.2.3. Adsorpsiyon Hız Sabitlerinin Değerlendirilmesi

Boyar madde ile metal iyonların uzaklaştırılması ile ilgili adsorpsiyon prosesinin hızını belirlemek için değişik kinetik modeller vardır. Psödo-birinci mertebe kinetik işlemi tersinir reaksiyonlar ile sıvı ve katı faz arasında kurulan dengelerde kullanılır. Psödo-birinci mertebe hız denklemi Lagergren tarafından geliştirilmiş ve yaygınca kullanılmıştır. Son zamanlarda ise Ho ve McKay adsorpsiyon sisteminin psödo-ikinci mertebe hız denklemi ile açıklanabileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada Çizelge 4.66-105, Şekil 4.70-85' deki veriler kullanılarak ÇBA kompozitleri yüzeyinde MG, MB boyar madde ile Cu(II), Ni(II) metal iyonların farklı başlangıç derişimi ve sıcaklıklardaki kinetik verileri psödo-birinci, ikinci mertebe, gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle difüzyon hız denklemlerinde değerlendirilerek kinetik hız sabitleri hesaplandı (Çizelge 4.106-125). Hız sabitleri farklı birimlerde olduğu için modeller için kıyaslanamaz ancak R^2 değerleri kıyaslanabilir. Tüm ÇBA kompozitlerin MG ve MB boyar maddeleri ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyonları adsorpsiyonlarının korelasyon katsayıları (R^2) değerleri incelendiğinde R^2>0.99 olduğundan farklı derişim ve sıcaklık adsorpsiyon kinetiğinin psödo-ikinci mertebe modeline uyduğu görülmektedir. Metal iyonların adsorpsiyonları ile ilgili Wan Ngah ve ark. (2008), Qu ve ark. (2009), Wan ve ark. (2010), Dinu ve ark. (2010) ile boyar madde adsorpsiyonuyla ilgili Wang ve ark. (2007), Hameed ve ark. (2008), Zhu ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmalarda da psödo-ikinci mertebe modelinin uygunluğu görülmüştür.

Aktivasyon enerjisi adsorpsiyon hızı hakkında fikir verebilmektedir. Bu çalışmada da Arhenius denklemi kullanılarak farklı sıcaklıklar için saptanan k_{pi} değerleri kullanılarak E_a değerleri hesaplandı (Çizelge 4.126-129, Şekil 4.86-90). Aktivasyon enerjisi büyük olan mekanizmaların adsorpsiyon hızı yavaş; küçük olanın ise daha hızlı olmaktadır.

MG adsorpsiyonunda Ea değerleri ÇBA5>ÇBA3>ÇBA1>ÇBA2>ÇBA4 olduğundan adsorpsiyon hızı ÇBA5<ÇBA3<ÇBA1<ÇBA2<ÇBA4 olduğu; MB adsorpsiyonunda Ea değerleri ÇBA3>ÇBA5>ÇBA4>ÇBA2>ÇBA4 olduğundan

adsorpsiyon hızı ÇBA3<ÇBA5<ÇBA4<ÇBA2<ÇBA4 olduğu, Cu(II) adsorpsiyonunda Ea değerleri ÇBA5>ÇBA3>ÇBA2>ÇBA4>ÇBA1 olduğundan adsorpsiyon hızı ÇBA5<ÇBA3<ÇBA2<ÇBA4<ÇBA1 olduğu, Ni(II) adsorpsiyonunda Ea değerleri ÇBA3>ÇBA4>ÇBA2>ÇBA5>ÇBA1 olduğundan dolayı adsorpsiyon hızı ÇBA3<ÇBA4<ÇBA2<ÇBA5<ÇBA1 olduğu gözlendi.

5.3. pH Etkisinin Değerlendirilmesi

MG ve MB boyar maddeleri ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyon iyonlarının ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonunda pH etkisi incelenmiş ve tüm adsorpbatlar için en iyi pH 6' da sonuç alınmıştır (Çizelge 4.130-33). Benzer bulgular Shameem ve ark. (2003), Hameed ve ark. (2008), Kumar ve ark. (2009) ve Wan Ngah ve ark. (2010) yaptığı çalışmalarda da gözlemlenmiştir. Adsorbatların orjinal pH değerleri MG: 5.3, MB: 6.9, Cu(II): 5.8 ve Ni(II): 5.7 olup maksimum adsorpsiyon pH' larına (pH=6) yakın olmaları maliyet açısından da avantaj sağlamaktadır.

Çizelge 4.131' de görüldüğü gibi % adsorpsiyon sıralaması pH6>pH4>pH8>pH2>pH10 olarak bulunmuş ve MG % adsorpsiyonunda pH=6' da; ÇBA1 için % 76.67, ÇBA2 için % 88.65, ÇBA3 için % 82.00, ÇBA4 için % 84.99, ÇBA5 için % 73.00 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.132' de görüldüğü gibi % adsorpsiyon sıralaması pH6>pH4>pH8>pH10>pH2 olarak bulunmuş ve MB % adsorpsiyonunda pH=6' da; ÇBA1 için % 84.04, ÇBA2 için % 91.95, ÇBA3 için % 82.09, ÇBA4 için % 91.64, ÇBA5 için % 81.04 olarak bulunmuştur. Benzer bulgular Liu ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada gözlenmiştir.

Çizelge 4.133' te görüldüğü gibi % adsorpsiyon sıralaması pH6>pH4>pH8>pH2>pH10 olarak bulunmuş ve Cu(II) % adsorpsiyonunda pH=6' da; ÇBA1 için % 41.84, ÇBA2 için % 56.53, ÇBA3 için % 34.35, ÇBA4 için % 54.55, ÇBA5 için % 19.20 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.134' te görüldüğü gibi % adsorpsiyon sıralaması pH6>pH8>pH10>pH4>pH2 olarak bulunmuş ve Ni(II) % adsorpsiyonunda pH=6' da; ÇBA1 için % 17.07, ÇBA2 için % 41.15, ÇBA3 için % 14.77, ÇBA4 için % 30.35,

ÇBA5 için % 12.65 olarak bulunmuştur. Tran ve ark. (2010) yapmış olduğu çalışmada da benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

5.4. Adsorpsiyon İzotermlerinin Değerlendirilmesi

MG, MB boyar madde ile Cu(II), Ni(II) metal iyonlarının farklı sıcaklıklarda ÇBA kompozitleri üzerine adsorpsiyonu izoterm modelleri Langmuir ve Freundlich ile değerlendirildi (Çizelge 4.134-145, Şekil 4.90-101). Çizelge 4.146-149' deki verilere göre deneysel sonuçlar tüm sıcaklıklarda daha çok Langmuir izotermine uymaktadır (R^2>0.99). Literatürde Langmuir izoterm modeline uygun bulunan birçok çalışma mevcuttur (Wan Ngah ve ark. 2010, Zhang ve ark. 2008, Wang ve Wang 2007, Sun ve ark. 2009, Dragan ve ark. 2010).

Çizelge 5.1-4' de literatürde yapılmış çitosan bazlı kompozitlerin MG, MB boyar madde ile Cu(II), Ni(II) metal iyonları adsorpsiyon kapasiteleri verilmiştir. Literatür değerleriyle kıyaslandığında, bu çalışmada hazırlanan kompozitlerin adsorpsiyon kapasitelerinin oldukça iyi olduğu bulundu. Ayrıca hazırlanan kompozitlerin çitosan, bentonit ve çitosan/bentonit kompozitine göre de daha iyi adsorpsiyon kapasitelerine sahip olduğu gözlemlenmiş dolayısıyla kompozit yapma amacımız sonuca ulaşmıştır.

Çizelge 5.1. Çitosan bazlı kompozitlerin MG adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleri

Adsorbent	**Adsorpsiyon Kapasitesi (mgg^{-1})**	**Kaynak**
Çitosan boncuk	93.50	Bekçi veark. (2008)
Çitosan/bentonit	435.00	Wan Ngah ve ark. (2010)
Çitosan	48.90	Bu çalışma
Bentonit	50.15	Bu çalışma
Çitosan/bentonit	50.40	Bu çalışma
ÇBA1,ÇBA2,ÇBA3,ÇBA4,ÇBA5	218.60, 341.10, 235.90, 301,60,	Bu çalışma

Çizelge 5.2. Çitosan bazlı kompozitlerin MB adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleri

Adsorbent	Adsorpsiyon Kapasitesi (mgg^{-1})	Kaynak
Çitosan/aktive edilmiş kil	330.00	Chang ve Juang (2004)
Çitosan/kil kompozit	142.00	Auta ve Hameed (2014)
Momtmorillonit kili	50.00	Jourvand ve ark. (2015)
Kitin/kum	51.80	Dotto ve ark. (2015)
Çitosan/aktif karbon	10.00	Moosa ve ark. (2016)
Çitosan/polimer/Grafinoksit/magnet	162.14	Lv ve ark. (2017)
Çitosan/PVA	34.00	Casey ve Wilson (2015)
Çitosan/polimer-ZnO	98.00	Sani ve ark. (2015)
Çitosan	8.70	Bu çalışma
Bentonit	78.80	Bu çalışma
Çitosan/bentonit	43.70	Bu çalışma
ÇBA1,ÇBA2,ÇBA3,ÇBA4,ÇBA5	333.40, 373.70, 287.50, 364.80,	Bu çalışma

Çizelge 5.3. Çitosan bazlı kompozitlerin Cu(II) adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleri

Adsorbent	Adsorpsiyon Kapasitesi (mgg^{-1})	Kaynak
Çitosan/koton fiber	24.78	Zhang ve ark. (2008)
Çitosan/selüloz	26.50	Sun ve ark. (2009)
Çitosan/perlit	196.07	Kalyani ve ark. (2005)
Çitosan/seramik alümina	86.20	Veera ve ark. (2008)
Çitosan/aljinat	67.66	Wan Ngah ve Fatinathan (2008)
Çitosan/PVC	87.9	Srinivasa ve ark. (2009)
Çitosan/kum	8.18	Wan ve ark. (2010)
Çitosan/klinoplolit	574.49	Dragan ve ark. (2010)
Çitosan/zeolit	190.00	Djelad ve ark. (2016)
Çitosan/karboksimetil-β-siklodektrin	250.00	Sikder ve ark. (2014)
Çitosan/modifiye edilmiş bentonit	12.16	Futalan ve ark. (2012)
Çitosan/bentonit	12.21	Dalida ve ark. (2011)
Çitosan	39.88	Bu çalışma
Bentonit	8.10	Bu çalışma
Çitosan/bentonit	25.50	Bu çalışma
ÇBA1,ÇBA2,ÇBA3,ÇBA4,ÇBA5	94.50, 133.50, 84.50, 114.50,	Bu çalışma

Çizelge 5.4. Çitosan bazlı kompozitlerin Ni(II) adsorpsiyon kapasitesi literatür değerleri

Adsorbent	Adsorpsiyon Kapasitesi (mgg^{-1})	Kaynak
Çitosan/koton fiber	7.63	Zhang ve ark. (2008)
Çitosan/selüloz	13.21	Sun ve ark. (2009)
Çitosan/perlit	114.94	Kalyani ve ark. (2005)
Çitosan/seramik alümina	78.10	Veera ve ark. (2008)
Çitosan/Ca aljinat	222.2	Vijaya ve ark. (2008)
Çitosan/PVC	120.5	Srinivasa ve ark. (2009)
Çitosan/magnet	52.55	Tran ve ark. (2010)
Çitosan/klinoplolit	247.03	Dinu ve Dragan (2010)
Çitosan	22.10	Bu çalışma
Bentonit	10.25	Bu çalışma
Çitosan/bentonit	18.40	Bu çalışma
ÇBA1,ÇBA2,ÇBA3,ÇBA4,ÇBA5	56.00, 104.3, 35.50, 83.76, 28.90	Bu çalışma

5.5. Termodinamik Hesaplamalar

Yapılan termodinamik çalışmalarda belirlenen $R^{2'}$ lerin büyüklüğünden langmuir izoterm modeline uygun olması dolayısıyla b-langmuir sabitleri K_L değeri olarak kullanılmış olup standart serbest enerji değişimleri (ΔG) Van't Hoff denkleminden (denklem 3.10) faydalanarak hesaplandı. Adsorpsiyon entalpisi (ΔH) ile adsorpsiyon entropisi (ΔS) ise denklem 3.11' in grafiğe geçirilip Şekil 4.102-105' in eğim ve kayma değerinden hesaplandı (Çizelge 4.150-153).

ΔG' nin negatif değerleri, yöntemin uygulanabilirliğini ve adsorpsiyonun kendiliğinden olduğunu göstermektedir. ΔH değerlerinin pozitif olması adsorpsiyonunun endotermik, negatif olması ise adsorpsiyonun ekzotermik bir proses olduğunu gösterir. Pozitif ΔS değerleri adsorbe edilmiş iyonların düzensizlik derecelerinin arttığını, negatif değerleri ise düzensizlik derecelerinin azaldığını ifade eder.

Çizelge 4.101-104' te görüldüğü gibi ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerin MG ve MB boyar maddeleri ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyon adsorpsiyonunda tüm ΔG değerleri negatif bulunmuş dolayısıyla bu adsorpsiyonlar kendiliğinden olma eğilimdedirler.

Adsorpsiyon mekanizması genel olarak ekzotermiktir. ΔH; Cu(II) ve Ni(II) metal iyonları adsorpsiyonlarında negatif bulunmuş böylece bu adsorpsiyonlar ekzotermik olarak saptanmıştır. ΔH; ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitlerin MG ve MB boyar madde adsorpsiyonlarında ise pozitif bulunmuş dolayısıyla adsorpsiyonlar endotermiktir. Bunun da sıcaklık arttıkça kompozit networkler içerisindeki bağların esnemesi neticesinde büyük moleküllü boyar madde moleküllerinin bu networklere girmelerini kolaylaştırdığı düşünülmektedir.

Tüm kompozitlerin Cu(II) ve Ni(II) metal iyonları adsorpsiyonlarında ΔS değerleri negatif olması bu adsorsiyonların katı-çözelti arayüzeyinde düzensizliğin azalması olarak düşünülmektedir. MG ve MB boyar maddelerin adsorpsiyonunda ise ΔS değerleri pozitif olması; başlangıçta adsorbentlerin yüzeyinde su moleküllerin olması daha sonra daha büyük çaplara sahip olan boyar madde moleküllerin bu su molekülleriyle yer değirtirmesiyle ortamda azalan bir molekül boyar madde molekülüne karşılık daha fazla su molekülü (küçük çaplı) ekleneceğinden bu adsorsiyonların katı-çözelti arayüzeyinde düzensizliğin artması olarak ifade edilmektedir.

Fiziksel ve kimyasal olmak üzere temelde iki tür adsorpsiyon meydana gelmektedir. Fiziksel adsorpsiyonda etkin kuvvetler Van der Waals kuvvetleri olduğu için bağların zayıf olduğu bilinmektedir ve adsorpsiyon ısısı ΔH genellikle 80 $kJmol^{-1}$' in üzerine çıkamamaktadır. Kimyasal adsorpsiyonda ise adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı, kimyasal reaksiyon ısısı düzeyindedir ve adsorpsiyon ısısı 80-800 $kjmol^{-1}$ aralığındadır (Whang ve ark. 2011). Çizelge değerlerinden tüm kompozitlerin MG ve MB boyar madde ile Cu(II) ve Ni(II) metal iyonları adsorpsiyonlarındaki ΔH değerleri 80 $kjmol^{-1}$' in altında ve dolayısıyla tüm adsorpsiyonların fiziksel adsorpsiyon özellikte olduğu gözlendi.

SONUÇ OLARAK:

Adsorpsiyonun;

- Co arttıkça artığı,
- Sıcaklık arttıkça MG ve MB için arttığı, Cu(II) ve Ni(II) için ise azaldığı,
- Fiziksel adsorpsiyon olduğu ($\Delta H < 80$ $kjmol^{-1}$),
- Kinetiğinin psödo-ikinci mertebe modeline uygun olduğu,
- Langmuir izoterm modeline uygun olduğu,

- Kendiliğinden gerçekleştiği (ΔG negatif değerleri),
- MG ve MB için endotermik, Cu(II) ve Ni(II) için ekzotermik (ΔH) olduğu,
- MG ve MB için pozitif entropi; Cu(II) ve Ni(II) için negatif entropi (ΔS) olduğu,
- En yüksek adsorpsiyon kapasitesinin ÇBA2 kompozitiyle elde edildiği,
- En iyi pH' nın 6 olduğu tespit edildi.

ÖNERİ:

Hazırlanan ÇBA1, ÇBA2, ÇBA3, ÇBA4 ve ÇBA5 kompozitleri çitosana göre kilin katkısıyla termal olarak oldukça dayanıklı ve adsorpsiyon kapasiteleri de yüksek malzemeler olduğundan; çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleri ile tekstil endüstrisi tarafından üretilen ve sulara karışan boyar madde ile ağır metal iyonlarının giderilmesinde (su arıtmasında), biyoteknolojide (kromatografik yöntemlerde, enzim immobilizasyonu), gıda sektöründe (filtreleme ve temizleme), kozmetikte (koku giderici olarak), medikel alanda (ilaç salınımı, hidrojel yapımı, yara iyileştirici) ve daha birçok alanda kullanım kolaylığı sağlayabilirler.

6. KAYNAKLAR

Abdel Khalek, M.A., Ghada, A., Mahmoud, Nabil, A., El-Kelesh. 2012. Synthesis and characterization of poly-methacrylic acid grafted chitosan-bentonite composite and its application for heavy metals. Recovery Chemistry and Materials Research. www.iiste.org ISSN 2224- 3224 (Print) ISSN 2225-0956 (Online) 2: 7.

Alderman, J.D. 1985. Malachite green: a review. Journal of Fish Diseases, 8: 189-298.

Alyüz, B. & Veli, S. 2005. Low-Cost Adsorbets Used in Heavy Metal Contaminated Waste Water Treatment. Journal of Engineering and Natural Sciences, 3: 94-105.

Angelova, R., Baldikova, E., Pospiskova K., Maderova. Z., Safarikova, M., Safarik, I. 2016. Magnetically modified Sargassum horneri biomass as an adsorbent for organic dye removal. Journal of Cleaner Production, 137: 189-194.

Anirudhan, T. S., Suchithra, P. S. 2010. Heavy metals uptake from aqueous solutions and industrial waste waters by humic acid-immobilized polymer/bentonite composite: Kinetics and equilibrium modeling. Chemical Engineering Journal, 156: 146–156.

Anisuzzaman, S. M., Collin, G., Joseph, D., Krishnaiah, A., Bono, Ooi, L. C. 2015. Parametric and adsorption kinetic studies of methylene blue removal from simulated textile water using durian (Durio zibethinus murray) skin. Water Science & Technology, 72(6): 896-907.

Armağan, B., Turan, M., Çelik, M.S. 2003. Boyar maddelerin doğal kil mineralleri kullanılarak adsorpsiyonu: katı konsantrasyonu ve temas süresinin etkisi. 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 24- 26 Kasım, İTÜ, S, 179-185.

Armağan, B., Turan, M., Çelik, M.S. 2003. Modifiye sepiyolit ve zeolitin tekstil endüstrisi atık sularında adsorbant olarak kullanılması: karşılaştırılmalı değerlendirme. 5. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 1-4 Ekim, Ankara Milli Kütüphane, S, 187-195.

Auta, M. & B.H. Hameed. 2014. Chitosan–clay composite as highly effective and low-cost adsorbent for batch and fixed-bed adsorption of methylene blue. Chemical Engineering Journal, 237: 352–361.

Aydın, H., Bulut, Y., Yerlikaya, Ç. 2008. Removal of copper (II) from aqueous solution by adsorption onto low-cost adsorbents. Journal of Environmental Management, 87(1): 37–45.

Ba, K., He, L. L., Tang, H., Gao, J. Q., Zhu, S. F., Li, Y., Sun, W. N. 2014. Use of chitosan-modified bentonite for removal of Cu^{2+}, Cl^{-} and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-d) from aqueous solution. Kemija u Industriji, 63 (7-8): 253−258.

Badruddoza, A. Z. M., Tay, A. S. H., Tan, P. Y., Hidajat, K., Uddin, M. S. 2011. Carboxymethyl-_-cyclodextrin conjugated magnetic nanoparticles as nano-adsorbents for removal of copper ions: Synthesis and adsorption studies. Journal of Hazardous Materials, 185:1177–1186.

Bayramoğlu, G., Denizli, A., Bektas, S., Arica, M. 2002. Entrapment of lentinus sajorcaju into Ca-alginate gel beads for removel of Cd(II) ions from aqueous solution: preparation and biosorption kinetics analysis. Microchemical Journal, 72: 63-67.

Bekci, Z., Seki, Y., Cavas, L. 2009. Removal of malachite green by using an invasive marine alga Caulerpa racemosa var. Cylindracea. Journal of Hazardous Materials, 161, 1454

Biyong, C., Wahab, A., Moming, Ahmad, A., Taba, P. 2015. Design of bentonite of acid modified electrodes in cyonide biosensors. International Journal of Materials Science on Aplications, 412:115-119.

Bleiman, N. & Mishael Y. G. 2010. Selenium removal from drinking water by adsorption to chitosan–clay composites and oxides: Batch and columns tests. Journal of Hazardous Materials, 183: 590–595

Canbaz, G. 2004. Biyopolimerik/kil nanokompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 155.

Casey, L. S., & Wilson, L. D. 2015. Investigation of chitosan-PVA composite films and their adsorption properties. Journal of Geoscience and Environment Protection, 3: 78-84.

Chang, M. Y., & Juang, R. S. 2004. Adsorption of tannic acid, humic acid and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay. Journal of Colloid and Interface Science, 278: 18–25.

Çetiner, E. G., Ünver, B., Hindistan, M. A. 2006. Maden Atıkları ile İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye. Madencilik, 45: 23-34.

Dalida, M. L. P., Mariano, A. F. V., Futalan, C. M., Kan, C. C., Tsai, W. T., Wan, W. W. 2011. Adsorptive removel of Cu(II) from aqueous solutions using non-crosslinked and chitosan-coated bentonite beads. Desalination, 275: 154-159.

Demarchi, C.A., Campos, M., Rodrigues, A. 2013. Adsorption of textile dye reactive red 120 by the chitosan–Fe(III)-crosslinked: Batch and fixed-bed studies. Journal of Environmental Chemical Engineering, 1: 1350–1358

Dilek, D., Dogan, F., Bilici, A., Kaya, I. 2011. Oxidative synthesis of a novel polyphenol having pendant schiff base synthesis, characterization, nonisothermal decomposition kinetics. Thermochimica Acta, 518: 72-81.

Dinu, M. V., & Dragan, E. S. 2010. Evaluation of Cu^{2+}, Co^{2+} and Ni^{2+} ions removal from aqueous solution using a novel chitosan/clinoptilolite composites: Kinetics and isotherms. Chemical Engineering Journal, 160: 157–163.

Djelad, A., Morsli, A., Robitzer, M., Bengueddach, A., di Renzo F., Quignard, F. 2016. Sorption of Cu(II) ions on chitosan-zeolite x composites: impact of gelling and drying conditions. Molecules, 21: 109.

Dogan, F., Akat, H., Balcan, M., Kaya, I., Yürekli, M. 2008. Synthesis, characterization and thermal degradation of poly-(decamethylene-2-oxoglutarate). Journal of Applied Polymer Science, 108: 2328–2336.

Doğar, Ç. 2000. Bazı reaktif boyaların elektrokoagülasyonunun kavramsal ve istatistiksel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. 55.

Dotto, G.L., Nascimento dos Santos, J.M., Rosa, R., Pinto, L.A.A. Pavan , F.A. Limad, E.C. 2015. Fixed bed adsorption of methylene blue by ultrasonic surface modified chitin supported on sand. Chemical Engineering Research And Design, 100, 302–310.

Dotto, G.L., Pinto, L.A.A. 2011. Adsorption of food dyes acid blue 9 and food yellow 3 onto chitosan: Stirring rate effect in kinetics and mechanism. Journal of Hazardous Materials, 187: 164–170.

Dragan, E. S., Dinu, M. V., Timpu, D. 2010. Preparation and characterization of novel composites based on chitosan and clinoptilolite with enhanced adsorption properties for Cu^{2+}. Bioresource Technology, 101: 812–817.

Erdem, E., Karapinar, N., Donat, R. 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. Journal of Colloid and Interface Science, 280:309-314.

Evangelou, V. P. 1998. Environmental Soil and Water Chemistry, Principle sand Applications, John Wiley&Sons, Inc.

Fan, L., Zhang, Y., Luo, C., Lu, F., Qiu, H., Sun, M. 2012. Synthesis and characterization of magnetic-cyclodextrin–chitosan nanoparticles as nano-adsorbents for removal of methyl blue. International Journal of Biological Macromolecules, 50: 444– 450.

Freedman, B. 1995. The ecological effects of pollution, disturbance and other stresses. Environmental Ecology, Academic Press.

Futalan, C. M., Kan, C. C., Dalida, M. L., Pascua, C., Wan, M. W. 2011. Fixed-bed column studies on the removal of copper using chitosan immobilized on bentonite. Carbohydrate Polymers, 83: 697-704.

Futalan, C.M., Tsai, W.C., Lin, S.S., Dalida M.L., Wan, M.W. 2012. Copper, nickel and lead adsorption from aqueous solution using chitosan-immobilized on bentonite in a ternary system. Sustainable Environment Research, 22(6): 345-355

Gedam, A. H., Dongre, R. S., Bansiwal, A. K. 2015. Synthesis and characterization of graphite doped chitosan composite for batch adsorption of lead (II) ions from aqueous solution. Advanced Materitals Letters, 6(1): 59-67.

Goswami, S. and Ghosh, U. C., 2005. Studies on adsorption behaviour of Cr(VI) onto synthetic hydrous stannic oxide. Water SA, 31(4): 597- 602.

Guo, J., Chen S., Liu, L., Li, B., Yang, P., Zhang, L., Feng, Y. 2012. Adsorption of dye from waste water using chitosan–CTAB modified bentonites. Journal of Colloid and Interface Science, 382: 61–66.

Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Timur, S. 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-III. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi, 138: 64-71 Erişim:http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi138/d138_6471.pdf.

Hadi, A. G. 2012. adsorption of nickel ions by synthesized chitosan. British Journal of Science, 6 (2): 109-113.

Hameed, B. H., Hasan, M., Ahmad, A. L. 2008. Adsorption of reactive dye onto cross-linked chitosan/oil palm ash composite beads. Chemical Engineering Journal, 136: 164–172.

Hameed, B.H. & Hakimi, H., 2008. Utilization of durian (Durio zibethinus Murray) peel as low cost sorbent for the removal of acid dye from aqueous solutions. Biochemical Engineering Journal, 39: 338–343.

Hameed, B.H., El-Khaiary, M.I. 2008. Batch removal of malachite green from aqueous solutions by adsorption on oil palm trunk fibre: equilibrium isotherms and kinetic studies. Journal of Hazardous Materials, 154: 237–244.

Hameed, B.H., Mahmoud, D.K. Ahmad, A.L. 2008. Sorption of basic dye from aqueous solution by pomelo (Citrus grandis) peel in a batch system. Colloid sand Surfaces A: Physicochemicaland Engineering Aspects, 316: 78–84.

Harrane, A., Belbachir, M. 2007 Synthesis of biodegradable polycaprolactone/ montmorillonite nanocomposites by direct in-situ polymerization catalysed by exchanged clay. Macromolecular Symposium, 247:379-384.

Hasan, M., Ahmad, A.L., Hameed, B.H. 2008. Adsorption of reactive dye onto crosslinked chitosan/oil palm ash composite beads. Chemical Engineering Journal, 136: 164–172.

Hritcu, D., Dodi, G., Popa, M. I. 2012. Heavy metal ions adsorption on chitosan-magnetite microspheres. International Review of Chemical Engineering, 4(3): 2035-1755

Hsu, T., Yu, C., Yeh, C. 2008. Adsorption of Cu^{2+} from water using raw and modified coal fly ashes. Fuel, 87: 1355–1359.

Jourvand, M., Khorramabadi, G. S., Khaniabadi, Y. O., Godini, H., Nourmoradi, H. 2015. Removal of methylene blue from aqueous solutions using modified clay . Journal of Basic Research in Medical Sciences, 2(1):32-41 .

Juang, L., Wang, C., Lee, C. 2006. Adsorpsion of basic dyes onto MCM-41. Chemosphere, 64, 1920-1928.

Kalyani, S., Ajitha, P. J., Srinivasa, R. P., Krishnaiah, A. 2005. Removal of copper and nickel from aqueous solutions using chitosan coated on perlite as biosorbent. Separation Science and Technology, 40: 1483–1495.

Kertmen, M. 2006. Fabrika atıklarının neden olduğu boyar madde kirliliklerinin biyolojik adsorbent kullanılarak sulu ortamdan adsorpsiyon tekniği ile uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş. 2006.

Keskinler, B., Çakıcı, A., Yıldız, E. 1994. Çevre Mühendisliği Temel İşlemler ve Prosesler Ders Notları. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Ders Notları Sayı No, 35, Erzurum, 148-175.

Khairkar S. R., Raut A. R. 2014. Adsorption studies for the removal heavy metal by chitosan-g-poly (acrylicacid-co-acrylamide) composite Science. Journal of Analytical Chemistry, 2(6): 67-75.

Kocaer, F. O. ve Alkan, U. 2002. Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7: 47-55.

Koparal, S.A. 1991. Sudaki boyar maddelerin bir elektrokimyasal reaktörderenklerinin giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 47.

Kowalska, M., Güler, H., Cocke, D.L. 1994. Interactions of clay minerals with organic pollutants. The Science of The Total Environment, 141: 223-240.

Kumar, M., Bijay, P. T., Vinod, K. S. 2009. Crosslinked chitosan/polyvinyl alcohol blend beads for removal and recovery of Cd(II) from waste water. Journal of Hazardous Materials, 172, 1041–1048.

Kusrini, E., Sofyan, N., Dwi, M., Nurjava D. M. 2013. Removal of heavy metals from aqueous solution by hydroxyapatite/chitosan composite. Advanced Materials Research, 789: 176-179.

Liu, M., Zhang, H., Zhang, X., Deng, Y., Liu W., Zhan, H. 2001. Removal and recovery of chromium (III) from aqueous Solutions by spheroidal cellulose adsorbent. Water Environment Research, 73(3): 322-328.

Liu, Y., Zheng Y., Wang, A. 2010. Enhanced adsorption of methylene blue from aqueous solution by chitosan-g-poly (acrylic acid)/vermiculite hydrogel composites. Journal of Environmental Sciences, 22(4): 486–493.

Lv, S., Zhu, L., Li, Y., Jia, C., Sun, S. 2017. The adsorption capacity of GONs/CMC/Fe_3O_4 magnetic composite microspheres and applications for purifying dye waste water. Materials, 10: 58.

M. Auta, B. H. Hameed. 2014. Chitosan–clay composite as highly effective and low-cost adsorbent for batch and fixed-bed adsorption of methylene blue. Chemical Engineering Journal, 237: 352–361.

Mandalia, T., Bergaya, F. 2006. Organo clay mineral-melted polyolefin nanocomposites effect of surfactant/CEC ratio. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 67: 836-845.

Moosa, A. A., Ridha, A. M., Kadhim, N. A. 2016. Use of biocomposite adsorbents for the removal of methylene blue dye from aqueous solution. American Journal of Materials Science, 6(5): 135-146.

Namasivayam, C. & Kadirvelu, K., 1997. Agricultural solid wastes for the removal of heavy metals: adsorption of Cu(II) by coirpith carbon. Chemosphere, 34(2): 377-399.

Nesic, A. R., Velickovic, S. J., Antonovic, D. G. 2012. Characterization of chitosan/montmorillonite membranes as adsorbents for Bezactiv Orange V-3R dye. Journal of Hazardous Materials, 209–210: 256–263.

Nesic, A. R., Velickovic, S. J., Antonovic. D. G. 2013. Modification of chitosan by zeolite A and adsorption of Bezactive Orange 16 from aqueous solution. Composites, Part B 53: 145–151.

Öztürk, A. 2009.
Erişim:Url.http://agri.ankara.edu.tr/irrigation/1032_AOZTURK_3atiksugubre.ppt.

Peng, Y., Chen, D., Ji, J., Kong, Y., Wan, H., Yao, C. 2013. Chitosan-modified palygorskite: Preparation, characterization andreactive dye removal. Applied Clay Science, 74: 81–86.

Preetha, B. and Viruthagari, H. 2006. Bioaccumulation of Cr(VI), Cu(II), Nickel(II) ions growing Rhizopusarrhizus. Biochemical Engeneering Journal, 703: 361-365.

Qu, R. J., Sun, C. M.,Wang, M. H., Ji, C. N., Xu, Q., Zhang, Y. 2009. Adsorption of Au(III) from aqueous solution using cotton fiber/chitosan composite adsorbents. Hydrometallurgy, 100: 65–71.

Sadeghi M. & Yarahmadi, M. 2011. Synthesis and characterization of superabsorbent hydrogel based on chitosan-g-poly (acrylic acid-coacrylonitrile). African Journal of Biotechnology, 10 (57): 1265-1275.

Sani, A., Aliyu, H. S., Tukur, S. A. 2015. Methylene blue dye adsorption using a polymer coated ZnO with chitosan nano-catalyst hannatu. Journal of Applied Chemistry, 8:(8), 34-38

Sencan, S. 2001. Düşük maliyetli adsorbentler ile nikel iyonu giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli. 125.

Shanmugapriya, A., Hemalatha, M. Scholastica B., Augustine Arul Prasad T. 2013. Adsorption studies of lead (II) and nickel (II) ions on chitosan-G-polyacrylonitrile. Der Pharma Chemica, 5(3): 141-155.

Shashikala, M., Nagapadma, M., Pinto L., Nambiar, S. N. 2013. Studies on the removal of methylene blue dye from water using chitosan. International Journal of Development Research, 3(8).040-044.

Sikder, M. T., Mihara, Y., Islam, M. S., Saito, T., Tanaka, S., Kurasaki, M. 2014. Preparation and characterization of chitosan–caboxymethyl-bcyclodextrin entrapped nanozero-valent iron composite for Cu (II) and Cr (IV) removal from waste water. Chemical Engineering Journal 236: 378–387.

Singh, T. S. & Pant, K. K. 2003. Equilibrium kinetics and thermodynamic studies for adsorption of As(III) on activated alumina. Seperation and Purification Technology, 26: 139-147.

Solmaz, R. 2014. Investigation of methanol electrooxidation at Ir-modified C/Ni electrode in alkaline solution. Journal Material Environment Science, 5 (1): 43-48.

Srinivasa, R. P., Vijaya, Y., Veera, M. B., Krishnaiah, A. 2009. Adsorptive removal of copper and nickel ions from water using chitosan coated PVC beads. Bioresource Technology, 100: 194–199.

Sun, X. Q., Peng, B., Jing, Y., Chen, J., Li, D. Q. 2009. Chitosan(chitin)/cellulose composite biosorbents prepared using ionic liquid for heavy metal ions adsorption. Separations, 55: 2062–2069.

Tang, H., Zhou, W., Zhang, L. 2012. Adsorption izotherms and kinetics studies of malachite green on chitin hydrogels, Journal of Hazardous Materials, 209-210.

Tang.,C., Chen., N., Zhang., Q., Wang., K., Fu., Q., Zhang, X. 2009. Preparation and properties of chitosan nanocomposites with nanofillers of different dimensions. Polymer Degradation and Stability, 94: 124–131.

Tran, C.D., Duri, S., Delmeri, A., Franko, M. 2013. Chitosan-cellulose composite materials, preparation, characterization and application for removel of microcystin. Journal of Hazardous Materials, 252-253, 355-366.

Tran, H. V., Tran, L. D., Nguyen, T. N. 2010. Preparation of chitosan/magnetite composite beads and their application for removal of Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution. Materials Science and Engineering C, 30: 304–310.

Uğurlu, M. 2004. The removal of some ınorganic compounds from paper mill effluents by the electrocoagulation method. G.U. Journal of Science, 17(3): 85-99.

Sharma, U., Banerjee S., Sharma, Y. C. 2013. Equilibrium and kinetic studies for removal of malachite green from aqueous solution by a low cost activated carbon. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 19: 1099–1105.

Unuabonah, E. I., Olu-Owolabi, B. I., Fasuyi, E. I., Adebowale, K. O. 2010. Modeling of fixedbedcolumn studies for the adsorption of cadmium onto novel polymer–clay composite adsorbent. Journal of Hazardous Materials, 179: 415-423

Üçer, A., Uyanık, A., Aygün, S. F. 2006. Adsorption of Cu(II), Cd(II), Zn(II), Mn(II) and Fe(III) ions by tannic acid immobilised activated carbon. Separation and Purification Technology, 47: 113–118.

Vanamudan, A., Bandwala, K., Pamidimukkala, P. 2014. Adsorption property of Rhodamine 6G onto chitosan-g-(N-vinylpyrrolidone)/montmorillonite composite. International Journal of Biological Macromolecules, 69:506-513.

Veera, M. B., Krishnaiah, A., Ann, J. R., Edgar, D. S. 2008. Removal of copper(II) and nickel (II) ions from aqueous solutions by a composite chitosan biosorbent. Separation Science and Technology, 43: 1365–1381.

Vijaya, Y., Srinivasa, R. P., Veera, M. B., Krishnaiah, A. 2008. Modified chitosan and calcium alginate biopolymer sorbents for removal of nickel (II) through adsorption. Carbohydrate Polymers, 72: 261–271.

Walker, G. 2000. Textile wastewater treatment using granular activated carbon adsorption in fixed beds. Seperation Science and Technology, 35: 1329-1341.

Wan Ngah, W. S. & Fatinathan, S. 2008. Adsorption of Cu(II) ions in aqueous solution using chitosan beads, chitosan–GLA beads and chitosan–alginate beads. Chemical Engineering Journal, 143: 62–72.

Wan Ngah, W. S., Ariff, N. F. M., Hanafiah, M. A. K. M. 2010. Preparation, characterization, and environmental application of crosslinked chitosan-coated bentonite for tartrazine adsorption from aqeous solutions. Water, Air and Soil Pollution, 206: 225–236.

Wan Ngah, W. S., Ariff, N. F. M., Hashim, A., Hanafiah, M. A. K. M. 2010. Malachite Green adsorption onto chitosan coated bentonite beads: Isotherms, kinetics and mechanism. Clean—Soil, Air, Water, 38: 394–400.

Wan Ngah, W. S., Kamari, A., Koay, Y. J. 2004. Equilibrium kinetics studies of adsorption of copper (II) on chitosan and chitosan/PVA beads. International Journal of Biological Macromolecules, 34, 155–161.

Wan, M. W., Kan, C. C., Buenda, D. R., &Maria, L. P. D. 2010. Adsorption of copper(II) and lead(II) ions from aqueous solution on chitosan-coated sand. Carbohydrate Polymers, 80: 891–899.

Wang, C. C., Juang, L.C., Hsu, T. C., Lee, C. K., Lee, J. F., Huang, F. C. 2004. Adsorpsion of basic dyes onto montmorillonite. Journal of Colloidal and Interface Science, 273: 80-86.

Wang, L. & Wang, A. 2007. Adsorption characteristics of Congo Red onto thechitosan/montmorillonite nanocomposite. Journal of Hazardous Materials, 147: 979–985.

Wang, L., Zhang, J., Wang, A. 2011. Fast removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto chitosan-g-poly (acrylic acid)/attapulgite composite. Desalination, 266: 33–39.

Wang, S. & Li, H. 2007. Kinetic Modelling and Mechanism of Dye Adsorptionon Unburned Carbon. Dyes and Pigments, 72: 308-314.

Weng, C. H., Lin, Y. T., Tzeng, T. W. 2009. Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder. Journal of Hazardous Materials, 170(1): 417-424.

Yang, S., Zhoo, D., Zhang, H., Yu, X. 2010. Impect of enviromental conditions on the sorption behavior of Pb(II) in Na-bentonite suspensions. Journal of Hazardous Materials, 183(1-3): 632.

Yılmaz, N. 2007. Doğal Kil Minareli Bentonit ile Boyar Maddelerin Adsorpsiyonu.Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas. 23.

Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., Dorris, K. L. 2000. The removal of heavy metal from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of Copper. Journal of Hazardous Materials, 80: 33-42.

Bekci, Z., Ozveri, C., Seki, Y., Yurdakoc, K. 2008. Sorption of malachite green on chitosan bead. Journal of Hazardous Materials 154: 254–261.

Zhang, G. Y., Qu, R. J., Sun, C. M., Ji, C. N., Chen, H., Wang, C. H. 2008. Adsorption for metal ions of chitosan coated cotton fiber. Journal of Applied Polymer Science, 110: 2321–2327.

Zhang, J. P., Wang, Q., Wang, A. Q. 2007. Synthesis and characterisation of chitosan – g-poly(acrylic acid)/attapulgite supersorbent composites. Carbohydrate Polymer, 68: 367-374.

Zhu, H. Y., Jiang, R., Xiao, L. 2010. Adsorption of an anionic dye by chitosan/kaolin/Fe_2O_3 composites. Applied Clay Science, 48: 522–526.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Mardin' de doğdu. 1997 Mersin İmam Hatip Lisesini, 2004 yılında Fatih Üniversitesi Kimya bölümünü bitirdi. 2006 yılında İTÜ Kimya Bölümü Polimer Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. 2010 yılında Dicle Üniversitesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2010 yılından beri Mardin Artuklu Üniversitesi SHMYO Tıbbi Laboratuvar Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.