

**AĞIR METAL İYONLARININ DOĞAL KİL MİNERALLERİ
(DİYARBAKIR/ KULP) ÜZERİNDEKİ ADSORPSİYONUNUN
İZOTERM, KİNETİK VE TERMODİNAMİK ANALİZİ**

EMİNE BULDAĞ

HAZİRAN 2023

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIR METAL İYONLARININ DOĞAL KİL MİNERALLERİ
(DİYARBAKIR/ KULP) ÜZERİNDEKİ ADSORPSİYONUNUN
İZOTERM, KİNETİK VE TERMODİNAMİK ANALİZİ**

EMİNE BULDAĞ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
KİMYA ANA BİLİM DALINDA
DOKTORA TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

HAZİRAN 2023

DİYARBAKIR

**AĞIR METAL İYONLARININ DOĞAL KİL MİNERALLERİ
(DİYARBAKIR/ KULP) ÜZERİNDEKİ ADSORPSİYONUNUN İZOTERM,
KİNETİK VE TERMODİNAMİK ANALİZİ**

Emine BULDAĞ tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Kimya Ana Bilim Dalı'nda Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Ömer YAVUZ
Danışman, **Kimya Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Ömer YAVUZ (*),(**)
Kimya Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim TEĞİN
Kimya Bölümü, Siirt Üniversitesi

Prof. Dr. Abdulkadir Levent
Kimya Bölümü, Batman Üniversitesi

Prof. Dr. Fırat AYDIN
Kimya Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Birol OTLUDİL
Eğitim Fakültesi, Dicle Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 20 /06/2023

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.

(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Emine BULDAĞ

İmza:

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora yolculuğumda bana eşlik eden danışmanım, sayın Prof. Dr. Ömer YAVUZ hocama teşekkür ederim. Tez tamamlama sürecimde desteklerini eksik etmeyen Dr. Nilgün ONURSAL ve Dr. Mehmet Can DAL'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Killer	1
1.1.1 Killerin oluşumu	1
1.1.2 Killerin yapısı.....	2
1.1.3 Talk'ın fiziksel özellikleri	4
1.2 Ağır Metaller ile İlgili Genel Bilgiler	5
1.2.1 Ağır metallerin çevreye yayılması	6
1.2.2 Bakır (Cu)	6
1.2.3 Nikel (Ni)	7
1.3 Adsorpsiyon ile İlgili Genel Bilgiler.....	7
1.3.1 Adsorpsiyona etki eden faktörler	7
1.3.2 Adsorpsiyon izoterm modelleri.....	8
1.3.3 Adsorpsiyon kinetiğinin modellenmesi.....	12
1.4 Adsorpsiyon Termodinamiği	13
1.4.1 Entalpi değişimi (ΔH)	13
1.4.2 Entropi değişimi (ΔS).....	14
1.4.3 Serbest enerji değişimi (ΔG)	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	16
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	19

3.1 Kullanılan Cihazlar	19
3.1.1 Kullanılan kimyasal maddeler	19
3.2 Yöntem.....	20
3.2.1 Adsorban	20
3.2.2 Adsorplanan madde.....	20
3.3 Adsorpsiyon Deneyleri.....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1 Talk (Kil) Mineralini XRD Analizi.....	21
4.2 Talk (Kil) Mineralinin XRF Analizi	21
4.3 Talk (Kil) Mineralinin BET Analizi	22
4.4 Talk (Kil) Mineralinin SEM-EDX Analizi	22
4.5. Talk (Kil) Mineralinin FTIR Analizi	24
4.6. Deneysel Çalışmalar.....	24
4.6.1. Cu (II) nin kinetik çalışmaları	24
4.6.2 Ni (II)‘nin kinetik çalışmaları	37
4.7 Aktivasyon Enerjilerinin Bulunması.....	49
4.8 Cu (II) Konsantrasyonunun Kil Üzerine Adsorpsiyon Etkisi	50
4.9. Ni (II) Konsantrasyonunun Kil Üzerine Adsorpsiyon Etkisi.....	62
4.10 Termodinamik Verilerin Bulunması	74
4.11. Adsorpsiyon Üzerine pH’nın Etkisi	78
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Tetrahedral, Oktahedral, Diokrahedral, Trioktahedral tabakalarının şematik diyagramı.....	2
Şekil 1.2 Talkın şematik gösterimi (Dikmen S. ve ark., 2020).....	4
Şekil 1.3 Talk mineralinin genel görünümü.....	5
Şekil 4.1 Talk (kil) mineralinin XRD difraktogramı	21
Şekil 4.2 Talk (kil) mineralinin SEM-EDX görüntüsü	23
Şekil 4.3 Talk (kil) mineralinin FTIR spektrumu.	24
Şekil 4.4 Cu kalibrasyon grafiği	25
Şekil 4.5 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K’ de temas süresinin etkisi	27
Şekil 4.6 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K’ için Lagergren grafiği	27
Şekil 4.7 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K’ için Ho McKay grafiği.....	28
Şekil 4.8 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K için Weber Morris grafiği.....	28
Şekil 4.9 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K’ için Elovich grafiği	29
Şekil 4.10 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için denge temas süresinin etkisi.....	29
Şekil 4.11 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için Lagergren grafiği.....	30
Şekil 4.12 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için Ho McKay grafiği	30
Şekil 4.13 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için Weber Morris grafiği.....	31
Şekil 4.14 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için Elovich grafiği.....	31
Şekil 4.15 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K temas süresinin etkisi	32
Şekil 4.16 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K için Lagergren grafiği.....	32
Şekil 4.17 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K Ho McKay grafiği	33
Şekil 4.18 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K için Weber Morris grafiği.....	33
Şekil 4.19 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K için Elovich grafiği.....	34
Şekil 4.20 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki denge konsantrasyonu temas süresi grafiği.....	34
Şekil 4.21 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki Lagergren grafiği.....	35
Şekil 4.22 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki Ho McKay grafiği	35
Şekil 4.23 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki Weber Morris grafiği.....	36
Şekil 4.24 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki Elovich grafiği.....	36
Şekil 4.25 Ni (II) nin kalibrasyon grafiği.....	37
Şekil 4.26 Ni (II) nin 298 K için kinetik grafiği	39

Şekil 4.27 Ni (II) nin 298 K için Lagergren grafiği	39
Şekil 4.28 Ni (II) nin 298 K için Ho McKay grafiği.....	40
Şekil 4.29 Ni (II) nin 298 K için Weber Morris grafiği	40
Şekil 4.30 Ni (II) nin 298 K için Elovich grafiği	41
Şekil 4.31 Ni (II) nin 308 K için Kinetik grafiği	41
Şekil 4.32 Ni (II) nin 308 K için Lagergren grafiği	42
Şekil 4.33 Ni (II) nin 308 K için Ho McKay grafiği.....	42
Şekil 4.34 Ni (II) nin 308 K için Weber Morris grafiği	43
Şekil 4.35 Ni (II) nin 308 K için Elovich grafiği	43
Şekil 4.36 Ni (II) nin 318 K için Kinetik grafiği	44
Şekil 4.37 Ni (II) nin 318 K için Lagergren grafiği	44
Şekil 4.38 Ni (II) nin 318 K için Ho McKay grafiği.....	45
Şekil 4.39 Ni (II) nin 318 K için Weber Morris grafiği	45
Şekil 4.40 Ni (II) nin 318 K için Elovich grafiği	46
Şekil 4.41 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta denge konsantrasyonunu temas süresine bağlayan grafik.....	46
Şekil 4.42 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta Lagergren grafiği	47
Şekil 4.43 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta Ho McKay grafiği.....	47
Şekil 4.44 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta Weber Morris grafiği	48
Şekil 4.45 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta Elovich grafiği	48
Şekil 4.46 Ni (II) ait Arrhenius grafiği.....	49
Şekil 4.47 Cu (II) ait Arrhenius grafiği	50
Şekil 4.48 Cu kalibrasyon grafiği	52
Şekil 4.49 298 K'deki Cu (II) nin kil üzerine adsorpsiyon izotermi.....	52
Şekil 4.50 298 K için Cu (II) nin kil üzerindeki Langmuir izotermi	53
Şekil 4.51 298 K için Cu (II) nin kil üzerindeki Freundlich izotermi.....	53
Şekil 4.52 298 K için Cu (II) nin kil üzerindeki Temkin izotermi.....	54
Şekil 4.53 298 K için Cu (II) nin kil üzerindeki D-R izotermi	54
Şekil 4.54 308 K için Cu (II) nin kil üzerine adsorpsiyon izotermi	55
Şekil 4.55 308 K için Cu (II) nin kil üzerine Langmuir izotermi	55
Şekil 4.56 308 K için Cu (II) nin kil üzerine Freundlich izotermi.....	56
Şekil 4.57 308 K için Cu (II) nin kil üzerine Temkin izotermi.....	56
Şekil 4.58 308 K için Cu (II) nin kil üzerine D-R izotermi	57

Şekil 4.59 318 K için Cu (II) nin kil üzerine adsorpsiyon izoterminin	57
Şekil 4.60 318 K için Cu (II) nin kil üzerine Langmuir izoterminin	58
Şekil 4.61 318 K için Cu (II) nin kil üzerine Freundlich izoterminin	58
Şekil 4.62 318 K için Cu (II) nin kil üzerine Temkin izoterminin	59
Şekil 4.63 318 K için Cu (II) nin kil üzerine D-R izoterminin	59
Şekil 4.64 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki adsorpsiyon izoterminin	60
Şekil 4.65 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki Langmuir izoterminin	60
Şekil 4.66 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki Freundlich izoterminin	61
Şekil 4.67 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki Temkin izoterminin	61
Şekil 4.68 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki D-R izoterminin	62
Şekil 4.69 Ni kalibrasyon grafiği	64
Şekil 4.70 298 K için Ni (II) nin kil üzerine adsorpsiyon izoterminin	64
Şekil 4.71 298 K için Ni(II) nin kil üzerine Langmuir izoterminin	65
Şekil 4.72 298 K için Ni(II) nin kil üzerine Freundlich izoterminin	65
Şekil 4.73 298 K için Ni(II) nin kil üzerine Temkin izoterminin	66
Şekil 4.74 298 K için Ni(II) nin kil üzerine D-R izoterminin	66
Şekil 4.75 308 K için Ni(II) nin kil üzerine adsorpsiyon izoterminin	67
Şekil 4.76 308 K için Ni(II) nin kil üzerine Langmuir izoterminin	67
Şekil 4.77 308 K için Ni(II) nin kil üzerine Freundlich izoterminin	68
Şekil 4.78 308 K için Ni(II) nin kil üzerine Temkin izoterminin	68
Şekil 4.79 308 K için Ni(II) nin kil üzerine D-R izoterminin	69
Şekil 4.80 318 K için Ni(II) nin kil üzerine adsorpsiyon izoterminin	69
Şekil 4.81 318 K için Ni(II) nin kil üzerine Langmuir izoterminin	70
Şekil 4.82 318 K için Ni(II) nin kil üzerine Freundlich izoterminin	70
Şekil 4.83 318 K için Ni(II) nin kil üzerine Temkin izoterminin	71
Şekil 4.84 318 K için Ni(II) nin kil üzerine D-R izoterminin	71
Şekil 4.85 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine adsorpsiyon izoterminin	72
Şekil 4.86 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine Langmuir izoterminin	72
Şekil 4.87 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine Freundlich izoterminin	73
Şekil 4.88 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine Temkin izoterminin	73
Şekil 4.89 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine D-R izoterminin	74
Şekil 4.90 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin $\ln K_d$ grafiği	76
Şekil 4.91 Ni(II) için Van't Hoff grafiği	77

Şekil 4.92 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin $\ln K_d$ grafiği	77
Şekil 4.93 Ni(II) için Van't Hoff grafiği.....	78
Şekil 4.94 Cu (II) için pH grafiği	79
Şekil 4.95 Ni(II) için pH grafiği.....	79



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Fillosilikat minerallerinin tabaka sayılarına göre sınıflandırılması	3
Tablo 4.1 Talk (kil) mineralinin XRF analizi	21
Tablo 4.2 Talk üzerine Cu (II) 'nin adsorpsiyonuna ait kinetik veri değerleri	26
Tablo 4.3 Ni (II) 'nin talk üzerine adsorpsiyonuna ait kinetik veriler	38
Tablo 4.4 Cu (II) iyonlarının kil üzerindeki adsorpsiyon verileri.....	51
Tablo 4.5 Ni (II) iyonlarının Kil Üzerindeki Adsorpsiyon Verileri.....	63
Tablo 4.6 Ni(II) iyonlarının Kil Adsorpsiyonundaki Termodinamik Veriler.....	75
Tablo 4.7 Cu (II) iyonlarının Kil Adsorpsiyonundaki Termodinamik Veriler	76

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
B	Temkin'e ait izoterm sabiti
Ce	Denge konsantrasyonu
Cu	Bakır
Ni	Nikel
Cu(NO ₃) ₂	Bakır (II) Nitrat
Ni (NO ₃) ₂	Nikel (II) Nitrat
HNO ₃	Nitrik Asit
k ₁	Yalancı birinci dereceye ait hız sabiti
k ₂	Yalancı ikinci dereceye ait hız sabiti
K _F	Freundlich'e ait izoterm sabiti
K _L =b	Langmuir'e ait izoterm sabiti
K _c	Adsorpsiyonun denge sabiti
M	Molarite
q _e	Dengede olan gram adsorbent başına adsorplanan madde miktarı
Q _{max}	Langmuir adsorpsiyon kapasitesi

Kısaltma	Açıklama
BET	Brunaur-Emmet-Teller
D-R	Dubinin-Radushkevich
XRF	X- Işınları Floresans Spektroskopisi
XRD	X- Işınları Kırınımı (x- ışınları difraksiyonu)
MTA	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü

ÖZET

AĞIR METAL İYONLARININ DOĞAL KİL MİNERALLERİ (DİYARBAKIR/ KULP) ÜZERİNDEKİ ADSORPSİYONUNUN İZOTERM, KİNETİK VE TERMODİNAMİK ANALİZİ

Buldağ, Emine

Doktora Tezi, Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Yavuz

Mayıs 2023, 83 sayfa

Sulu çözeltiden, Cu(II) ve Ni(II) iyonlarını uzaklaştırmak için doğal kil ile çalışıldı. Adsorpsiyona etki eden faktörlerden sıcaklık, temas süresi, konsantrasyon, pH, gibi parametreler incelendi. Deneysel veriler Temkin, Dubinin-Radushkevich, Freundlich ve Langmuir izotermine uyarlandı. Deneysel verilerin daha fazla Langmuir izoterm modeline uymakta olduğu gözlemlendi. 298K, 308K ve 318K için sırasıyla 1.79, 0.49, 2.65 mgCu/g doğal kil; 0.72, 0.99, 1.35 mg Ni/g doğal kil olarak adsorpsiyon kapasiteleri tespit edilmiştir. Kinetik deneysel veriler ise Lagergren, Ho-McKay, Weber-Morris ve Elovich kinetik modellere uyarlandı. Bu verilerin ise, Ho-McKay ikinci derece hız denkleminde uygun olduğu gözlemlendi. Termodinamik veriler hesaplandı. Bu veriler; Cu(II) için $\Delta H_o=55,35$ k j/mol, $\Delta S_o=0,245$ k j/mol ve $\Delta G_{298}=-17,66$ k j/mol, $\Delta G_{308}=-20,11$ k j/mol, $\Delta G_{318}=-22,56$ k j/mol, Ni(II) için, $\Delta H_o=83,43$ k j/mol, $\Delta S_o=0,32$ k j/mol ve $\Delta G_{298}=-12,23$ k j/mol, $\Delta G_{308}=-15,44$ k j/mol, $\Delta G_{318}=-18,65$ k j/mol olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nikel, Bakır, Adsorpsiyon, Kinetik, Termodinamik, Doğal Kil

ABSTRACT

ISOTHERM, KINETIC AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF HEAVY METAL ION'S ADSORPTION ON NATURAL CLAY MINERALS (DIYARBAKIR/KULP)

Buldağ, Emine

PhD Dissertation, Department of Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. Ömer Yavuz

May 2023, 83 pages

Naturel clay was used to remove Cu(II) and Ni(II) ions from the aqueous solution. Temperature, concentration are the factors affecting adsorption, pH, kinetic parameters such as contact time were studied. Experimental data Temkin, Dubinin-Radushkevich, Freundlich and Langmuir adsorption isotherms were adapted. It was observed that the experimental data were more in line with the Langmuir adsorption isotherm model. Adsorption capacities for 298K, 308K and 318K are respectively 1.79, 0.49, 2.65 mg/g Cu natural clay: 0.72, 0.99, 1.35mg/g Ni natural clay. Kinetic experimental data were adapted to Lagergren, Ho-McKay, Weber-Morris and Elovich kinetic models. it was observed that these data were in accordance with the Ho-McKay second order velocity equation. Thermodynamic data was calculated. For Cu(II) $\Delta H_o=55,35$ k j/mol, $\Delta S_o=0,245$ k j/mol ve $\Delta G_{298}=-17,66$ kj/mol, $\Delta G_{308}=-20,11$ kj/mol, $\Delta G_{318}=-22,56$ kj/mol, For Ni(II), $\Delta H_o=83,43$ k j/mol, $\Delta S_o=0,32$ k j/mol ve $\Delta G_{298}=-12,23$ kj/mol, $\Delta G_{308}=-15,44$ kj/mol, $\Delta G_{318}=-18,65$ kj/mol was calculated.

Keywords: Nickel, Copper, Adsorption, Kinetics, Thermodynamics, Natural Clay

1. GİRİŞ

1.1 Killer

Killer tanecik boyutu 0,002 mm'den küçüktür. Killerin farklılıkları gözle ayırt edilmediğinden özel cihazlar (XRF, XRD, FTIR, BET ve SEM) kullanılarak analizleri yapılabilmektedir. Kil minerallerinin kimyasal formülleri $x\text{Al}_2\text{O}_3$, $y\text{SiO}_2$, $z\text{H}_2\text{O}$ şeklinde gösterilmektedir. Buradaki x, y ve z katsayıları hangi oranlarda alüminyum oksit, silisyum oksit ve su bulunduğunu ifade eder (Kalpaklı Y. ve ark., 2022)

1.1.1 Killerin oluşumu

Talk; serpentine ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), piroksen $\text{XY}(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ (X:Ca, Na, Fe, Mg), (Y:Cr, Fe, Al, Mg) amfibol ve olivin gibi magnezyum minerallerininin karbondioksit ve su ile reaksiyona girmesi ile meydana gelir.



Serpantin

Talk

Magnezit



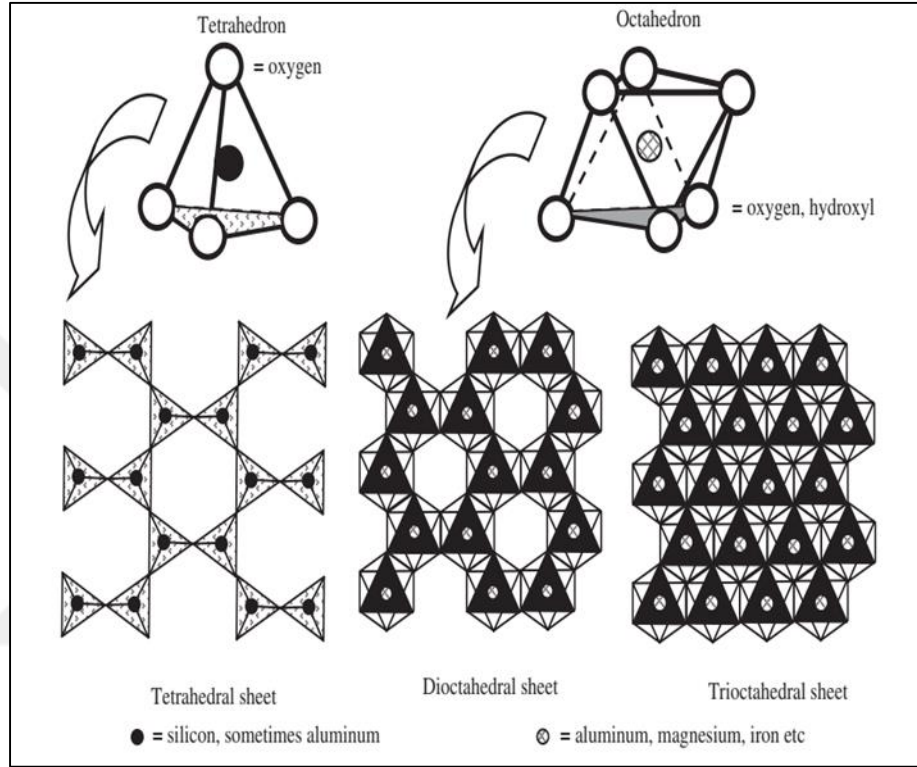
Dolomit

Silis

Talk

1.1.2 Killerin yapısı

Killer iki tip atomik kristal yapıdan oluşmaktadır. Bunlar; tetrahedral (Düzgündörtüzlü, T) ve oktahedral (Düzgünsekizyüzlü,O) yapılardır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Tetrahedral, Oktahedral, Dioktahedral, Trioktahedral tabakalarının şematik diyagramı

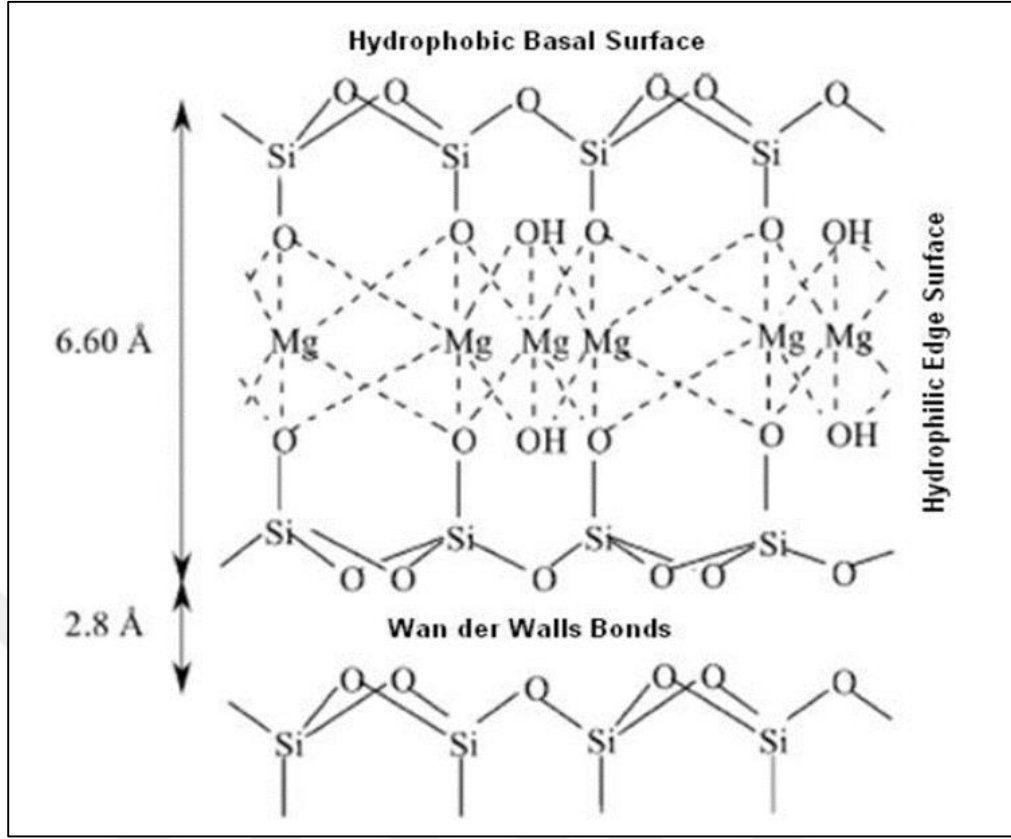
Kil mineralleri ise silikatlar grubunun bir alt sınıfında yer alan fillosilikatlar grubuna aittir. Fillosilikatlar da kendi içlerinde tabaka türüne (1:1 ve 2:1, T-O ve T,O-T) tabakalarının sahip olduğu yüke ve tabakalar arasında yer alan farklı birimlere göre sınıflandırılabilir. Kil mineralleri var olan sınıflandırma yöntemleri göz önünde bulundurularak 7 farklı alt gruba ayrılmıştır. Bu gruplar; serpentin ve kaolin grubu, talk ve profillit grubu, simektit grubu, vermiküllit grubu, mika grubu, klorit grubu, sepiyolit ve paligorskit grubu olarak incelenmiştir. Bu gruplar Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1 Fillosilikat minerallerinin tabaka sayılarına göre sınıflandırılması

Tabaka Türü	Tabaka Yüğü	Grup	Altgrup	Tür
1:1(T-O)	$q \approx 0$	Kaolin-Serepentin	Kaolin Serpentin	Kaolin Berthierine
2:1(T-O-T)	$q \approx 0$	Pyrophyllite-Talc	Pyrophyllite Talc	Pyrophyllite Talc
	$q \approx 0,2-0,6$	Smektit	Di-smektit	Montmorillonite,Bediellite
			Tri-smektit	Saponite
	$q \approx 0,6-0,9$	Vermiculite	Di-Vermiculite	Di-Vermiculite
			Tri-Vermiculite	Tri-Vermiculite
	$q \approx 1$	Mica	Di-Mica	Illite, Muscovite
			Tri-Mica	Biotite
	Değişebilir	Chlorite	Di-Chlorite	Sudoite
			Tri-Chlorite	Chamosite, clinochlore
		Sepiolite-palygorskite	Sepiolite	Sepiolite
			Palygorskite	Palygorskite
Değişebilir		Karışık Tabaka	Di, Mica-Di, Smectite	Rectorite
			Tri, Chlorite-Tri, Smectite	Corrensite

*T:Tetrahedral(Düzgün dörtyüzlü), O: Oktahedral (Düzgünsekizyüzlü)

Talk hidratize olmuş Magnezyum silikat ($Mg_3Si_2O_5(OH)_2$) olan bir kil mineralidir. Talk 2:1 grubuna ait (T-O-T) bir kil mineralidir. Şekil 1.2’de talkın şematik gösterimi gösterilmiştir. Burda görüldüğü gibi mineralin alt ve üst kısmında SiO_2 (T:tetrahedral) orta kısmında ise magnezyum (O:oktahedral) bulunmaktadır.



Şekil 1.2 Talkin şematik gösterimi (Dikmen S. ve ark., 2020)

Talkin kristal yapısı TOT olarak tanımlanır, yani zayıf van der Waals kuvvetleri tarafından birbirine zayıf bir şekilde bağlanmış paralel TOT katmanlarından oluşur. Üst ve alt kısımlarda (SiO_2) tetrahedral tabakalar bulunur. Yapısında iyonik bağlar mevcuttur ve üç tabaka ise birbirine zayıf etkileşimlerden olan van der Waals bağları ile bağlanmıştır. Talkin tabaka kenarları ($-\text{MgOH}$ ve $-\text{SiOH}$ grupları) hidrofilik (su seven) tabaka yüzeyleri ise ($-\text{Si-O-Si}-$) hidrofobik (su sevmeyen) ve yapıdadır.

Talkin yüzey alanının yaklaşık %75'ini tabaka yüzeyi oluşturduğu için dolayı talk hidrofobik yapıdadır. Az miktarda demir ve alüminyum metallerini de içerebilir. Talk cevherleri kendi aralarında kimyasal özellikleri anlamında birbirinden farklılık göstermektedir.

1.1.3 Talk'ın fiziksel özellikleri

Gümüş, yeşil ve griye yakın beyaz renkte olup yüzeyi parlak yağlı ve buzlu görünümlüdür (Şekil 1.3). Kuvars, piroksen, olivin, amfibol gibi diğer kristallerin

şeklinde olabilmektedir. Kristal örgü yapısı Monokliniktir (2/m). Saydam kristalleri yarı şeffaftır, kütlesi opaktır. Sertlik 1 ile 1,5 arası olup özgül ağırlığı 2,7-2,8'dir. Beyaz damarlıdır. Diğer Parçalar hafif eğilebilir olup, elastik değildirler. Talk dokunulduğu zaman, ele sabun hissi verir.



Şekil 1.3 Talk mineralinin genel görünümü

1.2 Ağır Metaller ile İlgili Genel Bilgiler

Bugün çok önemli sorunlardan biri haline gelen ağır metal birikimi canlılara;

- 1) Bileşiklerin çözünürlüğüne bağlı olarak suya geçmesi sonucu sulardan alınımıyla (örneğin; CuSO_4 , CuCO_3 , CuS , NiS)
- 2) Havadan gaz halinde (Ör: Nikel tetra karbonil, $\text{Ni}(\text{CO})_4$, Tetra etil kurşun, $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$.
- 3) Havadaki kollidal parçacıklaraki toz numunelerinden
- 4) Besin zinciri aracılığıyla geçmektedir.

İnsan vücudunda biriken metal iyonları proteinler, enzimler ve karbon hidratlarla reaksiyona girerek vücutta olumsuz birçok rahatsızlıklara yol açabilmektedirler.

Atık sularda bol miktarda bulunan ağır metaller, çevreye ve canlılara ciddi zararları olabilmektedir. Kanseri başta olmak üzere, akciğerlerde tümör oluşumuna, anemi, gastrointestinal hastalıklara, karaciğer ve böbrek gibi organlarda işlevsel

bozukluklara, kas ağrılarına, gözlerde, ağız ve burunda tahrişe sebebiyet verebilmektedir.

1.2.1 Ağır metallerin çevreye yayılması

Özkütlesi 5 g/cm³ ve daha fazla olan metallere ağır metal denilmektedir. Başta kobalt, bakır, kadmiyum, krom, nikel, kurşun, çinko, demir ve cıva olmak üzere 60 adet ağır metal bilinmektedir. Yeryüzünde genellikle silikat, oksit, sülfür ve karbonatları halinde bulunmaktadır (Kahvecioğlu ve ark., 2003). Sanayileşme ve maden faaliyetlerinin yanı sıra endüstriyel ve evsel atıklar, egzoz emisyonları ile ağır metal içerikli yakıtların fazla miktarda tüketilmesi, ağır metal kirliliğinde artış yaşanmasına neden olmaktadır. Asit yağmurlarının yağması sonucu toprak tarafından çözünmekte olup nehirler, göllere ve yer altı sularına karışması su kirliliğine yaratmaktadır. Su kaynaklarındaki ağır metaller sülfür, karbonat ve sülfat bileşikleri halinde suyun tabanına çöker ve bu alanda toplanırlar. Adsorpsiyon kapasitesi bakımından sınırlı olan sediment tabakası ağır metal miktarının devamlı olarak artışına sebep olmaktadır.

1.2.2 Bakır (Cu)

Doğada yaklaşık sayı olarak 200'ü aşan bakır minerali bulunmaktadır ve bu minerallerin 20 tanesi bakır cevheri olarak endüstride kullanılmaktadır. Endüstride kullanılan Cu'nın önemli bir role sahip olmasının nedeni farklı özelliklere sahip olmasıdır. Elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek ve korozyona karşı dirençlidir. Bakır alaşımları ise endüstride borular, elektrik-elektronik sanayi, elektrik santralleri, basınçlı sistemler ve otomotiv, gibi birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Cu ve bileşikleri fungusit, biyosit, böcek öldürücü ve anti bakteriyel madde olarak tarımda geniş çapta kullanılmaktadır. Örnek olarak % 1-2 CuSO₄ ihtiva eden "Bordo Karışımı" üzüm tarımında fungusit olarak kullanılır. Bakır iyon halinde bitkilerde uzun bir süre kalabilmektedir. Mesela; elma ağaçlarında yaklaşık varlığını 12 hafta sürdürdüğü tespit edilmiştir. Cu fazla alındığı zaman vücut açısından toksik olmakta, vücuttaki enzimlerin bazılarının çalışmasını engelleyebilmektedir.

Bakır vücutta fazla birikince sinir sistemi bozukluklarına, karaciğer sirozuna ve gözde renk halkası oluşması neden olmaktadır. Cu' ın dokular arasındaki dağılımına bağlı olarak insanlarda kemik yapısının bozulmasına ve büyüme geriliğine sebebiyet vermektedir. Ayrıca, Alzheimer hastalığı ve prion hastalıkları gibi bazı nörolojik hastalıklara da neden olabilmektedir.

1.2.3 Nikel (Ni)

Fiziksel olarak yumuşak olan Ni, tel ve levha haline getirilebilmektedir. Aşınmaya karşı gösterilen yüksek direnç, nikel ve nikel bileşiklerinin kullanımını özellikle endüstride yaygın hale getirmektedir. Nikel metali ve alaşımları kimya ve gıda işleme, metalürji endüstrilerinde kullanılır. Nikel çoğunlukla, yüksek korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olan paslanmaz çelik ve başka nikel alaşımları üretmek için kullanılmaktadır (Cempel ve Nikel, 2006). Nikel'in insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkileri vardır. Akciğer kanserine ve böbrek hastalıklarına, sindirim sistemi hastalıklarına, cilt rahatsızlıklarına ve kemik kanserine neden olmaktadır.

1.3 Adsorpsiyon ile İlgili Genel Bilgiler

Atom, molekül veya iyonların bir katı yüzeyinde tutunması olayına adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon olayı; gaz-sıvı, sıvı-sıvı, gaz-katı veya sıvı-katı arayüzlerde madde birikmesi sonucu oluşur. Çoğunlukla yüzey üzerinde denge hızlı kurulabilmektedir. Adsorpsiyon olayı adsorban üzerindeki aktif merkez denilen kısımlarda olur.

1.3.1 Adsorpsiyona etki eden faktörler

Adsorpsiyon işleminin etkili gerçekleşebilmesi için koşulların uygun olması gerekmektedir. Adsorpsiyona etki eden faktörlerden bazıları; adsorbentin yüzey alanı, karıştırma hızı, ortamın pH değeri, sıcaklık, temas süresidir (Hamutoğlu R., ve ark., 2012).

1.3.1.1 Adsorbentin yüzey alanı

Katı adsorbentin birim yüzey alanı ile porlarının çok olmasına ile adsorpsiyon kapasitesi artar (Hamudoğlu ve ark., 2012).

1.3.1.2 Karıştırma hızı

Adsorpsiyon oluşumu bir denge olayı olduğu için çözeltide karıştırma yapılması dengenin kısa sürede kurulmasını sağlayacaktır. Ayrıca adsorplanan madde miktarını da artıracaktır. Adsorpsiyon kapasitesini arttırmak için karıştırma işlemi muhakkak yapılmalıdır.

1.3.1.3 Ortamın pH değeri

Ortam pH'ı adsorbentin yapısını ve adsorbatın iyonlaşmasını etkiler. Maddelerden bazıları düşük pH'larda iyonlaşır, bazıları ise yüksek pH'larda fazla miktarda iyonlaşarak maksimum adsorpsiyon gerçekleştirir.

1.3.1.4 Ortam sıcaklığı

Adsorplanan madde miktarı, endotermik ve ekzotermik reaksiyonlarda değişmektedir. Adsorpsiyon reaksiyonları, genelde ekzotermik tepkimelerde gerçekleşir. Adsorpsiyon kapasitesi, sıcaklığın düşmesiyle artış gösterir (Çağlanırmak ve Hepçimen 2010).

1.3.1.5 Temas süresi

Adsorbent çözeltiye alındıktan sonra adsorplama işlemi başlar. Başlangıçtaki yüksek yüzey alanı, adsorplama miktarında artış sağlar. Temas süresi arttıkça adsorbentin yüzey alanındaki azalma ve adsorbat miktarındaki azalmadan kaynaklı adsorpsiyon işlemi yavaşlar. Bunun nedeni, adsorbent yüzeyi zamanla adsorbat ile doygunluk noktasına ulaşmış olmasındandır. (Çağlar ve Hepçimen 2010).

1.3.2 Adsorpsiyon izoterm modelleri

Belli bir sıcaklıkta çözeltide olan madde derişimi ile katı yüzeyinde adsorplanan madde derişimleri arasındaki denge olayına, adsorpsiyon izotermi denir. Adsorpsiyonda dengeyi ifade etmek için sabit bir sıcaklıkta çözeltide kalan ve adsorplanan miktarlar grafiğe yansıtılırsa izotermeler elde edilir. Adsorpsiyon

işlevinde en fazla kullanılan izotermier şöyle sıralanmaktadır (Dada A.O. ve ark., 2012).

1.3.2.1 Freundlich' e ait izoterm modeli

Adsorplanan madde miktarı, önce hızlı bir şekilde artar. Sonra bu artış, adsorplanan moleküllerin katı yüzeyini doygun hale getirmesine bağılı olarak yavaşlar. Freundlich denklemi bu değışimi ifade etmek için kullanılmaktadır. Freundlich denklemi Denk.

1.1 verilmiştir.

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (1.1)$$

Doğrusallaştırılmış hali Denk. 1.2

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (1.2)$$

In q_e 'ye karşı In C_e grafiğı çizilir. Bu grafiğın kayma ve eğim değeriinden sırayla K_F ve n hesaplanır. Eğer $1/n$ değeri 0 ile 1 arasında ise adsorpsiyon istemlidir. Sıfıra yakın ise adsorplayıcı yüzeyinin heterojenliğı artmaktadır. 1'e yakın ise izoterm modelinin, Langmuir modeline uyduğunu ifade eder.

1.3.2.2 Langmuir'e ait izoterm modeli

Adsorplayıcı yüzeyinin homojen olması durumunu ve adsorplayıcı yüzeyindeki tek tabaka adsorpsiyonu açıklar.

Langmuir denklemi, Denk. 1.3'de gösterildiğı şekilde ifade edilmektedir (Langmuir 1918):

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1.3)$$

Bu denklemin doğrusallaştırılmasıyla Denk. 1.4 elde edilir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} \times \frac{1}{q_m} \times C_e \quad (1.4)$$

Denk. 1.4'e kullanılarak C_e 'ye karşı (C_e/q_e) çizilen Langmuir grafiğinden; b ve q_m değerleri sırasıyla grafiğin kayma ve eğim değerlerinden bulunur. $bC_e \ll 1$ ise, çözültide adsorplanan madde miktarı ile birim adsorbent başına adsorplanmış olan madde miktarı doğru orantılı olmaktadır.

Bu durumda;

$$q_e = q_m b C_e \quad (1.5)$$

dir. Şayet Adsorpsiyonun fazla olduğu durum ele alınırsa $bC_e \gg 1$ olduğu görülmektedir. Denge durumunda birim adsorbent başına adsorplanan miktar sabit kalmakta olup bu durum Denk. 1.6 ile ifade edilmektedir.

$$q_e = q_m \quad (1.6)$$

olur.

Langmuir izoterminin örtüşme faktörü olan R_L

$$R_L = \frac{1}{1+bC_e} \quad (1.7)$$

R_L değerinin 0 olması durumunda olayın tersinmez olduğunu, 1'den büyükse adsorpsiyon elverişsiz olduğunu, 0-1 arası değer ise olayın istemli (kendiliğinden gerçekleşen) olduğunu ve 1'e eşit olması halinde lineer olduğunu ifade eder.

1.3.2.3 Dubinin-Radushkevich(D-R)'e ait izoterm modeli

Bu izoterm, Denk. 1.8' de ifade edilmektedir.

$$q_e = q_m e^{-B\varepsilon^2} \quad (1.8)$$

Doğrusallaştırılmış hali Denk. 1.9 elde edilir.

$$\ln q_e = \ln q_m - B\varepsilon^2 \quad (1.9)$$

Denk. 1.9'e göre, ε^2 'ye karşı $\ln q_e$ lineer grafiğinin kayma ve eğim değerlerinden sırasıyla B ve q_m değerleri elde edilir.

$$\varepsilon = RT \ln \left[1 + \frac{1}{C_e} \right] \quad (1.10)$$

Adsorpsiyon işleminin kimyasal veya fiziksel etkileşimler sonucunu gerçekleştirdiği hakkında bilgi verir. B nin değeri adsorpsiyon enerjisinden yararlanılarak, E olarak verilen 1.11'denkleminde hesaplanır. Buna göre; enerji değeri, 8 kJ mol⁻¹'den fazla ise, adsorplayıcı ile adsorplanan arası etkileşimin kimyasal etkileşim, 1 ve 8 kJ mol⁻¹ arasında ise, etkileşimin fiziksel bir etkileşim olduğunu belirtilmektedir.

$$E = \left[\frac{1}{\sqrt{2B}} \right] \quad (1.11)$$

1.3.2.4 Temkin izoterm modeli

Temkin'e ait izoterm modeli, adsorpsiyon enerjisindeki azalmanın Freundlich eşitliğindeki gibi üstel bir şekilde olmadığını, bu azalmanın doğrusal olduğunu varsayarak türetilmiştir (Temkin ve Pyzev 1940).

Temkin'e ait doğrusallaştırılmış izoterm model, Denk. 1.12' de verilen haliyle ifade edilmektedir.

$$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \quad (1.12)$$

$$B_T = \frac{RT}{b} \quad (1.13)$$

$\ln C_e$ 'ye karşı q_e kayma ve eğim değerlerinden sırayla K_T ve B_T belirlenir.

1.3.3 Adsorpsiyon kinetiğinin modellenmesi

Adsorpsiyon olayında, adsorpsiyon süresinin tespiti için kinetik modeller kullanılmaktadır. Adsorplanacak maddenin ortamdan uzaklaştırılması ve verimin saptanabilmesi için hız sabitleri bilinmelidir.

Adsorpsiyon sürecinin hangi mekanizma ile meydana geldiğini ifade eden birtakım kinetik modeller vardır. Bu modellerden bazıları şunlardır.

1.3.3.1 Lagergren kinetik modeli

Lagergren tarafından 1898 yılında geliştirilmiş olan bu model, sıvı- katı adsorpsiyon sistemlerinde zamana bağlı olarak adsorplama kapasitesinin değişimini açıklar. Doğrusallaştırılmış Lagergren denklemi (Denk. 1.17) verilmiştir (Lagergren 1898).

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e - \frac{k_1}{2,303} t) \quad (1.17)$$

Denk. 1.17' ye göre, t' ye karşın ln(qe-qt) arasında çizilmiş olan grafiğın kayma ve eğim değerlerinden sırasıyla qe ve k1 değerleri belirlenmektedir.

1.3.3.2 Ho-McKay kinetik modeli

Yalancı-ikinci derece kinetik model; zamanla adsorplama kapasitesinin değişimini, Denk. 1.18 ile ifade etmişlerdir (Ho ve McKay, 1999).

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (1.18)$$

t'ye karşılık t/qt grafiğē geçirildikten sonra elde edilecek doğru grafiğının kayma değerinden k₂, eğiminden de qe hesaplanabilir.

1.3.3.3 Elovich kinetik modeli

Elovich kinetik modeli, homojen olmayan katı yüzeylerde gerçekleşmekte olan adsorpsiyonu ifade eden bir model olup, Elovich çizgisel denklemi Denk. 1.19 ile ifade edilmektedir (Gupta S.S. ve Bhattacharya G.K., 2006).

$$q_t = \beta \ln(\alpha\beta) + \beta \ln t \quad (1.19)$$

Denk. 1.19'a göre $\ln t$ ve q_t değerleri ile çizilen doğrunun eğim ve kayma değerlerinden sırasıyla β ve α sabitleri hesaplanır.

1.3.3.4 Weber ve Morris kinetik modeli

Difüzyon mekanizmasının lagergren ve Ho-McKay denklemleriyle açıklanamayacağı durumlarda, Weber-Morris'e ait kinetik model ile açıklanmaya çalışılır. Weber-Morris denklemi Denk. 1.20 ile ifade edilmektedir.

$$q_t = k_i \sqrt{t} + C \quad (1.20)$$

$\sqrt{t}$ 'ye karşı q_t 'nin grafiğe geçirilmesi ile oluşturulan olan doğru grafiğinin kayma değerinden C, eğiminden de k_i değeri hesaplanmaktadır (Onursal,2022).

1.4 Adsorpsiyon Termodinamiği

Termodinamik; kimyasal veya fiziksel bir tepkimenin gerçekleşmesi sonucu sistemin enerji değişimini, serbest enerjisindeki değişimi ve entropisini inceler. Tepkimenin kendiliğinden olup olamayacağını hakkında bilgi verir.

1.4.1 Entalpi değişimi (ΔH)

Herhangi bir tepkimede ürünlerin toplam entalpisinden, giren maddelerin toplam entalpisinin çıkarılmasına entalpi değişimi (ΔH) denir. Entalpi değişiminin negatif olması reaksiyonun ekzotermik, pozitif olması reaksiyonun endotermik olduğunu ifade eder.

1.4.2 Entropi değişimi (ΔS)

Entropi herhangi bir sistemde var olan düzensizliğin bir ölçüsünü ifade eder. Evrendeki tüm sistemler dışarıdan bir etkiye maruz kalmadığı zaman entropisini arttırma yönelimindedir. Adsorpsiyon olayında ise, adsorplanan madde zaman geçtikçe adsorplayıcı üzerinde birikir ve daha düzenli hale geçer. Bu nedenle entropisi zamanla azalır.

1.4.3 Serbest enerji değişimi (ΔG)

Bir tepkimenin istemsiz veya istemli gerçekleştiği, başka bir ifade ile tepkimenin kendiliğinden veya dışarıdan yapılan bir müdahale ile gerçekleştiğini ifade etmek için serbest enerji (ΔG) değişimine bakılır.

ΔG değeri negatif ise tepkime kendiliğinden gerçekleşir, pozitif ise tepkime kendiliğinden gerçekleşmez.

Adsorpsiyon’ da; Gibbs serbest enerjisini bulunabilmesi için öncelikle K_d bulunur (K_d adsorpsiyonun denge sabitidir).

$$\Delta G = -RT \ln K \quad (1.21)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1.22)$$

(1.21) ve (1.22) denklemleri birbirlerine eşitlendikten sonra yeniden düzenlenirse denklem (1.23) yani Van’t Hoff denklemi elde edilmiş olur.

$$\ln K_d = - \Delta H/RT + \Delta S/R \quad (1.23)$$

R: İdeal gaz sabiti olup değeri, $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, dir.

$$K_d = \frac{q_e}{C_e} \quad (1.24)$$

$\ln K_d$ değerine karşılık C_e değeri grafiğe geçirildiğinde $\ln K_d^\circ$ bulunur. Elde edilen $\ln K_d^\circ$ değerleri, $1/T$ değerlerine karşın grafik oluşturulduğunda, Van't Hoff çizgisel grafiği elde edilmektedir. Bu grafikteki doğrunun kaymasından $\Delta S/R$, eğiminden ise $\Delta H/R$ değerleri bulunur. Bulunan ΔS ve ΔH değerleri, eşitlik (1.22) de yerine yazıldığında ΔG değerleri, 298, 308 ve 318 K sıcaklıklar için hesaplanmış olur.

ΔG 'nin negatif değeri, adsorpsiyonun kendiliğinden olduğunu ifade eder. ΔH 'ın pozitif değeri ise adsorpsiyonun endotermik gerçekleştiğini ifade eder.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yavuz O. ve ark., (2003), Kaolinit içerikli kil yüzeyine sulu çözelti içerisinde çözünmüş olan Ni(II) iyonlarının adsorpsiyon çalışmasını yapmışlar ve adsorpsiyon izotermelerinden Langmuir'e uygun olduğunu ve adsorpsiyon kapasitesinin 1,669 mg/g şeklinde hesaplamışlar.

Onursal ve ark. (2019), bakır iyonlarını sulu çözeltilerden uzaklaştırmak için Siirt iline bağlı, Kurtalan ilçesinden temin edilen doğal kili adsorplayıcı olarak kullanmıştır ve izotermelerin Langmuir modeline, kinetik verilerin ise Ho McKay modeline uyduğunu ifade etmiştir.

Hassouna MEM ve ark. (2014), Fe (III) ve Mn(II) iyonlarını sulu çözeltilerden uzaklaştırmak için Kaolin içerikli kil kullanmış ve izotermelerin Langmuir ve Freundlich izotermelerine uygun olduğunu belirtmişler.

Uddin M.K., (2017) kil yapılarını hakkında bilgi vererek, sulu çözeltilerden ağır metallerin bazılarını tanımladığı killeri üzerinde adsorpsiyon deneyleri yaparak, bu killerin adsorpsiyon kapasitelerini bulmuştur.

Da Fonseca M. G. ve ark. (2006), Zn(II), Mn(II), Cd(II) ve Cr(VI) iyonlarının sulu çözeltilerden uzaklaştırmak amacıyla vermikülit içerikli kil kullanıp adsorpsiyon deneyleri yapmıştır. Çalışmalar sonucu izotermelerin Langmuir izotermine uyduğunu belirtmiş ve kapasitelerinin 0.48, 0.52, 0.5 ve 0.6 mmol/g olarak hesaplamışlardır.

Raval N.P. ve ark., (2016) Ni (II) iyonunun sulu çözeltilerden ağır metal giderimi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada Ni(II) iyonları için çeşitli adsorplayıcılar kullanmışlar. Ayrıca her bir adsorplayıcının kapasitelerini, adsorpsiyon izoterm ve kinetik modellerinden hangisine uygun olduğunu çalışmalarında ifade etmişlerdir.

Dal Bosco S. M. ve ark. (2005), Ni(II), Mn(II), Cr(III) ve Cd(II) iyonlarını sulu çözeltilerden uzaklaştırmak için Doğal Brezilya zeolit içerikli kilini kullanmışlardır. İzotermelerin Freundlich izotermine uygun olduğunu belirtmiş ve KF değerlerinin ise $Cr > Mn > Cd > Ni$ şeklinde sıralamıştır.

Dal Bosco S. M. ve ark. (2006), sulu çözeltiden Cd(II) ve Mn(II) iyonlarını uzaklaştırmak için Doğal Brezilya kili ile çalışmışlardır. İzotermilerin Langmuir izotermine uygun olduğunu ve kapasitelerini; Cd(II) için 6.3 mg g⁻¹ Mn(II) için ise 4.8 mg g⁻¹ olarak bulmuşlardır.

Bartczak P., ve ark., (2018), Pb (II) ve Ni (II) iyonlarını, sulu çözeltiden uzaklaştırmak için bataklık kömürü kullanmışlar ve Kinetik verilerin Ho Mc Kay kinetiğine uygun olduğunu belirtmişler. İzotermilerin ise Langmuir izotermine uygun olduğunu ve kapasitelerinin; Ni(II) için 61,27 mg/g, Pb(II) için ise 82,31 mg/g olarak hesaplamışlardır.

Bennour Hamdi A. M. (2017), sulu çözeltiden Mn (II) iyonlarını uzaklaştırmak için Doğal Libya bentonit kiliyle adsorpsiyon çalışmaları yapmış ve Mn (II) kapasitesinin 1.638 meq/g olarak bulmuştur.

Gupta S. S.ve Bhattacharyya, K G. (2006), sulu çözeltiden, Ni(II) iyonlarını uzaklaştırmak için Kaolinit ve montmorillonit kilini kullanmışlardır. Kinetik verilerin Ho-McKay denkleminde uygun olduğunu ifade etmişler. Hız sabitinin ise, $k_2 = 1,3 \times 10^{-2} - 5,3 \times 10^{-2}$ g/mgdk arası bir değer olarak hesaplamışlar. İzotermilerin; Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğunu ifade etmişler. Langmuir tek tabakalı adsorpsiyon kapasitelerinin 2,75-21,14 mg Ni/g Kil arasında olduğunu hesaplamışlar. Bunun dışında adsorpsiyon sürecinin ekzotermik olarak gerçekleştiğini, ΔG 'ın (-34,6) -(-49,5) kJ/mol, ΔS 'ın (-118,2) -(-160,5) J/mol ve ΔH 'ın (-24,0)-(-45,1) kJ/mol arasında bir değer olduğunu hesaplamışlardır.

Bhattacharyya K.G. ve Gupta S.S. (2009), Kaolinit içerikli ham kil ve bu kilin asit ile aktive edilmiş hali ile adsorpsiyon çalışmaları yapmış ve adsorpsiyon kapasitelerini; Pb (II): 11.1 ve 12.1 mg/g, Co(II): 11.2 ve 12.1 mg/g, Cu(II): 9.2 ve 10.1 mg/g, Cd(II): 9.9 ve 11.4 mg/g ve 10.1 mg/g ve Ni (II): 10.4 ve 11.9 mg/g olarak bulmuşlar.

Kamel M.M. ve ark. (2004), Mn(II), Zn(II), Fe(III), Pb(II) ve Cu(II) iyonlarını sulu çözeltiden uzaklaştırabilmek için Kaolin içerikli kil kullanmış ve izotermin Freundlich izotermine uygun olduğu anlaşılmıştır.

Dawodu F. A. ve Akpomie K. G. (2014), sulu çözeltiden Mn (II) ve Ni(II) iyonlarını uzaklaştırmak için Doğal Nijerya kaolinit içerikli kilini kullanmışlardır. İzotermilerin Freundlich adsorpsiyon izotermine uygun olduğunu ve Langmuir tek katman adsorpsiyon kapasitesinin Ni(II) için 166,67 mg Ni/g kil ve Mn(II) için 111,11 mg Mn/g kil olarak hesaplamışlar. Kinetik sonuçların ise Elovich kinetiğine uygun olduğunu belirtmişlerdir. Adsorpsiyon sürecinin endotermik $\Delta H > 0$ olduğunu ayrıca $\Delta G < 0$ olduğunu tespit etmişlerdir.

Jiang Ming-qin ve ark. (2010), sulu çözeltiden Ni(II), Cd(II), Cu(II) ve Pb(II) iyonlarını uzaklaştırabilmek için Kaolinit içerikli kil kullanmışlar ve izotermilerin daha çok Freundlich izotermine uygun olduğunu belirtmişler.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Cihazlar

- Ham kili öğütmek için Baysan marka çeneli kırıcı kullanılmıştır.
- Kilin eleme işlemi, Protech marka elek cihazı ile (-100 ile 120), (-120 ile 140), (140 ile 170), (-170 ile 200) ve- 200 mesh’ lik gözenek çapına sahip eleklerde elenmiştir.
- Memmert (WNB14) marka ısıtılmalı çalkalayıcı (Shaker) kullanılmıştır.
- Cihazın hızı, sıcaklığı ve süresi dijitaldir.
- (Hettich EBA 35) marka 5000 rpm dönme hızına sahip santrifüjde çözeltiler 15’er dakika santrifüjlenmiştir.
- Santrifüjleme işlemi tamamlandıktan sonra çözeltideki ağır metal derişimini belirleyebilmek için Agilent 240 AAS marka cihaz kullanılmıştır.
- Optimum pH tespiti için ölçümler, Hanna Instruments (HI 2211) marka cihazda yapılmıştır.
- TP214 Denver instrument marka elektronik terazide kil tartımları alınmıştır.
- Cam malzeme olarak; farklı hacimde erlen, mezür, balon joje, beher, huni, pipet ve porselen kroze kullanılmıştır.
- Kilin kimyasal bileşimini belirleyebilmek için XRF ve BET analizleri, MTA Genel Müdürlüğü bünyesindeki laboratuvarlara gönderilmiştir.
- Kilin XRD analizi, Cu- α ışın tüp içeren Bruker D8 Discover marka XRD cihazı ile yapılmıştır.
- Kilin SEM-EDX analizi Quanta FEG 250 cihazı ile yapılmıştır.
- Kilin FTIR analizi Perkin Elmer Precisely Spectrum One cihazı ile alınmıştır.
- Kilin XRF analizi, Thermo ARL marka cihazın UQ programından verilmiştir.

3.1.1 Kullanılan kimyasal maddeler

Markası Merk olan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ve $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ tuzlarının sulu çözeltileri.

3.2 Yöntem

3.2.1 Adsorban

Kullanılan kil Diyarbakır'ın (38° 33' 53.4600" Kuzey ve 40° 55' 58.8792") Doğu gps koordinatlarına sahip Akdoruk Köyü Dikyol mezrasından temin edilmiştir.

Daha sonra kil öğütücüde öğütüldü. (-100+120), (-120+140), (-140+170), (-170+200) ve- 200 mesh'lik gözenek çapına sahip elekler ile elendi. Daha sonra 110 °C de etüvde kurutuldu. Sonrasında kapalı kaplara alınarak tartım işlemi yapıldı.

3.2.2 Adsorplanan madde

Adsorplanacak ağır metallerin stok çözeltileri (2000 mg/L Ni) ve (2000 mg/L Cu) hazırlanıp pH ayarlamaları için % 1N HNO₃ ve NaOH kullanıldı. Gerekli seyreltmeler yapılarak kinetik, izoterm ve pH deneyleri için gerekli derişimlerde seri çözeltiler hazırlandı.

3.3 Adsorpsiyon Deneyleri

Bu çalışmada adsorpsiyona ait deneyler üç farklı parametrede yapıldı. Bunlar pH, kinetik ve izoterm deneyleridir. Cu (II) ve Ni(II) sulu çözeltilerinden 25 ml alınıp, tartımı alınmış 1 g'lık killer üzerine bırakıldıktan sonra, ısıtmalı çalkalayıcıda farklı zaman aralıklarında çalkalandı. Daha sonra 15'er dakika santrifüjlendikten sonra kalan çözelti için miktar tayini, atomik adsorpsiyon cihazında (AAS) analizi yapıldı. Adsorplanan madde miktarları, 3.1' de verilen denklem kullanılarak hesaplandı.

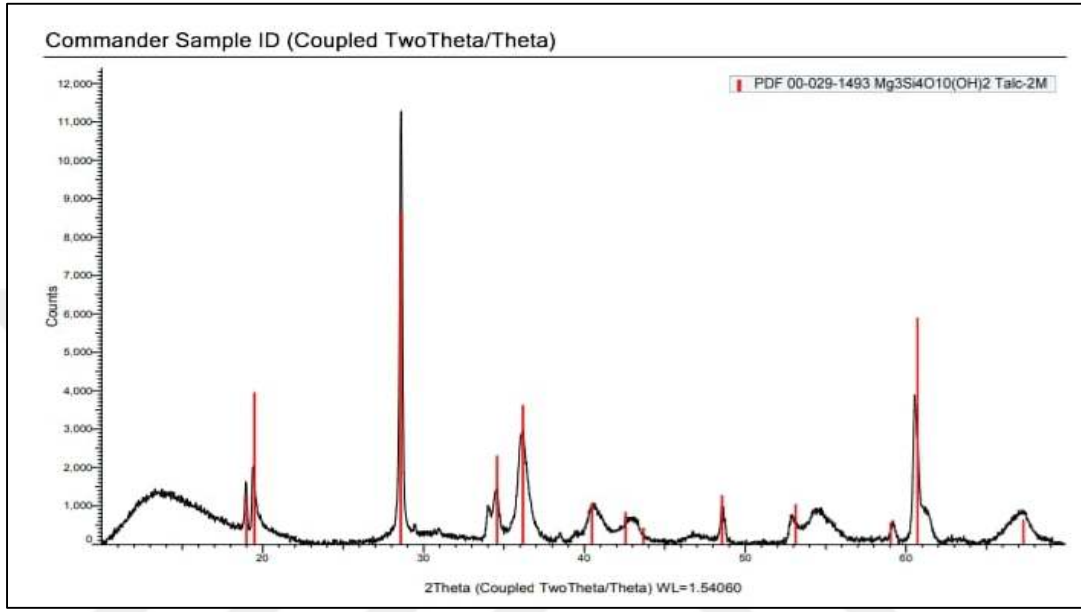
$$q_e = \frac{(C_i - C_e)1000}{m} x V \quad (3.1)$$

Formüldeki C_i ve C_e başlangıç ile denge konsantrasyonlarını, m kilin kütlesi (g), V çözelti hacmini (mL) ifade etmektedir (Dal M.C. 2019).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Talk (Kil) Mineralini XRD Analizi

Doğal kilin XRD analizi yaptırıldı. Kilin difraktogramı Şekil 4.1.1 'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Talk (kil) mineralinin XRD difraktogramı

Şekil 4.1'de belirtildiği gibi 2θ≈9.4'deki pik talk pikini vermektedir. XRD kütüphanesindeki verilerden numunenin talk olduğu Şekil 4.1 içinde verilmektedir.

Ayrıca talk için yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Kurşun H. ve Ulusoy U., 2006), (Dikmen S. ve ark., 2020).

4.2 Talk (Kil) Mineralinin XRF Analizi

Deneyde kullanılan doğal kil MTA'ya gönderildi ve XRF analizi yaptırıldı. Kilin XRF analizinin sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Talk (kil) mineralinin XRF analizi

Örnek Adı	Kimyasal Bileşim %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	A.Za
Ham Kil	63,4	0,2	0,2	3,3	26,4	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,8	5,30

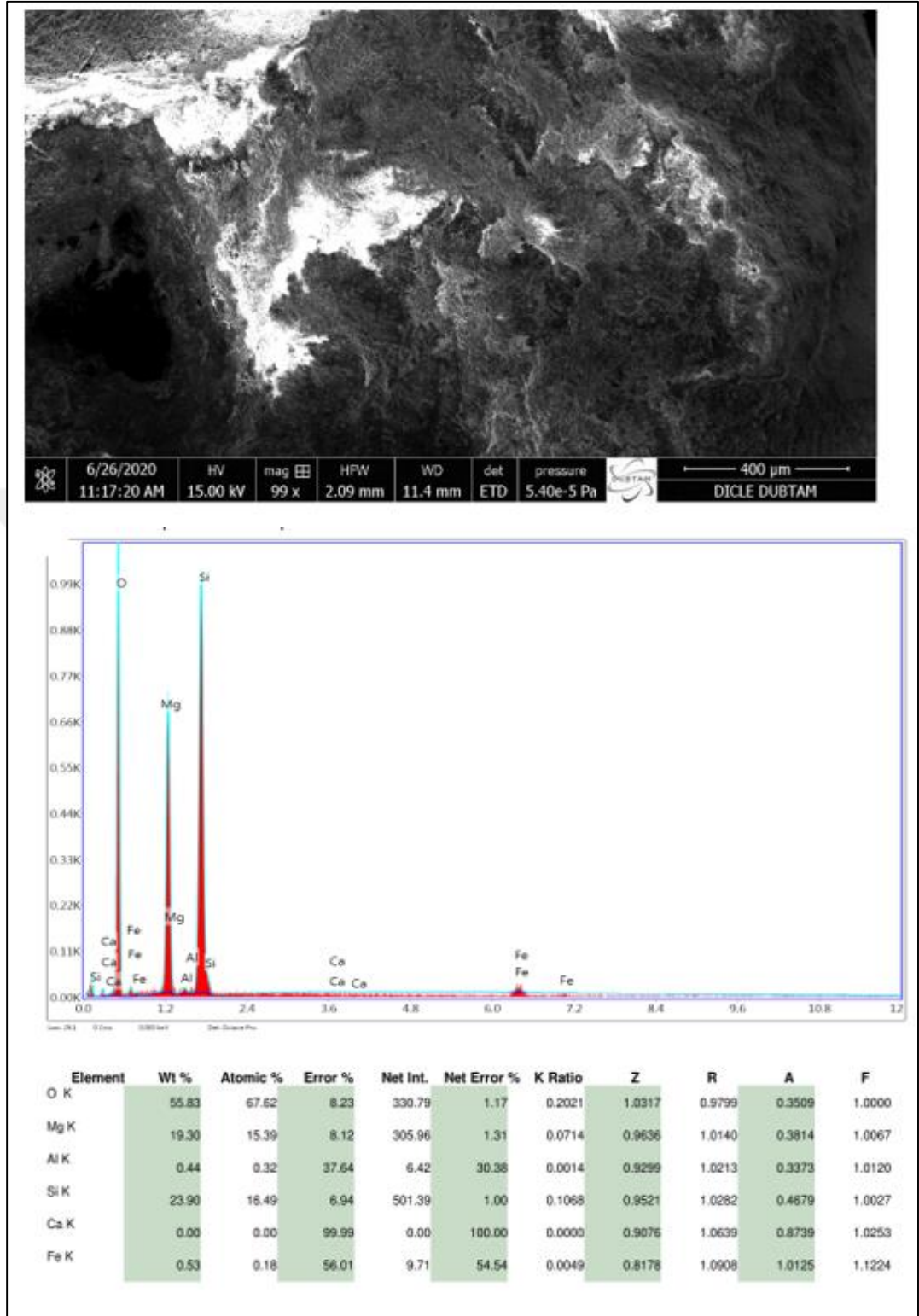
Yapılan başka bir çalışmada ise talkın %63,26 SiO₂, %26,71 MgO, %1,47 Al₂O₃, %0,54 Fe₂O₃, %0,75 CaO, %0,31 K₂O ve %0,13 Na₂O ihtiva ettiğini belirtmişlerdir (Osman M.E. ve ark., 2014). Ayrıca, (Kursun H. ve Ulusoy U., 2006) yaptıkları çalışmada talkın % 59,2 SiO₂ ve %30,97 MgO içerdiğini belirtmişlerdir. Bu da yapılan analizin literatür ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

4.3 Talk (Kil) Mineralinin BET Analizi

Deneyde kullanılan doğal kil MTA'ya gönderilerek, çok noktalı yüzey alanı ile gözenek boyutu (BET) analizi yapılmıştır. Analiz sonucu; 8,611 m²/g olduğu belirtilmiştir. Başka bir yapılan çalışmalarda talkın yüzey alanının 4,3 m²/g olarak belirtilmiştir (Osman M.E. ve ark., 2014). Ayrıca, (Ferrage E., ark., 2003) yaptıkları çalışmalarda Talc A ve Talc B 'nin yüzey alanlarının sırasıyla 7 ve 7,5 m²/g bulduklarını belirtmişlerdir.

4.4 Talk (Kil) Mineralinin SEM-EDX Analizi

Talk mineralinin SEM görüntüsü ve EDX analizleri

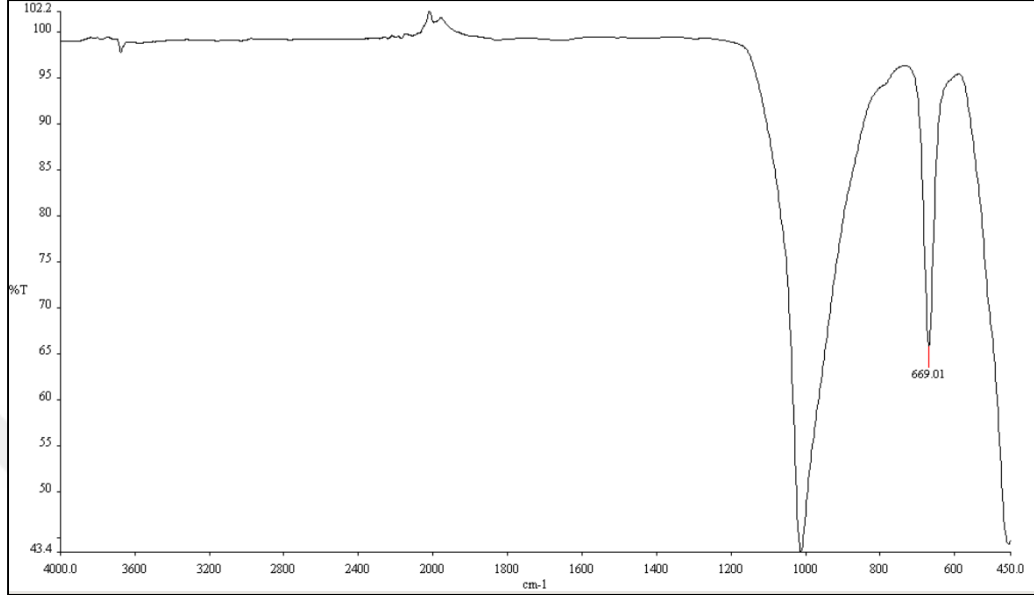


Şekil 4.2 Talk (kil) mineralinin SEM-EDX görüntüsü

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi talk mineralindeki ana bileşenlerin Si (%23,9) ve Mg (%19,30) az miktarda Fe (%0,53) ve Al(%0,44) olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise XRF sonuçlarını desteklemektedir.

4.5. Talk (Kil) Mineralinin FTIR Analizi

Talk mineralinin FTIR spektrumu Şekil 4.3’ de verilmiştir.



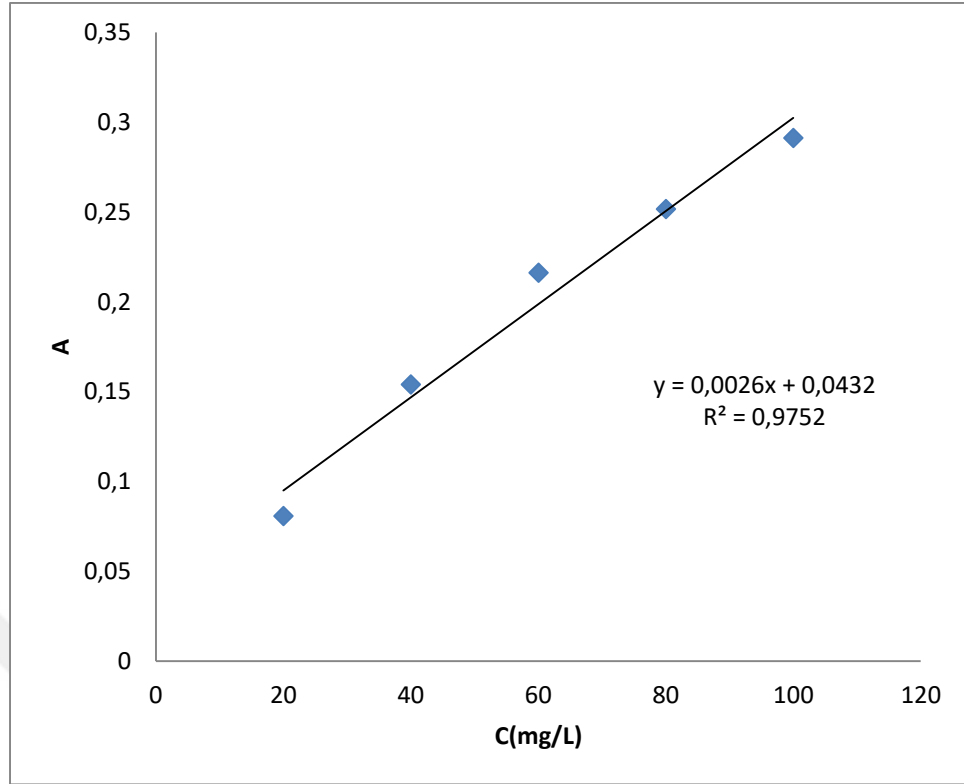
Şekil 4.3 Talk (kil) mineralinin FTIR spektrumu.

FT-IR spektrumundaki 1000 ve 450 cm-1’deki pikler silaxon (Si-O-Si) esneme titreşiminden, 670 civarındaki pikin Si-O-Mg esneme titreşiminden kaynaklandığı belirtilmektedir (Osman M.E. ve ark., 2014).

4.6. Deneysel Çalışmalar

4.6.1. Cu (II) nin kinetik çalışmaları

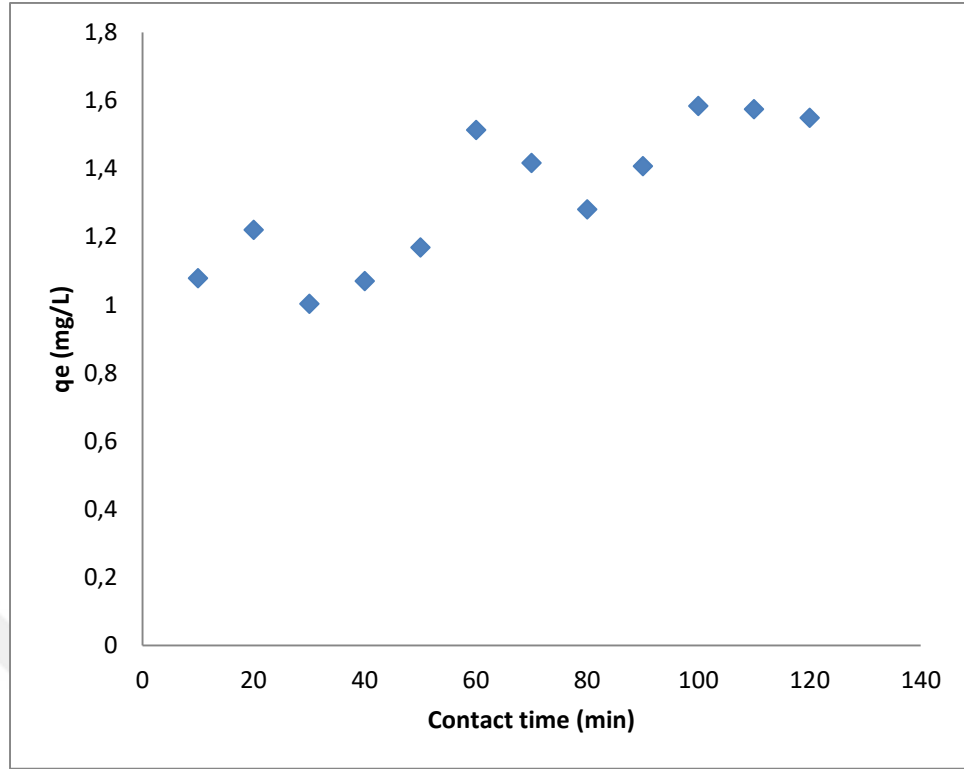
Doğal kilin Cu (II) adsorpsiyonu üzerinde sıcaklık ve sürenin etkisi incelendi. Veriler aşağıda olduğu gibi tablo ve şekiller halinde verilmiştir.



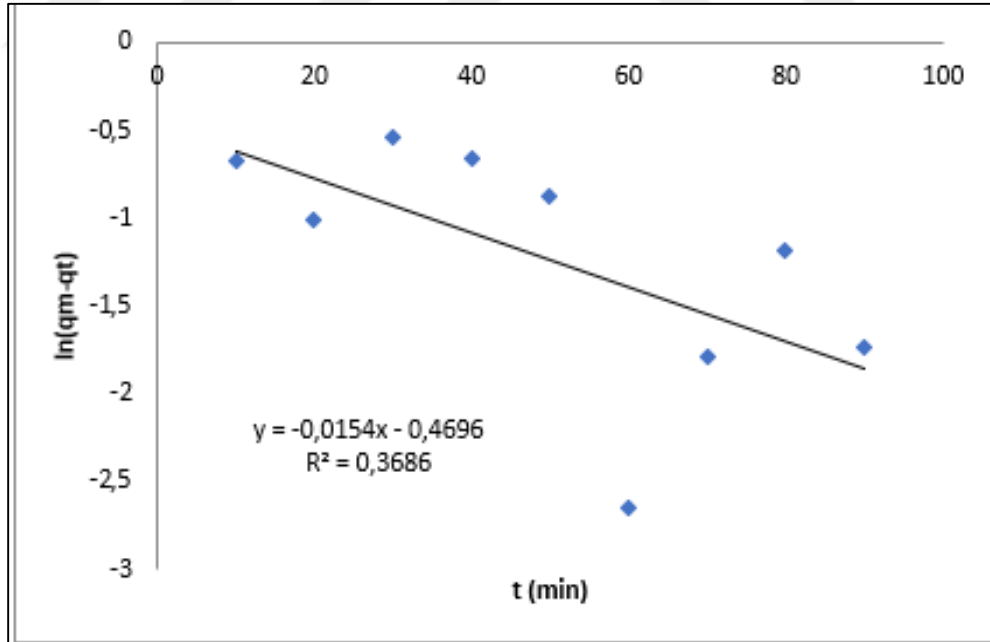
Şekil 4.4 Cu kalibrasyon grafiği

Tablo 4.2 Talk üzerine Cu (II) 'nin adsorpsiyonuna ait kinetik veri değerleri

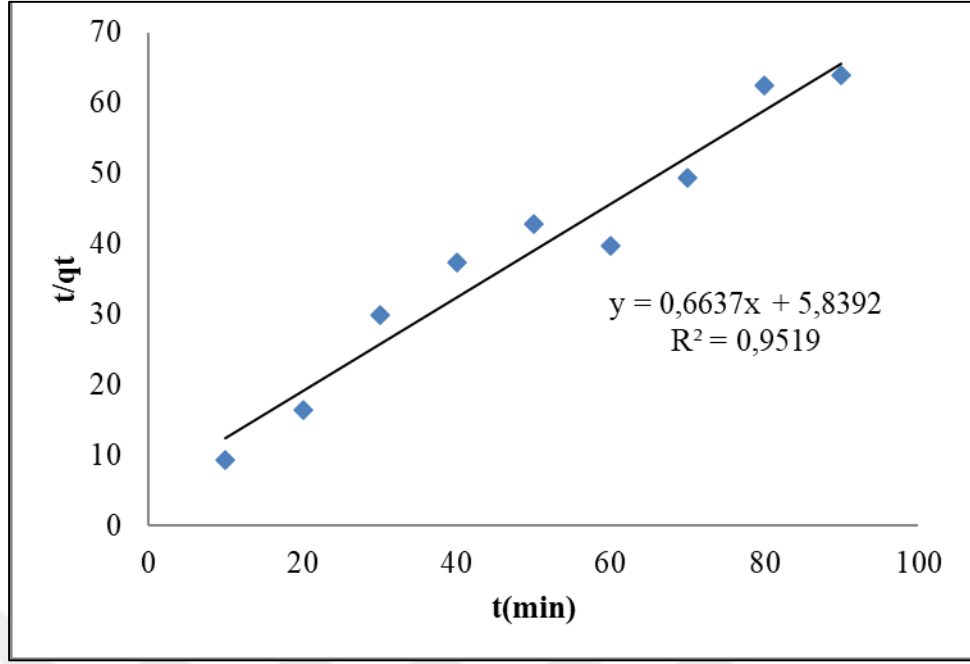
Sıcaklık (K)	Süre (dakika)	C _i (mg/L)	C _t (mg/L)	ln t	q _t (mg/g) q _m =1,58	√t	ln(q _e -q _t)	t/q _t (dk g/mg)
298	10	80	58,44	2,30	1,08	3,16	-0,68	9,27
	20	80	55,60	2,95	1,22	4,47	-1,01	16,40
	30	80	59,93	3,40	1,00	5,47	-0,54	29,90
	40	80	58,6	3,69	1,07	6,32	-0,67	37,38
	50	80	56,62	3,91	1,17	7,07	-0,88	42,78
	60	80	49,73	4,10	1,51	7,75	-2,66	39,64
	70	80	51,67	4,25	1,42	8,36	-1,78	49,43
308	10	80	52,55	2,30	1,37	3,16	-0,54	7,25
	20	80	55,48	2,95	1,23	4,47	-0,32	16,31
	30	80	49,64	3,40	1,58	5,47	-0,83	19,76
	40	80	54,4	3,69	1,28	6,32	-0,39	31,25
	50	80	47,19	3,91	1,64	7,07	-1,16	30,48
	60	80	48,40	4,10	1,58	7,75	-0,99	37,86
318	10	80	58,88	2,30	1,05	3,16	0,09	9,47
	20	80	29,89	2,95	1,49	4,47	-0,41	13,38
	30	80	25,30	3,40	1,26	5,47	-0,11	23,71
	40	80	35,27	3,69	1,76	6,32	-0,93	22,68
	50	80	29,67	3,91	1,48	7,07	-0,39	33,70
	60	80	33,78	4,10	1,69	7,75	-0,76	35,52
Yalancı birinci derece (Lagergren) Denklemi					Yalancı ikinci derece (Ho McKay) Denklemi		t/q _e	
ln(q _e -q _t) = lnq _e - k ₁ t					= t/q _e + 1/k ₂ q _e ²			
(°K)		R ²	k ₁ = m	n = lnq _e	R ²	q _e (mg/g)	k ₂	
298	y=-0,0154x-0,4696	0,37	0,0154	0,4696	y=0,6637x+5,8392	0,95	15,07	0,0007
308	y=-0,0178x-0,0881	0,82	0,0178	-0,0881	Y=0,4871x+6,6992	0,98	2,05	0,0239
318	Y=-0,0217x+0,2974	0,81	0,0217	0,2974	Y=0,4344x+7,4054	0,97	2,30	0,0255
Weber- Morris					Elovich Modeli qt = 1/β ln(αβ) + 1/β ln t			
q _t = C _b + K _{wm} √t								
		R ²	K _{wm}	C _b	R ²	β	α	
298	Y=0,062x+0,8276	0,53	0,062	0,8276	Y=0,1936x+0,558	0,50	5,1652	3,455
308	Y=0,0795x+0,992	0,78	0,079	0,992	Y=0,2553x+0,5983	0,71	3,9170	2,659
318	Y=0,1255x+0,7448	0,87	0,125	0,7448	Y=0,4148x+0,077	0,84	2,4108	0,499



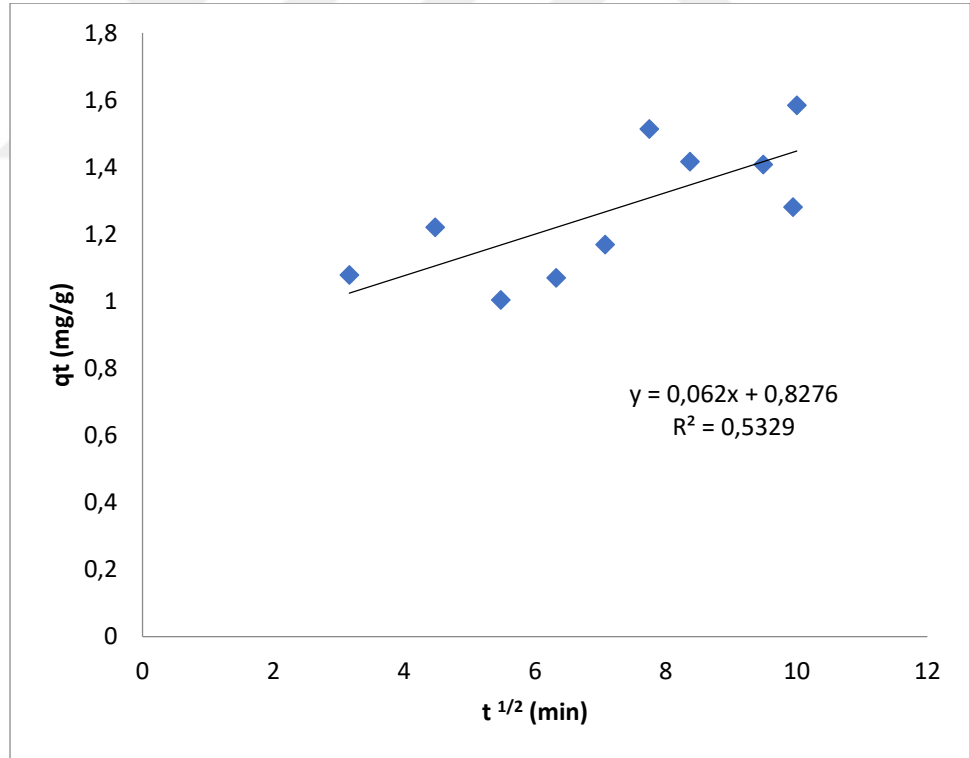
Şekil 4.5 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K' de temas süresinin etkisi



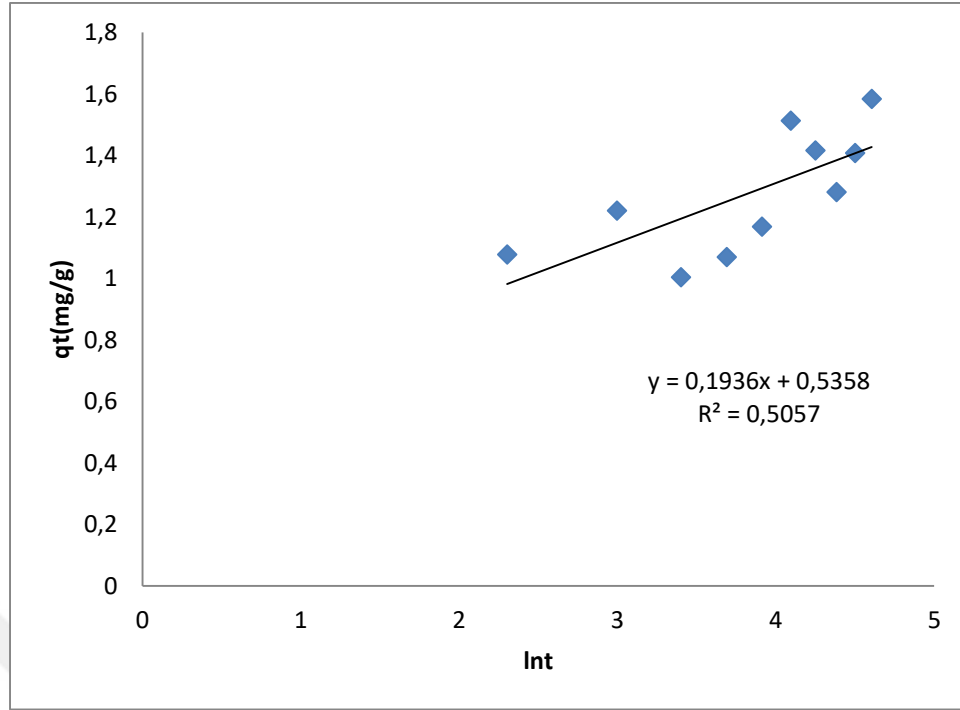
Şekil 4.6 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K' için Lagergren grafiği



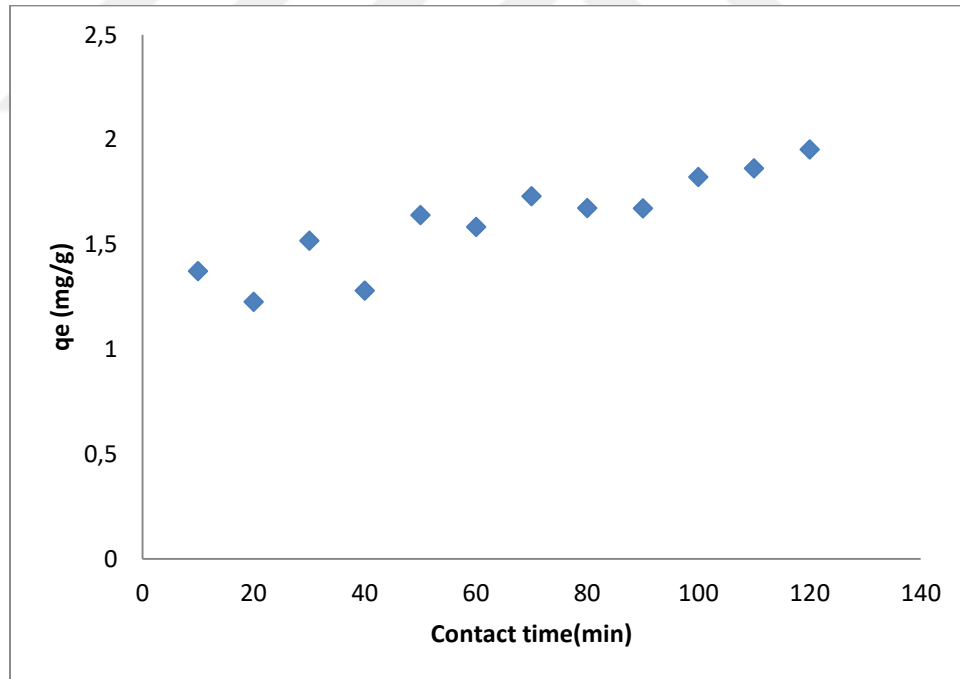
Şekil 4.7 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K' için Ho McKay grafiği



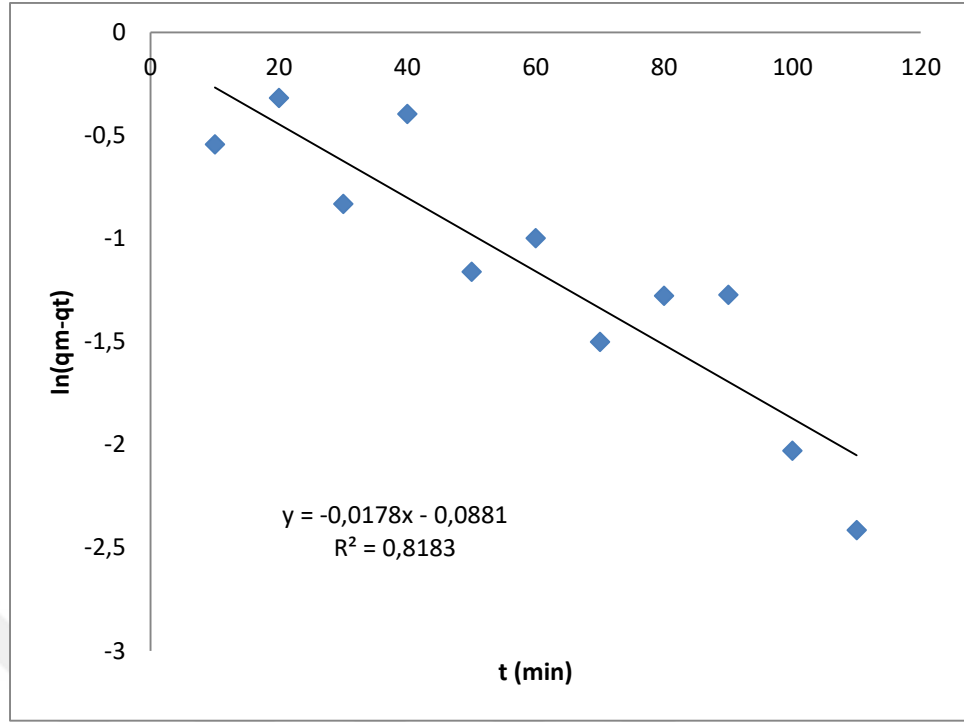
Şekil 4.8 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K için Weber Morris grafiği



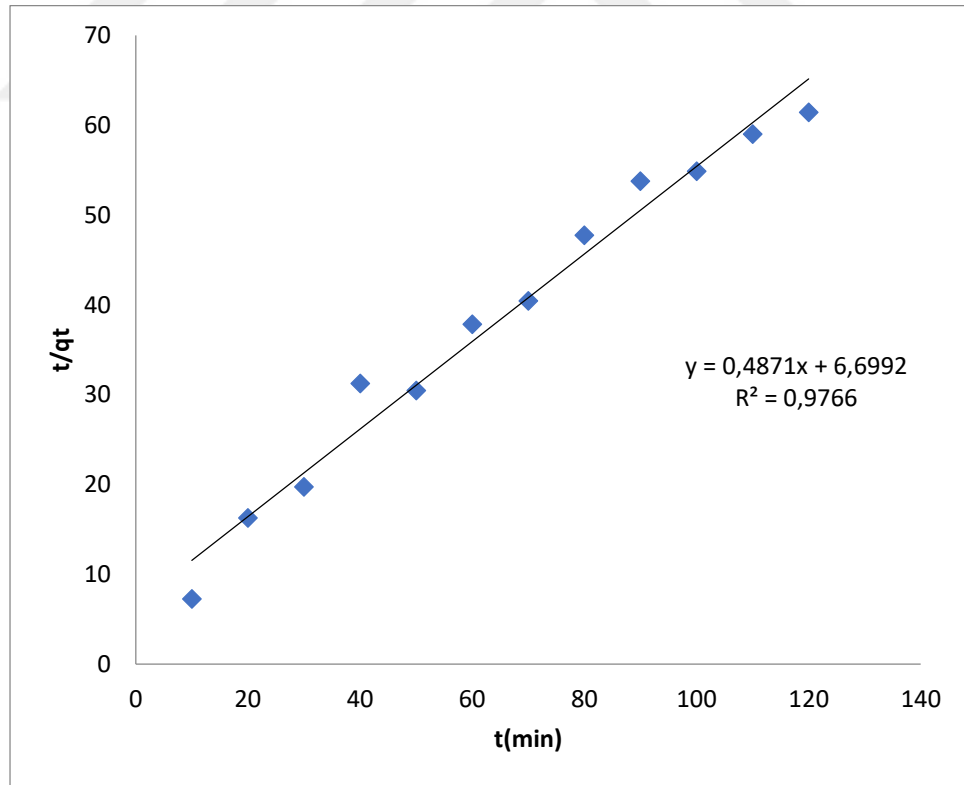
Şekil 4.9 Cu (II) nin talk üzerinde 298 K' için Elovich grafiği



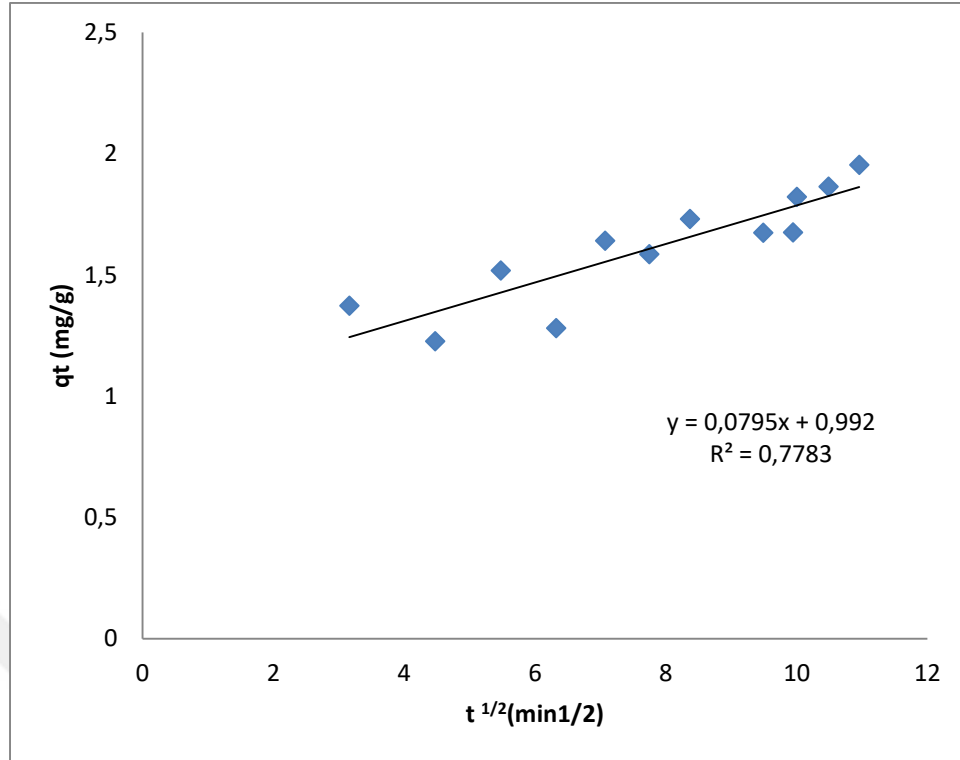
Şekil 4.10 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için denge temas süresinin etkisi



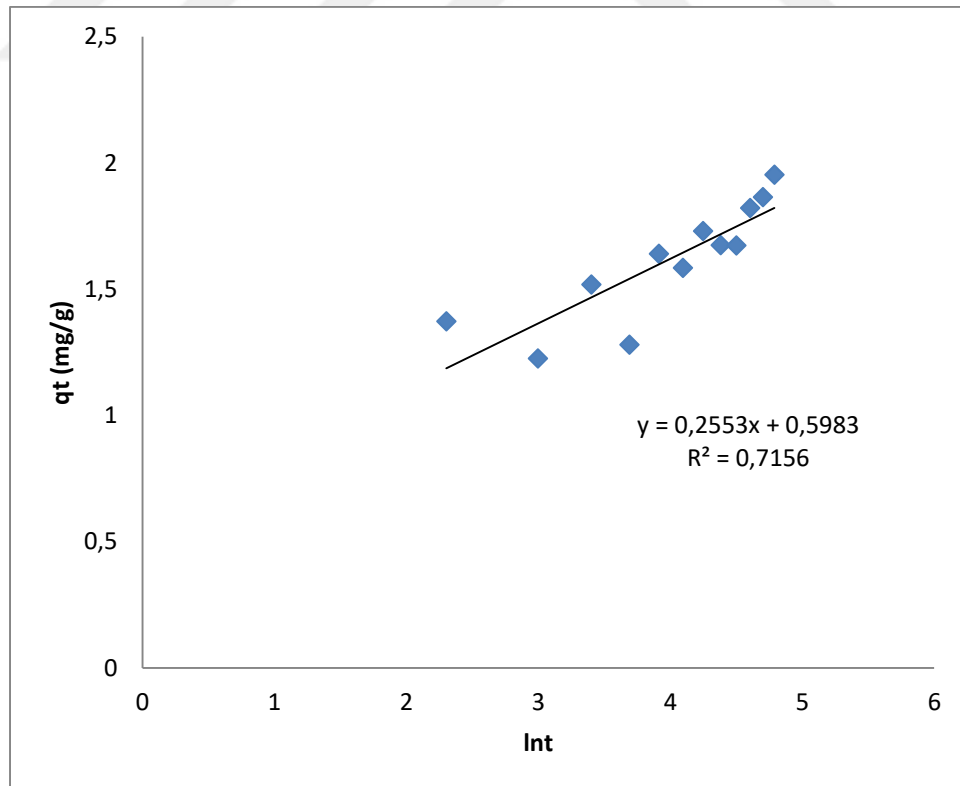
Şekil 4.11 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için Lagergren grafiği



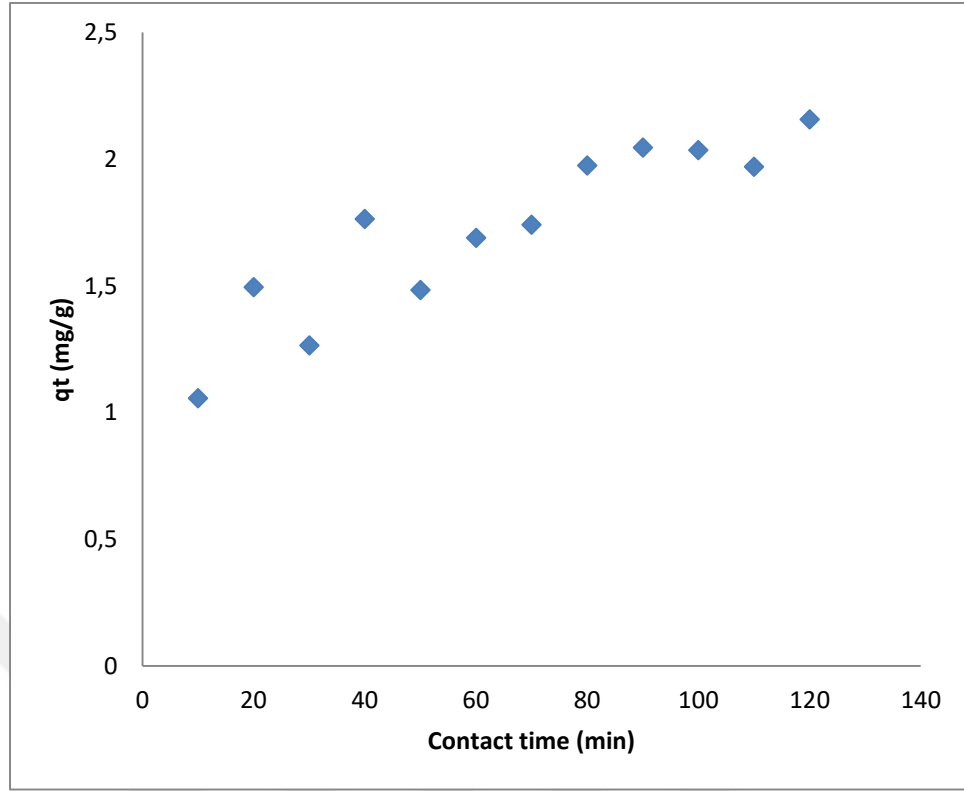
Şekil 4.12 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için Ho McKay grafiği



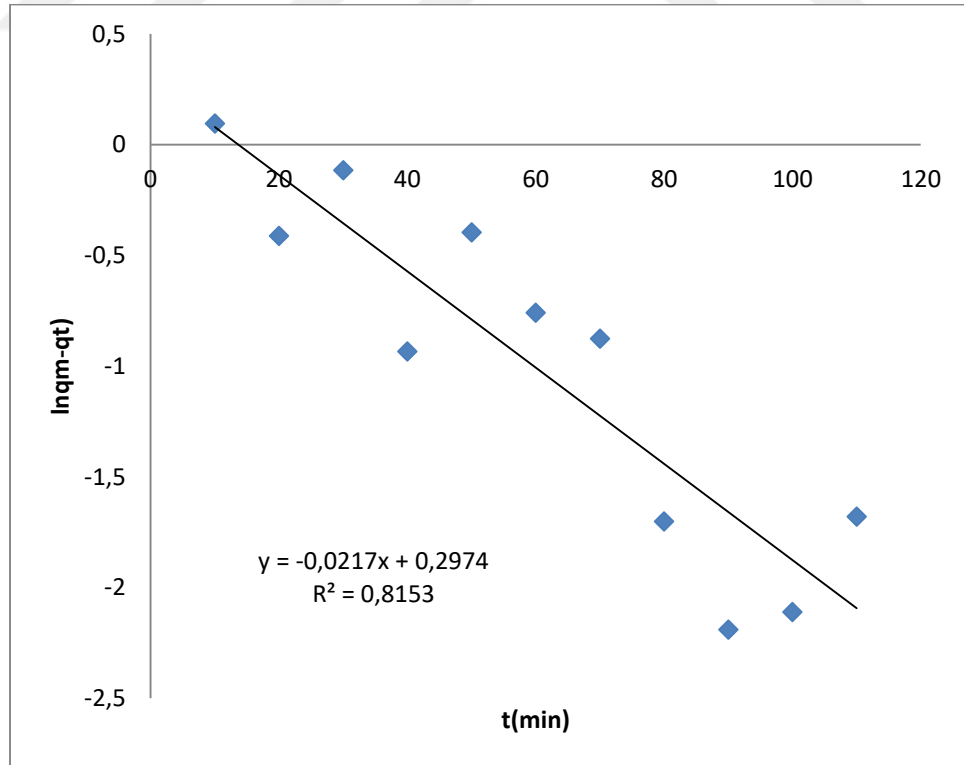
Şekil 4.13 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için Weber Morris grafiği



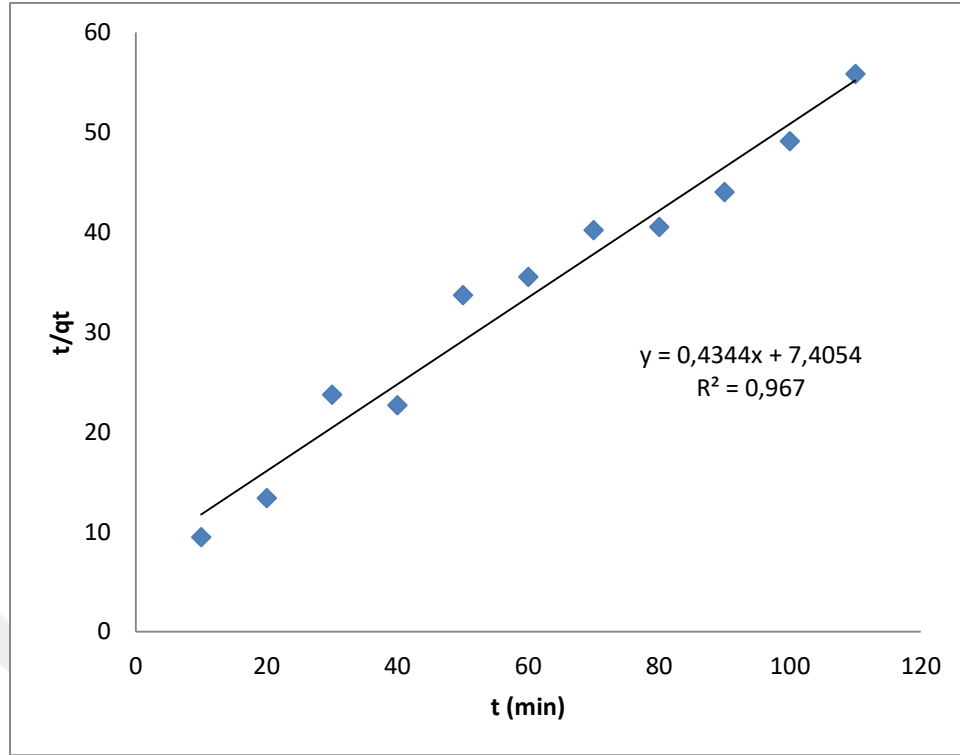
Şekil 4.14 Cu (II) nin talk üzerinde 308 K için Elovich grafiği



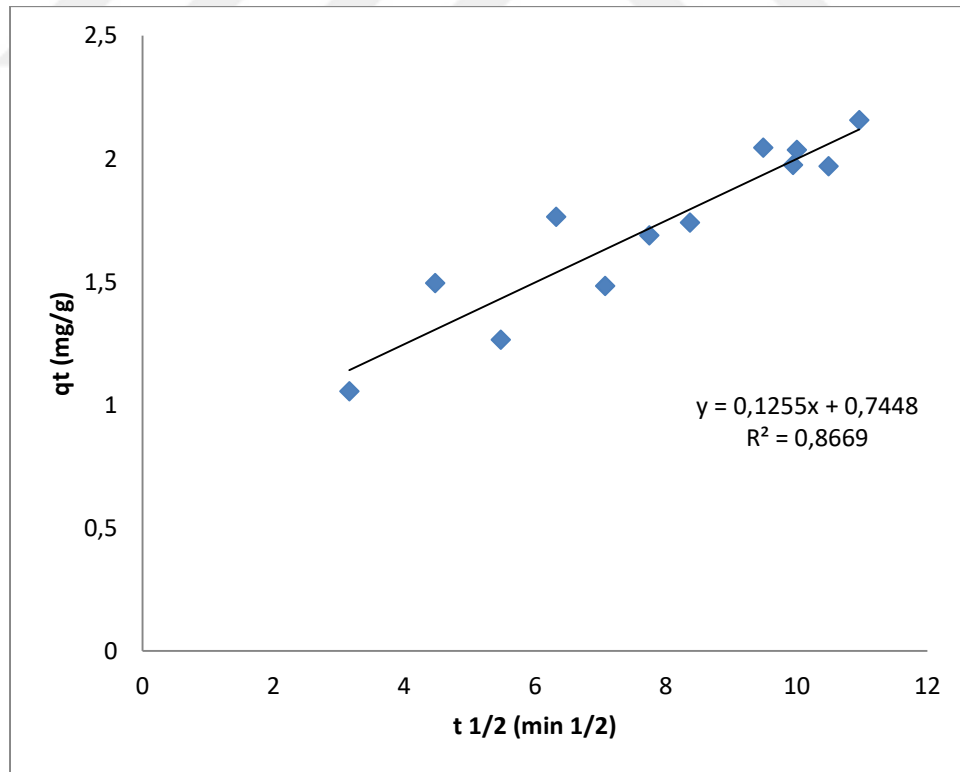
Şekil 4.15 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K temas süresinin etkisi



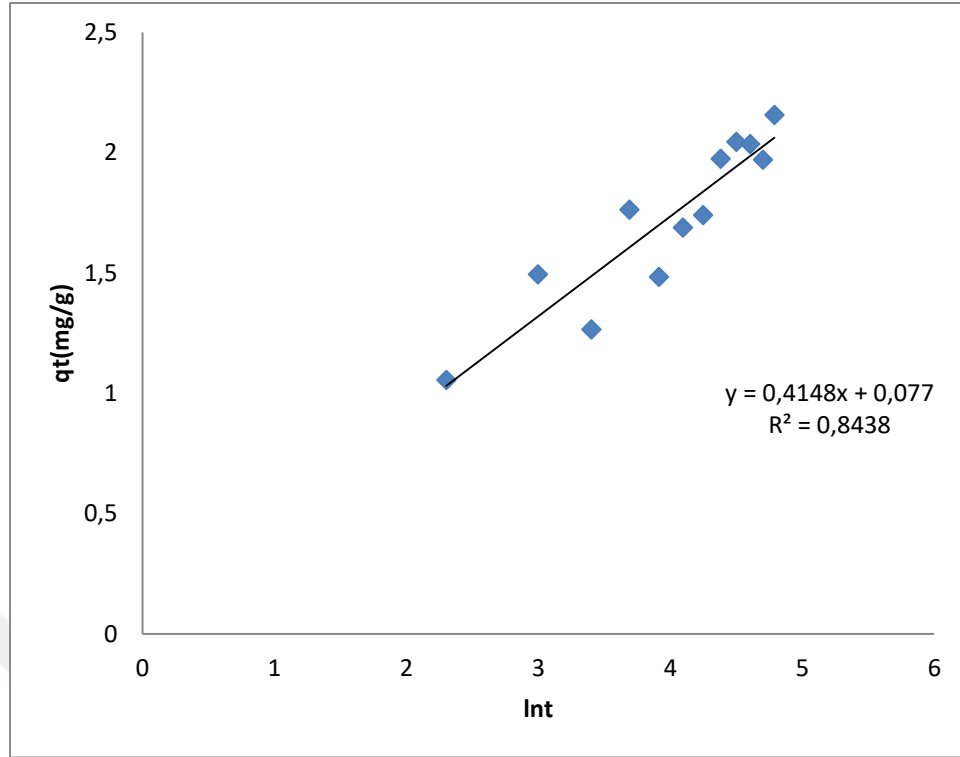
Şekil 4.16 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K için Lagergren grafiği



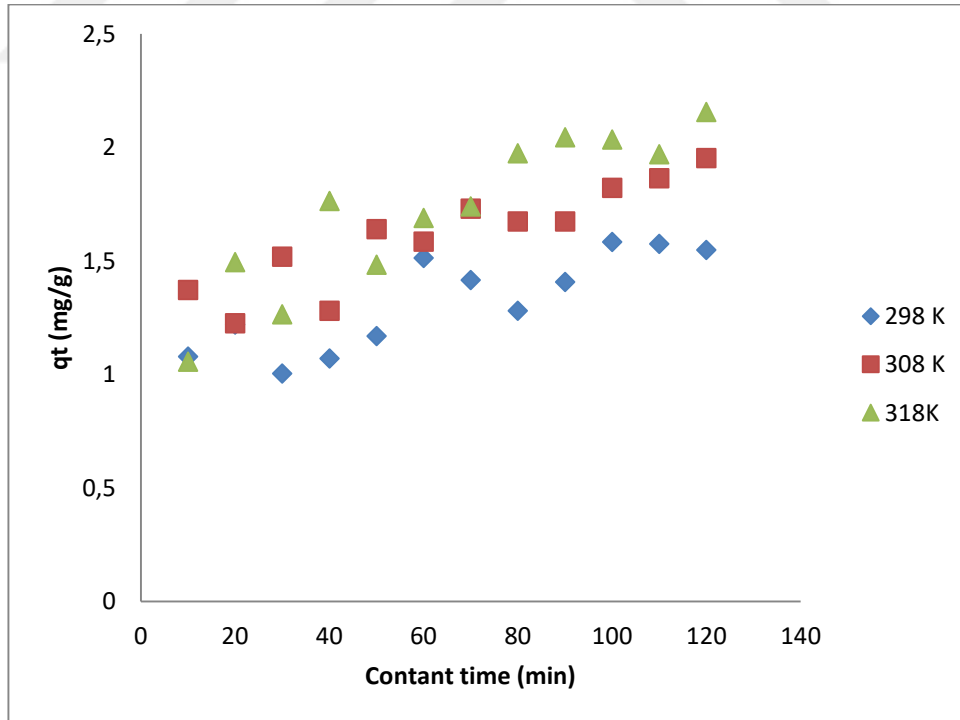
Şekil 4.17 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K Ho McKay grafiği



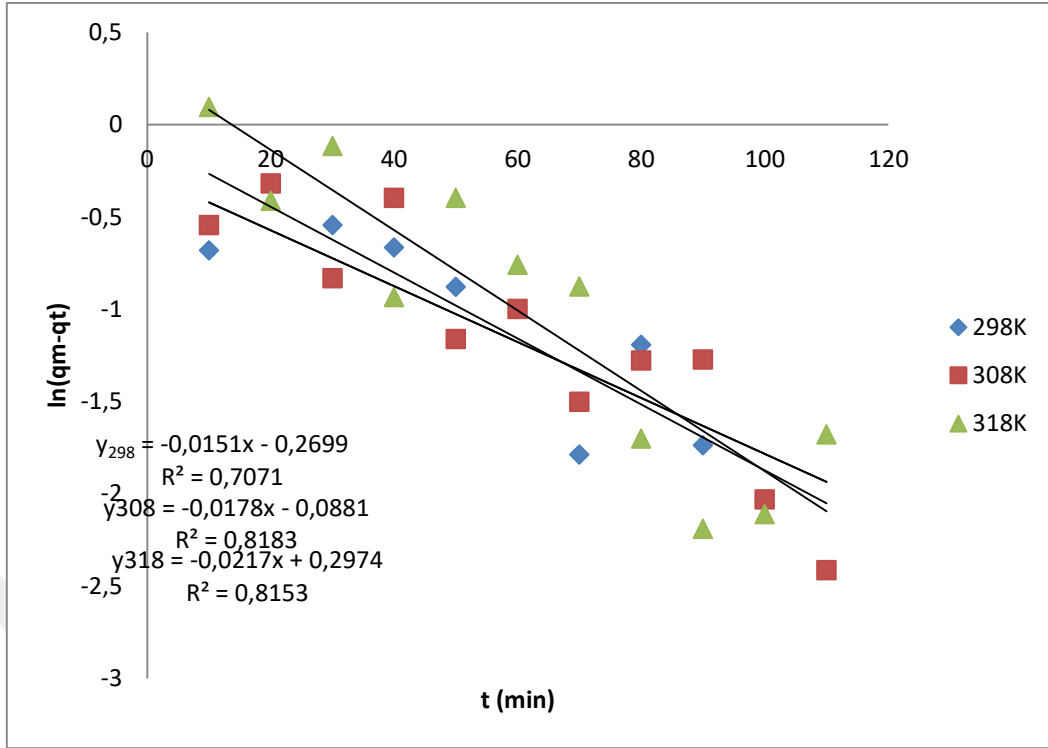
Şekil 4.18 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K için Weber Morris grafiği



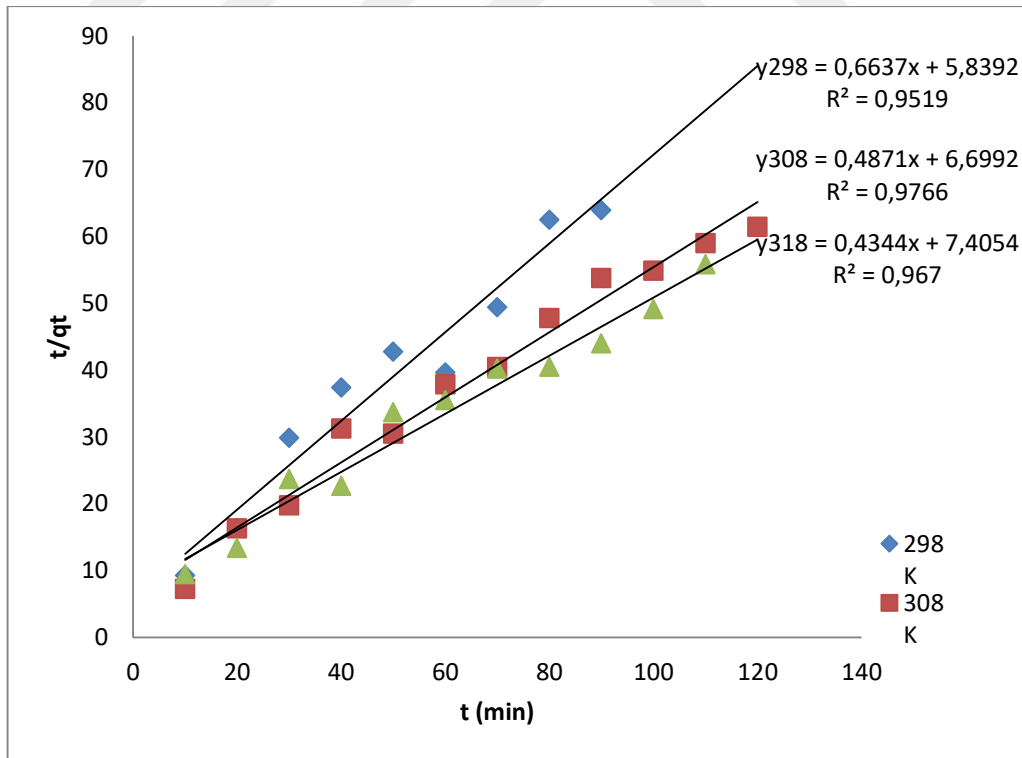
Şekil 4.19 Cu (II) nin talk üzerinde 318 K için Elovich grafiği



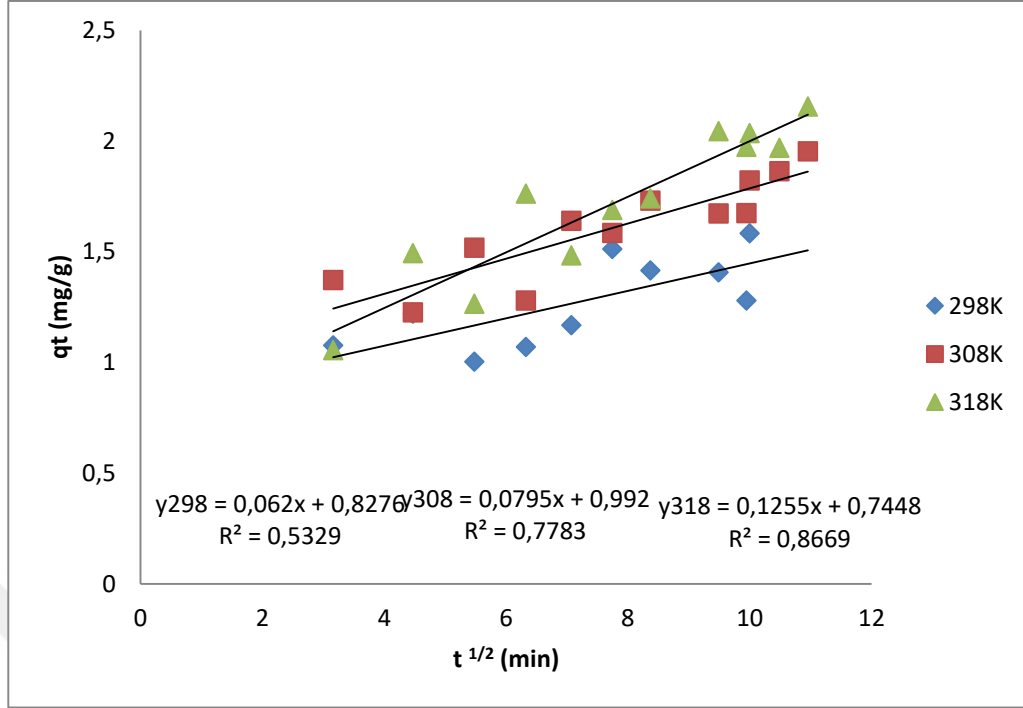
Şekil 4.20 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki denge konsantrasyonu temas süresi grafiği



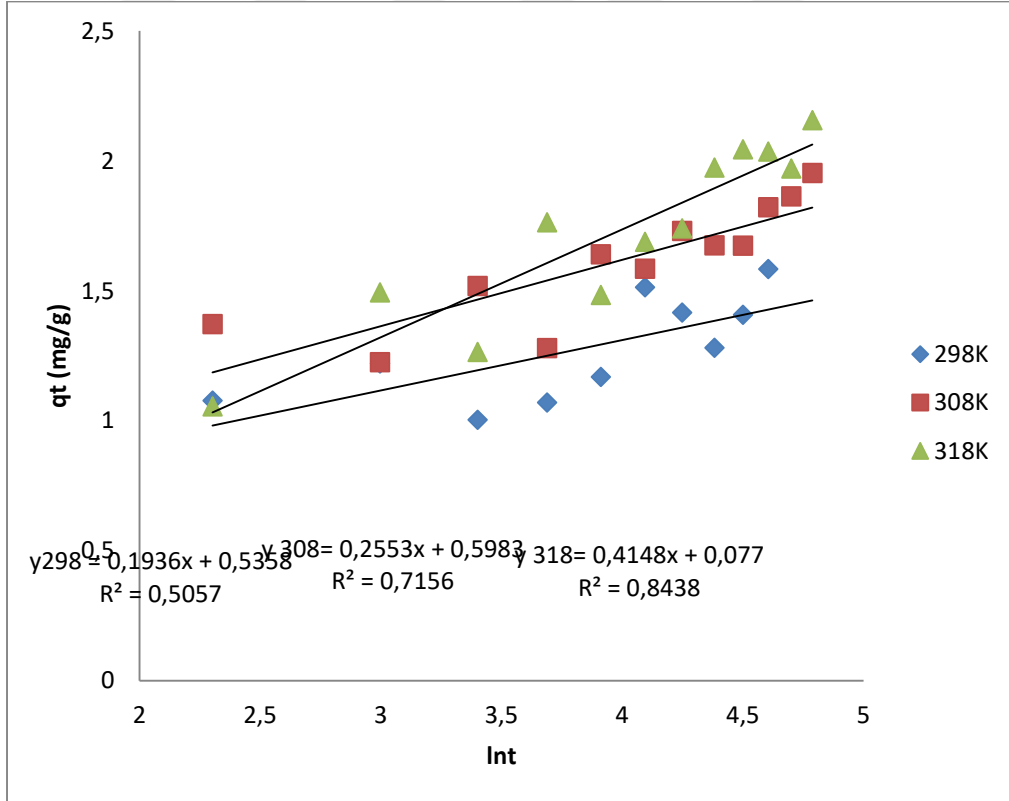
Şekil 4.21 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki Lagergren grafiği



Şekil 4.22 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki Ho McKay grafiği

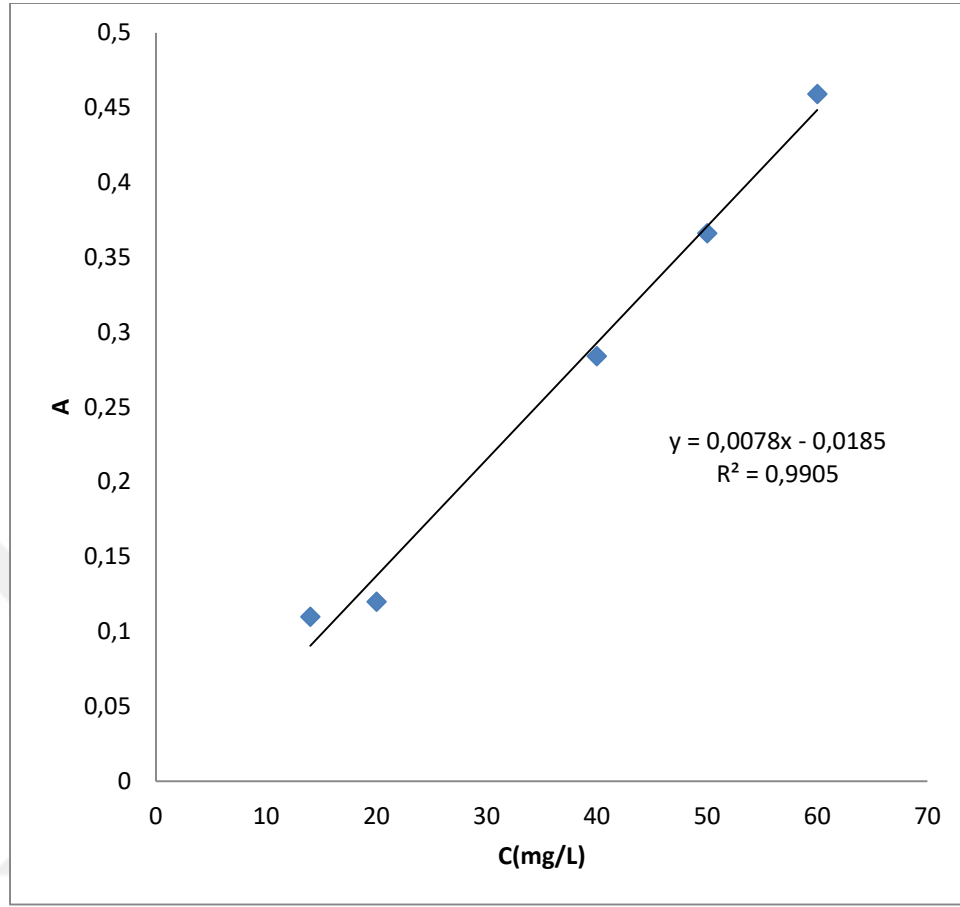


Şekil 4.23 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki Weber Morris grafiği



Şekil 4.24 Cu (II) nin talk üzerinde farklı üç sıcaklıktaki Elovich grafiği

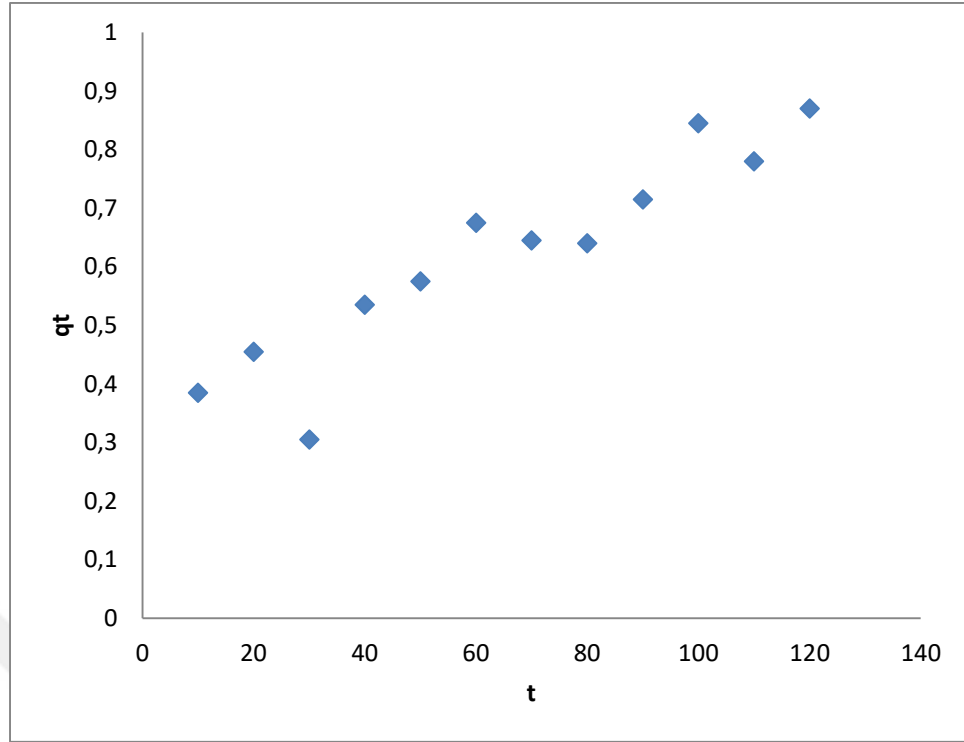
4.6.2 Ni (II)'nin kinetik çalışmaları



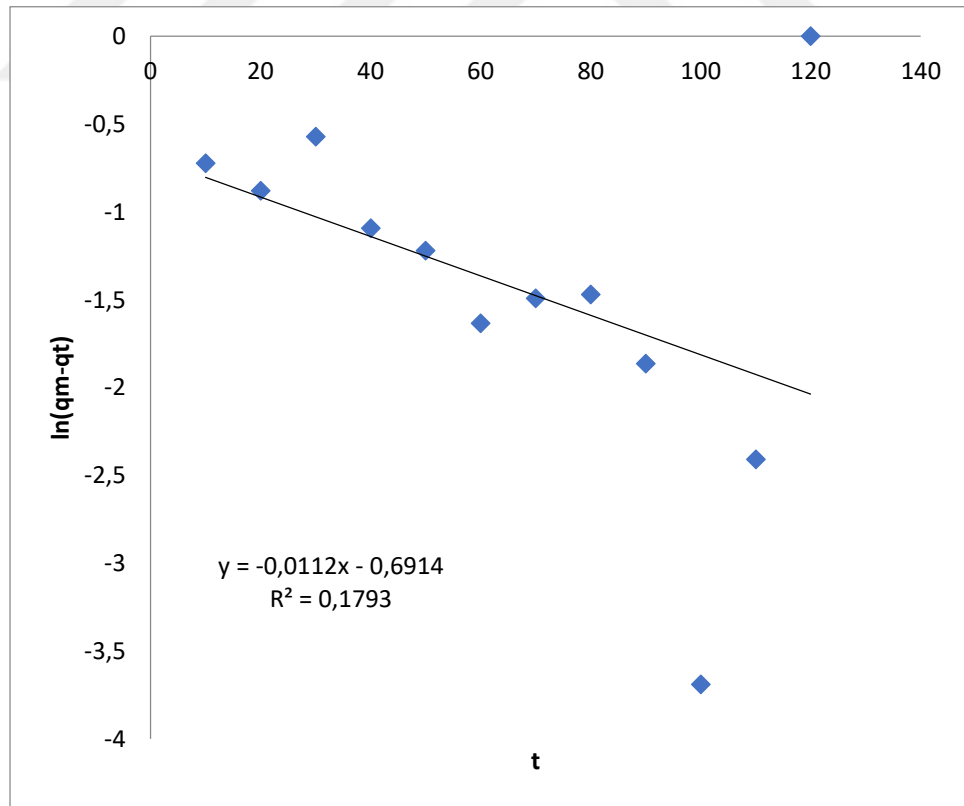
Şekil 4.25 Ni (II) nin kalibrasyon grafiği

Tablo 4.3 Ni (II) ‘nin talk üzerine adsorpsiyonuna ait kinetik veriler

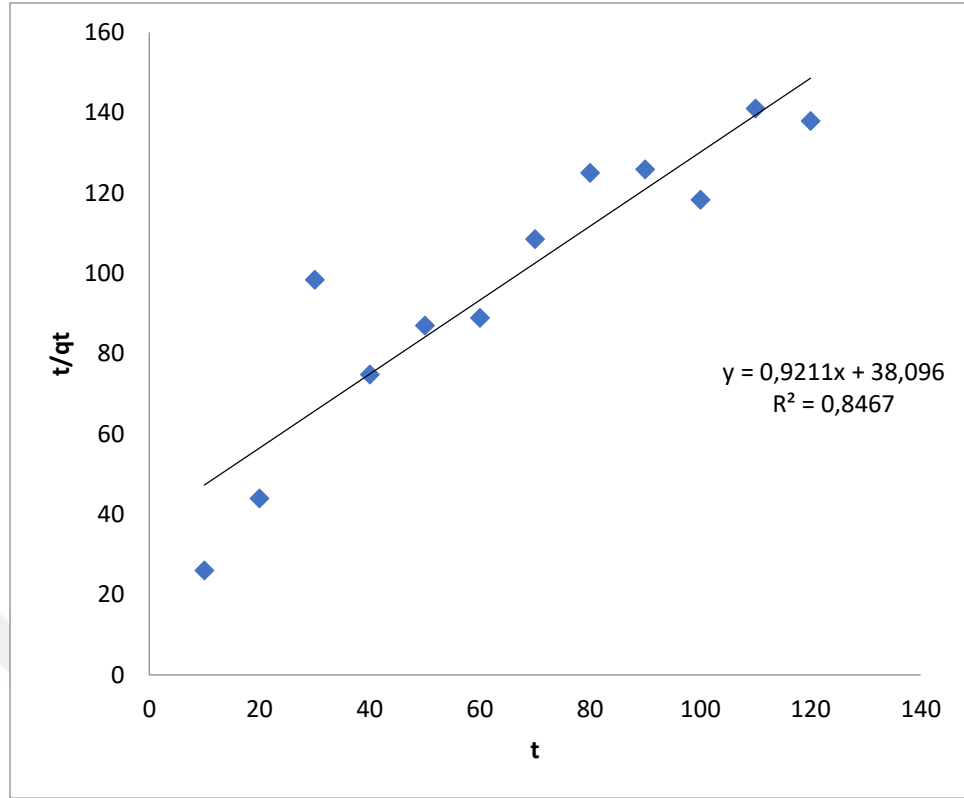
Sıcaklık (K)	Süre (dakika)	C _i (mg/L)	C _t (mg/L)	ln t	q _t (mg/g) q _m =0,87	√t	ln(q _e -q _t)	t/q _t (dk g/mg)
298	10	60	52,30	2,30	0,38	3,16	-0,72	25,97
	20	60	50,90	2,99	0,45	4,47	-0,88	43,96
	30	60	53,90	3,40	0,30	5,47	-0,57	98,36
	40	60	49,30	3,69	0,53	6,32	-1,09	74,77
	50	60	48,50	3,91	0,57	7,07	-1,22	86,96
	60	60	46,50	4,09	0,67	7,75	-1,63	88,89
	70	60	47,10	4,25	0,64	8,36	-1,49	108,53
308	10	60	53,90	2,30	0,30	3,16	-0,38	32,79
	20	60	51,30	2,99	0,43	4,47	-0,59	45,98
	30	60	44,90	3,40	0,75	5,47	-1,45	39,73
	40	60	51,90	3,69	0,40	6,32	-0,54	98,76
	50	60	51,70	3,91	0,41	7,07	-0,55	120,45
	60	60	50,10	4,09	0,49	7,75	-0,70	121,21
318	10	60	42,40	2,30	0,88	3,16	-0,41	11,36
	20	60	40,10	2,99	0,99	4,47	-0,61	20,10
	30	60	39,60	3,40	1,02	5,47	-0,65	29,41
	40	60	43,40	3,69	0,83	6,32	-0,34	48,19
	50	60	46,60	3,91	0,67	7,07	-0,14	74,63
	60	60	35,40	4,09	1,23	7,75	-1,17	48,78
Yalancı birinci derece (Lagergren) Denklemi					Yalancı ikinci derece (Ho-McKay) Denklemi			
ln(q _e -q _t) =lnq _e - k ₁ t					t/q _e = t/q _e + 1/k ₂ q _e ²			
(°K)		R ²	k ₁ = m	n = lnq _e		R ²	q _e (mg/g)	k ₂
298	Y=-0,0112X-0,6914	0,18	-0,0112	-0,6914	Y=0,9211X+38,096	0,85	1,086	0,022
308	=-0,1441X+5,4394	0,25	-0,1441	5,4394	Y=0,9582X+40,561	0,72	1,044	0,023
318	Y=-0,0086X-0,3943	0,21	-0,0086	-0,3943	Y=0,5743X+16,511	0,79	1,741	0,019
Weber- Morris Denklemi					Elovich Denklemi			
q _t = C _b +K _{wm} √t					qt =1/β ln(αβ)+1/ β ln t			
		R ²	K _{wm}	C _b		R ²	β	α
298	Y=0,0661X+0,1091	0,85	0,0661	0,1091	Y=0,206X-0,1988	0,78	4,854	0,078
308	Y=0,0616X+0,1293	0,57	0,1293	0,1293	Y=0,1915X-0,1563	0,52	5,222	0,084
318	Y=0,0861X+0,4912	0,63	0,4912	0,4912	Y=0,259X+0,1268	0,53	3,861	0,422



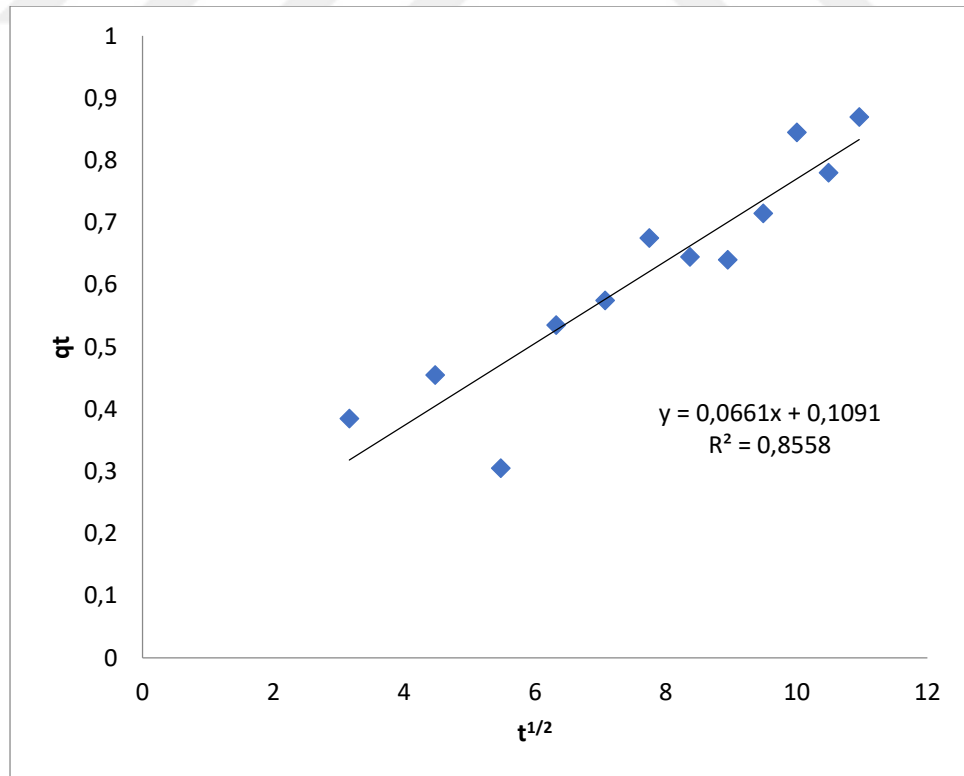
Şekil 4.26 Ni (II) nin 298 K için kinetik grafiği



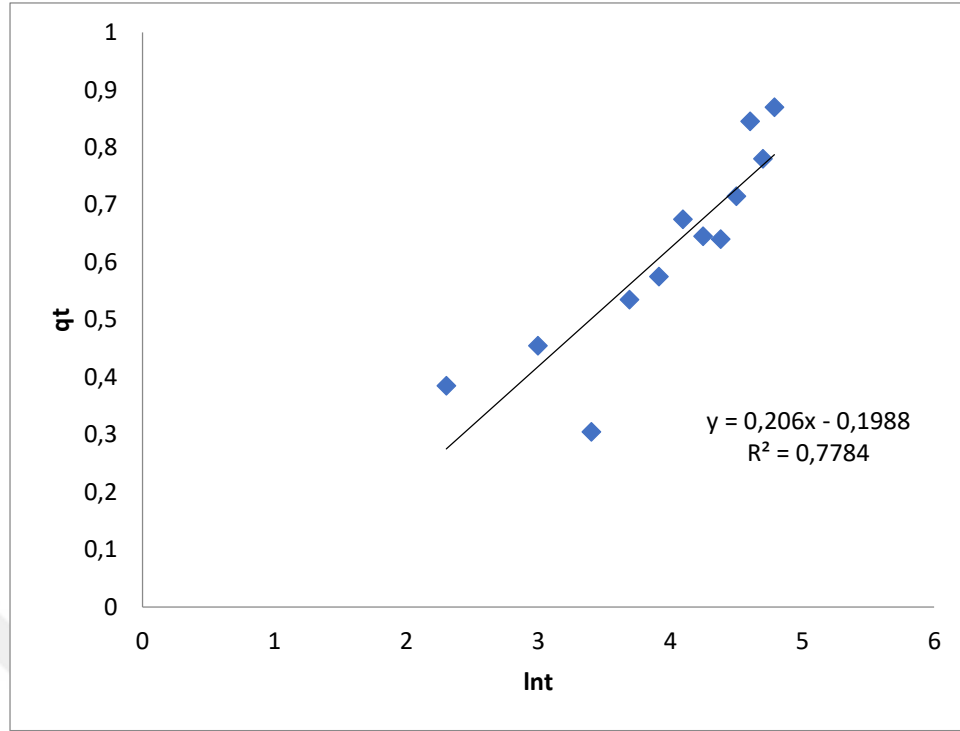
Şekil 4.27 Ni (II) nin 298 K için Lagergren grafiği



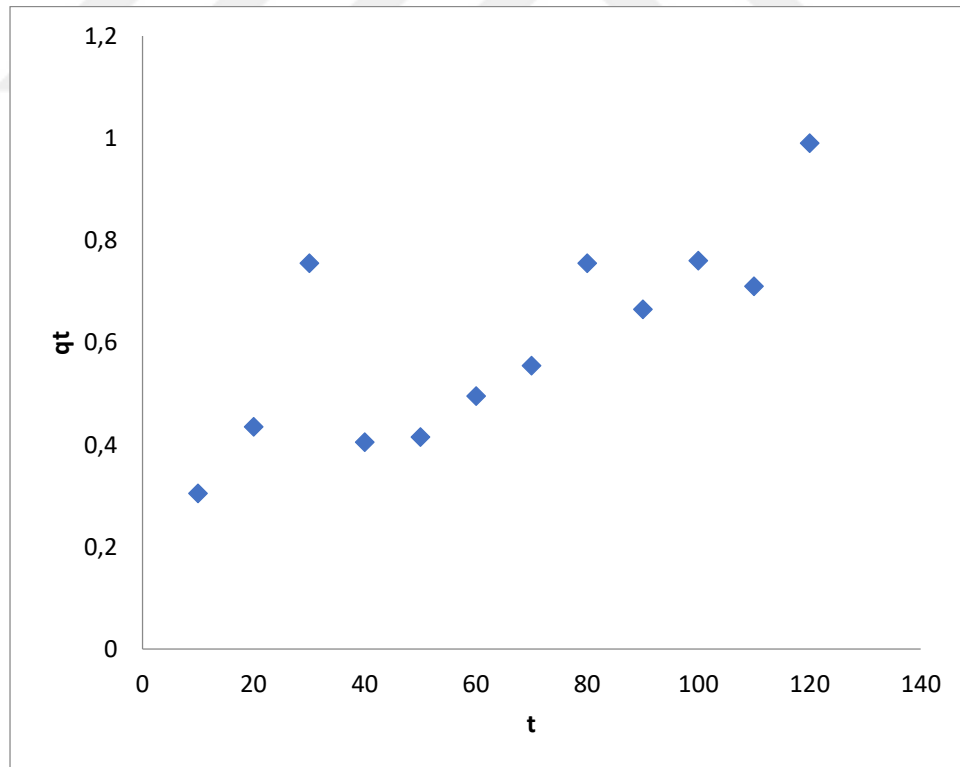
Şekil 4.28 Ni (II) nin 298 K için Ho McKay grafiği



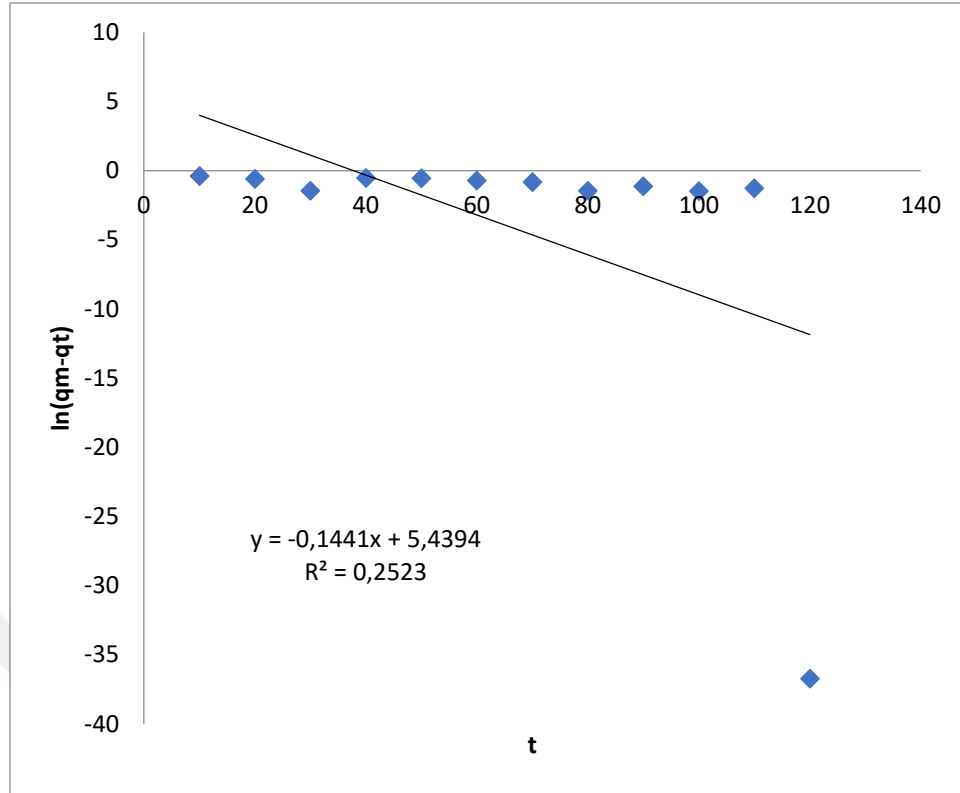
Şekil 4.29 Ni (II) nin 298 K için Weber Morris grafiği



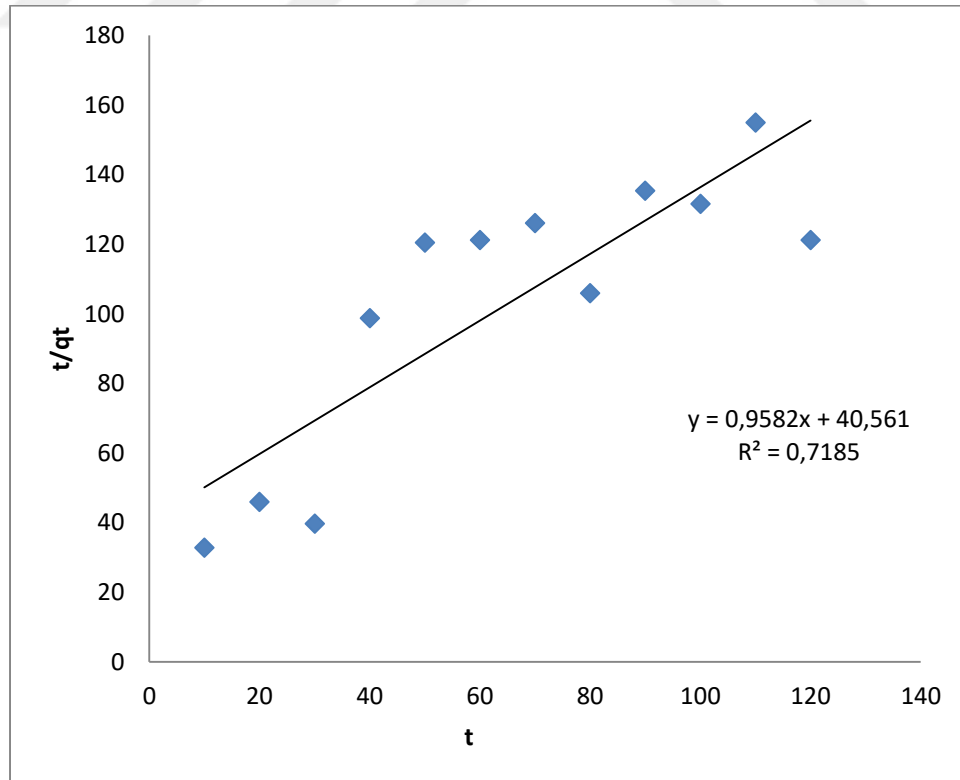
Şekil 4.30 Ni (II) nin 298 K için Elovich grafiği



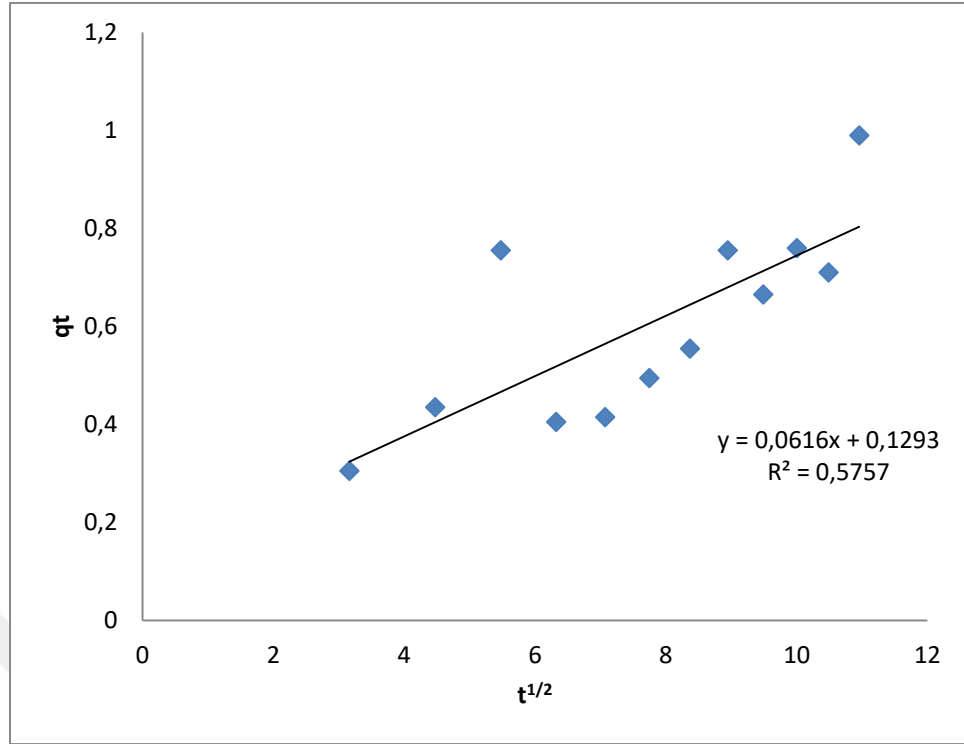
Şekil 4.31 Ni (II) nin 308 K için Kinetik grafiği



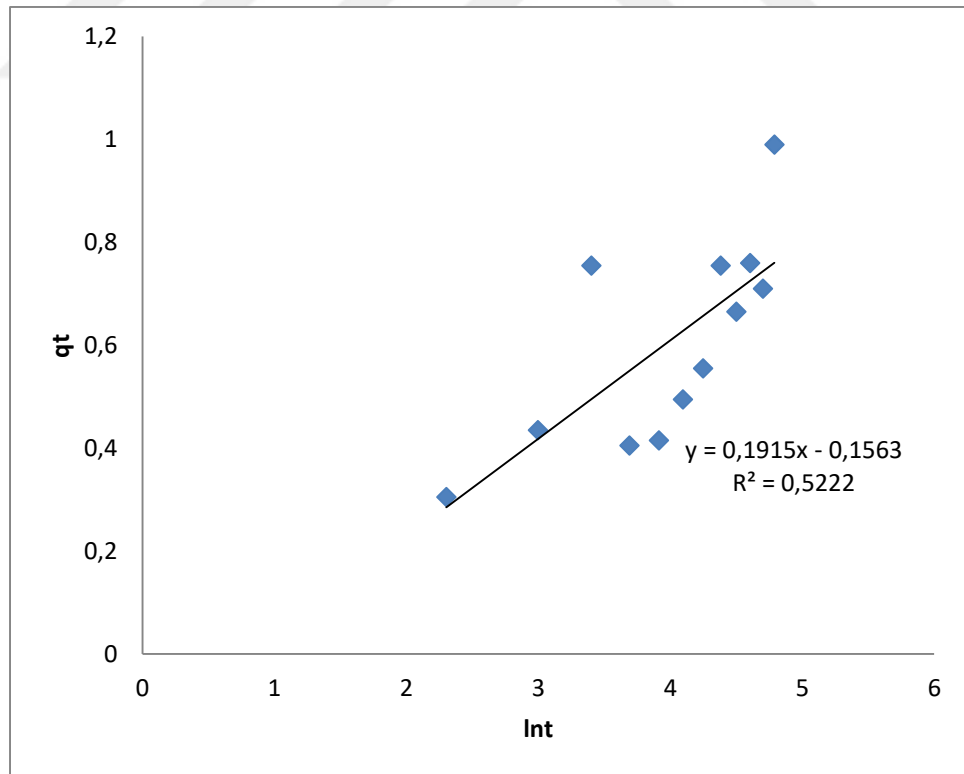
Şekil 4.32 Ni (II) nin 308 K için Lagergren grafiği



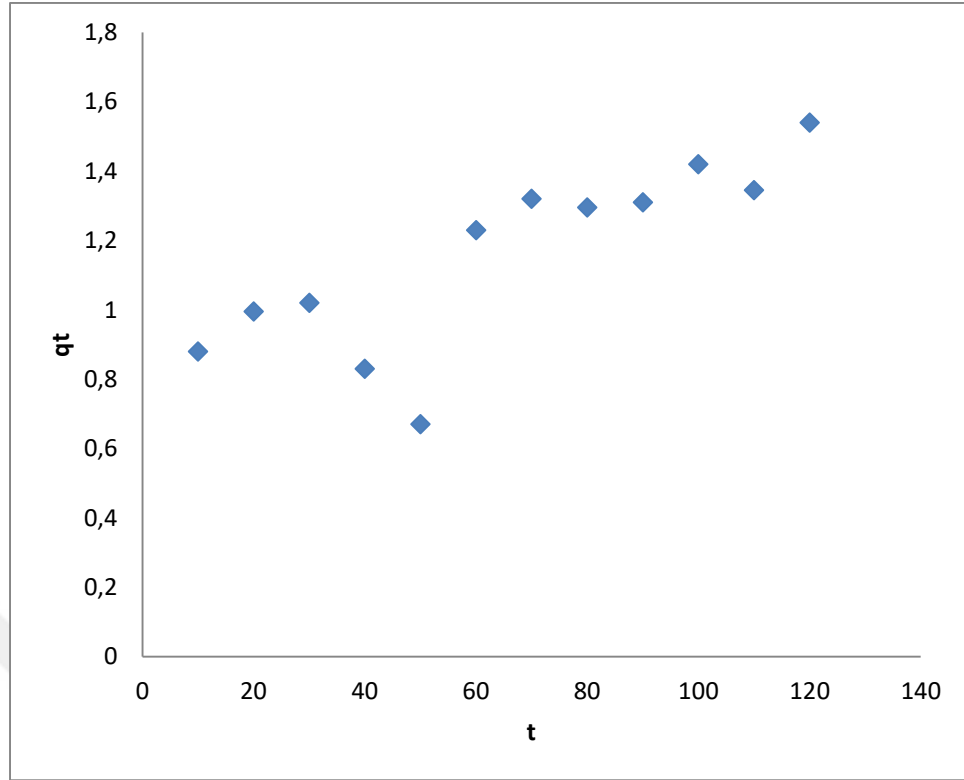
Şekil 4.33 Ni (II) nin 308 K için Ho McKay grafiği



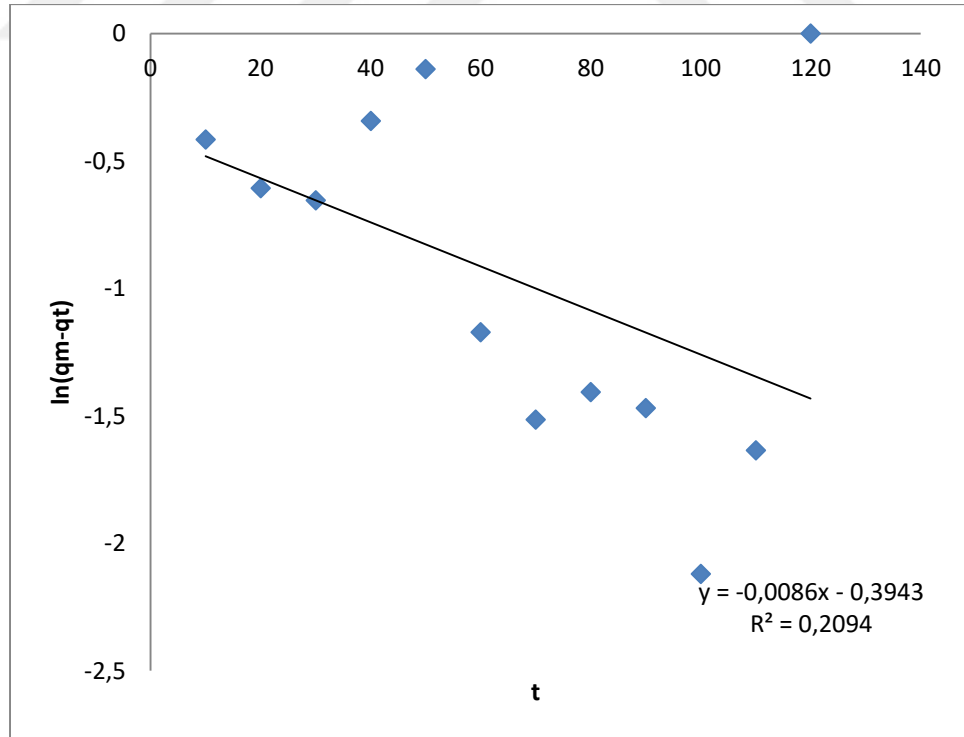
Şekil 4.34 Ni (II) nin 308 K için Weber Morris grafiği



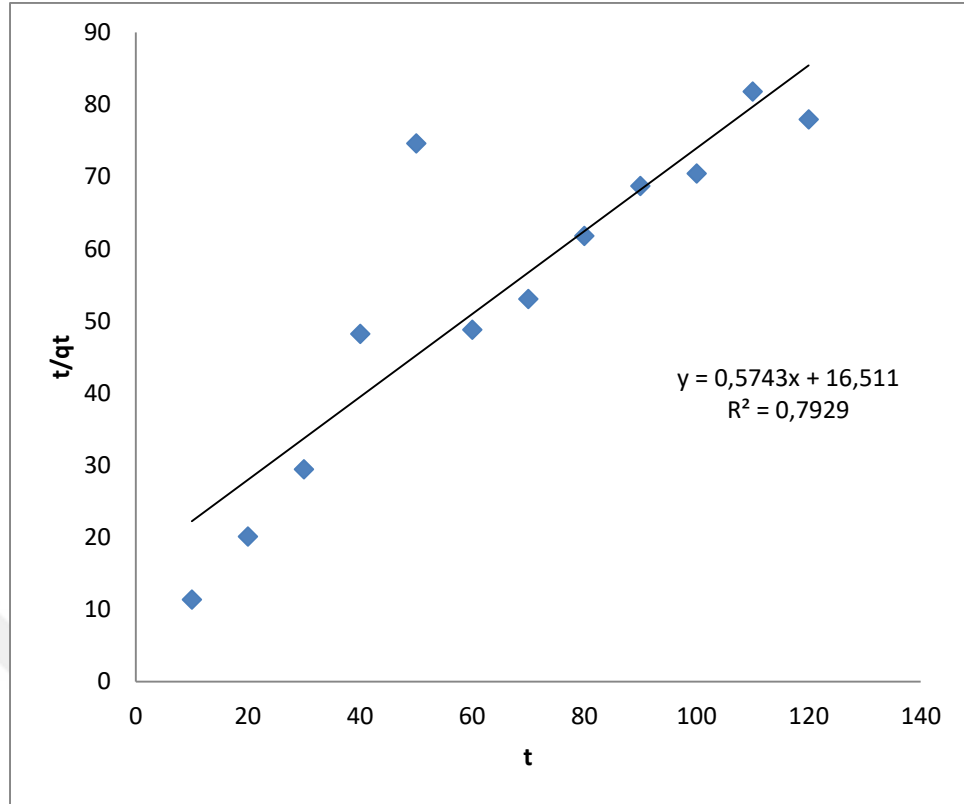
Şekil 4.35 Ni (II) nin 308 K için Elovich grafiği



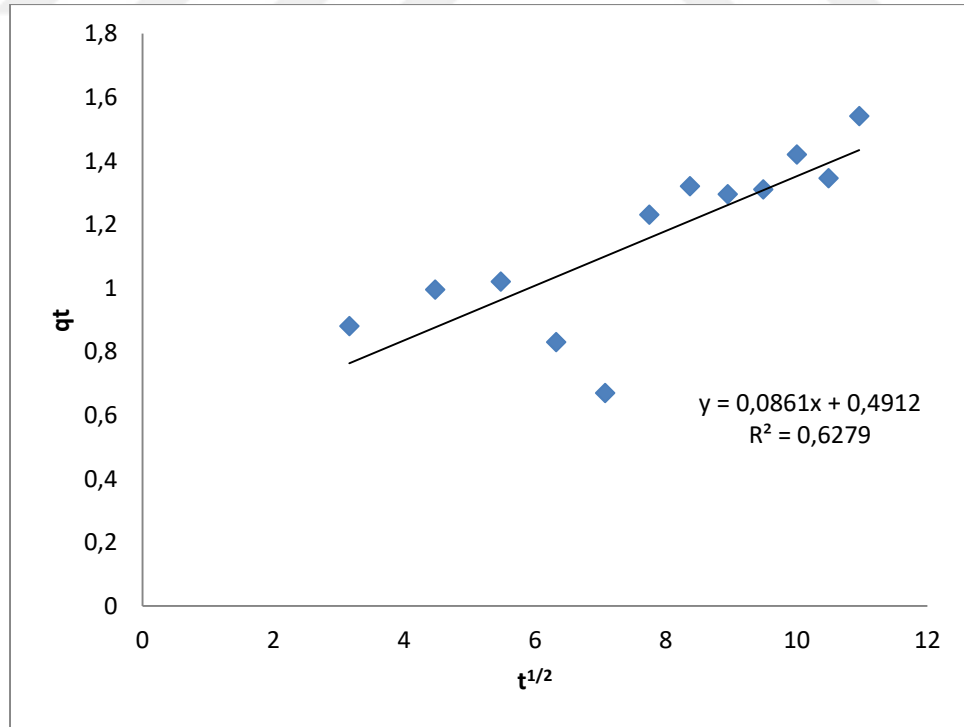
Şekil 4.36 Ni (II) nin 318 K için Kinetik grafiği



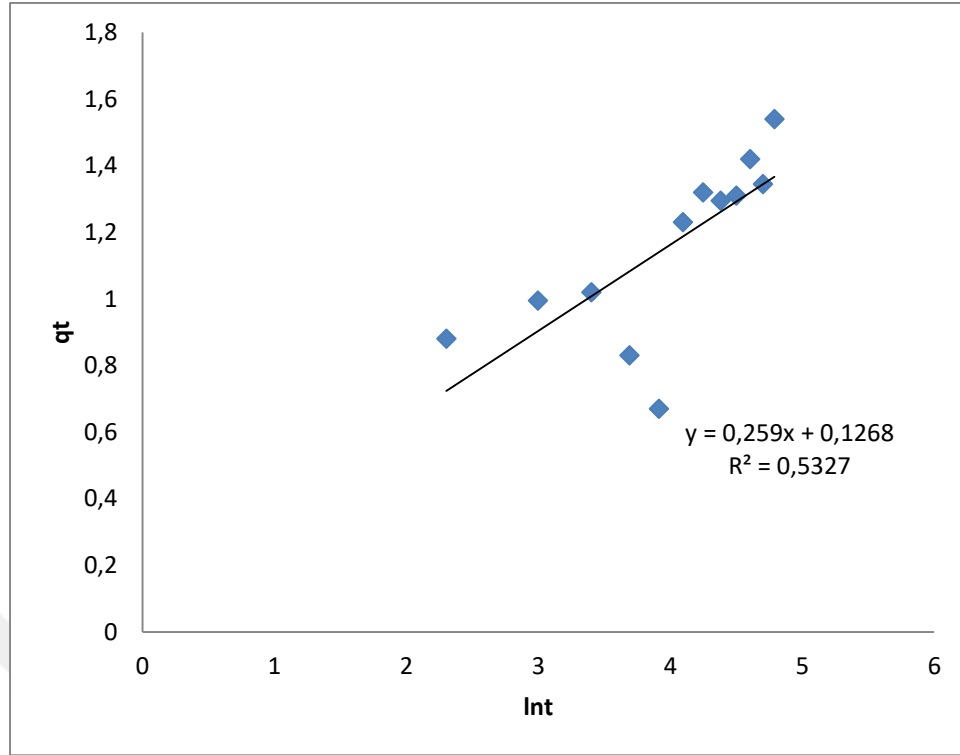
Şekil 4.37 Ni (II) nin 318 K için Lagergren grafiği



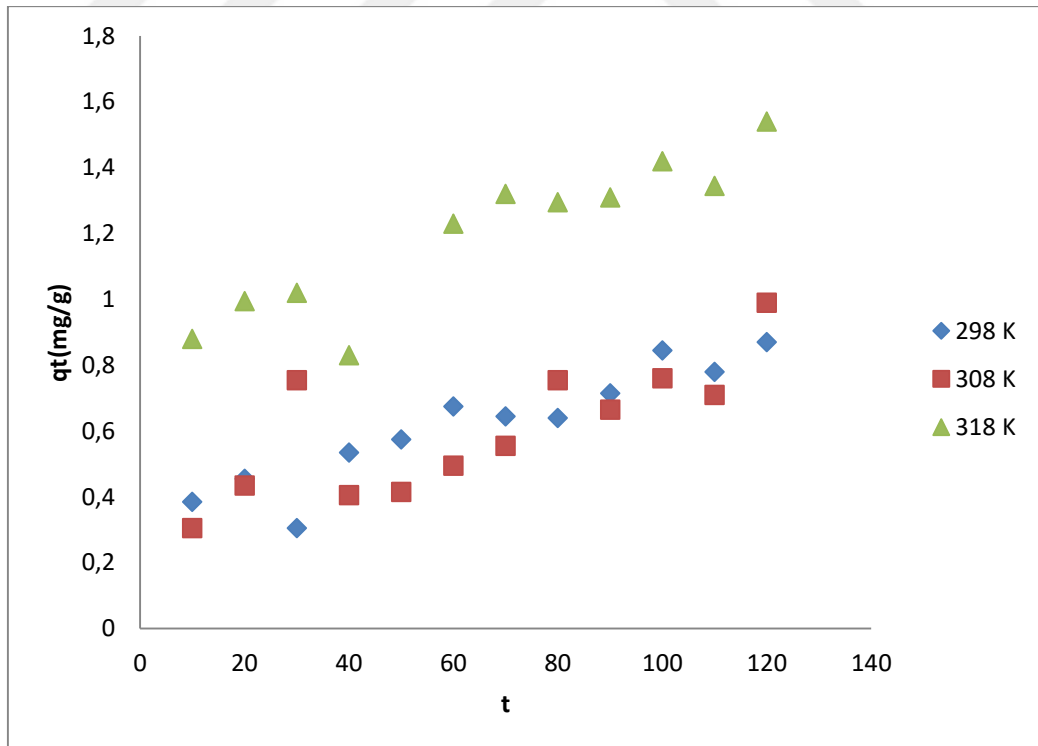
Şekil 4.38 Ni (II) nin 318 K için Ho McKay grafiği



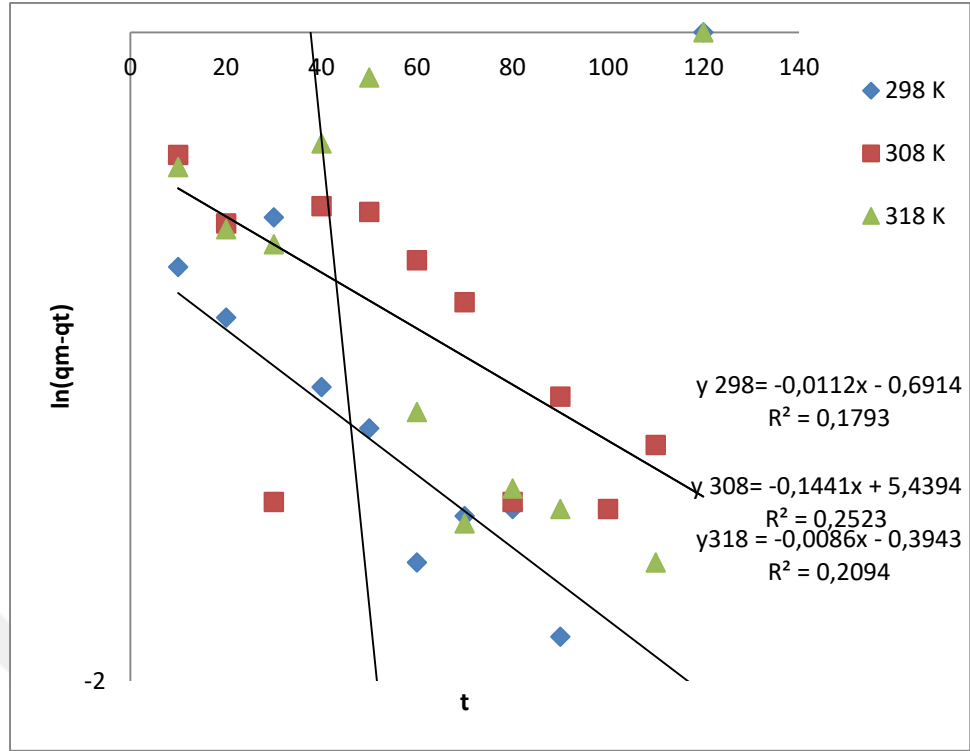
Şekil 4.39 Ni (II) nin 318 K için Weber Morris grafiği



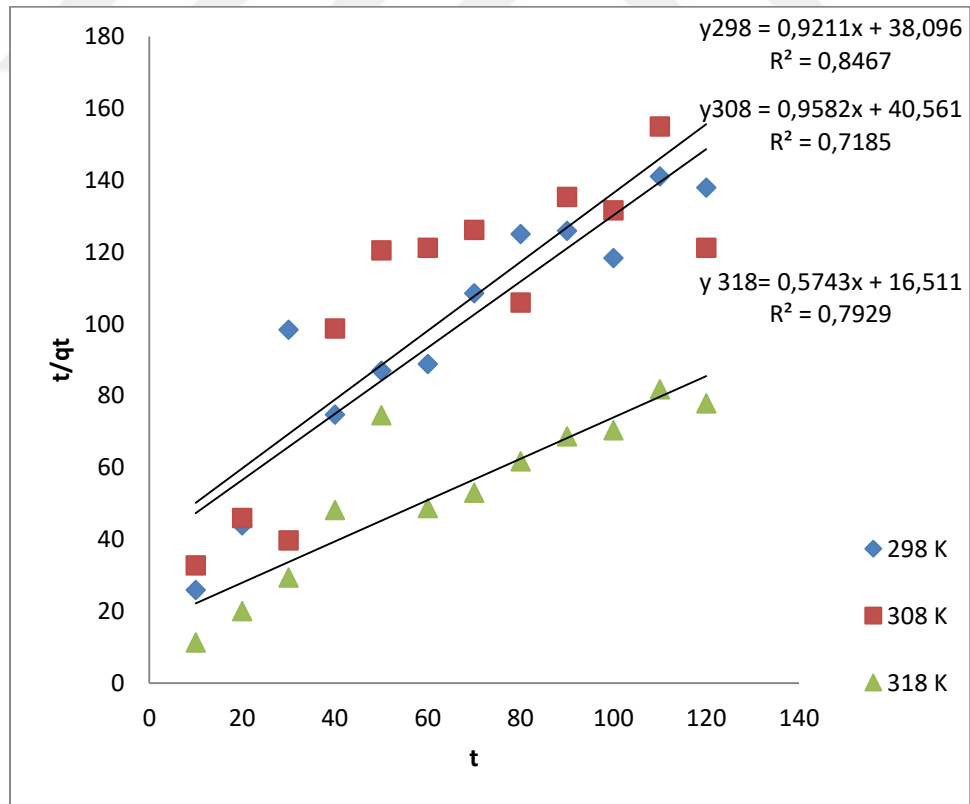
Şekil 4.40 Ni (II) nin 318 K için Elovich grafiği



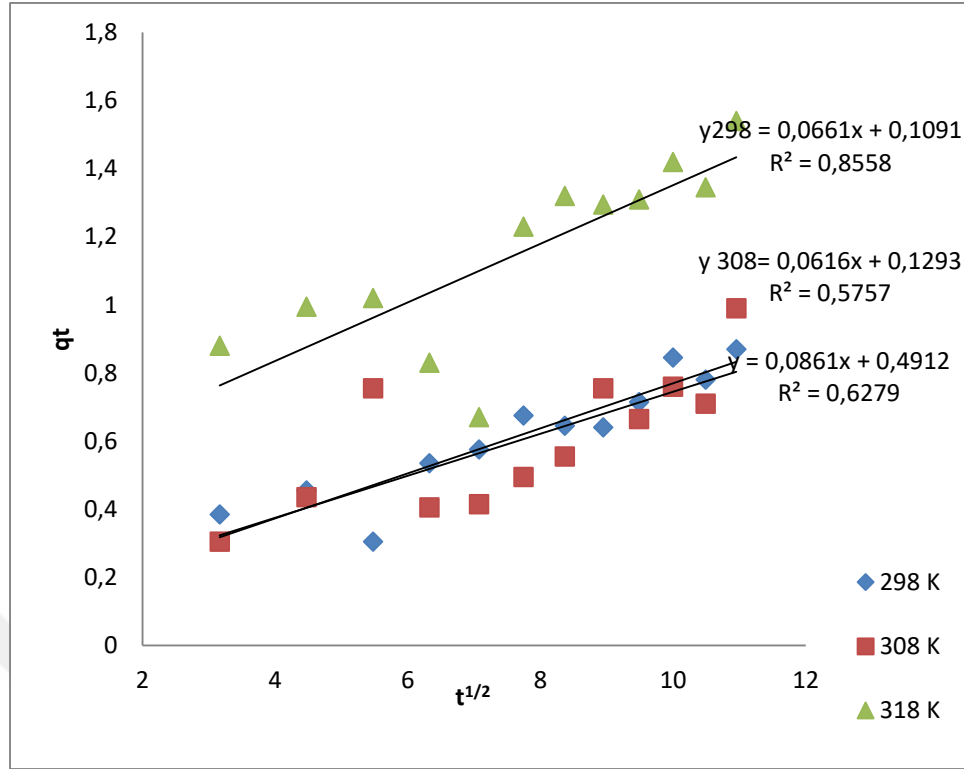
Şekil 4.41 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta denge konsantrasyonunu temas süresine bağlayan grafik



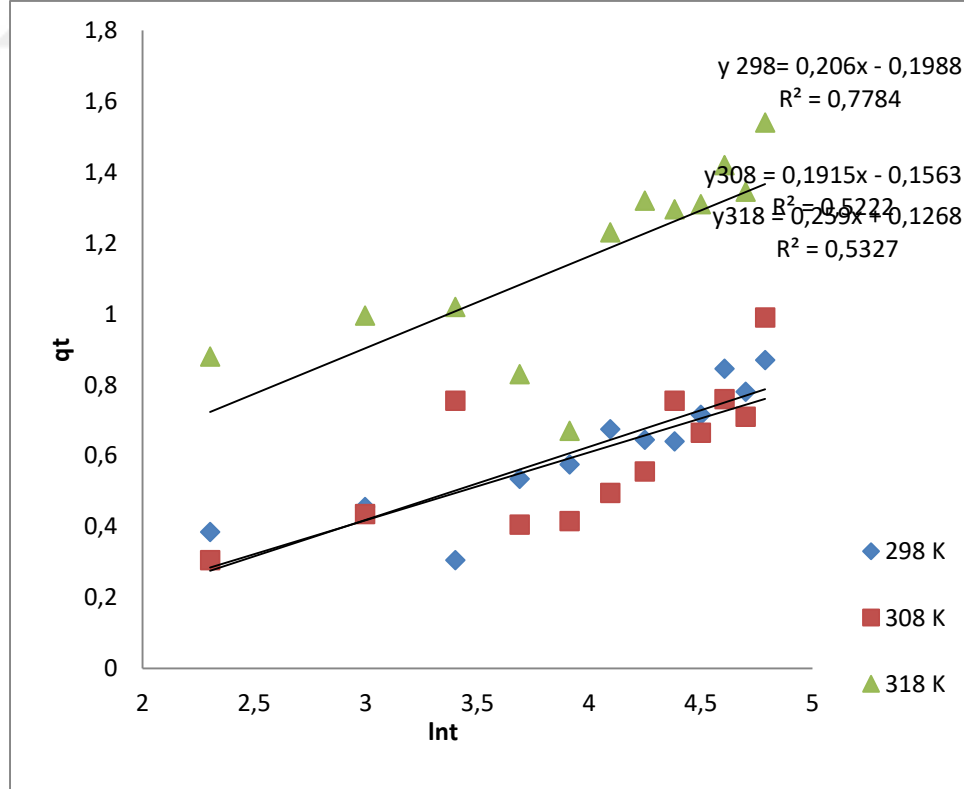
Şekil 4.42 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta Lagergren grafiği



Şekil 4.43 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta Ho McKay grafiği



Şekil 4.44 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta Weber Morris grafiği



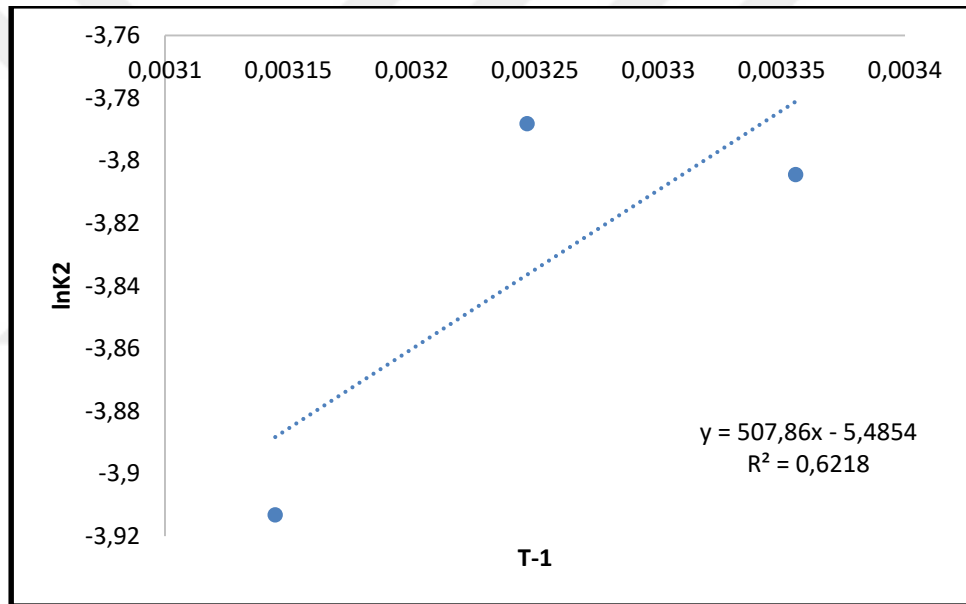
Şekil 4.45 Ni (II) nin farklı üç sıcaklıkta Elovich grafiği

4.7 Aktivasyon Enerjilerinin Bulunması

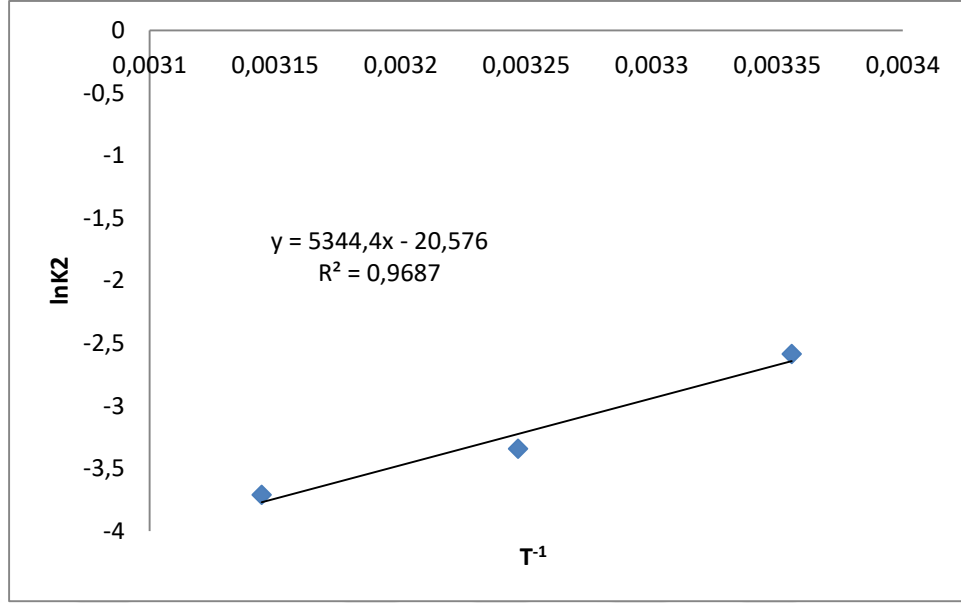
Aktivasyon enerjileri ikinci dereceden hız denklemlerindeki K sabitleri göz önüne alınarak $1/T$ karşılık $\ln K_2$ grafiğe geçirilir. Doğrunun kaymasından aktivasyon enerjisi bulunur.

$$\ln K_2 = -E_a/R \times 1/T + C$$

Burada E_a aktivasyon enerjisi(J/mol), R: (8,314J/mol K) dir. Şekil 4.7.1 Ni(II) ait ve Şekil 4.7.2 Cu(II)'a ait Arrhenius grafikleri verilmiştir. Burada doğrunun Ni(II) için -4,222 kJ/mol, Cu(II) için ise -44,43 kJ/mol bulunur.



Şekil 4.46 Ni (II) ait Arrhenius grafiği



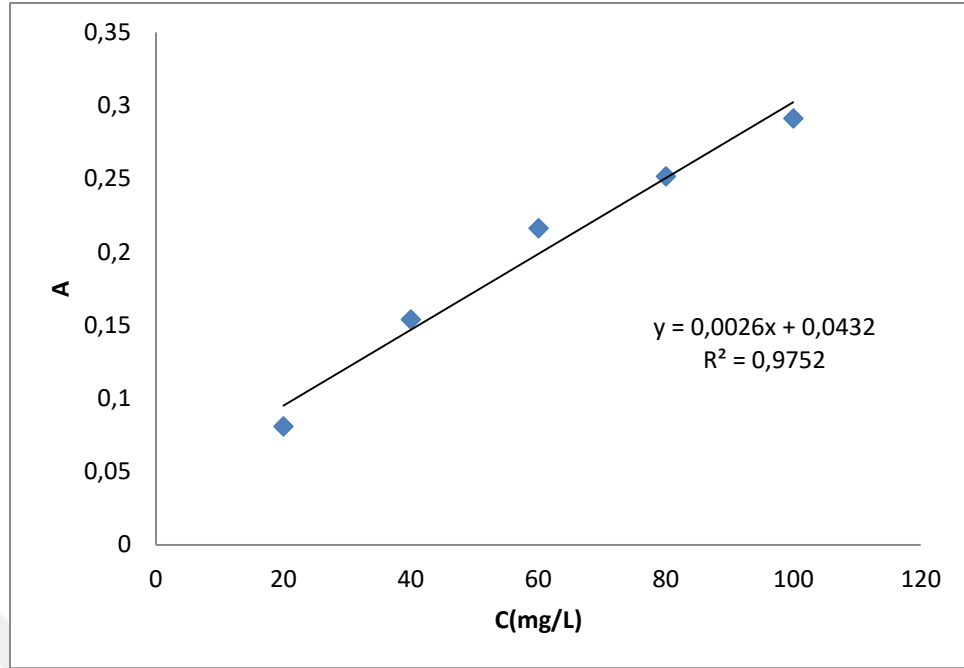
Şekil 4.47 Cu (II) ait Arhenius grafiği

4.8 Cu (II) Konsantrasyonunun Kil Üzerine Adsorpsiyon Etkisi

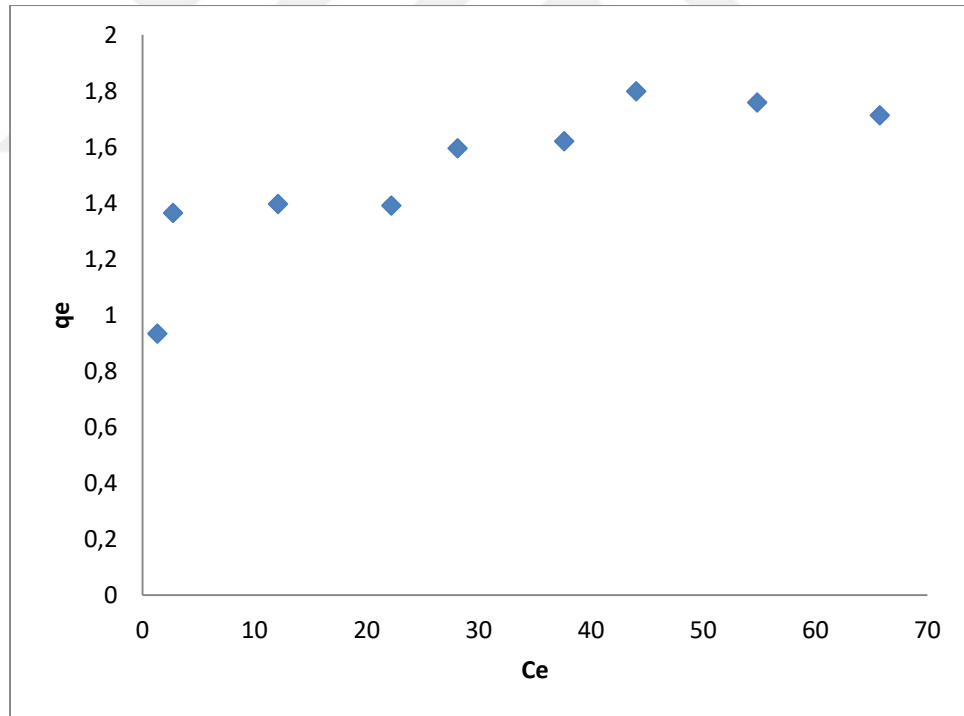
Cu(II) iyonlarının izotermelerine ait veriler Tablo 4.8.1 verilmiştir.

Tablo 4.4 Cu (II) iyonlarının kil üzerindeki adsorpsiyon verileri

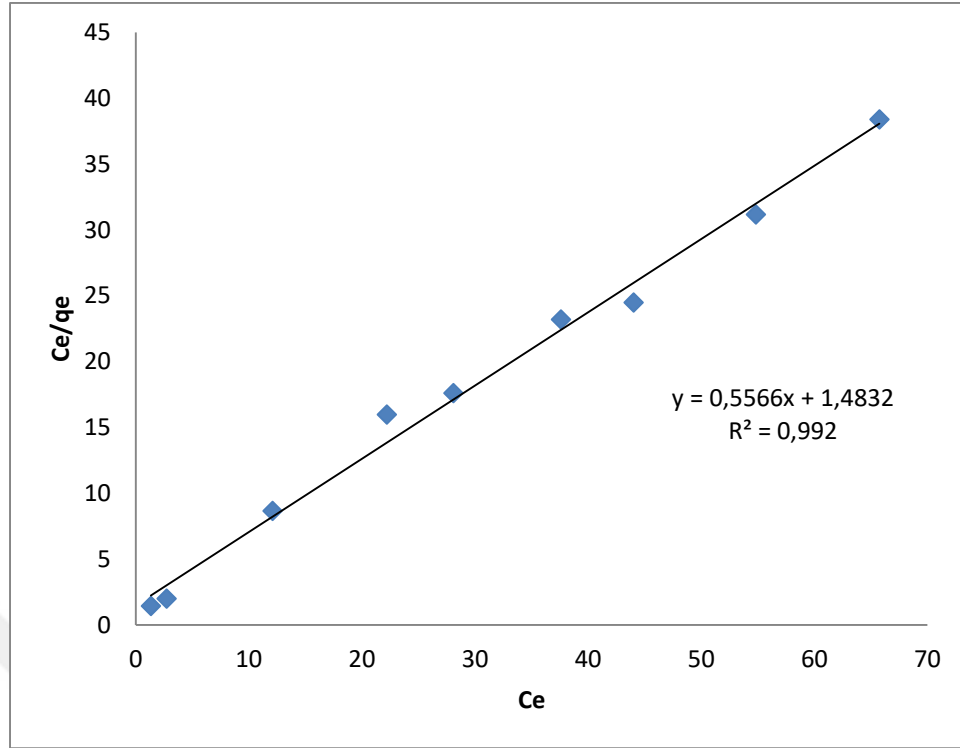
T (K)	C _i (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	lnC _e (mg/L)	lnq _e (mg/g)	C _e /q _e (g/L)	lnq _e (mol/g)	ε ² (j2/mol2)	
298	10	0	0,93	0,28	-0,06	1,42	1,47-05	7,13E+08	
	20	1,33	1,36	0,99	0,31	1,99	2,15E-05	6,22E+08	
	30	2,71	1,40	2,49	0,33	8,65	2,2E-05	4,51E+08	
	40	12,08	1,39	3,09	0,33	15,96	2,19E-05	3,89E+08	
	50	22,19	1,59	3,33	0,46	17,60	2,51E-05	3,66E+08	
	60	28,09	1,62	3,653	0,48	23,19	2,55E-05	3,39E+08	
308	10	0	0	-1,61	-0,01	0,20	-1,6E-07	1,05E+09	
	20	0,2	0,99	-0,04	0,37	0,66	-5,87E-06	8,08E+08	
	30	0,96	1,45	2,07	0,47	4,96	-7,42E-06	5,3E+08	
	40	7,95	1,60	2,84	0,49	10,50	-7,78E-06	4,42E+08	
	50	17,22	1,64	3,19	0,58	13,66	-9,1E-06	4,06E+08	
	60	24,35	1,78	3,48	0,63	17,25	-9,93E-06	3,77E+08	
318	70	32,42	1,88	3,63	0,74	18,02	-1,17E-05	3,61E+08	
	10	0,22	0,49	-1,49	-0,71	0,46	-11,77	1,1E+09	
	20	0,32	0,98	-1,14	-0,01	0,32	-11,07	1,04E+09	
	30	0,54	1,47	-0,61	0,38	0,37	-10,67	9,53E+08	
	40	1,49	1,92	0,39	0,65	0,77	-10,40	7,94E+08	
	50	8,42	2,08	2,13	0,73	4,05	-10,33	5,57E+08	
318	60	13,34	2,33	2,59	0,84	5,72	-10,21	5,01E+08	
	70	21,81	2,41	3,08	0,88	9,05	-10,18	4,45E+08	
Freundlich İzoterm Modeli lnq _e = ln K _F + 1/n ln C _e					Langmuir Adsorpsiyon İzotermi C _e /q _e = 1/K _L q _{max} + C _e /q _{max}				
T (K)	Denklem	K _F	n	R ²	Denklem	K _L (L/mg)	q _{max} (mg/g)	R ²	
298	Y=6,137x+0,4504	1,569	0,163	0,82	Y=0,5566x+1,48 32	0,375	1,797	0,99	
308	Y=0,1109x+0,2477	1,281	9,017	0,90	Y=2,009x-1,4174	1,416	0,498	0,99	
318	Y=0,2311x+0,2003	1,222	4,327	0,77	Y=0,3779x+0,40 1	0,942	2,646	0,99	
Temkin İzoterm Modeli q _e =BlnK _T +BlnC _e					Dubinin Radushkevich (D-R) İzoterm Modeli lnq _e =lnq _{max} -K _{D-R} ε ² ε=RTln(1+1/C _e)				
T (K)	Denklem	K _T	B	R ²	Denklem	K _{D-R} X10 ⁹	E (kJ/mo l)	q _{max} (mg/g)	R ²
298	Y=0,1806x+0,9898	240,087	0,180 6	0,84	y= -1E-09x-10,14	1	-22,36	2,51	0,8 3
308	Y=0,1638x+1,3143	3053,36 6	0,163 8	0,90	y=-9E-10x-10,09	0,9	-23,57	2,62	0,9 1
318	Y=0,341x+1,4148	63,370	0,341	0,91	y=-2E-09x- 9,3753	2	-15,81	5,39	0,8 0



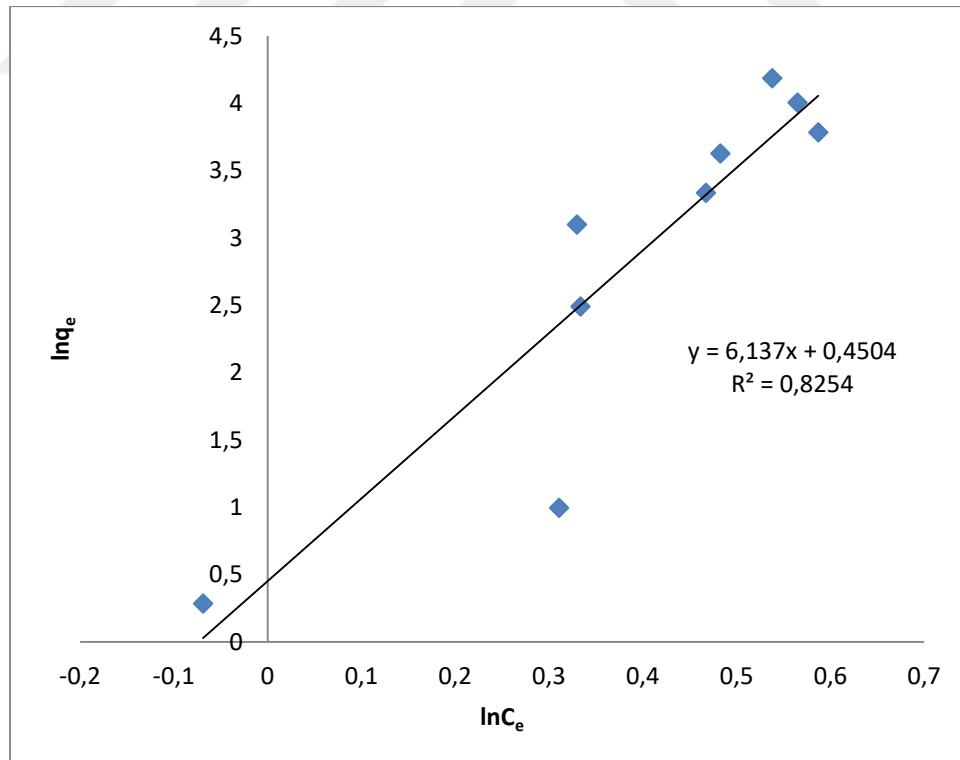
Şekil 4.48 Cu kalibrasyon grafiği



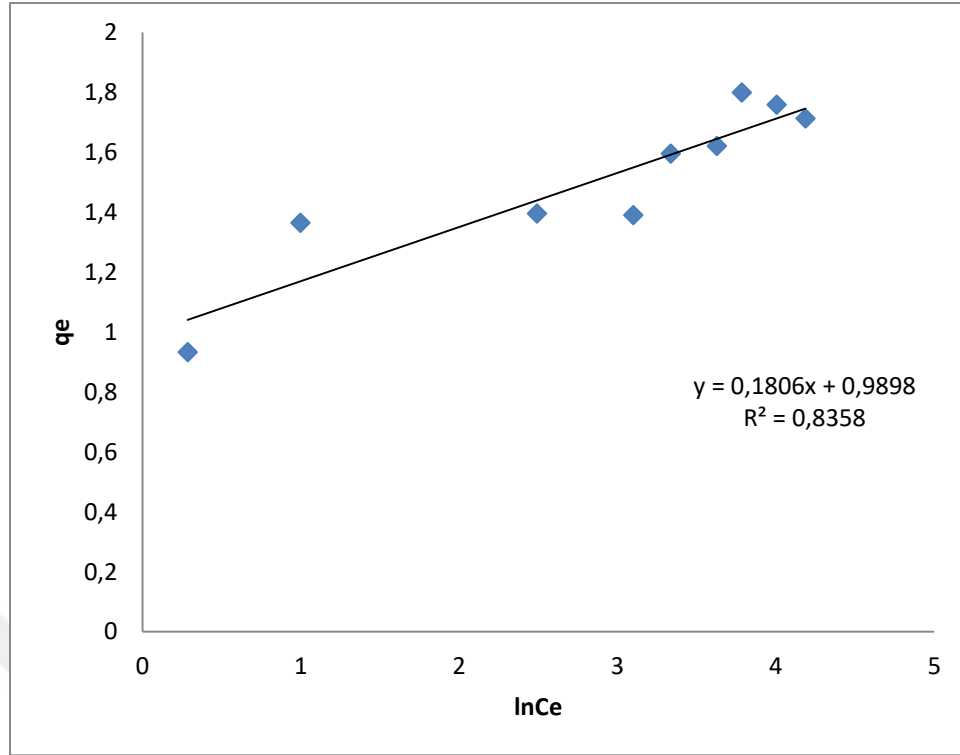
Şekil 4.49 298 K'deki Cu (II) nin kil üzerine adsorpsiyon izotermi



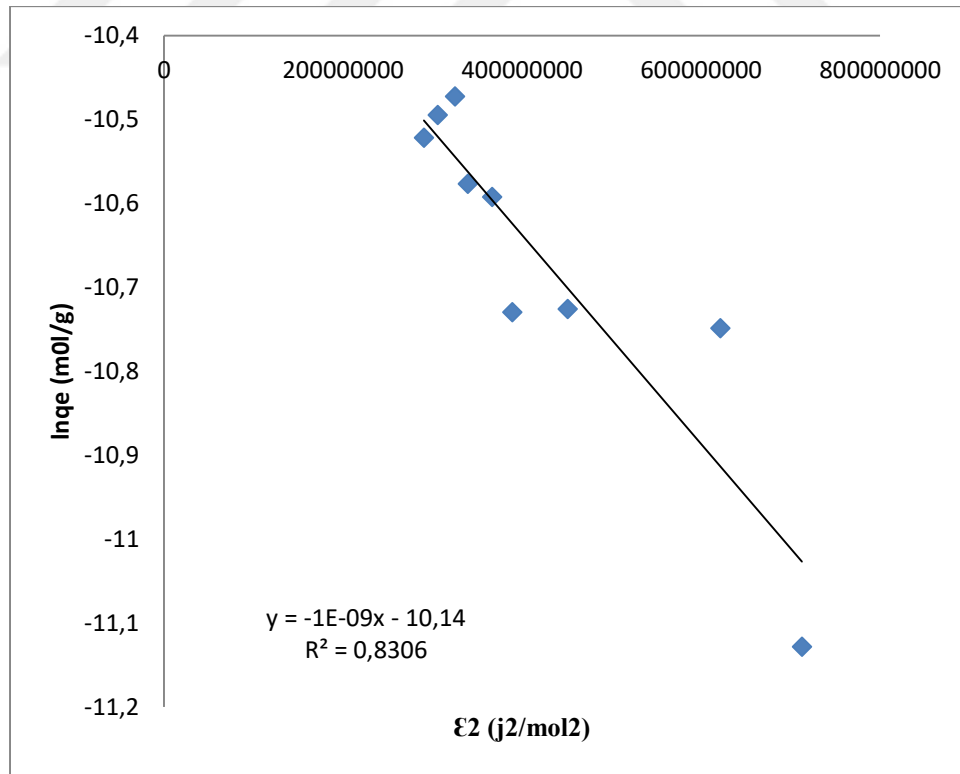
Şekil 4.50 298 K için Cu (II) nin kil üzerindeki Langmuir izotermi



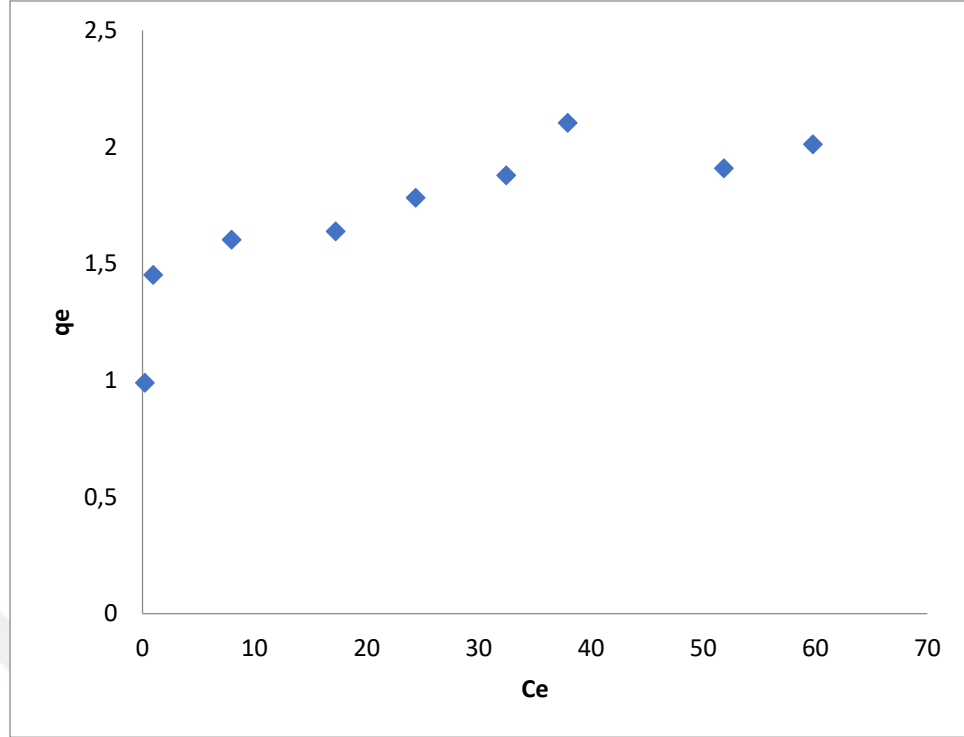
Şekil 4.51 298 K için Cu (II) nin kil üzerindeki Freunlich izotermi



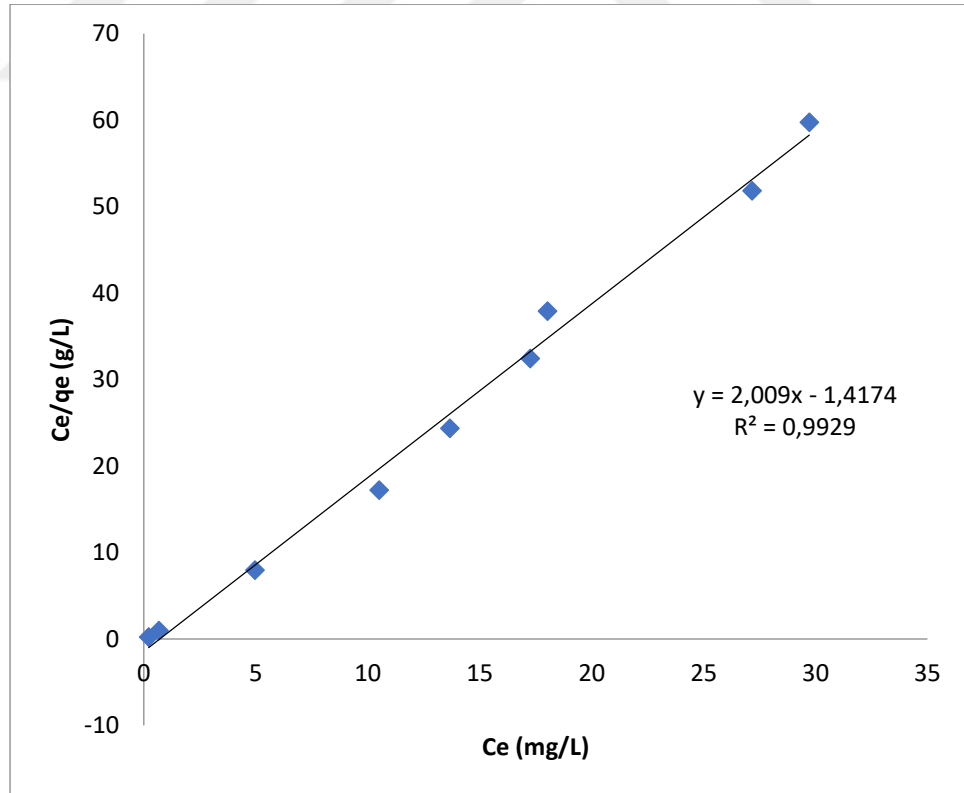
Şekil 4.52 298 K için Cu (II) nin kil üzerindeki Temkin izotermi



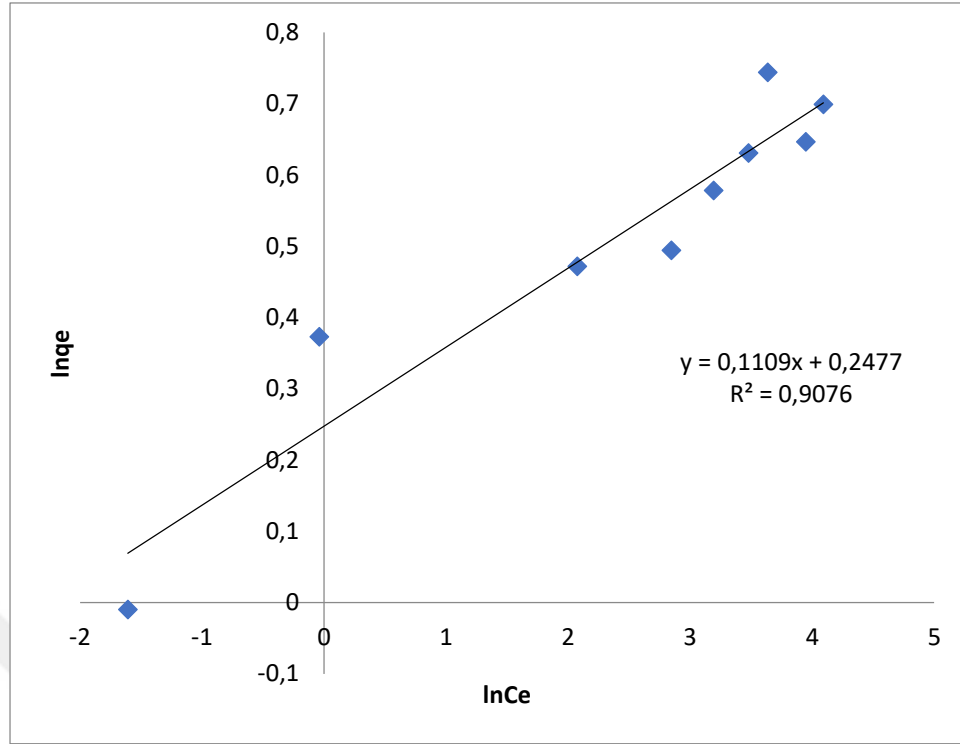
Şekil 4.53 298 K için Cu (II) nin kil üzerindeki D-R izotermi



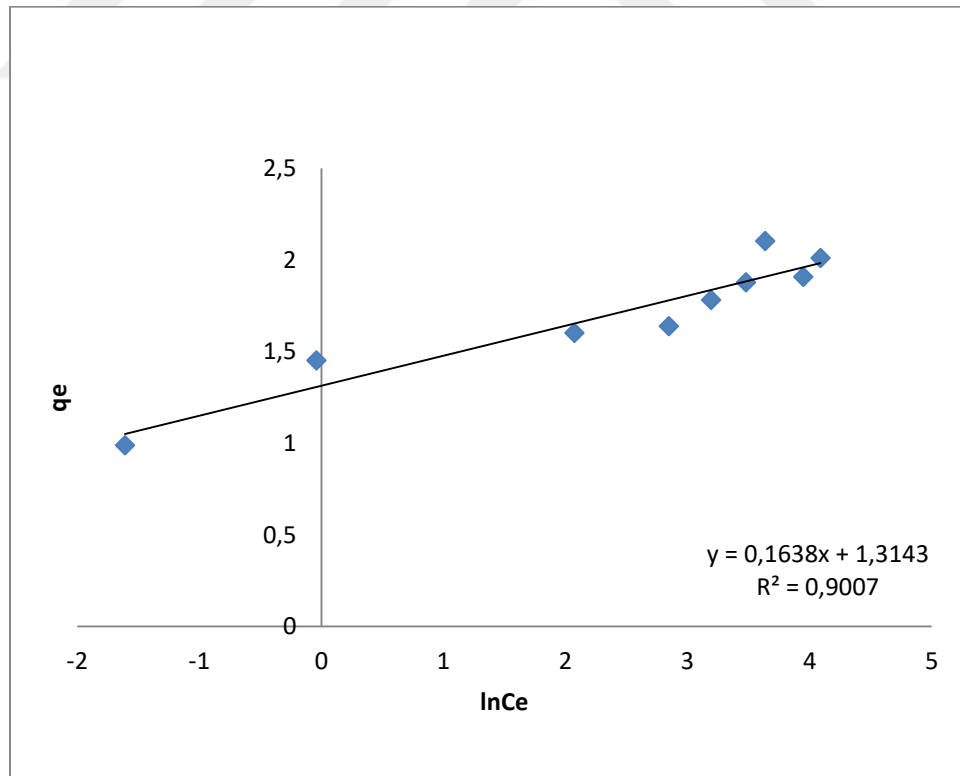
Şekil 4.54 308 K için Cu (II) nin kil üzerine adsorpsiyon izotermi



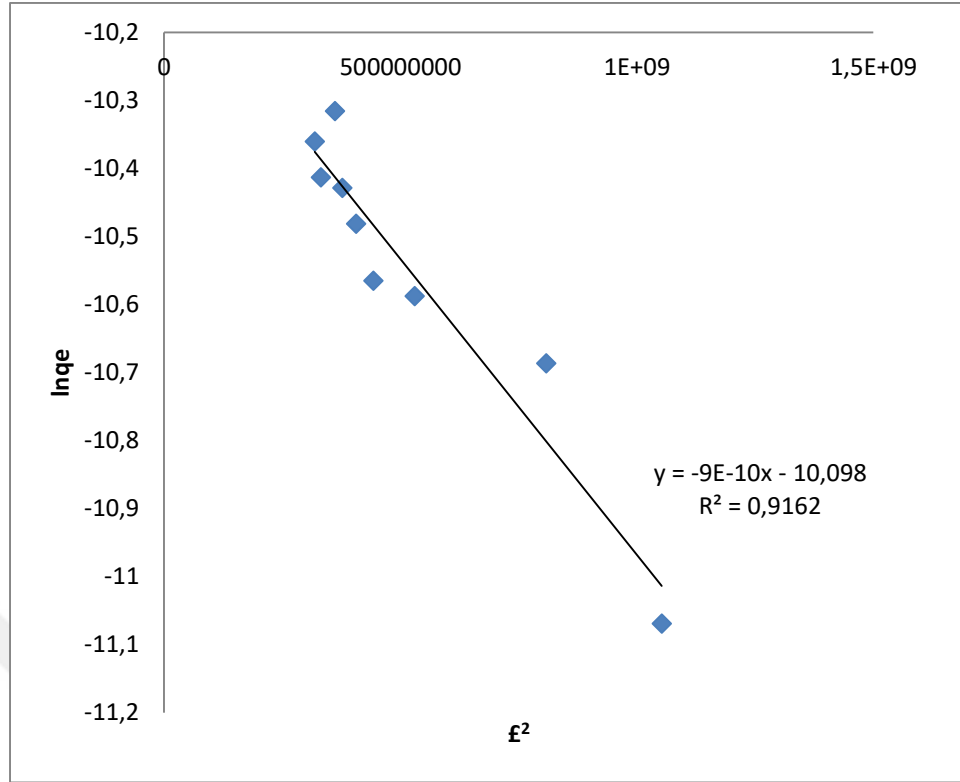
Şekil 4.55 308 K için Cu (II) nin kil üzerine Langmuir izotermi



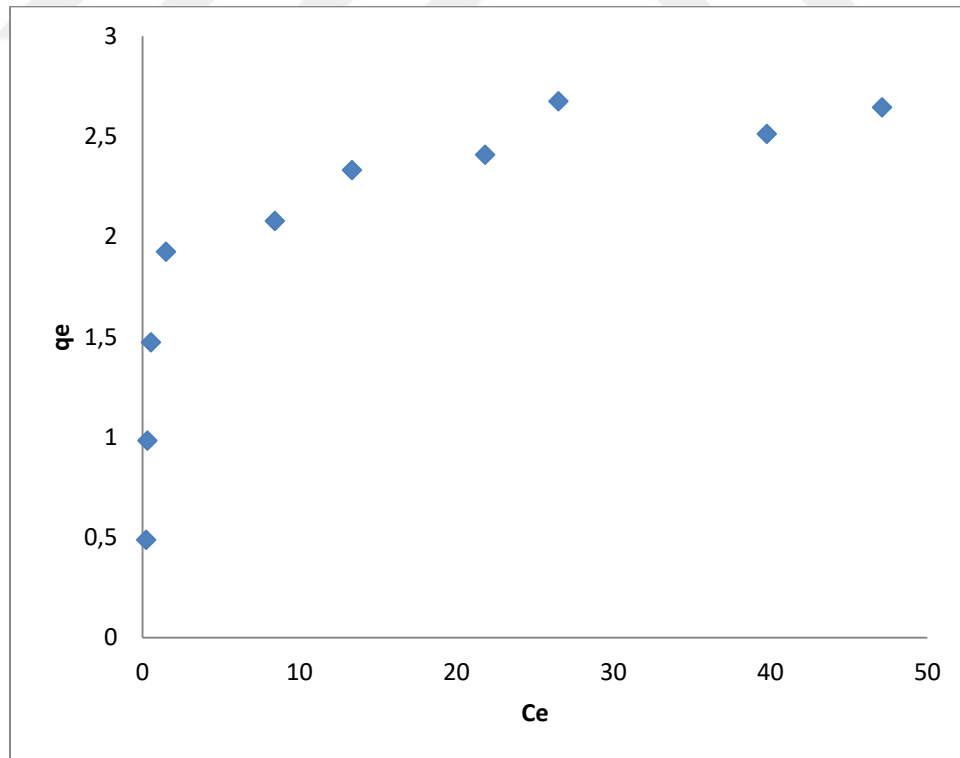
Şekil 4.56 308 K için Cu (II) nin kil üzerine Freunlich izotermini



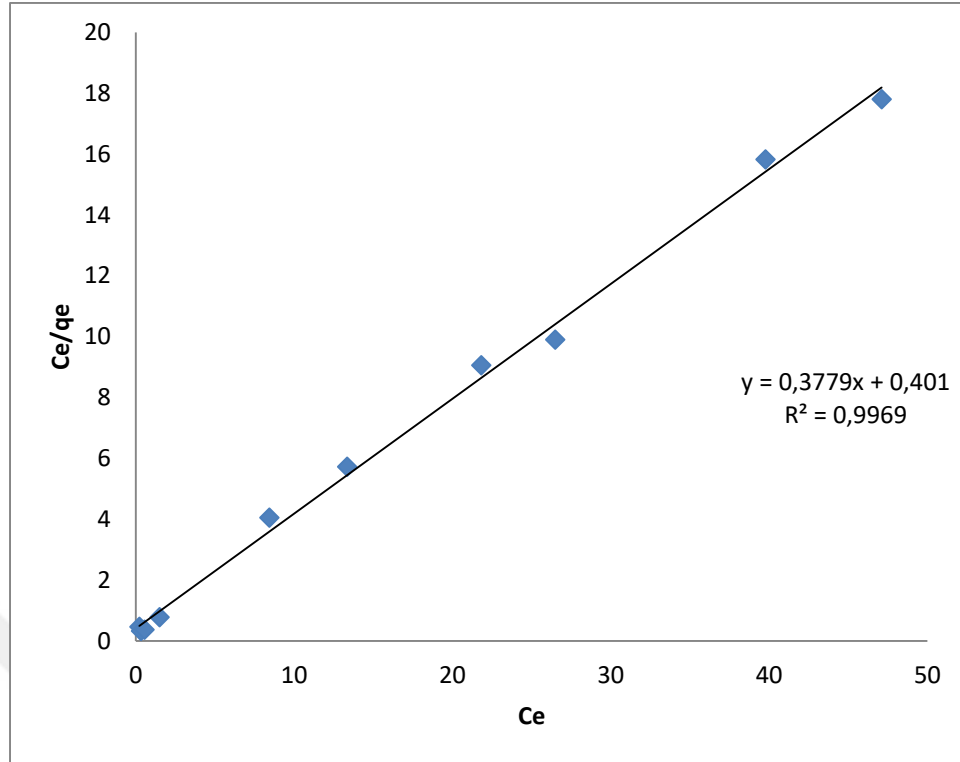
Şekil 4.57 308 K için Cu (II) nin kil üzerine Temkin izotermini



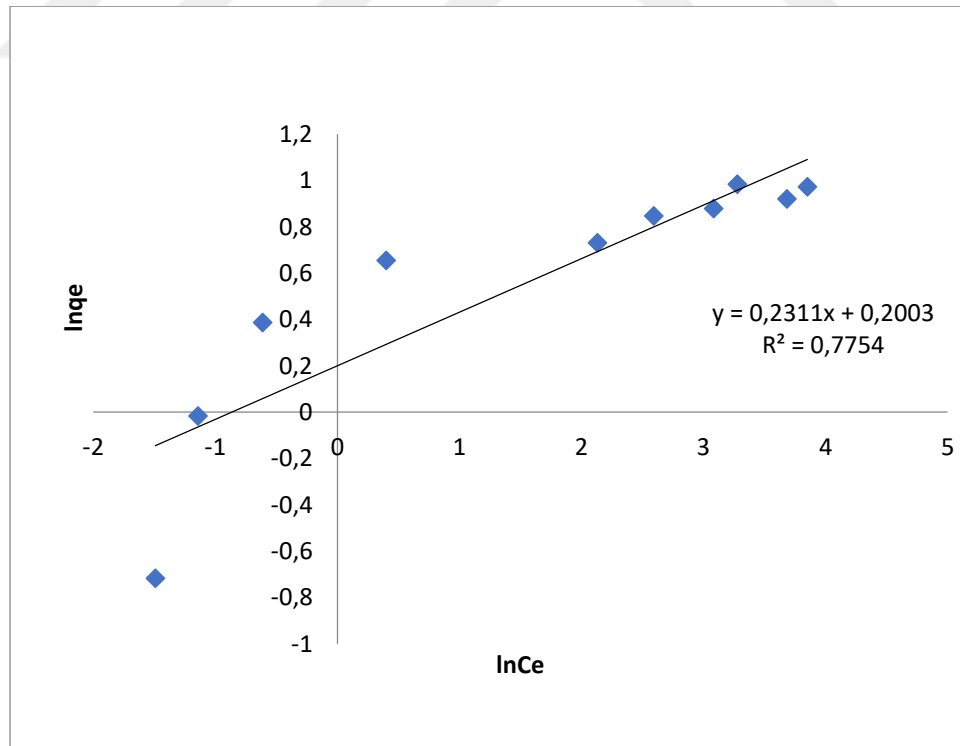
Şekil 4.58 308 K için Cu (II) nin kil üzerine D-R izotermi



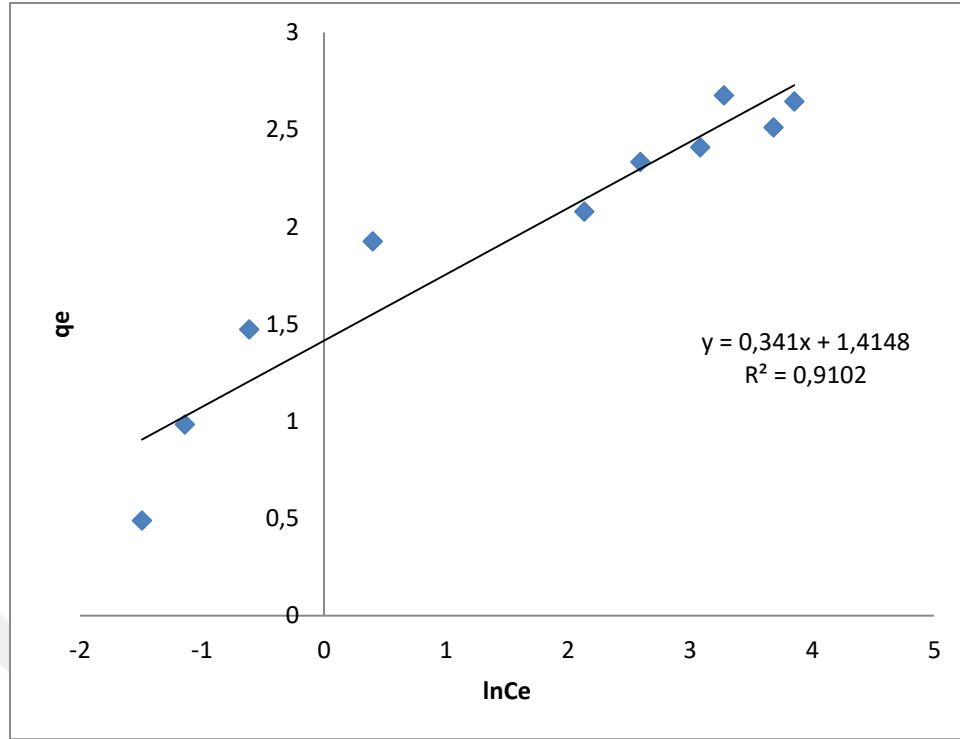
Şekil 4.59 318 K için Cu (II) nin kil üzerine adsorpsiyon izotermi



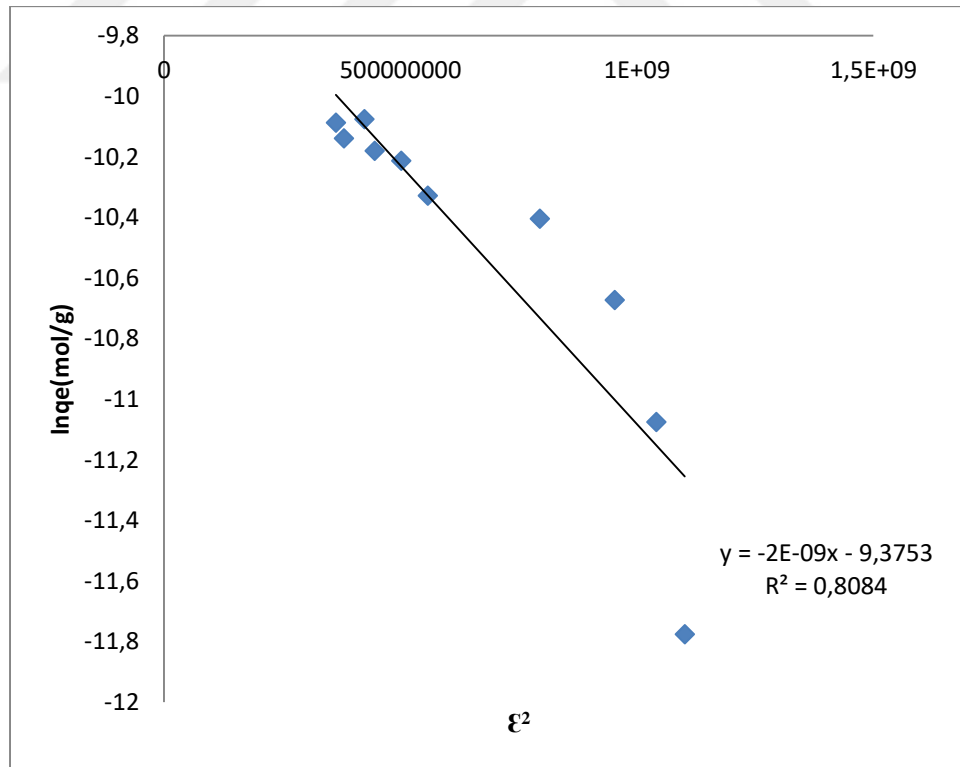
Şekil 4.60 318 K için Cu (II) nin kil üzerine Langmuir izotermi



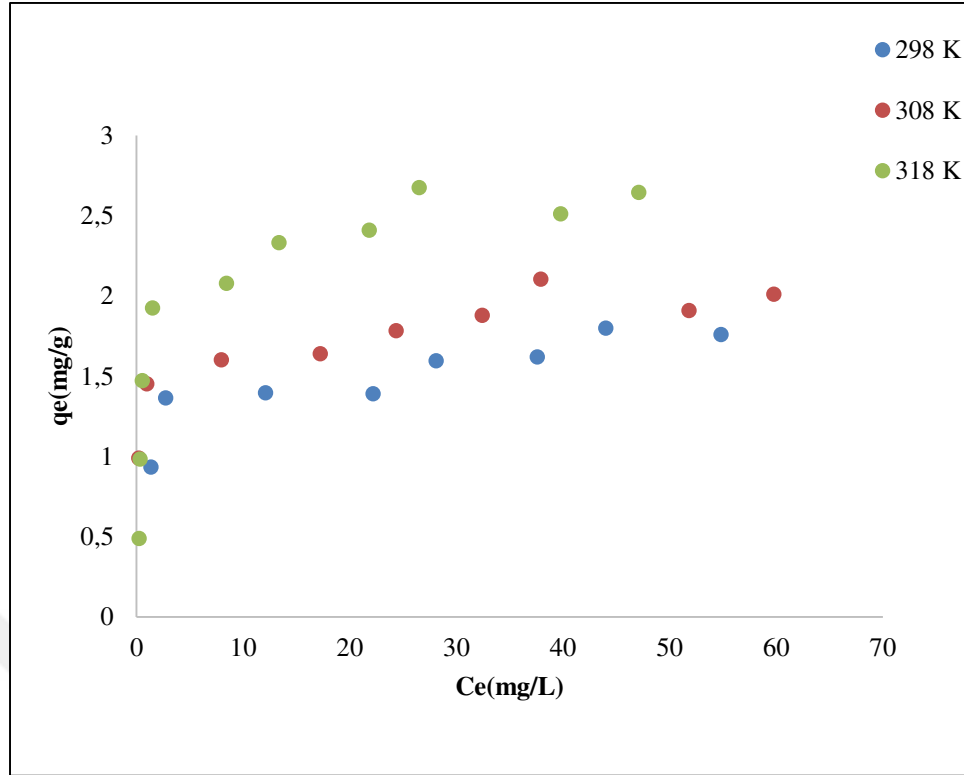
Şekil 4.61 318 K için Cu (II) nin kil üzerine Freunlich izotermi



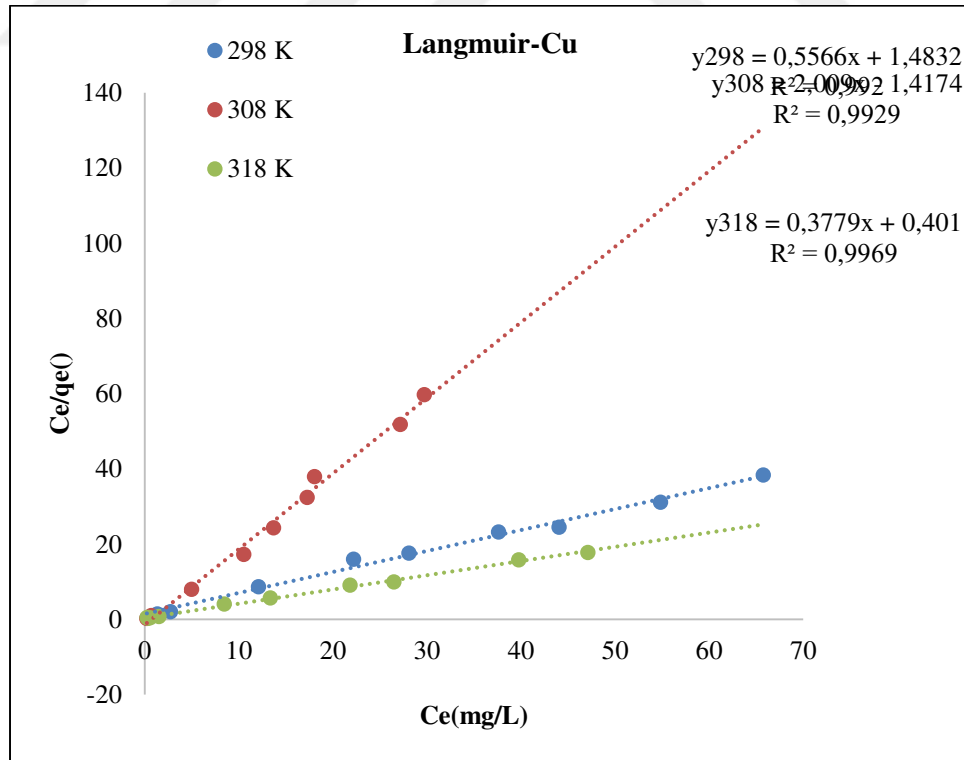
Şekil 4.62 318 K için Cu (II) nin kil üzerine Temkin izotermi



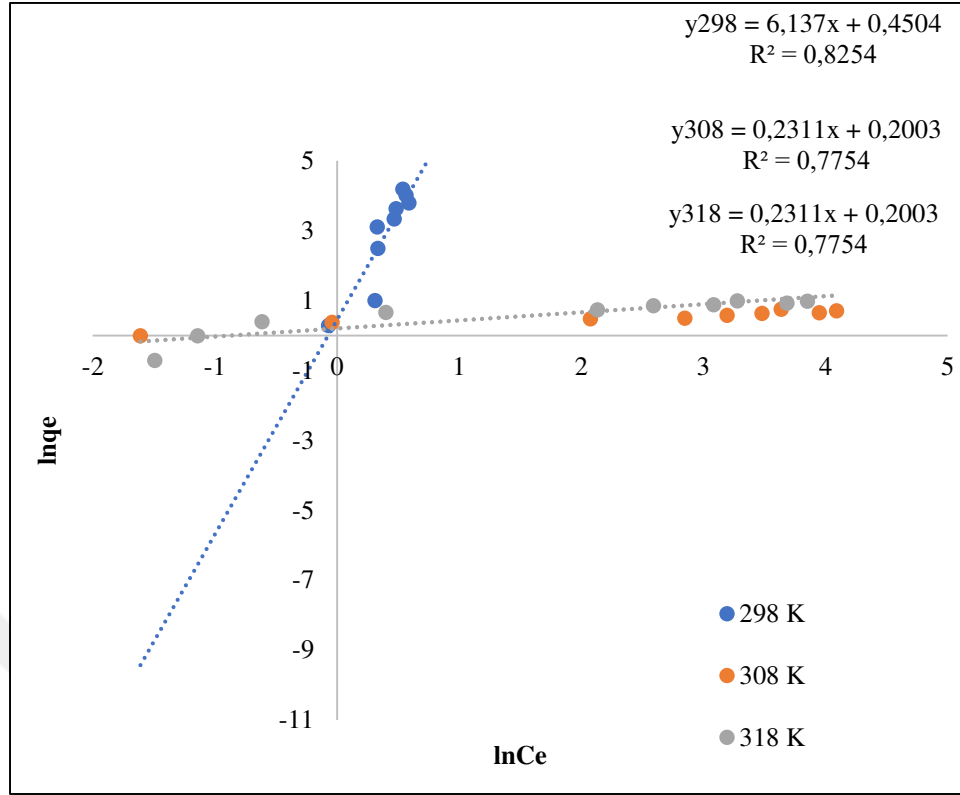
Şekil 4.63 318 K için Cu (II) nin kil üzerine D-R izotermi



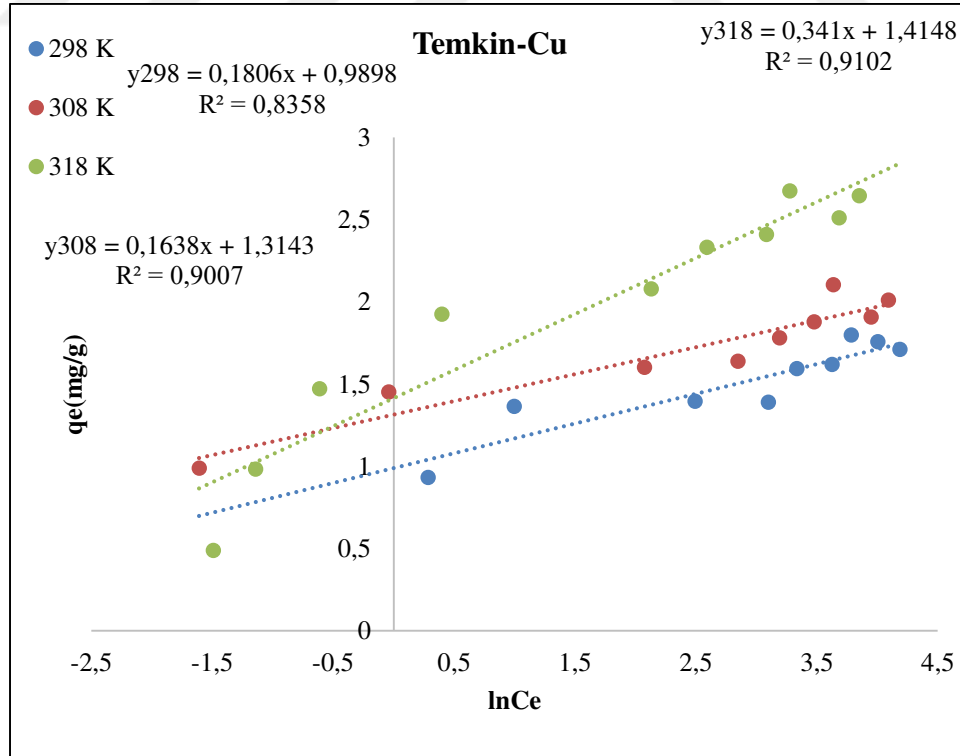
Şekil 4.64 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki adsorpsiyon izotermi



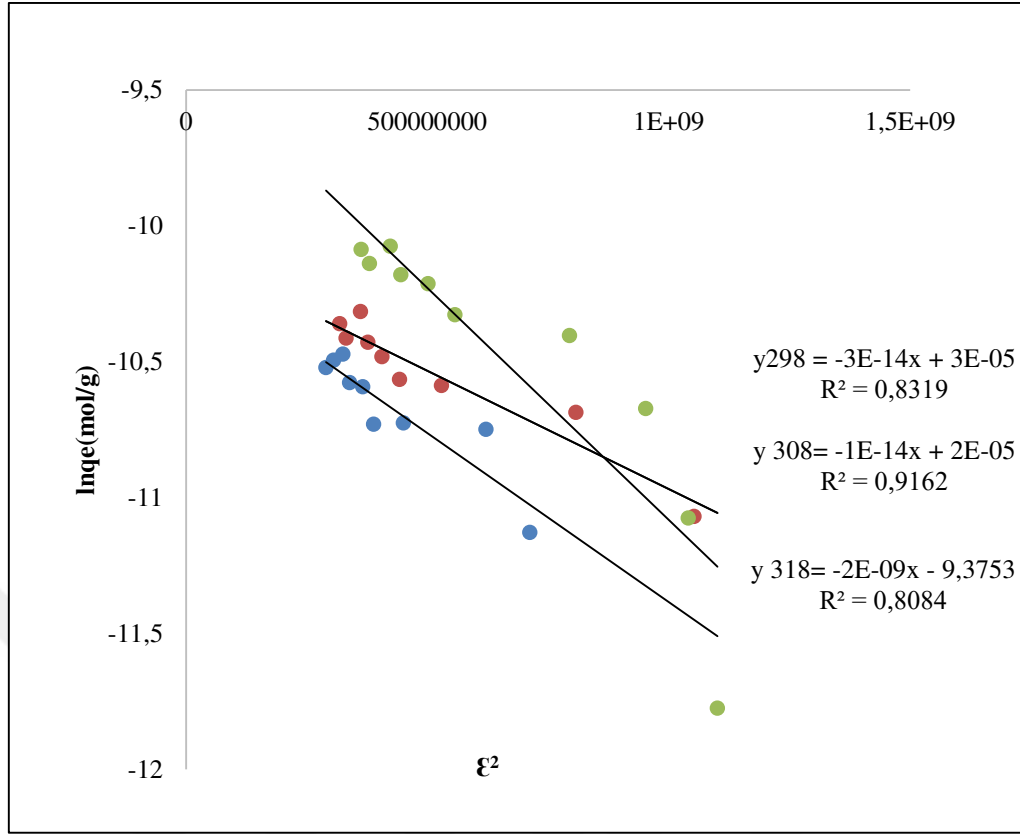
Şekil 4.65 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki Langmuir izotermi



Şekil 4.66 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki Freunlich izotermi



Şekil 4.67 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki Temkin izotermi



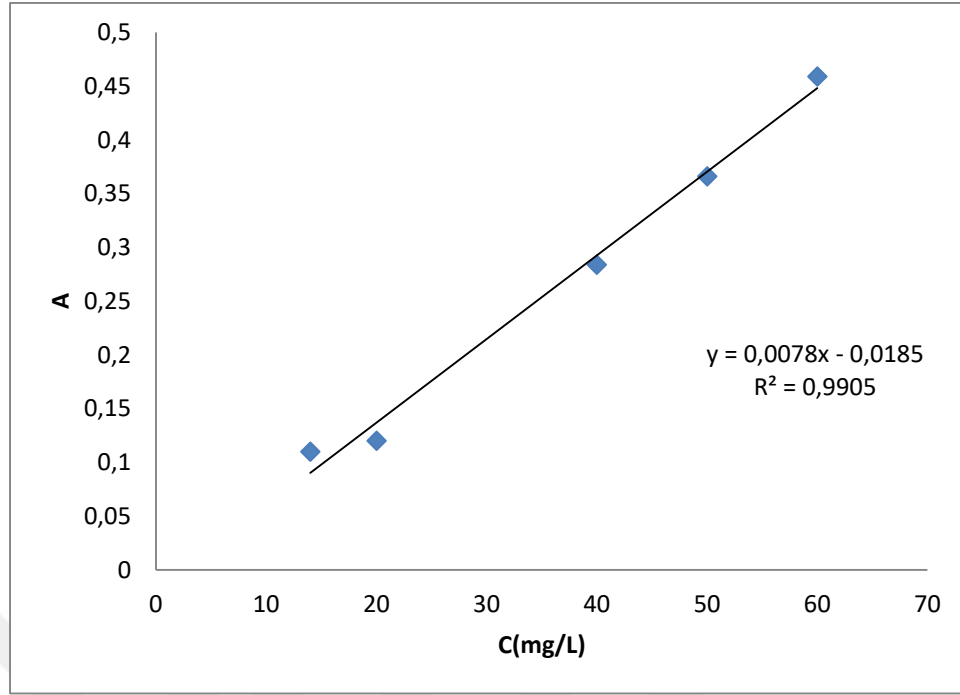
Şekil 4.68 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin kil üzerindeki D-R izotermi

4.9. Ni (II) Konsantrasyonunun Kil Üzerine Adsorpsiyon Etkisi

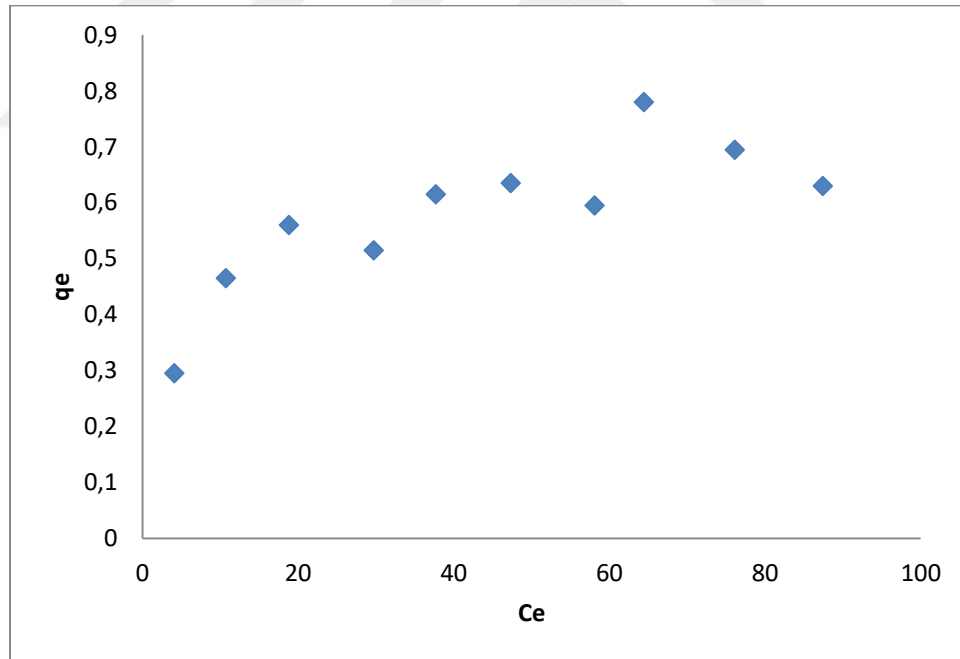
Ni(II) iyonlarının kil üzerindeki adsorpsiyon izotermine ait veriler Tablo 4.9.1 de gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Ni (II) iyonlarının Kil Üzerindeki Adsorpsiyon Verileri

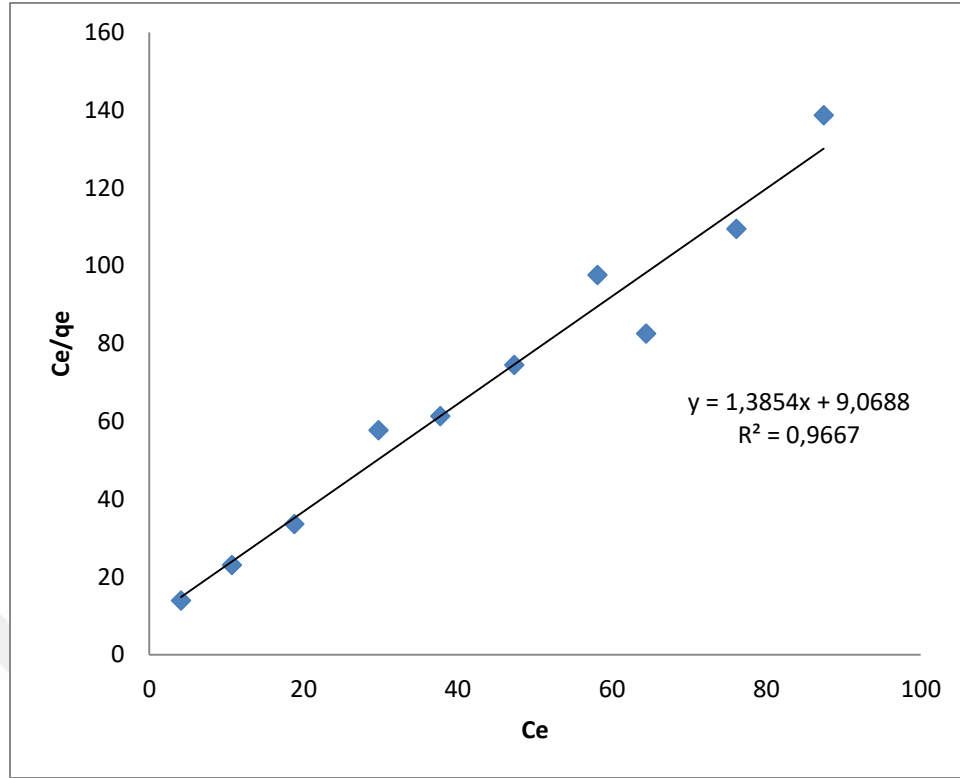
T (K)	C _i (mg/L)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	lnC _e (mg/L)	lnq _e (mg/g)	C _e /q _e (g/L)	lnq _e (mol/g)	ε ² (j2/mol2)	
298	10	4,10	0,29	1,41	-1,22	13,89	-12,20	5,62E+08	
	20	10,70	0,46	2,37	-0,76	23,01	-11,74	4,55E+08	
	30	18,80	0,56	2,93	-0,58	33,57	-11,56	3,97E+08	
	40	29,70	0,51	3,39	-0,66	57,67	-11,64	3,54E+08	
	50	37,70	0,61	3,63	-0,49	61,30	-11,47	3,32E+08	
	60	47,30	0,63	3,86	-0,45	74,49	-11,43	3,12E+08	
308	10	3,50	0,32	1,25	-1,12	10,76	-12,10	6,2E+08	
	20	6,60	0,67	1,88	-0,40	9,85	-11,38	5,42E+08	
	30	13,90	0,80	2,63	-0,21	17,27	-11,19	4,57E+08	
	40	24,30	0,78	3,19	-0,24	30,95	-11,22	3,98E+08	
	50	35,20	0,74	3,56	-0,30	47,57	-11,28	3,61E+08	
	60	42,80	0,86	3,75	-0,15	49,77	-11,13	3,42E+08	
	70	50,50	0,97	3,92	-0,02	51,79	-11,00	3,27E+08	
318	10	0,20	0,49	-1,61	-0,71	0,41	-11,69	1,11E+09	
	20	1,70	0,91	0,53	-0,09	1,85	-11,06	7,63E+08	
	30	6,90	1,15	1,93	0,14	5,97	-10,83	5,72E+08	
	40	11,10	1,44	2,41	0,36	7,68	-10,61	5,14E+08	
	50	18,10	1,59	2,89	0,46	11,34	-10,51	4,57E+08	
	60	33,50	1,32	3,5	0,28	25,28	-10,69	3,9E+08	
	70	45,10	1,24	3,81	0,21	36,22	-10,76	3,6E+08	
Freundlich İzoterm Modeli lnq _e = ln K _F + 1/n ln C _e					Langmuir Adsorpsiyon İzotermi C _e /q _e = 1/K _L q _{max} + C _e /q _{max}				
T (K)		K _F	n	R ²		K _L (L/mg)	q _{max} (mg/g)	R ²	
298	y=0,2548x-1,4587	0,232	3,92	0,85	y=1,3854x+9,0688	0,153	0,722	0,96	
308	Y=0,258x-1,1258	0,325	3,87	0,73	Y=1,0046x+5,9639	0,168	0,995	0,98	
318	Y=0,1692x-0,2539	0,776	5,91	0,77	Y=0,742x-0,4227	1,754	1,348	0,97	
Temkin İzoterm Modeli q _e =BlnK _T +BlnC _e					Dubinin Radushkevich (D-R) İzoterm Modeli lnq _e =lnq _{max} -K _{D-R} ε ² ε=RTln(1+1/C _e)				
T (K)		K _T	B	R ²		K _{D-R} X10 ⁹	E (kJ/mol)	q _{max} (mg/g)	R ²
298	Y=0,1239X+0,1494	3,340	0,1239	0,82	Y=-3E-09X-10,63	3	-12,91	1,420	0,87
308	Y=0,1589x+0,2651	5,301	0,1589	0,79	Y=-2E-09x-10,28	2	-15,81	2,014	0,76
318	Y=0,1573x+0,8538	227,693	0,1573	0,71	Y=-1E-0,9x-10,121	1	-31,62	2,361	0,83



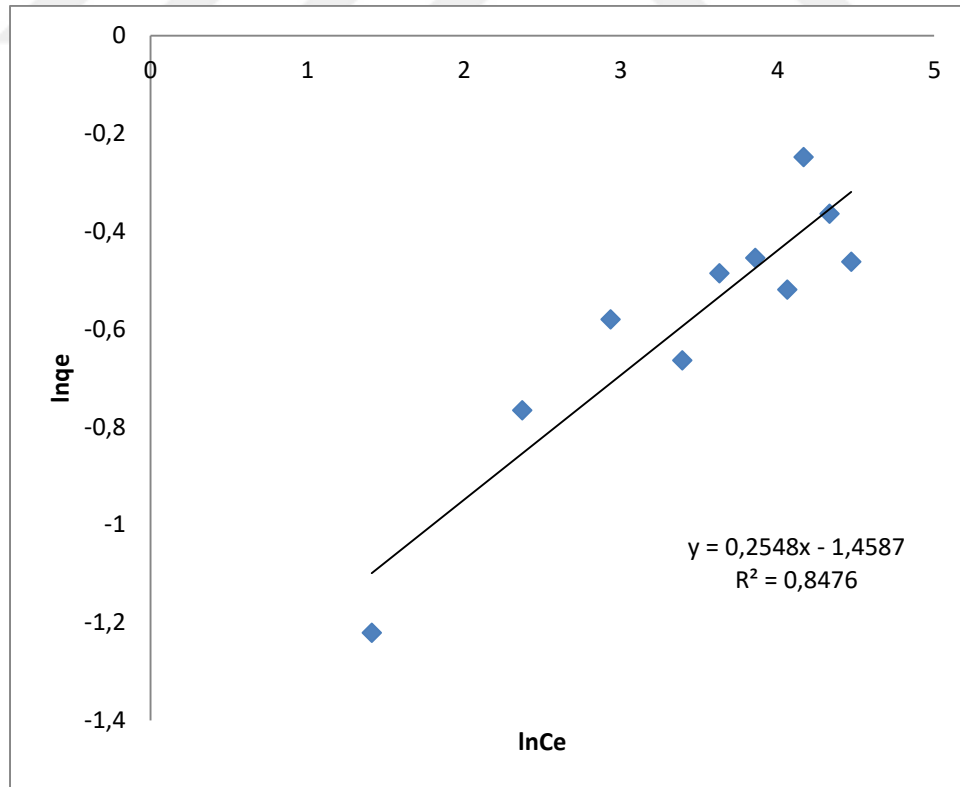
Şekil 4.69 Ni kalibrasyon grafiği



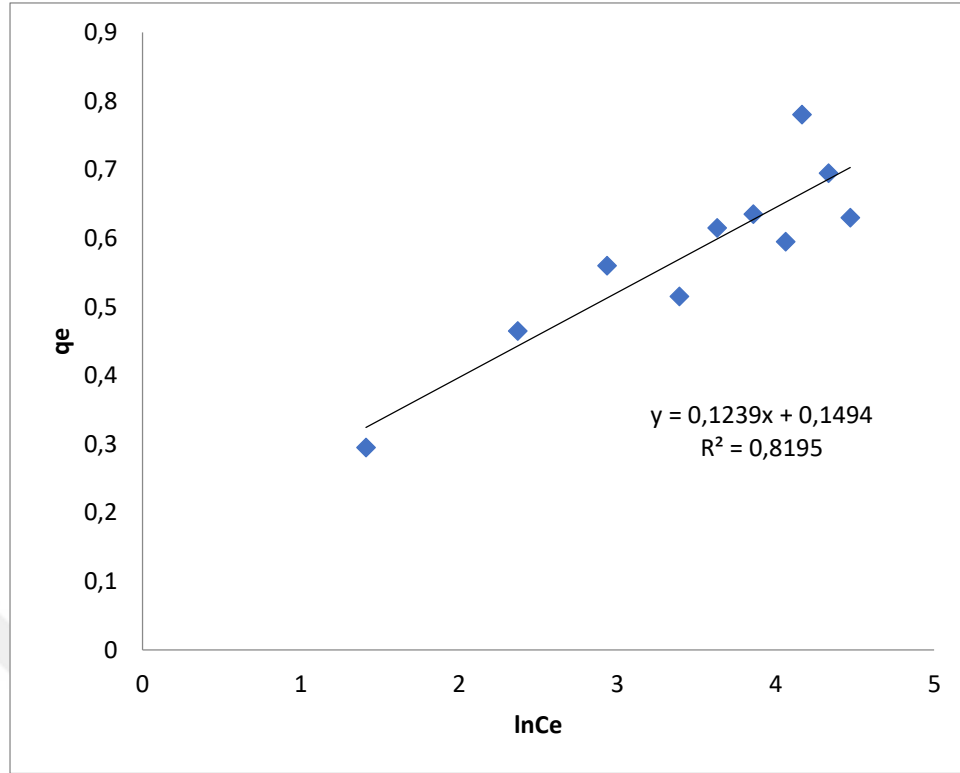
Şekil 4.70 298 K için Ni (II) nin kil üzerine adsorpsiyon izotermi



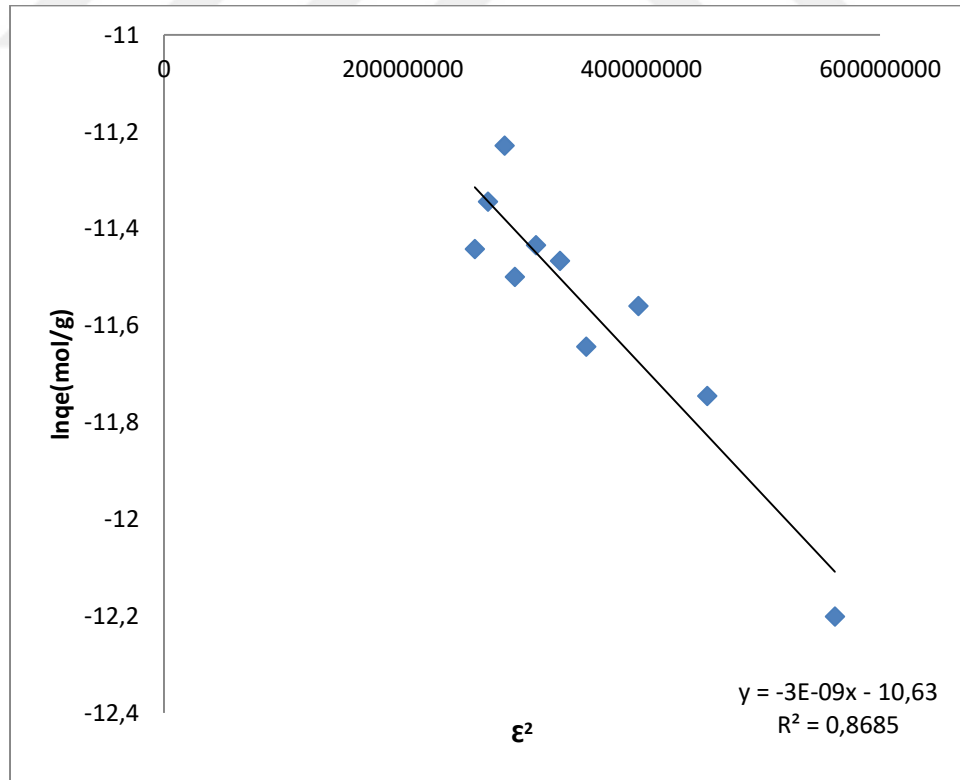
Şekil 4.71 298 K için Ni(II) nin kil üzerine Langmuir izoterminin



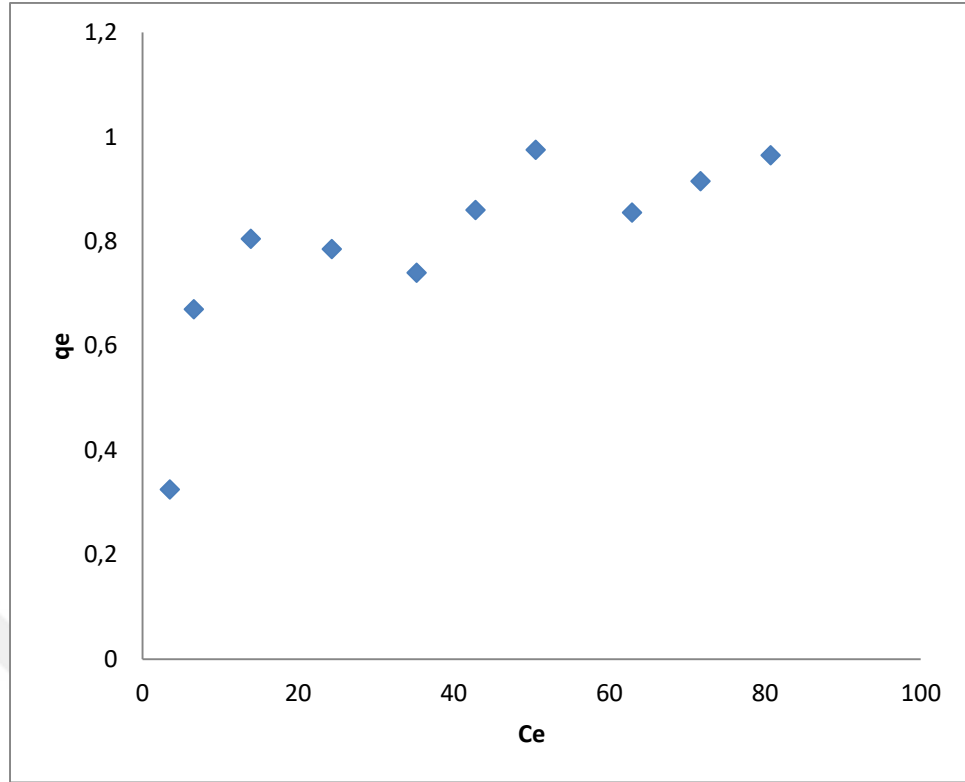
Şekil 4.72 298 K için Ni(II) nin kil üzerine Freundlich izoterminin



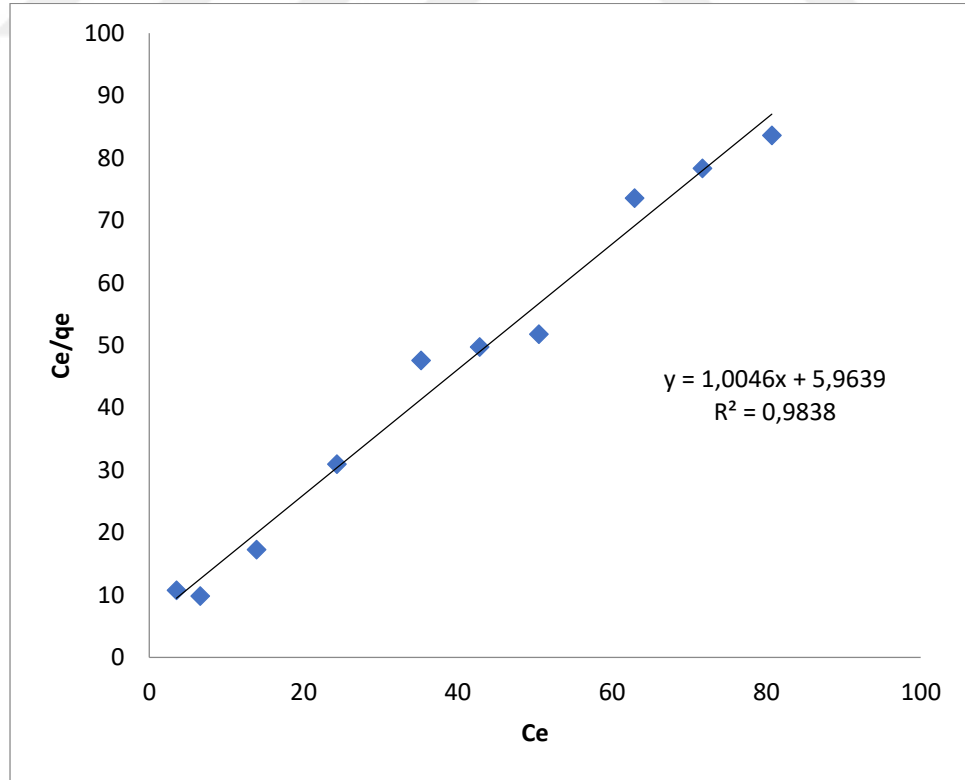
Şekil 4.73 298 K için Ni(II) nin kil üzerine Temkin izotermi



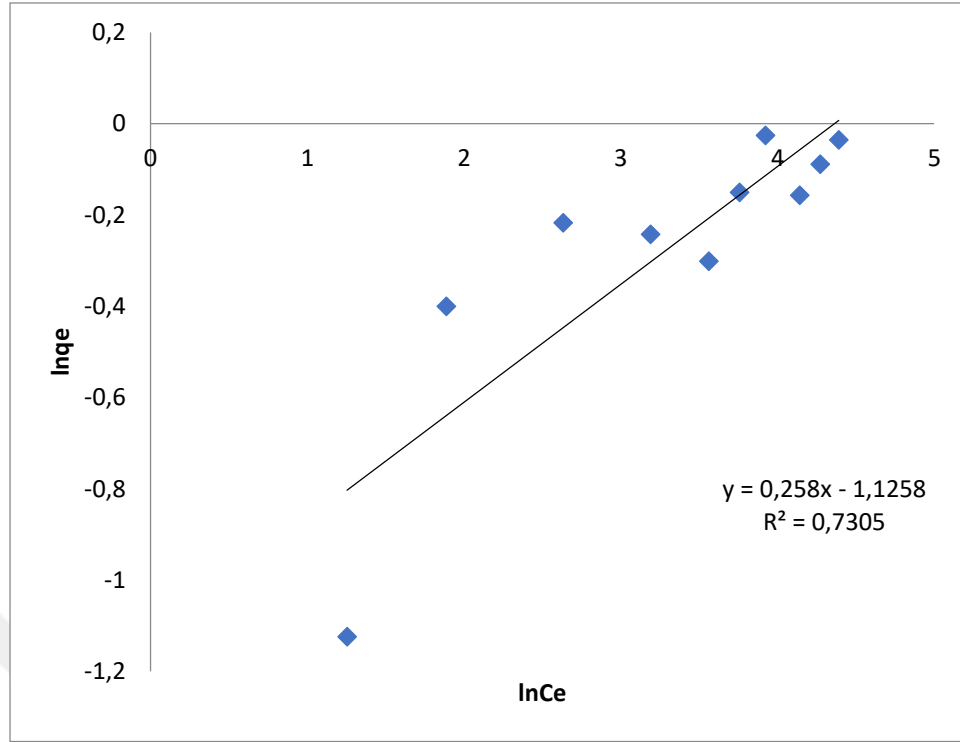
Şekil 4.74 298 K için Ni(II) nin kil üzerine D-R izotermi



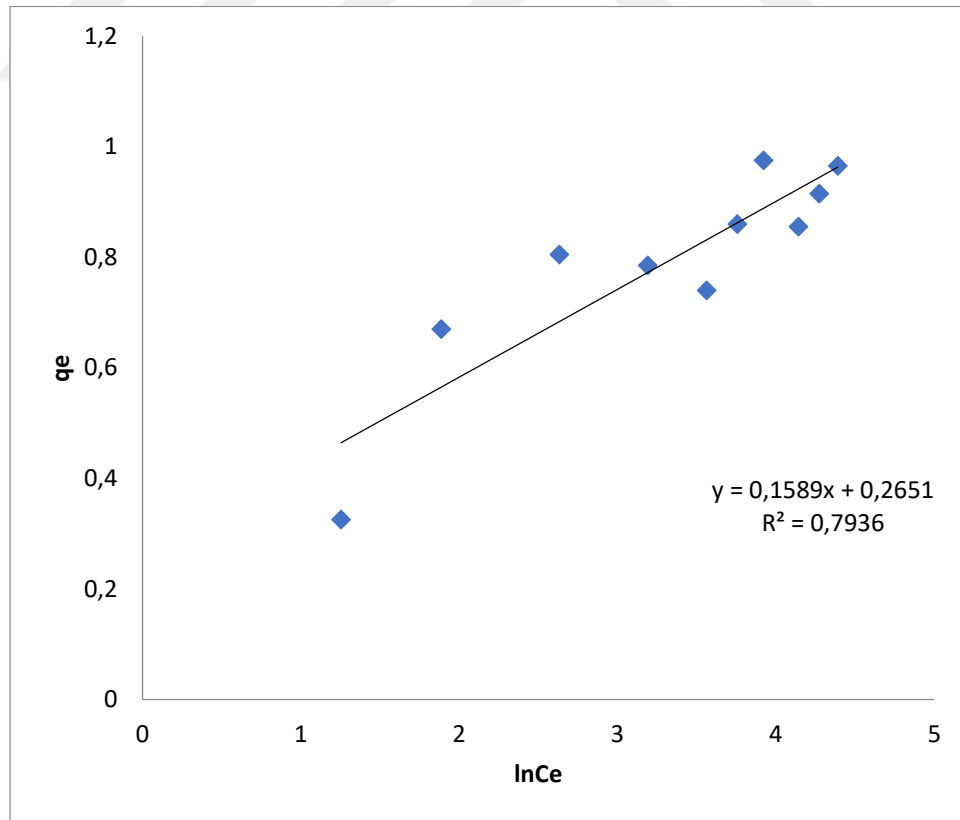
Şekil 4.75 308 K için Ni(II) nin kil üzerine adsorpsiyon izotermi



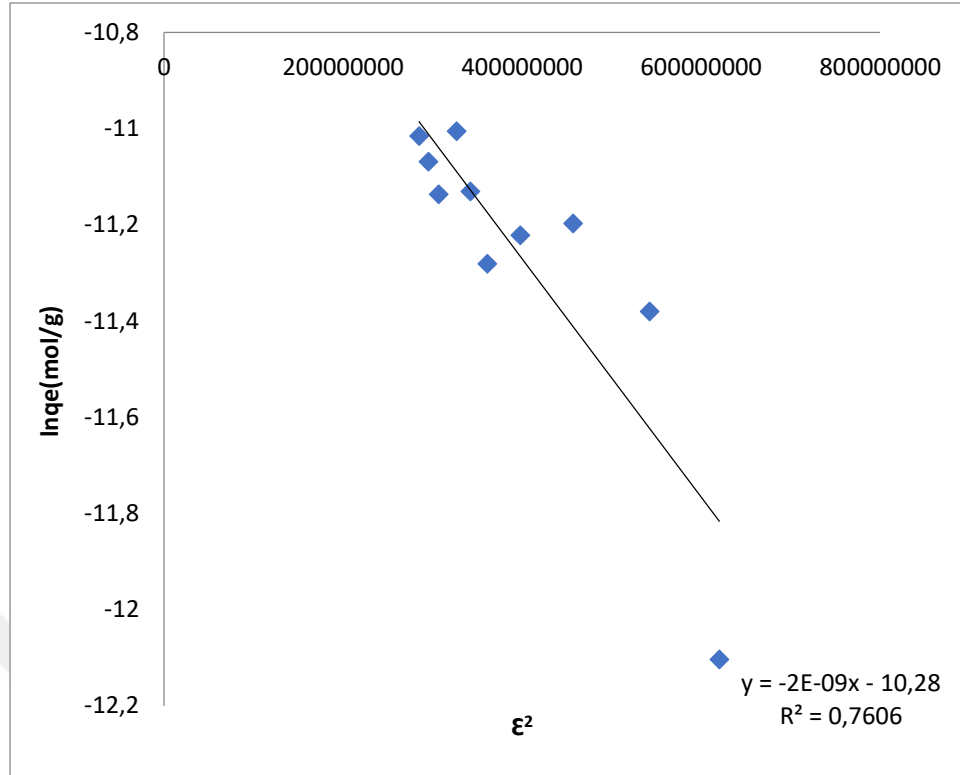
Şekil 4.76 308 K için Ni(II) nin kil üzerine Langmuir izotermi



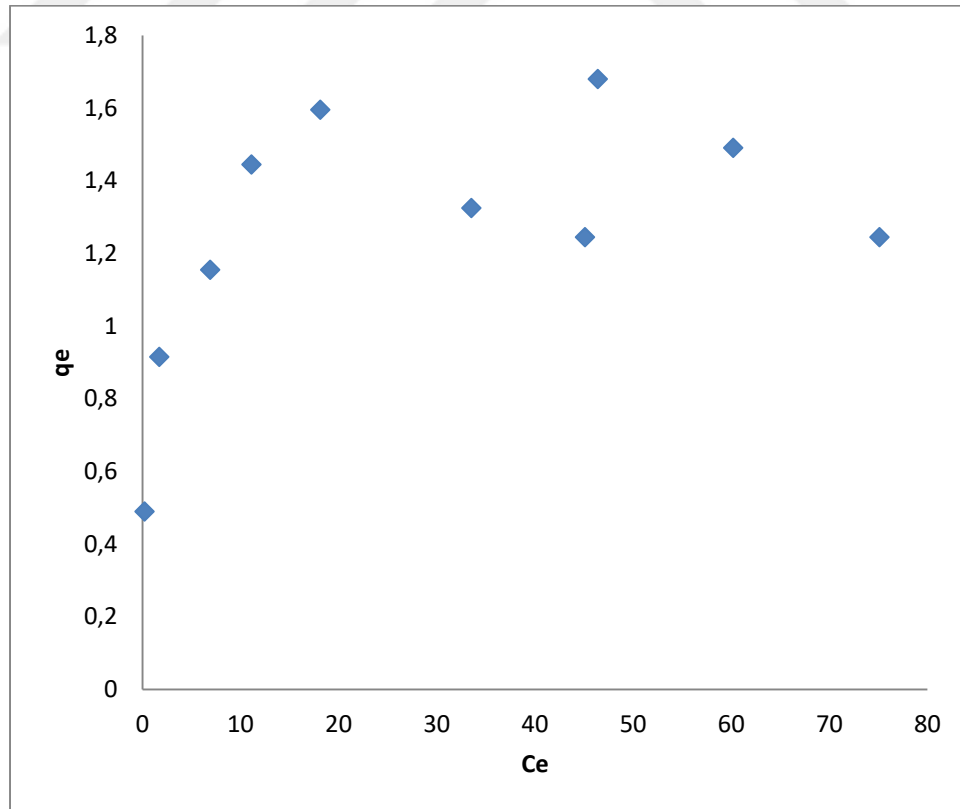
Şekil 4.77 308 K için Ni(II) nin kil üzerine Freunlich izotermi



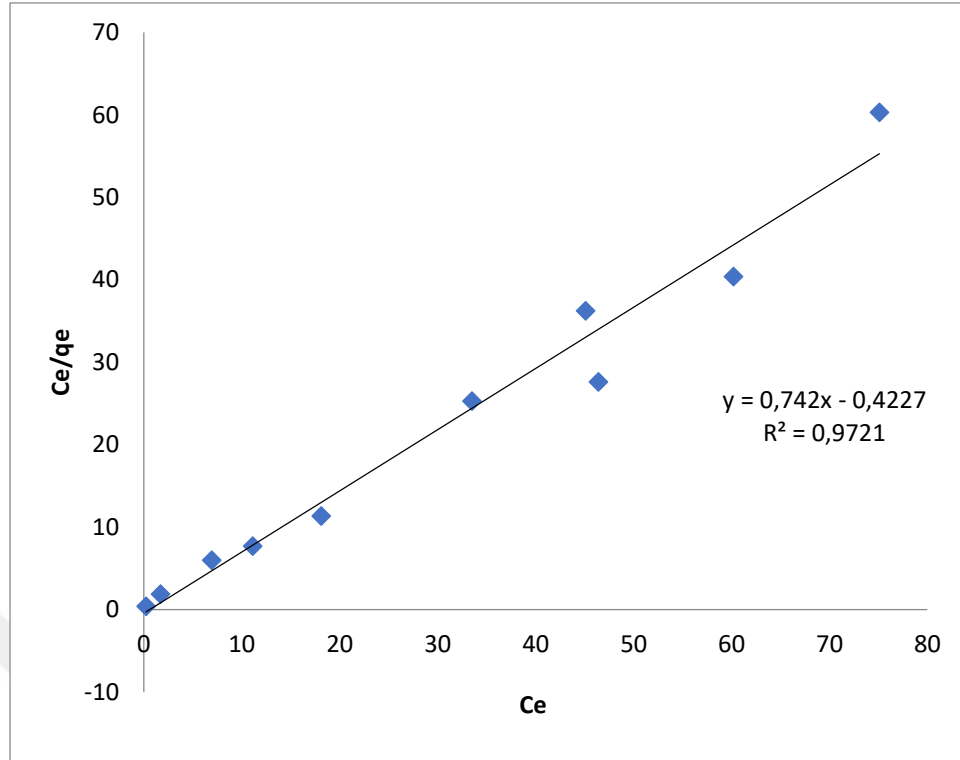
Şekil 4.78 308 K için Ni(II) nin kil üzerine Temkin izotermi



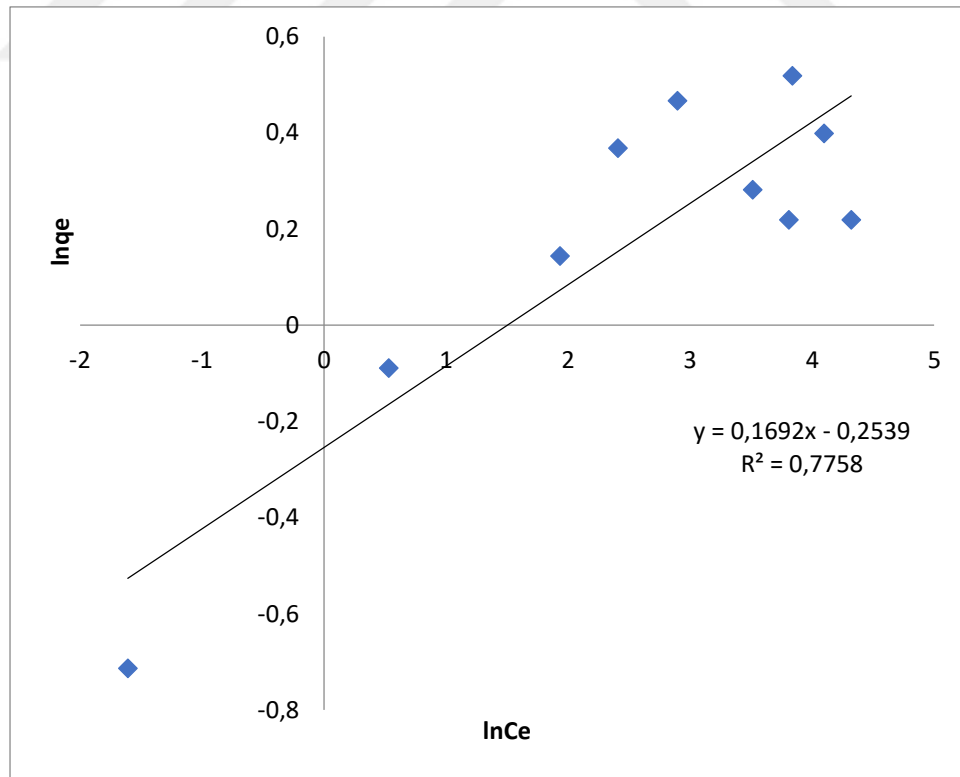
Şekil 4.79 308 K için Ni(II) nin kil üzerine D-R izotermi



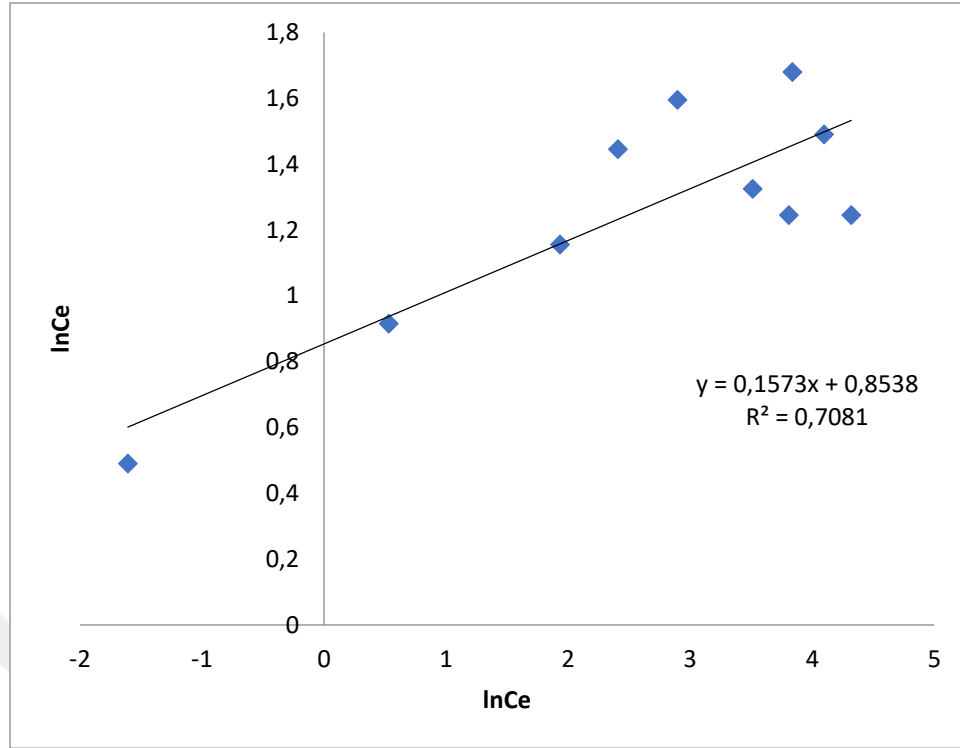
Şekil 4.80 318 K için Ni(II) nin kil üzerine adsorpsiyon izotermi



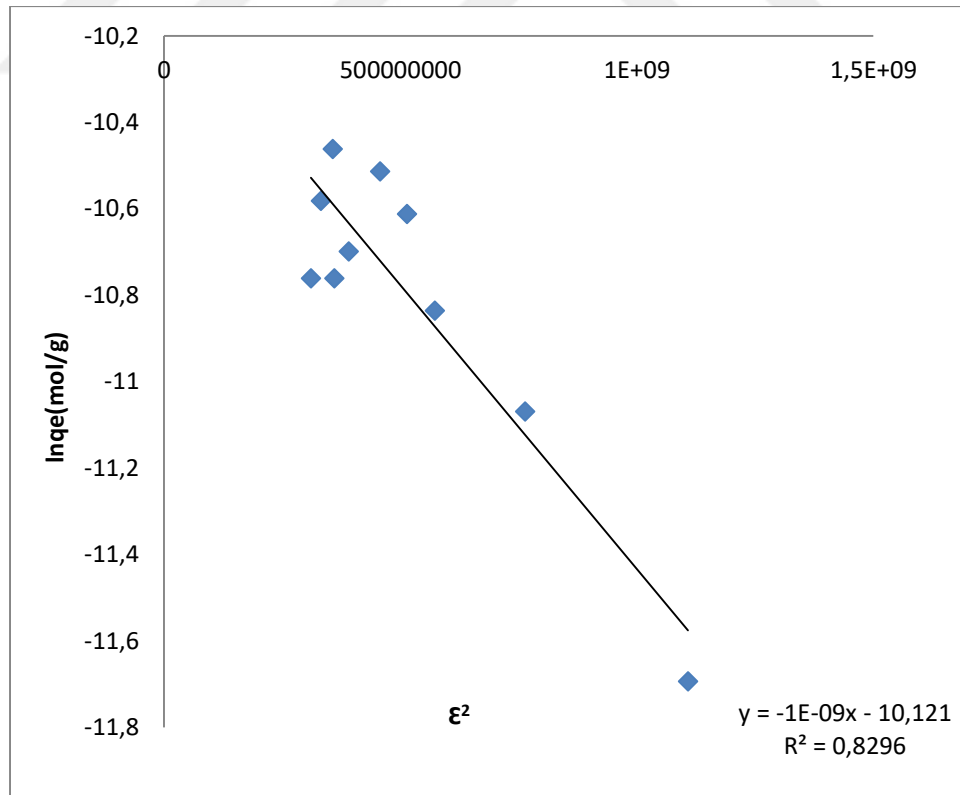
Şekil 4.81 318 K için Ni(II) nin kil üzerine Langmuir izotermi



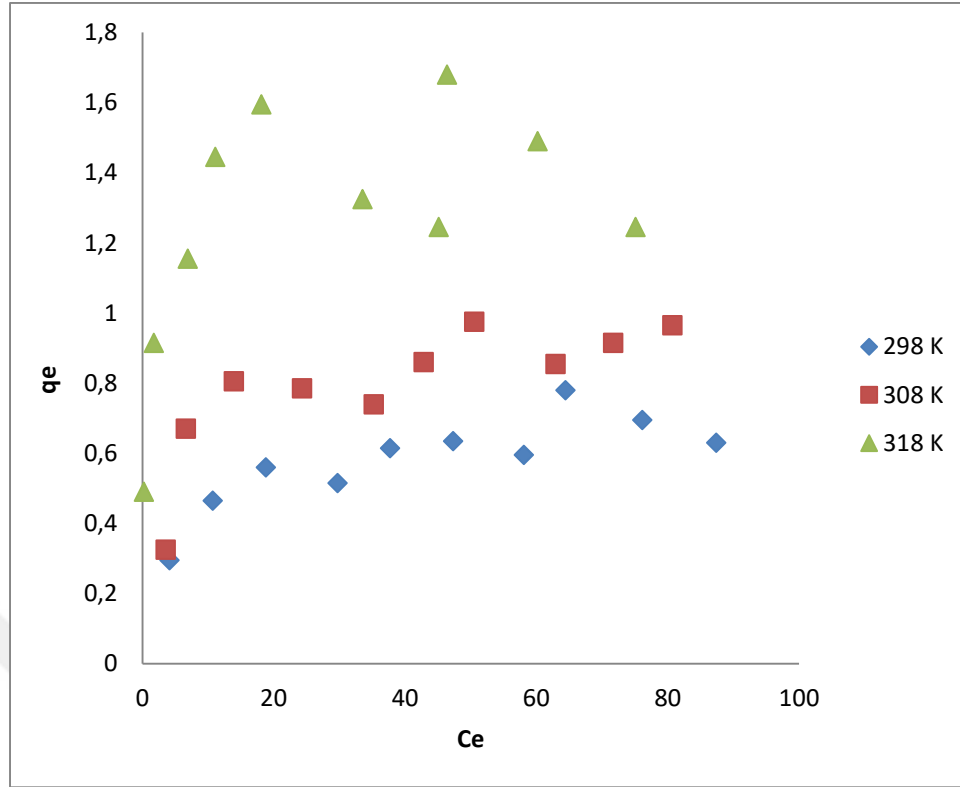
Şekil 4.82 318 K için Ni(II) nin kil üzerine Freundlich izotermi



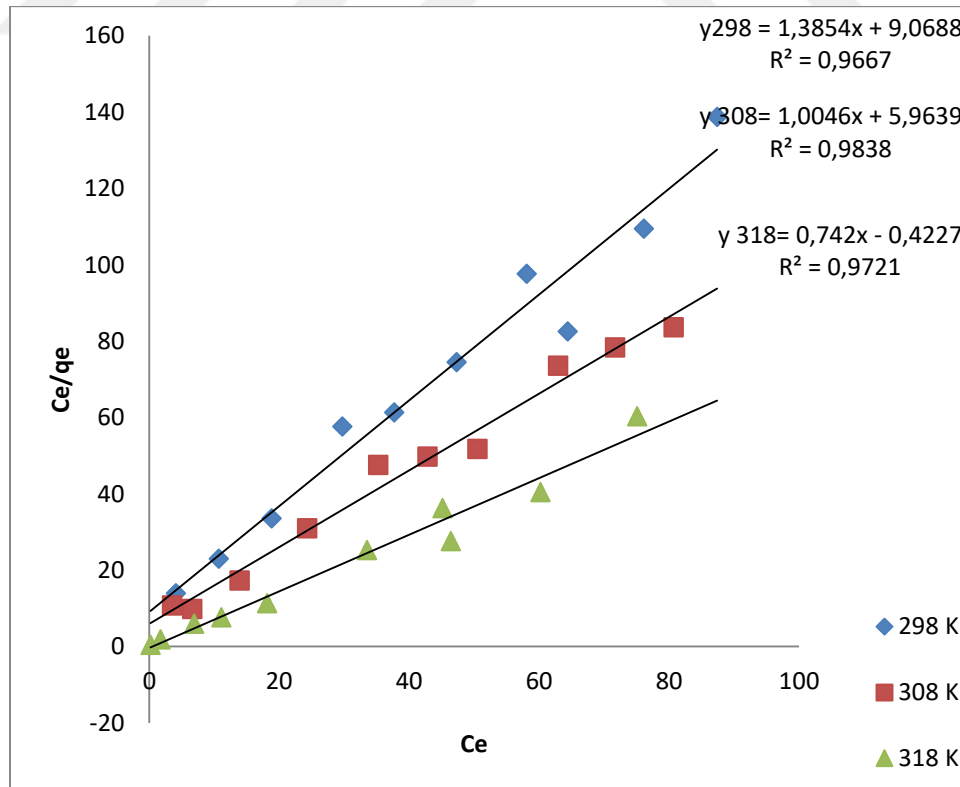
Şekil 4.83 318 K için Ni(II) nin kil üzerine Temkin izotermi



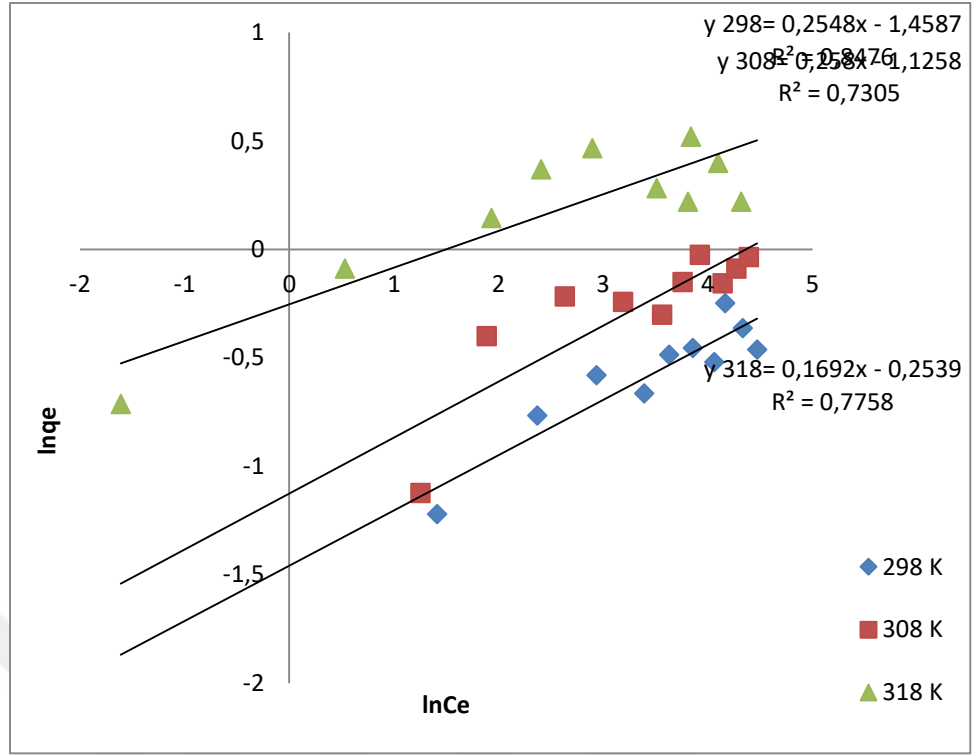
Şekil 4.84 318 K için Ni(II) nin kil üzerine D-R izotermi



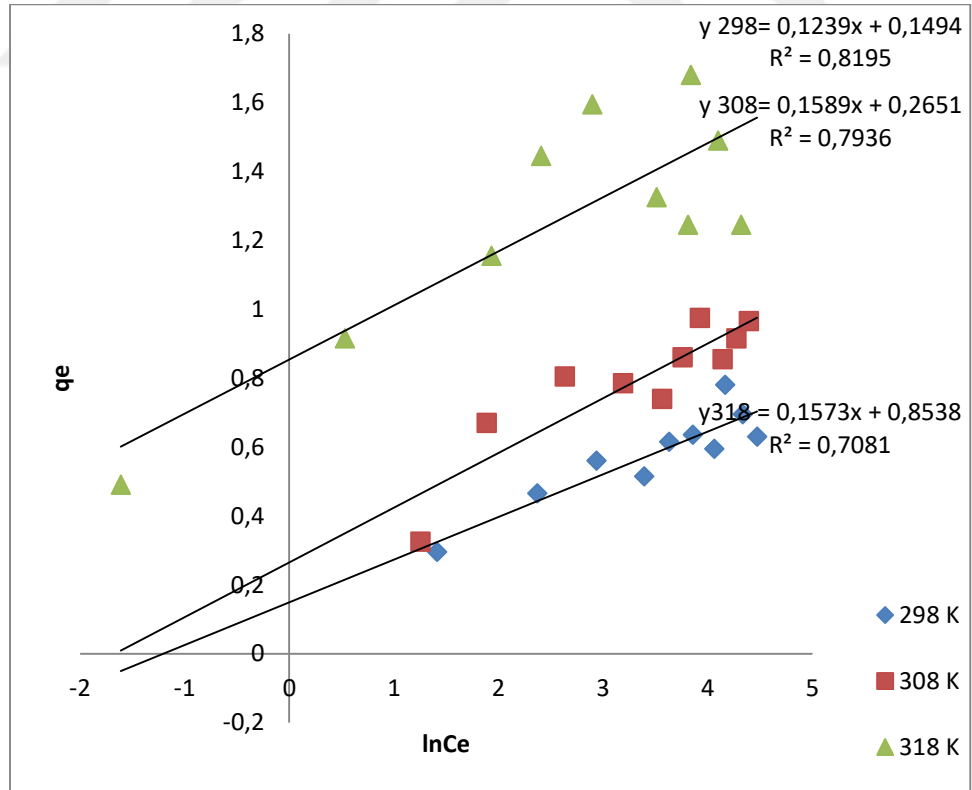
Şekil 4.85 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine adsorpsiyon izoterminin



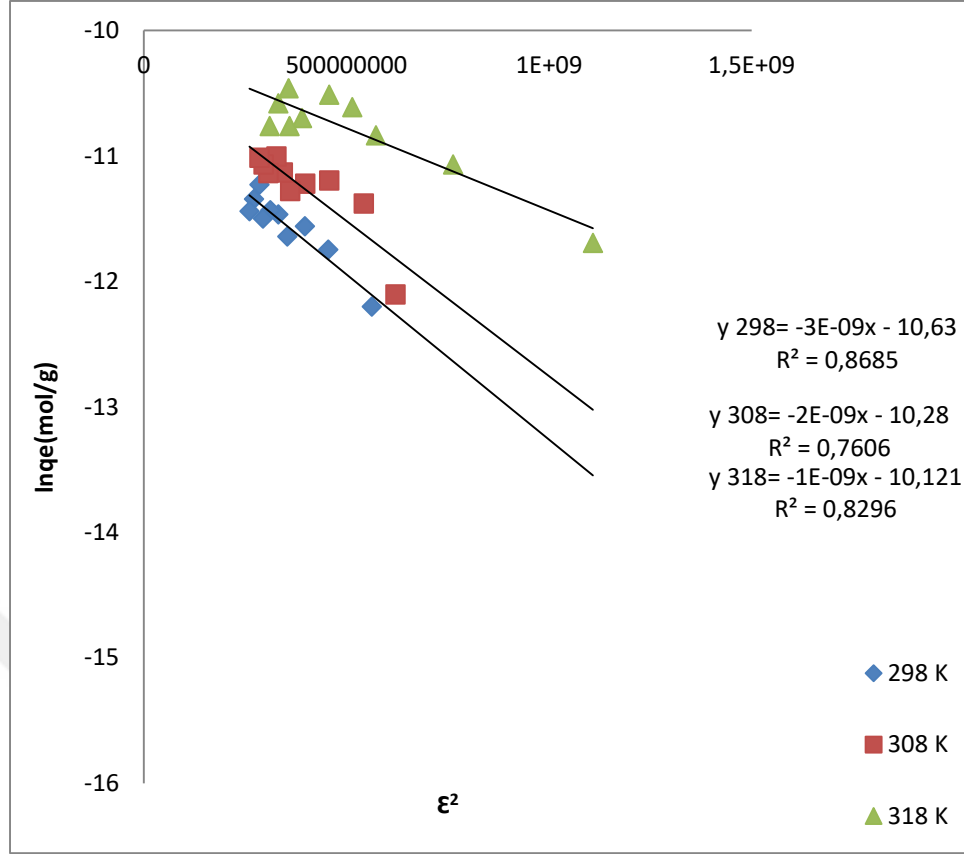
Şekil 4.86 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine Langmuir izoterminin



Şekil 4.87 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine Freundlich izotermi



Şekil 4.88 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine Temkin izotermi



Şekil 4.89 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin kil üzerine D-R izotermi

4.10 Termodinamik Verilerin Bulunması

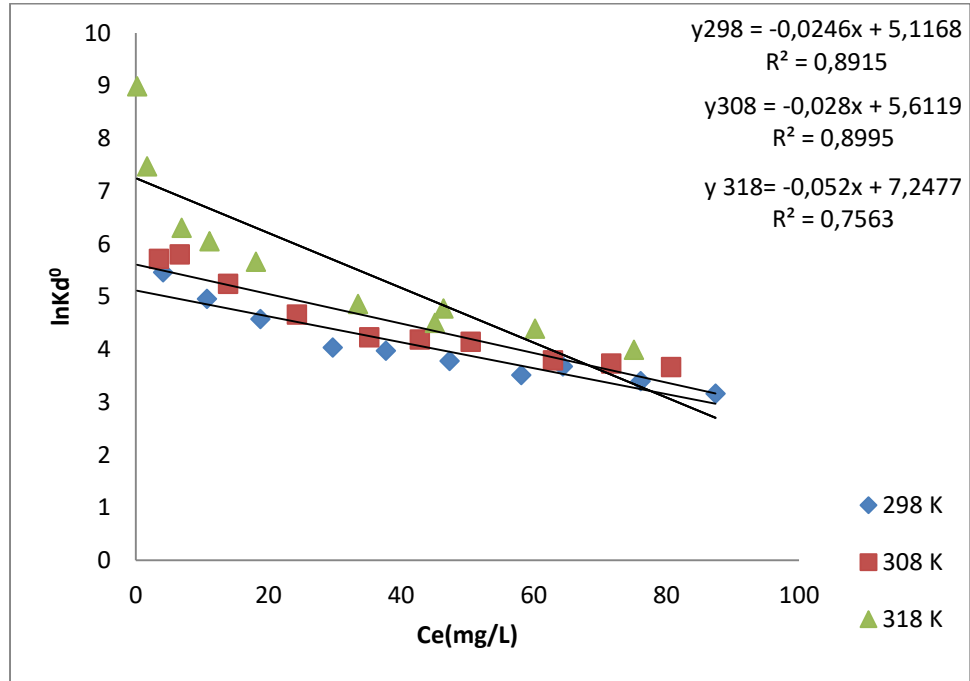
Ni(II) ve Cu(II) iyonlarının kil üzerindeki adsorpsiyonuna ilişkin veriler sırasıyla Tablo 4.10.1 ve Tablo 4.10.2 de gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Ni(II) iyonlarının Kil Adsorpsiyonundaki Termodinamik Veriler

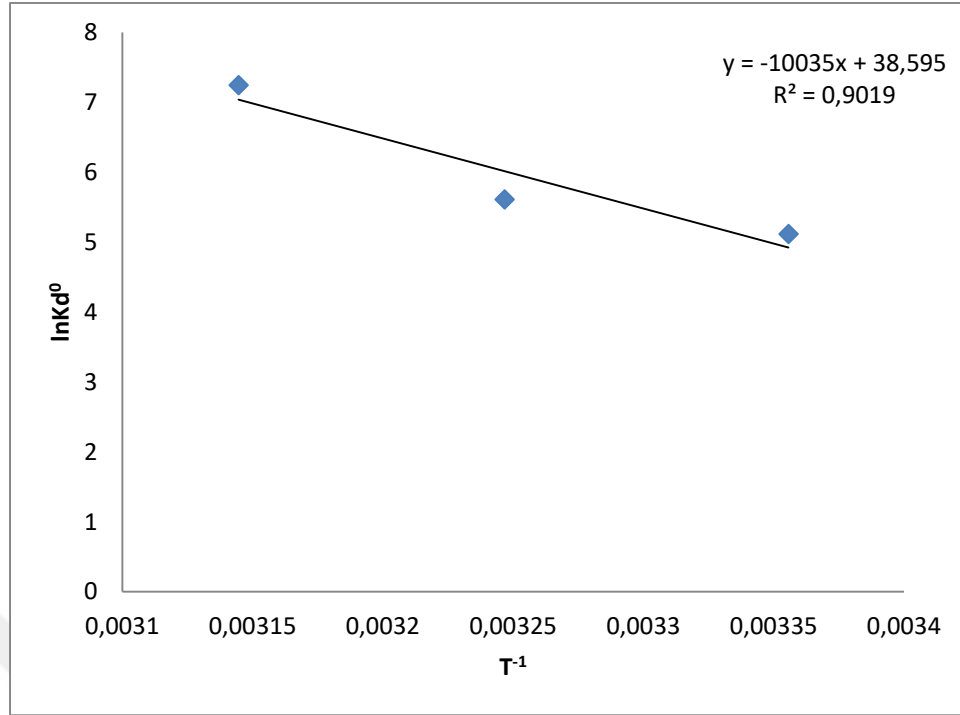
T (K)	q _e (mol/g)	C _e (mol/L)	K _d (q _e /C _e)	K _d ^o (K _d *58,6 9*55,5)	lnK _d ^o	ΔG (KJ/mol)	ΔH (KJ/mol)	ΔS (KJ/mol)
298	5,02612	6,98545	0,071951	3,993292	1,38	-12,23		
	E-06	E-05		683				
	7,92253	0,00018	0,043457	2,411915	0,88			
	E-06	2303	944	888				
	9,54111	0,00032	0,029787	1,653191	0,50			
	E-06	0309	234	489				
	8,77441	0,00050	0,017340	0,962373	-0,04			
	E-06	6019	067	737				
308	1,04782	0,00064	0,016312	0,905371	-0,09	-15,44	83,43	0,32
	E-05	2321	997	353				
	1,08189	0,00080	0,013424	0,745084	-0,29			
	E-05	5883	947	567				
	5,53725	5,96319	0,092857	5,153571	1,64			
	E-06	E-05	143	429				
	1,14153	0,00011	0,101515	5,634090	1,73			
	E-05	2449	152	909				
	1,37153	0,00023	0,057913	3,214208	1,17			
	E-05	6824	669	633				
	1,33746	0,00041	0,032304	1,792901	0,58			
	E-05	4016	527	235				
318	1,26079	0,00059	0,021022	1,166761	0,15	-18,65		
	E-05	9727	727	364				
	1,46524	0,00072	0,020093	1,115186	0,11			
	E-05	9213	458	916				
	1,66117	0,00086	0,019306	1,071534	0,07			
	E-05	0403	931	653				
	8,34847	3,40754	2,45	135,975	4,91			
	E-06	E-06						
	1,55895	2,89641	0,538235	29,87205	3,39			
	E-05	E-05	294	882				
	1,96785	0,00011	0,167391	9,290217	2,23			
	E-05	756	304	391				
318	2,46195	0,00018	0,130180	7,225	1,98			
	E-05	9118	18					
	2,71751	0,00030	0,088121	4,890745	1,59			
	E-05	8382	547	856				
	2,25749	0,00057	0,039552	2,195149	0,79			
	E-05	0763	239	254				
318	2,12119	0,00076	0,027605	1,532095	0,43			
	E-05	84	322	344				

Tablo 4.7 Cu (II) iyonlarının Kil Adsorpsiyonundaki Termodinamik Veriler

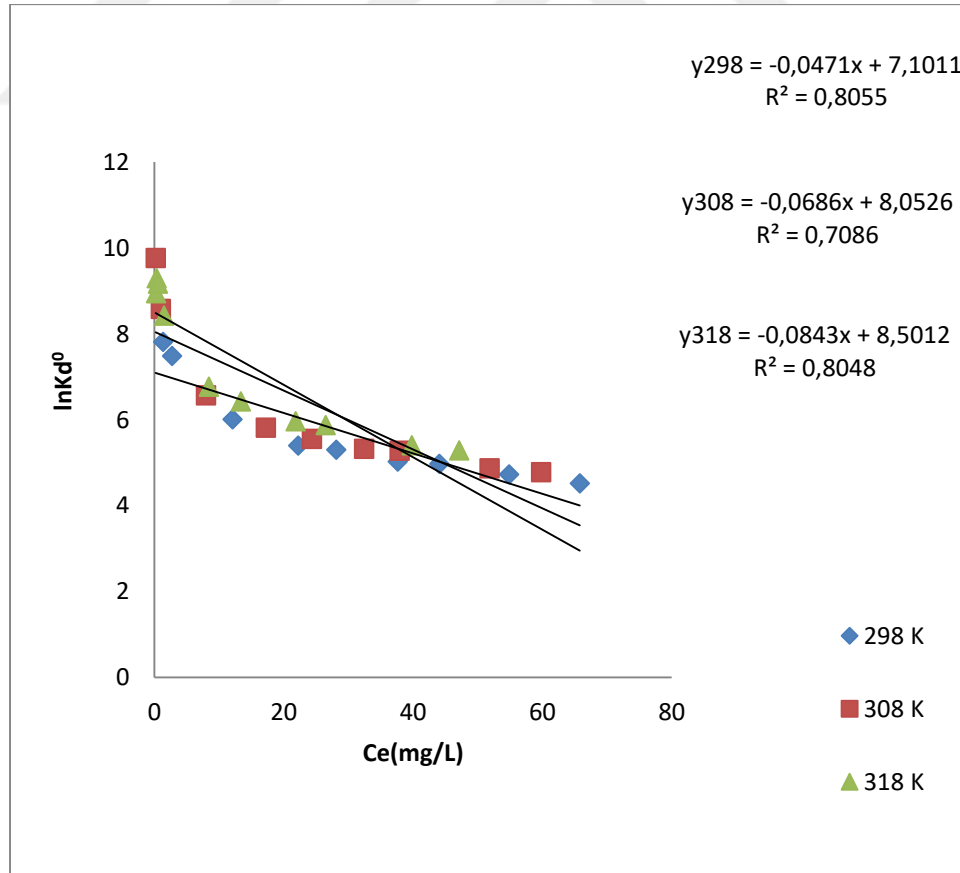
T (K)	q _e (mol/g)	C _e (mol/L)	K _d (qe/Ce)	K _d ⁰ (K _d *63,54*55,5)	lnK _d ⁰	ΔG (KJ/mol)	ΔH (KJ/mol)	ΔS (KJ/mol)
298	1,47E-05	2,09E-05	0,70188	2475,158	7,81	-17,66	55,35	0,245
	2,15E-05	4,27E-05	0,503506	1775,597	7,48			
	2,2E-05	0,00019	0,115563	407,5291	6,01			
	2,19E-05	0,000349	0,062663	220,9805	5,40			
	2,51E-05	0,000442	0,0568	200,302	5,30			
	2,55E-05	0,000592	0,04311	152,0257	5,02			
	2,83E-05	0,000693	0,040868	144,119	4,97			
308	1,56E-05	3,15E-06	4,95	17456,03	9,77	-20,11		
	2,29E-05	1,51E-05	1,512	5333,786	8,58			
	2,52E-05	0,000125	0,201	710,8388	6,57			
	2,58E-05	0,000271	0,095	335,6495	5,82			
	2,81E-05	0,000383	0,073	258,1492	5,55			
	2,96E-05	0,00051	0,058	204,3873	5,32			
	3,31E-05	0,000597	0,055	195,667	5,28			
318	7,69E-06	3,54E-06	2,172017	7659,553	8,94	-22,56		
	1,55E-05	5,02E-06	3,084505	10877,41	9,29			
	2,32E-05	8,51E-06	2,722386	9600,413	9,17			
	3,03E-05	2,35E-05	1,29126	4553,589	8,42			
	3,27E-05	0,000133	0,246818	870,3973	6,77			
	3,67E-05	0,00021	0,174871	616,6775	6,42			
	3,79E-05	0,000343	0,110459	389,5306	5,96			



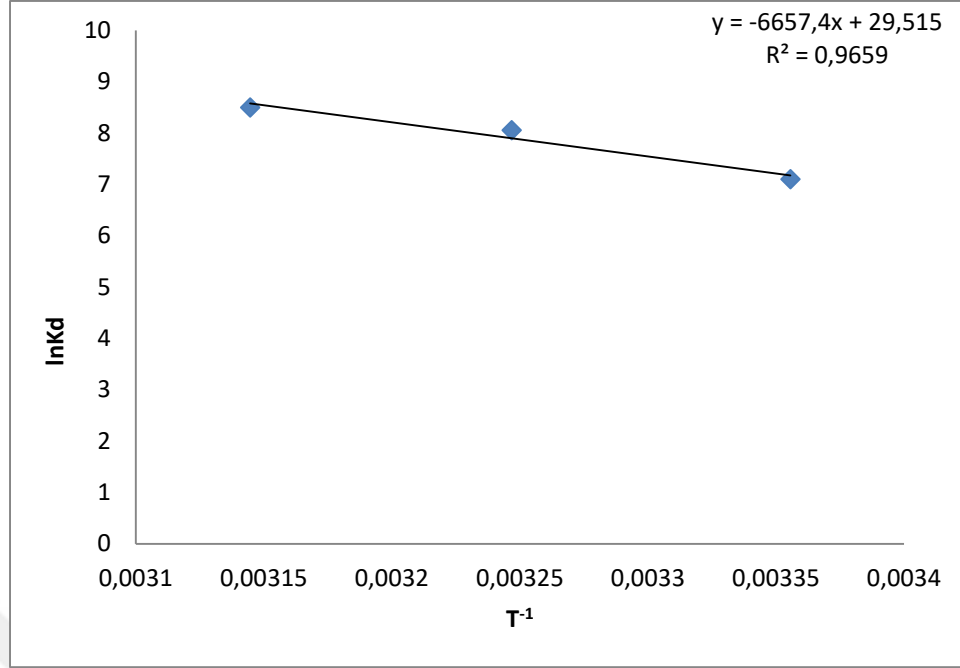
Şekil 4.90 Farklı üç sıcaklıkta Ni(II) nin lnKd grafiği



Şekil 4.91 Ni(II) için Van't Hoff grafiği



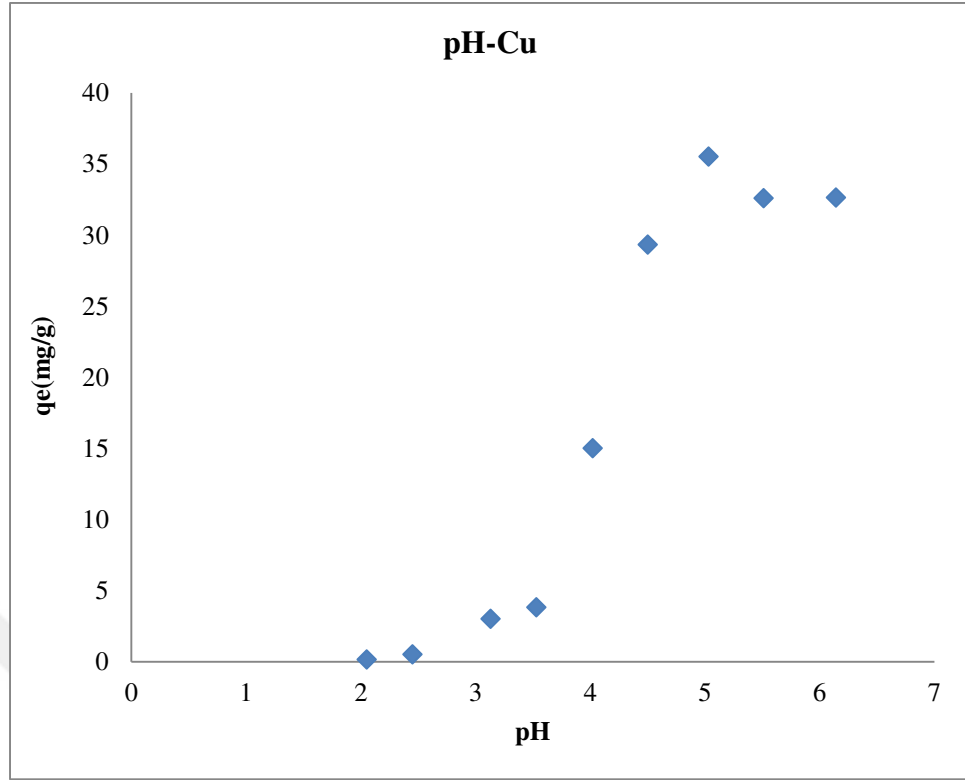
Şekil 4.92 Farklı üç sıcaklıkta Cu (II) nin $\ln K_d$ grafiği



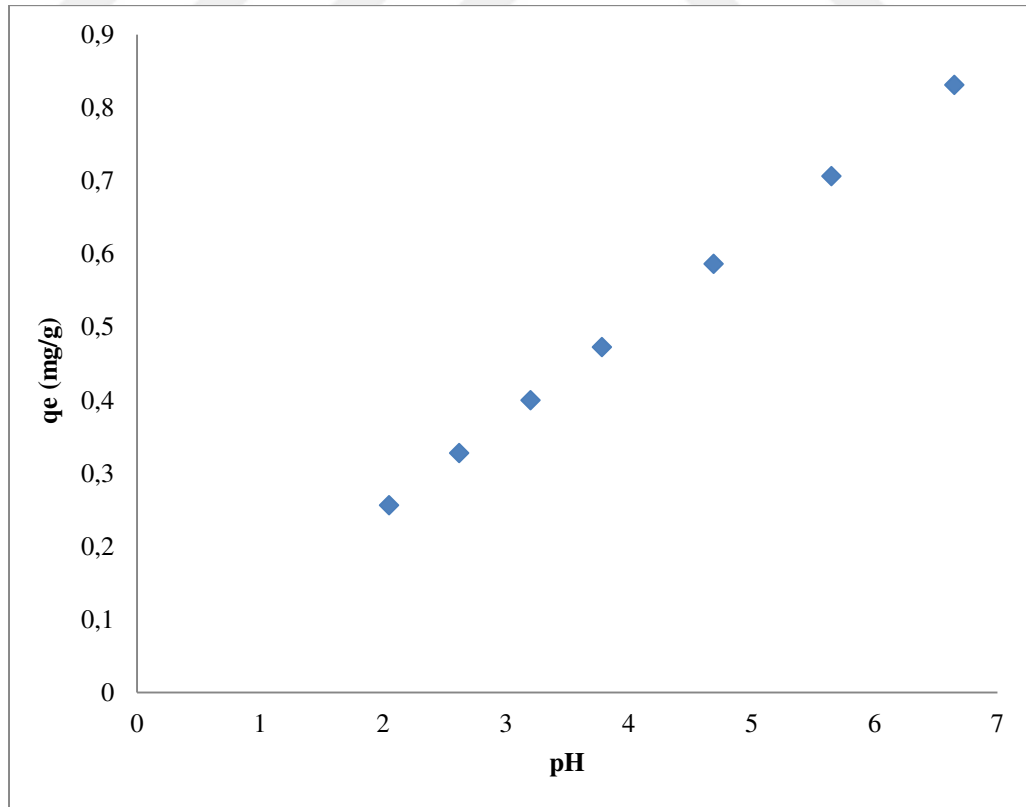
Şekil 4.93 Ni(II) için Van't Hoff grafiği

4.11. Adsorpsiyon Üzerine pH'nın Etkisi

pH 'ın adsorpsiyon üzerine etkisi ortamın H_3O^+ derişimine bağlıdır. Düşük pH'larda (yüksek H_3O^+ derişimlerinde) absorplayıcıdaki silan (Si-O⁻) grupları ile hidronyum reaksiyona girerken Si-OH oluştururken, yüksek pH'larda ise absorplayıcıda bulunan silan grupları ile metal iyonları reaksiyona girerek (Si-O-M, M:Ni, Cu) silan-metal kompleksini oluşturur..



Şekil 4.94 Cu (II) için pH grafiği



Şekil 4.95 Ni(II) için pH grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ni(II) ve Cu(II) iyonları ve doğal kil ile adsorpsiyonu sonucu; süre, sıcaklık, karıştırma hızı ve pH gibi adsorpsiyon parametrelerinin etkileri araştırıldı. İki ağır metal iyonunun adsorpsiyon sürecindeki optimum koşullar belirlenmiştir.

Çalışılan adsorbanın XRF, XRD ve BET analizleri yapılmıştır. Sulu çözeltiden Ni (II) ve Cu (II) iyonlarının doğal kil ile giderilmesi için izoterm ve kinetik çalışmalar ile termodinamik hesaplamalar yapıldı.

Kinetik için hız denklemleri göz önüne alındığında, her iki ağır metal iyonunun Pseudo Second Order (Ho-McKay) kinetik modeline daha çok uyduğu, R^2 değerlerinin ortalama 0,95 olduğu saptanmıştır. Doğal kil üzerindeki sulu çözeltiden Cu (II) ve Ni (II) iyonları için Langmuir izotermine uyduğu belirlenmiş olup, R^2 ortalama değerleri 0.99 olduğu saptanmıştır.

Doğal kilin adsorban olarak kullanıldığı deneylerde, kilin özgül yüzey alanı (BET), ; 8,611 m²/g belirlenmiştir.

Termodinamik hesaplamaların sonucuna göre, bakır ve nikel iyonlarının kil adsorpsiyonunda, $\Delta S_{ortalama}$ ve $\Delta H_{ortalama}$ değerleri ve 298K, 308K ve 318K sıcaklıkları için ΔG değerleri;

Cu (II) için, $\Delta H_o = 55.35$ k j/mol, $\Delta S_o = 0.245$ k j/mol ve $\Delta G_{298} = -17.66$ kJ/mol, $\Delta G_{308} = -20.11$ kJ/mol, $\Delta G_{318} = -22.56$ kJ/mol,

Ni (II) için, $\Delta H_o = 83.43$ k j/mol, $\Delta S_o = 0.32$ k j/mol ve $\Delta G_{298} = -12.23$ kJ/mol, $\Delta G_{308} = -15.44$ kJ/mol, $\Delta G_{318} = -18.65$ kJ/mol,

Termodinamik verilere göre, ΔH_o değerleri her iki iyonda da pozitif olduğu için reaksiyonlar endotermiktir.

ΔG değerlerinin ise negatif olması olayın kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. Sulu zeltiden doğal kil kullanılarak, Nikel ve Bakır adsorpsiyonunun yüksek sıcaklıklarda daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

Adsorpsiyon sürecinde optimum pH değerinin her iki iyon içinde 6.0 ‘ninzerinde olduğu tespit edilmiştir. Derişim artınca adsorplanan madde miktarının da giderek arttığı tespit edildi.

Adsorpsiyon 100 ve 120 dk arasında dengeye geldiği tespit edildi. evre açısından oldukça zararlı olan ağır metal içerikli atıklarınzellikle sulardan uzaklaştırılabilmesi yönünden adsorpsiyon işlemi etkili yöntemlerden biridir.

Adsorban olarak ise doğal kilin pahalı olmaması, temininin kolay olması ve miktarca bol bulunmasının yanı sıra adsorpsiyon kapasitesinin de yüksek olmasına bağlı olarak, endüstriyel alanda atık suların temizlenmesinde (zellikle Cu (II) ve Ni(II) içeren) bir adsorban olarak talk ve yöntem olarak da adsorpsiyon yönteminin kullanılması tavsiye edilebilir.

KAYNAKLAR

- Bartczak P., ve ark., 2018, Removal of Nickel(II) and lead(II) ions from aqueous solutions using peat as a low-cost adsorbent: A kinetic and equilibrium study, *Arabian Journal of Chemistry*, 11, 1209-1222.
- Bennour Hamdi A.M., 2017, Effect of Acid Activation on Adsorption of Iron and Manganese Using Libyan Bentonitic Clay, *Chemical Science Transactions*, 6(2), 209-218.
- Cempel M. And Nickel G. 2006, Nickel: A Review of its Sources and Environmental Toxicology, *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(3), 375-382.
- Da Fonseca M.G., de Oliveira M.M., Arakaki Luzia N.H., 2006, Removal of cadmium, zinc, manganese and chromium cations from aqueous solution by a clay mineral, *Journal of Hazardous Materials*, B137, 288-292.
- Dada A.O. ve ark., 2012, Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich Isotherm Studies of Equilibrium Sorption of Zn²⁺ onto Phosphoric Acid Modified Rice Husk, *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 3(1), 38-45
- Dal, M.C., 2019. " Cu(II), Ni(II) ve Co(II)'nin Karacadağ Skoryası ile Adsorpsiyonunun İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Analizi", Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Diyarbakır.
- Dikmen S. ve ark., (2020), Adsorption behaviour of ionic and non-ionic surfactants onto talc a naturally hydrophobic mineral-a competitive study, *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Science and Engineering*, 21, 139-152.
- Dubinin M.M, and Radushkevich, L. V., 1947. *Proc. Acad. Sci. USSR*, 55, 331.
- Ferrage E., ve ark., 2003, Evaluation of talc morphology using FTIR and H/D Substitution, *Clay Minerals*, 138, 141-150.
- Gupta S. S., Bhattacharyya K. G., 2006, Adsorption of Ni(II) on Clays, *Journal of Colloid and Interface Science*, 295, 21-32.
- Gupta S. S., Bhattacharyya K.G., 2009, Treatment of water contaminated with Pb(II) and Cd(II) by adsorption on kaolinite, montmorillonite, and their acid-modified forms, *Indian Journal of Chemical Technology*, 16, 457-470.
- Hamudoğlu R., Dinçsoy A. B., Cansaran-Duman A., Aras., 2012, Biosorption, adsorption, phytoremediation methods and applications, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4), 235-253.
- Hassouna MeM., Shaban M., Nassif FM., 2014 Removal of iron and manganese from groundwater using kaolin sub micro powder and its modified forms, *International Journal of Bioassay*, 3717-3745.
- Ho, Y. S. and McKay, G. 1999. Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochem.*, 34, 451-465.
- Jiang Ming-qin ve ark., 2010, Adsorption of Pb(II), Cd(II), Ni(II) and Cu(II) onto natural kaolinite clay, *Desalination*, 252, 33-39.

- Kursun H. ve Ulusoy U., 2006, Influence of sharp characteristic of talc mineral on the column flotation behavior, *International Journal of Mineral Processing*, 78, 262-268.
- Osman M.E. ve ark., 2014, Peanut shells and talc powder for removal of hexavalent chromium from aqueous solutions, *Bulgarian Chemical Communications*, 46(3), 629-639.
- Onursal, N., 2019. " Bazı Ağır Metal İyonlarının Doğal ve Modifiye Edilmiş Kil Mineralleri (Siirt/Kurtalan) Üzerindeki Adsorpsiyonunun İzoterm Kinetik ve Termodinamik Analizi", Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Van
- Raval N.P., Shah P.U., Shah N.K., 2016, Adsorptive removal of nickel (II) ions from aqueous environment: A review, *Journal of Environmental Management*, 179, 1-20.
- Temkin M.J., Pyzhev V., 1940 Recent modifications to Langmuir isotherms, *Acta Physicochim USSR*, 12, 217-222.
- Uddin, M. K. (2017). A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, 308, 438-462.
- Yavuz, Ö., Altunkaynak, Y. ve Güzel, F., 2003. Removal of Copper, Nickel, Cobalt and Manganese from Aqueous Solution by Kaolinite, *Water Research*, 37, 948–952.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad Buldağ, Emine

Web sayfası
(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü	
Lisans	Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü	
Lise		

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev

Yabancı Dil

--

Yayınlar

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Özel İlgiler

--

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Emine Buldağ		
Öğrenci No	19803502		
Ana Bilim Dalı	Kimya Ana Bilim Dalı		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☐	Doktora X ☒
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Ömer Yavuz		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Ağır metal iyonlarının doğal kil mineralleri (Diyarbakır/Kulp) üzerindeki adsorpsiyonunun izoterm, kinetik ve termodinamik analizi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	83		
Raporlama Tarihi	11/07/2023		
Benzerlik Oranı (%)	% 23		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 83 sayfalık kısmına ilişkin 11/07/2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 23 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐ Kaynaklar hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☒ Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Emine Buldağ

Tarih: 12/07/2023

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Ömer Yavuz

İmza:

Tarih: 12/07/2023

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof.

İmza:

Dr. Berrin Ziyadanoğulları

Tarih: 12/07/2023

