

T.C.
DICLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİTOSAN/KİL KOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ,
KARAKTERİZASYONU ve Cu(II) ADSORPSİYONUNDA
KULLANIMI**

Osman TEKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR

HAZİRAN 2011

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Osman TEKTAŞ tarafından yapılan “Çitosan/Kil Kompozitlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Cu(II) Adsorpsiyonunda Kullanımı” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fuat GÜZEL

Üye : Doç. Dr. Haluk AYDIN

Üye (Danışman): Doç. Dr. Yasemin BULUT

Üye (Yedek) : Doç. Dr. Zübeyde BAYSAL

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 30/06/2011

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

30/06/2011

Prof. Dr.Hamdi TEMEL

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Öncelikle Yüksek Lisans tez çalışmamın bütün aşamasında bana her türlü desteği veren sayın danışman hocam Doç. Dr. Yasemin BULUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam esnasında analiz çalışmalarımı yaparak bana sürekli vakit ayıran Dr. İbrahim DOLAK'a teşekkür ederim.

Tezimi hazırlarken yakın ilgi ve desteğini gördüğüm Yrd. Doç. Dr. Hacı BAYKARA'ya ve Arş. Gör. Ahmet YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımı yürütebilmek için ihtiyaç duyduğum imkanları sağlayan Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Başkanlığı'na, Fizikokimya Anabilim Dalı Başkanlığı'na ve 09FF49 no'lu araştırma projeme kaynak sağlayan Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman yanımda olarak maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Mehtap TEKTAŞ'a ve hayatıma yeni girerek renk katan oğlum Mem Rubar'a yürekten teşekkür ederim.

Osman TEKTAŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
KISALTMA VE SİMGELER	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Çevre Kirliliği.....	3
2.2. Su ve Su Kirliliği.....	4
2.3. Ağır Metaller.....	8
2.3.1. Ağır Metallerin Biyokimyasal Özellikleri.....	9
2.3.2. Ağır Metallerin Canlılar Üzerindeki Etkileri.....	10
2.4. Adsorpsiyon Hakkında Genel Bilgiler.....	14
2.4.1. Giriş.....	14
2.4.2. Adsorpsiyon Termodinamiği.....	16
2.4.3. Adsorpsiyon Dengesi.....	17
2.4.4. Adsorpsiyon İzotermi.....	17
2.4.4.1. Langmuir İzoterm Denklemi.....	20
2.4.4.2. Freundlich İzoterm Denklemi.....	22
2.4.4.3. Brunauer, Emmett ve Teller İzoterm Denklemi.....	24
2.4.5. Çözünmüş Maddelerin Katılar Tarafından Adsorpsiyonu	24
2.4.6. Adsorplanan Madde	26
2.4.7. Adsorplayıcı Katılar	27
2.4.7.1. Çitosan.....	27
2.4.7.2. Bentonit.....	29
2.4.7.3. Polimerler.....	31
2.4.7.4. Kompozit Maddeler.....	36
2.5. Önceki Çalışmalar.....	38
3. METARYAL VE METOT	41
3.1. Deneysel Kısım.....	41
3.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler	41
3.3. Kullanılan Alet ve Cihazlar	41
3.4. Kullanılan Adsorplayıcılar ve Hazırlanması	41
3.5. Kinetik Çalışmalar.....	42
3.5.1. Başlangıç Derişimi Etkisi.....	42
3.5.2. Sıcaklık Etkisi.....	42
3.5.3. Hız etkisi.....	43
3.5.4. Adsorpsiyon Hız Sabitlerinin Hesaplanması.....	43
3.6. Termodinamik Hesaplamalar.....	44
3.7. Adsorpsiyon İzoterm Çalışmaları.....	45
3.8. Adsorbent Dozu Etkisi.....	46
3.9. pH Etkisi.....	46
3.10. Desorpsiyon Çalışmaları.....	46
3.11. Metal İyonlarının Adsorpsiyon Rekabeti.....	46
3.12. Adsorplayıcıların Karakterizasyonu.....	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	48
4.1. Çizelge ve Şekiller.....	48
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	103
5.1. Kinetik Çalışmaların Değerlendirilmesi.....	103

5.2.	Adsorpsiyon İzoterm Çalışmaların Değerlendirilmesi.....	105
5.3.	Adsorbent Dozu Etkisinin Değerlendirilmesi.....	106
5.4.	pH Etkisinin Değerlendirilmesi.....	107
5.5.	Metal İyonlarının Adsorpsiyon Rekabetinin Değerlenmesi.....	107
5.6.	IR Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	107
5.7.	SEM Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	108
6.	KAYNAKLAR	109
	ÖZGEÇMİŞ	119

ÖZET

ÇİTOSAN/KİL KOMPOZİTLERİNİN SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE Cu (II) ADSORPSİYONUNDA KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OSMAN TEKTAŞ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

2011

Bu çalışmada, sulu ortamdan Cu(II) iyonlarının giderilmesi için ülkemizde yaygın olarak bulunan bentonit kili ve doğada selülozdan sonra en bol olan kitinden elde edilen çitosan biyopolimeri ve bu iki doğal adsorplayıcıdan hazırlanmış olan kompozit maddeler kullanıldı.

Çitosanın yapısında bulunan hidroksil (-OH) ve amino (-NH₂) grupları ağır metallerle bağ yapabilme potansiyeline sahip olmasını sağlar. Çitosanın saf halinin adsorplayıcı olarak kullanılması düşük yoğunluk ve yüzey alan, yüksek maliyet, mekanik ve kimyasal olarak zayıf özellikler gibi olumsuzluklar oluşturur. Çitosanın mekanik gücünün geliştirilmesi, kuvvetli asitlerde çözünmemesi bunun yanında adsorpsiyon özelliklerinin de artırılması için çitosan temelli kompozitler yapılmıştır.

Killer, adsorpsiyon çalışmalarında genelde sık kullanılmakla beraber pratik kullanımlarda agregasyon ve koagülasyon gibi hidrodinamik özellikleri etkileyen olumsuzluklar ile karşılaşılır. Bu olumsuzluklar killerin polimerler ile oluşturabilecekleri kompozitlerin kullanımı ile giderilebilir. Özellikle çitosan/kil kompozitleri ağır metal giderilmesinde test edilmiş ve birçok çalışmada kullanılmıştır.

Bu çalışmada, çitosan/bentonit kompoziti sentezlenerek sulu çözülden Cu(II) adsorpsiyonunda kullanıldı. Adsorpsiyon üzerine sıcaklık, başlangıç konsantrasyonu, pH ve hızın etkisi incelendi. Ayrıca adsorpsiyon rekabeti çalışmaları yapıldı. Kinetik veriler psödo first, psödo second, Weber-Morris ve gözenek difüzyon modellerinde değerlendirilerek hız sabitleri bulundu. Langmuir ve Freunlich adsorpsiyon modelleri kullanılarak adsorpsiyon dengesi incelenerek bu modellere ait sabitler hesaplandı. Ayrıca IR ve SEM incelemeleri yapılarak adsorplayıcıların karakterizasyonu yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Çitosan, Bentonit, Kompozit, Adsorpsiyon, Kinetik, Bakır

ABSTRACT

CHITOSAN/CLAY COMPOSITES SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND Cu (II) ADSORPTION USE

MSc THESIS

OSMAN TEKTAŞ

DEPARTMENT OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DİCLE UNIVERSITY

In this study, bentonite clay that is commonly available in our country to remove the Cu (II) ion from the aqueous solution and chitosan bio-polymer that is obtained from chitin which is the second commoner after the cellulose in nature, and the composite materials that are made up of these two natural adsorbents were used.

Chitosan contains reactive hydroxyl ($-OH$) groups and amino ($-NH_2$) groups that have the potential to bind heavy metals. However, using pure chitosan as an adsorbent has several disadvantages such as low surface area, low specific gravity, high cost, and weak chemical and mechanical properties. Composites based on chitosan were constructed to develop chitosan's mechanical power, not to solve the strong acid, and to raise the qualities of adsorption.

Clays have been used often in adsorption studies but in practically studies clays show some negative effects on hydrodynamic properties such as aggregation and coagulation. These negative effects can be removed by using the composites which polymers combining with clays. Particularly, chitosan/clay composites have been tested in removing the heavy metals and used in most studies.

In this study, chitosan/bentonite composite synthesized and used to adsorption Cu (II) from aqueous solution. The effect of temperature, the initial metal concentration, pH, and velocity on adsorption was investigated. Moreover, some studies on the adsorption competition were performed. Velocity constants were found by interpreting the kinetic data on pseudo first, pseudo second, Weber- Morris and pore diffusion models. By using Langmuir and Freundlich adsorption models and analyzing adsorption balance, constants, relating to these models were calculated. Furthermore, by IR and SEM analysis, the characterization of adsorbents were carried out.

Anahtar Kelimeler: Chitosan, Bentonite, Composite, Adsorption, Kinetic, Copper

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1.	Bölgesel su kaynaklarının sınıflarına göre genel kalite kriterleri.....	7
Çizelge 2.2.	Atıksuların atıksu alt yapı tesislerine bırakılmasında öngörülen standartlar	8
Çizelge 2.3.	Biyolojik sistemdeki bazı metallerin fonksiyonları ve toksikliği.....	11
Çizelge 2.4.	Bakırın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	12
Çizelge 2.5.	Bazı endüstriyel atıksuların içerdiği Cu(II) iyon derişimleri.....	13
Çizelge 4.1.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonunun farklı başlangıç derişimlerindeki kinetik verileri.....	48
Çizelge 4.2.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonunun farklı sıcaklıklardaki kinetik verileri.....	49
Çizelge 4.3.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonunun farklı hızlardaki kinetik verileri.....	50
Çizelge 4.4.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği psödo-birinci ve psödo-ikinci merteye verileri (Farklı başlangıç derişimlerinde).....	51
Çizelge 4.5.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği gözenek difüzyon katsayısı ve parçacık içi kütle transfer katsayısı hesaplama verileri (Farklı başlangıç derişimlerinde).....	52
Çizelge 4.6.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde farklı başlangıç derişimlerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri.....	53
Çizelge 4.7.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği psödo-birinci ve psödo-ikinci merteye verileri (Farklı sıcaklıklarda)	54
Çizelge 4.8.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği gözenek difüzyon katsayısı ve parçacık içi kütle transfer katsayısı hesaplama verileri (Farklı sıcaklıklarda).....	55
Çizelge 4.9.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri.....	56
Çizelge 4.10.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği psödo-birinci ve psödo-ikinci merteye verileri (Farklı hızlarda).....	57
Çizelge 4.11.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği gözenek difüzyon katsayısı ve parçacık içi kütle transfer katsayısı hesaplama verileri (Farklı hızlarda).....	58
Çizelge 4.12.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri	59
Çizelge 4.13.	Farklı adsorplayıcılar üzerinde Cu(II) iyonlarının iyonlarının adsorpsiyon izoterm verileri.....	60
Çizelge 4.14.	Farklı adsorplayıcılar üzerinde Cu(II) iyonlarının adsorpsiyon izotermelerinin Langmuir tipi çizgisel verileri.....	61
Çizelge 4.15.	Farklı adsorplayıcılar üzerinde Cu(II) iyonlarının iyonlarının adsorpsiyon izotermelerinin Freundlich tipi çizgisel verileri.....	62
Çizelge 4.16.	Farklı adsorplayıcılar üzerinde Cu(II) iyonlarının adsorpsiyon izoterm sabitleri.....	63
Çizelge 4.17.	Farklı adsorplayıcıların Cu(II) adsorpsiyonunda E_a (aktivasyon) enerjisi değerleri	64
Çizelge 4.18.	Farklı adsorplayıcıların Cu(II) adsorpsiyonu termodinamik parametreleri	64
Çizelge 4.18.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonunda adsorplayıcı kütle etkisi.....	65
Çizelge 4.19.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonuna pH etkisi.....	65
Çizelge 4.20.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde desorpsiyon verileri.....	65
Çizelge 4.21.	Metal iyonlarının adsorpsiyon rekabeti ikili metal karışımları.....	66

Çizelge 4.22. Metal iyonlarının adsorpsiyon rekabeti üçlü metal karışımları.....	66
---	----

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.4.1.	Adsorpsiyon izotermelerinin 6 karakteristik tipi.....	18
Şekil 2.4.2.	Langmuir çizgisel izotermi.....	21
Şekil 2.4.3.	Freundlich izoterminin grafiksel görüntüsü.....	23
Şekil 2.4.4.	Giles adsorpsiyon sınıflandırması.....	25
Şekil 2.4.5.	Çitosanın moleküler yapısı.....	28
Şekil 2.4.6.	Çitosanın polimer zincir yapısı.....	29
Şekil 2.4.7.	Silikat ve alümina tabakalarının tetrahedral ve oktahedral yapıları.....	30
Şekil 2.4.8.	Bentonit TOT yapısı.....	31
Şekil 2.4.9.	Bazı katılma polimerleri.....	35
Şekil 2.4.10.	Selülozun yapısı.....	36
Şekil 2.4.11.	Farklı tip kompozitlerin oluşumu.....	37
Şekil 4.1.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde başlangıç konsantrasyonu 25 mg/L olan adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	67
Şekil 4.2.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	68
Şekil 4.3.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde başlangıç konsantrasyonu 100 mg/L olan adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	69
Şekil 4.4.	Cu(II) iyonlarının Ç üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	70
Şekil 4.5.	Cu(II) iyonlarının K üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	71
Şekil 4.6.	Cu(II) iyonlarının ÇK kompoziti üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	72
Şekil 4.7.	Cu(II) iyonlarının ÇÇK kompoziti üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	73
Şekil 4.8.	Cu(II) iyonlarının Ç üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	74
Şekil 4.9.	Cu(II) iyonlarının K üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	75
Şekil 4.10.	Cu(II) iyonlarının ÇK kompoziti üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	76
Şekil 4.11.	Cu(II) iyonlarının ÇÇK kompoziti üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri.....	77
Şekil 4.12.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo birinci merteye çizimleri.....	78
Şekil 4.13.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo ikinci merteye çizimleri.....	79
Şekil 4.14.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri	80
Şekil 4.15.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri	81
Şekil 4.16.	Cu(II) iyonlarının farklı sıcaklık ve adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo birinci merteye çizimleri.....	82
Şekil 4.17.	Cu(II) iyonlarının farklı sıcaklık adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo ikinci merteye çizimleri	83
Şekil 4.18.	Cu(II) iyonlarının farklı sıcaklık adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri	84
Şekil 4.19.	Cu(II) iyonlarının farklı sıcaklık adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri	85

Şekil 4.20.	Cu(II) iyonlarının farklı hız ve adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo birinci mertbe çizimleri.....	86
Şekil 4.21.	Cu(II) iyonlarının farklı hız ve adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo ikinci mertbe çizimleri	87
Şekil 4.22.	Cu(II) iyonlarının farklı hız ve adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri	88
Şekil 4.23.	Cu(II) iyonlarının farklı hız ve adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri	89
Şekil 4.24.	Cu(II) iyonlarının Ç üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon izoterm eğrileri.....	90
Şekil 4.25.	Cu(II) iyonlarının K üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon izoterm eğrileri.....	90
Şekil 4.26.	Cu(II) iyonlarının ÇK üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon izoterm eğrileri.....	91
Şekil 4.27.	Cu(II) iyonlarının ÇÇK üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon izoterm eğrileri.....	91
Şekil 4.28.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon izotermelerinin Langmuir tipi çizgisel halleri.....	92
Şekil 4.29.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon izotermelerinin Freundlich tipi çizgisel halleri.....	93
Şekil 4.30.	Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorplayıcı kütle etkisi.....	94
Şekil 4.31.	Farklı adsorplayıcıların Cu(II) adsorpsiyonunda Arrhenius denkleminin çizgisel çizimi	95
Şekil 4.32.	Farklı adsorplayıcıların Cu(II) adsorpsiyonunda $\Delta G-T$ çizimleri	95
Şekil 4.33.	Çitosan ve kilin saf ve Cu(II) adsorplamış hallerinin IR analizleri.....	96
Şekil 4.34.	ÇK ve ÇÇK kompozitlerinin saf ve Cu(II) adsorplamış hallerinin IR analizleri.....	97
Şekil 4.35.	ÇK ve ÇÇK kompozitlerinin IR analizleri.....	98
Şekil 4.36.	Çitosanın SEM analizleri a) Çitosan, b) Çitosan-Cu(II).....	99
Şekil 4.37.	Kilin SEM analizleri a) Kil b) Kil-Cu(II).....	100
Şekil 4.38.	ÇK'ın SEM analizleri a) ÇK, b) ÇK-Cu(II).....	101
Şekil 4.39.	ÇÇK'ın SEM analizleri a) ÇÇK, b) ÇÇK-Cu(II).....	102

KISALTMA VE SİMGELER

AAS	: Atomik absorpsiyon spektrofotometresi
b	: Langmuir sabiti
BET	: Yüzey alanı ölçümü
C_d	: Denge metal iyonu derişimi (mg/L)
C_o	: Başlangıç metal iyonu derişimi (mg/L)
C_t	: t anındaki metal iyonu konsantrasyonu (mg/L)
Ç	: Çitosan
ÇÇK	: Çaprazbağlı çitosan bentonit kompoziti
ÇK	: Çitosan bentonit kompoziti
IR	: İnfrared spektrofotometresi
K	: Bentonit kili
K_f	: Freundlich sabiti
k_{gd}	: Gözenek difüzyon hız sabiti
k_{pb}	: Psödo birinci mertebe adsorpsiyon hız sabiti (sa^{-1})
k_{pi}	: Psödo ikinci mertebe adsorpsiyon hız sabiti ($g/mg sa$)
k_{pik}	: Parçacık içi kütle difüzyon hız sabiti
MBA	: Metilen bisakrilamit
n	: Freundlich sabiti
pm	: Pikometre
q	: 1 gram adsorplayıcı tarafından adsorplanan miktar (mg/g)
q_d	: Denge anında 1 g adsorplayıcı üzerinde adsorplanan metal iyonu miktarı (mg/g)
q_m	: Tek tabaka kapasitesi
q_t	: t anında 1 g adsorplayıcı üzerinde adsorplanan metal iyonu miktarı (mg/g)
SEM	: Taramalı elektron mikroskopi

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli olarak artması, teknolojik gelişmelerin yenilenmesine ve endüstriyel faaliyetlerin artmasına neden olmuştur. Endüstrilerin üretimlerini hızla artırmaları da su, hava ve toprak kirliliğine yol açmaktadır (Yılmaz 2007). Gerek endüstriyel gerekse evsel kaynaklı kirleticilerle doğaya çok yönlü zararlar verilmektedir. Uzun süre boyunca endüstriyel atıklar ve kimyasal maddelerle kirlenmiş olan suyun, tekrar doğal su ortamlarına verilmesi su kalitesinin bozulmasına neden olmuştur (Wan Ngah ve Fatinathan 2008).

Su kirliliğine neden olan başlıca atıklar ağır metaller, boyalar ve organik maddelerdir (Unuabonah ve ark. 2010). Bu kirleticilerin içinde ağır metaller önemli bir yere sahiptir. Atık sulardaki ağır metal varlığı, ağır metallerin yüksek derecede toksik ve biyolojik olarak bozunmama gibi özelliklerinden dolayı canlılar ve çevre için büyük bir problem oluşturmaktadır. Canlı vücuduna alınabilecek çok az miktarları bile zehirlenmelere hatta ölümlere sebep olabilir.

Atık sulardaki ağır metal kaynağı olarak maden, tekstil, boya endüstrileri, elektronik cihaz üretim fabrikaları, temizleme ve kaplama tesisleri, bataryalar, gübre ve korozyon sayılabilir (Tok 2009, Dragan ve ark. 2010).

Endüstriyel atık suları ve içme sularından ağır metal giderilmesi zor bir işlem olduğundan önemli kaygılar doğurur. Çünkü bu metaller eser miktarda bile doğal organik maddelerle kompleks yapı oluşturabilir ve çok düşük konsantrasyonlarda kuvvetli toksik etki gösterebilirler. Kirli suyun arıtılmasında, fizikokimyasal prosesler, filtrasyon, kimyasal çöktürme, iyon değiştirme, adsorpsiyon, elektriksel biriktirme ve membran sistemleri gibi metotlar yaygınca kullanılan teknolojiler arasındadır. Bu metotlar ağır metal giderilmesinde belirgin kısıtlama ve maliyet gibi dezavantajlarının yanı sıra düşük metal konsantrasyonu varlığında etkisizdirler.

Fizikokimyasal arındırma sistemleri arasında alternatif bir teknoloji olan adsorpsiyon oldukça etkili, ucuz ve kolay bir metottur. Son yıllarda adsorpsiyon işleminin etkili ve ekonomik olarak uygun olduğu görülmüş ve böylece ucuz maliyetli adsorplayıcılar üzerine araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır (Swayampakula ve ark. 2009, Zhou ve ark.2009, Wan ve ark. 2010).

Adsorpsiyon sürecinin uygulanabilirliği, adsorpsiyon veriminin yanı sıra adsorbentlerin ucuz ve kolay temin edilebilir olma özelliğine de bağlıdır. Ağır metallerin giderilmesi işlemlerinde, aktif karbon ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarının etkili olduğu bulunmuştur. Bu işlemin pahalı olması nedeniyle kil, uçucu kül, aktif çamur, doğal zeolitler, meyve artıkları, mikro biyolojik, bitkisel ve zirai artıklar, kitin ve çitosan gibi doğal polimerler, sentetik polimerler, hidroksiapatit gibi birçok ucuz alternatif adsorplayıcı madde kullanılmıştır (Jang ve ark. 2008, Yıldız 2008, Swayampakula ve ark. 2009).

Biyopolimerler biyolojik bozunabilme, toksik olmama ve metal iyonlarıyla bağ yapabilen kimyasal olarak aktif gruplara sahip olma gibi özellikleri sayesinde etkili potansiyel adsorplayıcılardır. Bir biyopolimer olan çitosan, birçok anyonik ve katyonik boyarmaddenin ve ağır metallerin giderilmesinde kullanılan adsorplama kapasitesi oldukça yüksek olan iyi bir adsorplayıcıdır (Wan ve ark. 2010, Wan Ngah ve ark. 2011).

Selülozdan sonra doğada en yaygın bulunan biyopolimer kitinin alkali ortamda deasetilasyonu ile elde edilen çitosan, deniz ürünü eklem bacaklıların büyük bir bölümünün artıklarının işlenmesi ile kolayca elde edilebilir. Yapısında bulunan hidroksil (-OH) ve amino (-NH₂) grupları çitosanın ağır metallerle bağ yapabilme potansiyeline sahip olmasını sağlar [(Zhu ve ark. 2010, Futralan ve ark. 2011 a)]. Çitosanın saf halinin adsorplayıcı olarak kullanılması, düşük yoğunluk ve yüzey alan, yüksek maliyet, mekanik ve kimyasal olarak zayıf özellikler gibi olumsuzluklar oluşturur. Çitosanın mekanik gücünün geliştirilmesi, kuvvetli asitlerde çözünmemesi bunun yanında adsorpsiyon özelliklerinin de artırılması için çitosan temelli kompozitler sentezlenmiştir. Özellikle çitosan/kil kompozitleri ağır metal giderilmesinde test edilmiş ve birçok çalışma yapılmıştır [(Bleiman ve Mishael 2010, Dinu ve ark. 2010, Dragan ve ark. 2010, Zhu ve ark. 2010, Futralan ve ark. 2011 b)]

Bu çalışmada, ülkemizde yaygınca bulunan bentonit kili ve doğada oldukça bol olan çitosan biyopolimeri ve bu iki doğal maddeden hazırlanmış olan kompozit maddeler kullanılarak sulu ortamdan Cu(II) iyonlarının giderilmesi çalışmaları yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. ÇEVRE KİRLİLİĞİ

Çevre, dünya üzerinde yaşamını sürdüren canlılarının hayatları boyunca ilişkilerini sürdürdüğü dış ortamdır. Diğer bir deyişle ekosistem olarak tanımlanabilir. Hava, su ve toprak bu çevrenin fiziksel unsurlarını, insan, hayvan, bitki ve diğer mikroorganizmalar ise biyolojik unsurlarını teşkil etmektedir. Doğanın temel fiziksel unsurları olan, hava, su ve toprak üzerinde olumsuz etkilerin oluşması ile ortaya çıkan ve canlı öğelerin hayati aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen cansız çevre öğeleri üzerinde yapısal zararlar meydana getiren ve niteliklerini bozan yabancı maddelerin hava, su ve toprağa yoğun bir şekilde karışması olayına *çevre kirliliği* adı verilmektedir (Kumar ve ark. 1998, Reddy ve Behera 2006, Wikipedia Ans.).

Gelişen teknolojinin yaşamımıza getirdiği rahatlık yanında, bu gelişmenin tabiata ve çevreye verdiği kirliliğin boyutu her geçen gün hızla artmaktadır. Hızlı sanayileşmenin olduğu gelişmekte olan ülkelerin ekonomik gelişmelere katkıda bulunmak için yaptıkları, insan ve çevre için kötü etkilere neden olmaktadır. Yaşamı daha mükemmel hale getirmek, daha sağlıklı ve uzun bir ömür sağlayabilmek amacıyla dönük bu gelişmelerin, gerek kırsal, gerek kentsel alanlarda olsun, doğal kaynakları bozduğu su, hava, toprak kirlenmesine yol açtığı, bitki ve hayvan varlığına zarar verdiği son yıllarda inkar edilemez bir gerçek haline dönüşmüştür (Reddy ve Behera 2006, Zhao ve ark. 2010, Wikipedia Ans.).

İlk olarak kentsel yaşamın başlamasıyla ortaya çıkan çevre kirliliği, endüstriyel gelişmeye paralel olarak da artmıştır. Billhassa yirminci yüzyılın ikinci yarısında, hızlı nüfus artışına paralel olarak artan çevre kirliliği, yaşam kaynaklarının giderek daha fazla kirlenmesine neden olmuştur. Bunun sonucu olarak da ekosistemin bozulması her geçen gün çok daha ciddi seviyelere ulaşmaya başlamıştır. Ekosistemin bir bölümünü oluşturan su ortamı, kullanılmış sular ve diğer atıklar için bir alıcı ve uzaklaştırıcı bölge olarak kullanıldığında, ekosistem içinde hava ve toprağa oranla en yoğun kirlenmeye uğrayan kısım halini almıştır. Doğal dengeyi bozan bu kirletici unsurları şu şekilde gruplandırabiliriz: organik maddeler, endüstriyel atıklar, petrol türevleri, yapay tarımsal gübreler, deterjanlar, radyoaktivite, pestisidler, inorganik tuzlar, yapay organik kimyasal maddeler ve atık ısı. Ağır metaller bu sınıflandırmaya göre, endüstriyel atıklar ve bazı

pestisidler içinde yer alıp ekolojik dengeyi tehdit eder düzeye ulaşmaktadır (Kumar ve ark. 1998, Şahin 2006, Anirudhan ve Suchithra 2010).

Çevre kirliliğini artıran ve ekolojik dengenin bozulmasında önemli rol oynayan endüstri kuruluşlarının başında, atık sularında ağır metal içeren kuruluşlar gelmektedir. Bu kuruluşları maden işletmeleri (kurşun, çinko, demir, bakır, gümüş, krom, altın ve uranyum eldesine yönelik süreçler sonucunda), metal endüstrileri (demir-çelik, bakır, çinko, krom vb.) ve diğer metal kaplama, kurşun batarya, seramik, matbaacılık, fotoğrafçılık, tekstil, elektrik-elektronik, kimya, boya ve otomotiv endüstrileri oluşturmaktadır. İlgili endüstri kuruluşları, süreçleri gereği çeşitli ağır metalleri kullanmakta ve atıklarında birçok ağır metal iyonlarını ihtiva etmektedir. Atık sulardaki ağır metal iyon varlığı, bu metal iyonlarının yüksek derecede toksik ve biyolojik olarak bozunmama gibi özelliklerinden dolayı çevre ve canlılar için büyük problem oluşturur. (Sağlam ve Cihangir 1995, Dragan ve ark. 2009, Wan ve ark. 2010).

Etkili bir arıtım yapılmaması durumunda bu tür atıklar göl, nehir, deniz, okyanus gibi alıcı ortamlara deşarj edilmesi, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlı sistemleri ve çevre için oldukça toksik olmaktadır (Sağlam ve Cihangir 1995, Dragan ve ark. 2009, Wan ve ark. 2010).

2. 2. Su ve Su Kirliliği

Yeryüzünü saran ve okyanuslarda, denizlerde, göllerde, akarsularda ve yer altı sularında bulunan sularla su buharının tümüne hidrosfer (suküre) denir. Su doğada katı, sıvı, gaz halinde bulunur. Bilinen tüm sıvılar içinde en yüksek yüzey gerilimine ve buharlaşma ısısına sahiptir. Yüksek ısı kapasitesi ile birlikte bu özellikler suyu yeryüzündeki iklimsel farklılıkların belirleyicisi durumuna getirir.

Su yaşamın temel öğelerinden biridir. Su, içerdiği biyolojik potansiyel ile gıda ihtiyacının büyük kısmını karşılamaktadır. Bir besin maddesi olmasının yanında, içerisinde bulundurduğu mineral ve bileşiklerle vücudumuzdaki her türlü biyokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesinde inanılmaz derecede etkin rol oynamaktadır. Vücudumuzun pH dengesinin korunmasından başlayarak, hücrelerdeki moleküllere ve organellere dağılma ortamı oluşturmaya; besinlerin, artık maddelerin ilgili yerlere taşınmasına kadar pek çok görev alarak hayatın varlığı ve devamı için vazgeçilmez bir kaynak olmaktadır. Bu nedenle susuz hayat düşünülemez. Su, aynı zamanda canlılar

için bir yaşam ortamıdır. Ayrıca su birçok madde için iyi bir çözücüdür (Akın ve Akın 2007, Bulut 2003).

Su kirliliği, su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, su ürünlerinde kısaca kullanma amacına bağlı olarak, su kalitesinde düşme ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde ve enerji atıklarının boşaltılmasını ifade etmektedir. Doğal sular içinde bulunan bu tür kirlilikler, suların kaynağına göre farklı fiziksel özellikler kazanmasına neden olur. Kullanım amaçlarına uygun olmaması halinde suların arıtılarak özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir [(Yalçın ve Gürü 2002, Bulut 2003, Akkaya 2005 a)]

Suların çeşitli kullanımlar sonucunda atık su haline dönüşerek yitirdikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerin bir kısmı ya da tamamını tekrar kazandırabilmek veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin biri veya birkaçı suyun arıtma işlemini oluşturur. Atık su arıtımında temel amaç, suyun kirlilik derecesinin kullanım yerine göre istenilen düzeye indirilmesidir (Akın 2006, Şahin 2006).

Endüstriyel kaynaklı atık sular, yerleşim yerlerinden kaynaklanan atık sulara göre önemli ayrıcalıklar gösterirler. Evsel atık sulardaki kirleticilerin organik nitelikte olması, bunların aşırı miktarda deşarj edilmemesi şartıyla alıcı sularda mikroorganizmalar tarafından zararsız inorganik bileşiklere dönüşmesini mümkün kılmaktadır. Halbuki bazı endüstriyel atık sularda mevcut dayanıklı kirleticiler, alıcı su ortamında birikme, canlıların dokularında yoğunlaşma ve belli sınırlar üstünde canlılar üzerinde doğrudan toksik etki etme özelliklerine sahiptirler. Ayrıca endüstriyel atık suların sebep olduğu kirlenmelerde ekolojik denge bozulmasına daha çok rastlanmakta ve bu bozunma çoğunlukla geri dönüşü olmayan bir nitelik taşımaktadır (Akın 2006, Şahin 2006, Akkuş 2007).

Endüstriyel nitelikli atık su üreten sanayi sektörleri, üretim tiplerine göre aşağıdaki gibi gruplandırılabilir (Akın 2006, Şahin 2006, Akkuş 2007).

a) Gıda

2. KAYNAK ÖZETLERİ

- b) İçki
- c) Maden
- d) Cam
- e) Kömür hazırlama, işletme ve enerji üretimi
- f) Tekstil
- g) Petrol
- h) Deri ve deri mamulleri
- i) Kimya
- j) Metal
- k) Ağaç Mamulleri ve mobilya
- l) Seri makina imalat, elektrik makinalar ve teçhizat, yemek parça
- m) Selüloz, kâğıt, karton

Kimyasal yönden suların kirliliği organik veya inorganik olabilir. İnorganik kirlilik organik kirliliğe göre daha sürekli olup, organik kirlilik gibi kendi kendini temizleme imkânı yoktur. Seyrelme ve çökme olmadığı sürece çok tehlikeli boyutlara ulaşabilir. Ağır metal kirliliği içeren atık sular, biyolojik oksijen ihtiyacı değeri düşük, genellikle asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirleyici özelliğe sahip olup kendi kendine temizleme veya arıtmada etken mikroorganizmaları öldürücü nitelikte inorganik karakterli sulardır. Kirliliği yapan arsenik, civa, kurşun, krom, kadmiyum, nikel, demir, bakır, çinko gibi ağır metal iyonlar ile radyoaktif elementlerdir (Alp 2007, Tok 2009).

Ağır metallerin içme suyu kaynaklarına girmesi büyük sağlık sorunları doğuracağından, içme suyu olarak kullanılan su kaynaklarının ağır metallere korunması büyük önem taşımaktadır. İnsan sağlığını korumak için ağır metallerin içme sularında bulunabileceği konsantrasyonlara belirli sınır değerler getirilmiş olup, içme sularında bulunmasına müsaade edilen limit değerler Çizelge 2. 1' de yer almaktadır. Atık suların alıcı ortamlara deşarjında müsaade edilen ağır metal sınır değerleri ise Çizelge 2. 2' de verilmiştir (Erdem Şener 2002, Alp 2007, Adana Hıfzısıhha Ens.).

Çizelge 2. 1. Bölgesel su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (A sınıfı: İçme ve kullanma suyu, B sınıfı: Yüzme, balıkçılık, C sınıfı: Endüstri, tarım ve balıkçılıkta kullanılan sular, D sınıfı: Soğutma suyu)

Su kalite parametreleri	Su kalite sınıfları			
	A	B	C	D
A.Genel fiziksel ve inorganik kimyasal parametreler				
1.Sıcaklık (°C)	25	25	30	>30
2.pH	6-8	6-8	6-9	>6-9 dışında
3.Çözünmüş oksijen (mg/L)	8	6	3	>3
4.Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	>40
5. Klorür iyonu (mg/L)	200	200	400	>400
6.Sülfat iyonu (mg/L)	200	200	400	>400
7.Amonyum azotu(mg NH ₄ ⁺ -N/L)	0,2	1	2	>2
8.Nitrat azotu(mg NO ₃ -N/L)	5	10	20	>50
9.Toplam fosfor (mg PO ₄ ⁻³ -P/L)	0,02	0,16	0,65	>0,65
10.Toplam çözünmüş madde(mg/L)	500	1500	5000	>5000
11.Sodyum (mg/L)	125	125	250	>250
B.Organik parametreler, mg/L				
1.KOI	25	50	70	>70
2.BOİ	4	8	20	>20
3.Organik karbon	5	8	12	>12
4.Alkil benzen sülfonat	0,05	0,2	1	>1,5
C.İnorganik endüstriyel kirlenme parametreleri, µg/L				
1.Civa	0,1	0,5	2	>2
2.Kadmiyum	3	5	10	>10
3.Kurşun	10	20	50	>50
4.Bakır	20	50	200	>200
5.Krom (toplam)	20	50	200	>200
6.Nikel (II)	20	50	200	>200
7.Çinko	20	200	2000	>2000
8.Siyanür (toplam)	10	50	100	>100
9.Florür	1000	1500	2000	>2000
10.Serbest klor	10	10	50	>50
11.Sülfür	2	2	10	>10
12.Demir	100	500	5000	>5000
13.Mangan	100	500	3000	>3000
14.Baryum	1000	2000	2000	>2000

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çizelge 2. 2. Atık suların atık su alt yapı tesislerine bırakılmasında öngörülen standartlar

Parametre	Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atık su alt yapı tesislerinde	Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atık su alt yapı tesislerinde
Sıcaklık (°C)	40	40
pH	6,5-10,0	6,0-10,0
Askıda katı madde (mg/L)	500	350
Yağ ve gres	250	50
Katran ve petrol kökenli yağlar (mg/L)	50	10
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KDI) (mg/L)	4000	500
SO ₄ ⁻² (mg/L)	1000	1000
Toplam sülfür (S) (mg/L)	2	2
Fenol (mg/L)	20	10
Serbest klor (mg/L)	5	5
Toplam azot (N) (mg/L)	-	40
Toplam fosfor (P) (mg/L)	-	10
As (mg/L)	3	10
Toplam CN ⁻ (mg/L)	10	10
Ağır metaller, mg/L		
Toplam Pb	3	3
Toplam Cd	2	2
Toplam Cr	5	5
Toplam Hg	0,2	0,2
Toplam Cu	2	2
Toplam Ni	5	5
Toplam Zn	10	10
Toplam Sn	5	5
Toplam Ag	5	5
Cl ⁻	10000	-

2. 3. Ağır Metaller

Ağır metal terimi, yoğunluğu 5 g/cm³ den büyük olan (çoğunlukla atom numarası 20'den büyük) metaller için kullanılan genel bir kavramdır. Bu gruba Hg, Ni, Pb, As, Zn, Cd, Al, Pt ve Cu olmak üzere 60'dan fazla metal dâhildir. Düşük derişimlerde yaşamsal faaliyetler için gerekli olmalarına rağmen, yüksek derişimlerde tamamı toksik etki göstermektedirler (Şahin 2006, Özsoy 2007).

Ağır metaller taşıdıkları teknolojik önem nedeniyle çeşitli kimyasal endüstrilerde yaygın olarak kullanılmakta ve günümüzde ağır metallerin en önemli kaynağını bu endüstriyel aktiviteler oluşturmaktadır. Bu aktiviteler sonucunda açığa çıkan atık sular yapılan işin niteliğine bağlı olarak yoğun miktarlarda ağır metal içerebilmektedirler. Özellikle maden ocakları ve işletmelerinden yoğun miktarlarda ağır metal içeren atık sular oluşmaktadır (Aktay 2001, Özsoy 2007).

Çevre sularında zehirli özelliklere sahip ağır metallerin (Cd, Pb, As, U, Fe, Cr, Cu, Zn, Hg vb.) bulunması birçok yaşam türü için önemli tehlike oluşturmaktadır. Bu sularda bulunan organik kirleticilerin biyolojik olarak bozunarak zararsız hale getirilebilmesi mümkün iken, ağır metallerin bu yolla zararsız bileşimlere dönüşmesi mümkün değildir. Bu özelliğin de etkisiyle ağır metal kirliliği içeren atık su, insan ve çevre sağlığı için oldukça tehlikeli olmaktadır (Erdem Şener 2002, Wan Ngah ve ark. 2011).

2. 3. 1 Ağır Metallerin Biyokimyasal Özellikleri

Mikrobesin ya da iz elementi denilen bazı elementler yaşayan organizmaların çoğu için eser miktarda da olsa gereklidir. Ayrıca bu metallerin eksikliğinde canlılar zarar görür. Hem bitki hem de hayvanlar için Zn, Fe, Mn, Cu gerekli iken bunlara ek olarak yalnız hayvanlar için Co, Cr, Se, I ve yalnız bitkiler için B ve Mo gereklidir. Biyokimyasal işlevleri bilinmeyen, canlılar için birinci derecede önemli olmayan fakat toksik olan elementler de vardır. Bunlar As, Cd, Pb, Sb, Ti ve U. Bunlar organizmaların toleransını aşan konsantrasyonlarda toksisiteye neden olmaktadır. Ama düşük konsantrasyonda mikrobisimler gibi herhangi bir bozukluğa neden olmazlar (Bulut 2003, Keser 2005).

Biyokimyasal düzeyde bu metallerin aşırı konsantrasyonlarının neden olduğu olumsuz etkiler ATP (Adenozin trifosfat) ve ADP (Adenozin difosfat)'ın fosfat gruplarıyla olan reaksiyonları, hücre membranlarının zarar görmesi, SH (Tiyol) gruplarıyla olan reaksiyonları, esas iyonların yerine geçmesi ve esas metabolitlerle rekabet etmesidir. Organizmaların küçük derişimleri tolere etme yetenekleri vardır. Ancak uzun dönemli aşırı alımın sistemin kapasitesini aşar ve zehirlenme görülür (Bulut 2003, Keser 2005).

2. 3. 2 Ağır Metallerin Canlılar Üzerindeki Etkileri

Ağır metaller, biyolojik proseslere katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gereklidir. Bu metaller biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından dolayı düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur.

Ağır metallerin insan metabolizmasında oluşturdukları etki ve etkin oldukları aşamaları ana sistemler açısından kısaca ele alırsak bunları;

kimyasal reaksiyonlara,

fizyolojik ve taşınım sistemlerine,

kanserojen ve mutojen olarak yapı taşlarına,

alerjen olarak ve

spesifik etki edenler olarak sıralamak mümkündür (Kahvecioğlu ve ark. 2004).

Bazı metallerin biyolojik sistemdeki fonksiyonları ve toksikliği Çizelge 2. 3' de verilmiştir (Bulut 2003)

Çizelge 2. 3. Biyolojik sistemdeki bazı metallerin fonksiyonları ve toksikliği

Element	Biyolojik fonksiyonları	Toksitliği	Yorumlar
Berilyum	Bilinmiyor	Çok toksik	Kirlilik endüstriyel fabrikalardan meydana gelir.
Vanadyum	Memelilerdeki kolesterol biyosentezini inhibe eder, dış çürümelerine karşı faydaları var	Damardan enjekte edilirse memeliler için oldukça toksik	Kirlilik endüstriyel fabrikalardan meydana gelir.
Krom	Diabet ve şeker metabolizmasında önemli olabilir	Cr(III) olarak orta, Cr(VI) olarak yüksek derecede toksik	Potansiyel bir çevre kirleticidir, düşük çözünürlüğünden dolayı her yerde bulunmaz.
Magnezyum	Bütün organizmalarda temeldir, bir çok enzimi aktive eder, topraktaki eksikliği memelilerde kısırlığa neden olur	Orta derecede toksik	-
Demir	Bütün organizmalarda temeldir	Hafif derecede toksik	Doğada bol miktarda bulunur, yüksek pH'da bulunmaz.
Kobalt	Bir çok organizmada temeldir, birçok enzimi aktive eder	Bitkiler için çok, damardan ejekte edilirse memeliler için orta derecede toksik	-
Nikel	Bilinmiyor	Bitkiler için çok, memeliler için orta derecede toksik	Su ve havadaki bölgesel bir çevre kirleticidir.
Bakır	Bütün organizmalar için temeldir	Birçok bitki için oldukça toksik, memeliler için orta derecede toksik	Endüstriyel duman zehirlenmesi ve zirai kullanımı toksiktir.
Çinko	Enzimlerin kullanıldığı bütün organizmalar için temeldir	Orta derecede hafif toksik	Endüstriyel dumanları sonucu akciğer hastalıklarına neden olabilir. Aynı zamanda Zn'nin kullanımı Cd kirliliğini artırır.
Arsenik	Bilinmiyor	Bitkiler için çok, memeliler için oldukça toksik	Bazı bölgelerde (maden yatakları, kömür atıkları, böcek ve bitkiler için kullanılan ilaçlar) ciddi problem yaratır.
Selenyum	Memeliler ve bitkiler için temeldir	Bitkiler için orta, memeliler için oldukça toksik	-
Kadmiyum	Bilinmiyor	Bütün organizmalarda orta derecede toksik, insanlarda yüksek tansiyona neden olabilir	Endüstride Zn ile kullanımı çevre problemlerine neden olur.
Cıva	Bilinmiyor	Mantar ve yeşil bitkilere oldukça toksik, memelilerde çözünür formu oldukça toksik	Fungusit olarak kullanılan organocıva bileşikleri ciddi bağlamda zararlıdır.
Kurşun	Bilinmiyor	Birçok bitkide oldukça toksik, memelilerde birikmiş ise toksik	Dünya çapında atmosfer kirleticisidir. Maden yataklarında bölgesel kirleticidir.

Bakır

Kırmızımsı bir metal olan bakır, doğal ortamda, kayalarda, toprakta, suda ve havada bulunur. Bakır, doğada daha çok bileşikleri şeklinde ve soy metal olması nedeniyle metalik durumda bulunur. En çok bulunan mineralleri oksit, karbonat ve sülfürleridir. Bakırın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2. 4.' e verilmiştir (Şahin 2006, Akkuş 2007, Wikipedia Ans.).

Çizelge 2. 4. Bakırın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler

Atom numarası	29
Element serisi	Geçiş metalleri
Grup, periyot, blok	11, 4, d
Atom ağırlığı	63,546 g/mol
Elektron dizilimi	Ar 3d ¹⁰ 4s ¹
Enerji seviyesi başına elektronlar	2, 8, 18, 1

Fiziksel Özellikleri

Maddenin hali	katı
Yoğunluk	8,96 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	8,02 g/cm ³
Ergime noktası	1084,62 °C
Kaynama noktası	2562 °C
Ergime ısısı	13,26 kJ/mol
Buharlaştırma ısısı	300,4 kJ/mol
Isı kapasitesi	24,440 (25 °C) J/(mol·K)

Atom Özellikleri

Kristal yapısı	Kübik
Yükseltgenme seviyeleri	(2+), (1+)
Elektronegatifliği	1,90 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	745,5 kJ/mol
Atom yarıçapı	135 pm
Atom yarıçapı (hes.)	145 pm
Kovalent yarıçapı	138 pm
Van der Waals yarıçapı	140 pm

Endüstride bakırın önemli rol oynamasının ve çeşitli alanlarda kullanılmasının nedeni çok farklı özelliklere sahip olmasıdır. Bakırın en önemli özelliklerinin arasında yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, aşınmaya ve korozyona direnci, çekilebilme ve dövülebilme özellikleri sayılabilir. Ağırlıklı olarak üretim endüstrileri uygulamalarında kullanımı çevrede yaygın olarak bulunan bir kirliliğe neden olur (Wan ve ark 2010, Tok 2009). Elektrik kabloları, oto radyatörleri, elektrolitik kaplama, bakır ve pirinç üretim fabrikaları, alet-edavat imalatları atıklardaki bakırın kaynağıdır.

En çok atık bakır üreten endüstri kolları (bakır atıklar toprağa veya suya boşaltılmaktadır) şunlardır: (Akkuş 2007)

1. Bakır madenini işleyen ve eriten fabrikalar
2. Demir-dışı madenlerin eritildiği endüstriler
3. Plastik endüstrisi
4. Patlama ocaklar, çelik endüstrisi
5. Kümes hayvanlar kesimi yapılan yerler
6. Bakır madeni çıkartılması
7. Organik kimya endüstrisi
8. Yem sanayii
9. İnorganik kimya endüstrisi

Bazı işletmelerin endüstriyel işlemler sonucu açığa çıkan atık sularındaki bakır derişimi Çizelge 2. 5.'de verilmiştir (Aktay 2001, Alp 2007).

Çizelge 2. 5. Bazı endüstriyel atık suların içerdiği Cu(II) iyon derişimleri

İşlem	Cu(II) (mg/L)
Bakır kaplama banyosu suları	183
Otomobil ısıtma sistemleri	24-33
Altın cevheri ekstraksiyonu	20
Asidik maden drenajı	51,6-128
Boya ve mürekkep formülasyonu	0-100
Porselen kaplama	0-12
Bakır kaynak tel kaplama banyosu	3640

Temel bir iz elementi olan bakır, yetişkin bir insanda 100-150 mg kadar bulunur. Bakır bitkilerin yaşaması ve klorofil oluşumu başta olmak üzere birçok enzimin gelişimi için mutlaka eser miktarda bulunması gereken temel elementtir. Hayvanların metabolizması ve kandaki hemoglobin için de gerekli olan bakır, kanın oksijen taşıma mekanizması olayında önemli rol oynar (Yalçın ve Gürü 2002, Wang Ngah ve Fatinathan 2008).

Bakır tuzlarının fazla miktarda ağız yoluyla alınması (özellikle CuSO_4 'ın) akut zehirlenmelerine sebep olur. Bu da merkezi sinir sistemi lezyonları, karaciğer ve böbrek hasarı gibi sağlık sorunlarına yol açabilir ve ölüme kadar gider. Belirtileri; kusma, hipertansiyon, melena, koma ve sarılıktır. Ayrıca bakır içeren diyaliz araçlarının kullanımı sonucu ortaya çıkan bakır zehirlenmeleri hemolitik önemi olan rahatsızlığa sebep olur [(Akkuş 2007, Futalan ve ark 2011 b)]

2. 4. Adsorpsiyon Hakkında Genel Bilgiler

2. 4. 1. Giriş

Katı ya da sıvı yüzeylerine değmekte olan gazlar ya da çözünen maddelerin bu yüzeylerde tutunmalarına **adsorpsiyon**, bu maddeleri yüzeyinde tutan faza **adsorplayıcı**, tutunan maddeye de **adsorplanan** denir. Adsorpsiyon bir katının ya da bir sıvının sınır yüzeyindeki konsantrasyon değişmesi olarak da tanımlanabilir. Konsantrasyonun artışı halinde **pozitif adsorpsiyon**, azalışı halinde de **negatif adsorpsiyon** meydana gelir.

Adsorpsiyon olayı ile absorpsiyon olayını karıştırmamak gerekir. Absorpsiyon olayında absorplanan madde adsorplayıcının içine doğru yayılır. Çeşitli maddelerin bir faz yüzeyinde değil de özümlelenerek o fazın yapısı içine girmesine **absorpsiyon** denir. Her iki olay birlikte oluyor ve ayırt edilemiyorsa buna **sorpsiyon**, tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına ise **desorpsiyon** denir.

Sabit sıcaklık ve sabit basınçta kendiliğinden olduğu için adsorpsiyon sırasındaki serbest entalpi değişimi yani **adsorpsiyon serbest entalpisi**, ΔG daima eksi işaretlidir. Diğer taraftan, gaz ya da sıvı ortamında daha düzensiz olan tanecikler katı yüzeyinde tutunarak daha düzenli hale geldiğinden dolayı adsorpsiyon sırasındaki entropi değişimi

yani **adsorpsiyon entropisi**, ΔS de genelde eksi işaretlidir. Adsorpsiyon serbest entalpisi ve adsorpsiyon entropisinin genelde eksi işaretli olması,

$\Delta H = \Delta G + T\Delta S$ eşitliği uyarınca adsorpsiyon sırasındaki entalpi değişiminin yani **adsorpsiyon entalpisi**, ΔH 'ın daima eksi işaretli olmasını gerektirmektedir (Erdik ve Sarıkaya 1999, Sarıkaya 1997).

Moleküller ve atomlar yüzeylere iki yolla tutunabilirler: Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon. **Fiziksel adsorpsiyonda** tutunan ile tutan arasında bir moleküler arası etkileşimler vardır. Bu etkileşimler uzaktan etkilidir ve zayıf etkileşimlerdir. Bir tanecik fiziksel olarak adsorplandığında salınan enerji, yoğunlaşma entalpisi ile aynı mertebededir. Adsorpsiyon ısısı 20 kJ mol^{-1} civarındadır. **Kimyasal adsorpsiyonda** ise moleküller ve atomlar genellikle bir kovalent bağ oluşumuyla yüzeye yapışırlar ve adsorplayıcı yüzeyinde, koordinasyon sayılarını maksimuma çıkaracak yerler bulmaya çalışırlar. Adsorpsiyon ısısı 200 kJ mol^{-1} civarındadır (Atkins 1998). Kimyasal adsorpsiyon yalnızca tek tabakalı (monomoleküler) olabildiği halde, fiziksel adsorpsiyon tek veya çok tabakalı (multimoleküler) olabilir. Birçok hallerde, kemisorpsiyon (kimyasal adsorpsiyon) katının bütün yüzeyinde değil teorisi Taylor tarafından ortaya konan aktif merkez denilen merkezlerde kendini gösterir. Diğer taraftan fiziksel adsorpsiyonlar tersinir olarak yürütülebildiği halde kimyasal adsorpsiyonlar genelde tersinmezdir (Sarıkaya 1997).

Birçok adsorpsiyon hallerinde bu iki tip adsorpsiyon birlikte olur. Bazı sistemler düşük sıcaklıklarda fiziksel, yüksek sıcaklıklarda ise kimyasal adsorpsiyon gösterirler. Genellikle kimyasal adsorpsiyon fiziksel adsorpsiyona göre daha spesifik ve gaz ile katı arasında bir reaksiyon eğiliminin olduğu hallerde kendini gösterir. Van der Waals kuvvetleri tabiatı gereği özgül olmadığından, kuvvetli kimyasal adsorpsiyonlarda maskelenmiş olsa bile, bütün hallerde kendini gösterebilir (Bulut 2003).

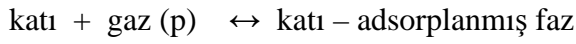
Adsorpsiyon olayının sebebi adsorplayıcı katının sınır yüzeyindeki moleküller arasındaki kuvvetlerin dengelenmemiş olmasıdır. Katı yüzeydeki iyonların dengelenmemiş kuvvetleri tarafından çözeltilde çözülmüş maddeler katı yüzeyine doğru çekilerek, bu yüzey kuvvetleri dengelenmiş olur. Böylece çözeltilde çözülmüş maddelerin katı yüzeyine adsorpsiyonu gerçekleşir. Aynı adsorplayıcı, bazı gazları adsorpladığı halde bazılarını hiç adsorplamamaktadır. Bu durum adsorpsiyon olayının

seçimli olduğunu gösterir. Belli miktardaki gazın katı tarafından adsorpsiyonun da, gaz veya katı yüzeyi yanında ortamın sıcaklığı ve gaz basıncı etkilidir. Adsorpsiyon olayı oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşir. Adsorplayıcının doygunluğa yaklaşması oranında adsorpsiyon hızı da azalır (Karakaya 2008, Panday ve ark. 1985).

2. 4. 2. Adsorpsiyon Termodinamiği

Termodinamik, “thermo” yani ısı ve “dynamic” yani iş kelimelerinden türemiş olup, ısı işi anlamında bir sözcüktür. Tabiattaki en önemli olgulardan birisi de tüm değişme ve dönüşümlere eşlik eden enerjidir. Oluşan her türlü hareket ve kimyasal reaksiyon sırasında enerji adsorpsiyonu, enerji yayılması ve bir enerji türünün bir başka enerji türüne dönüşmesi söz konusudur. Bir sistemdeki değişik enerji türleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi de termodinamiğin konusunu meydana getirir (Tok 2009).

Adsorpsiyon sırasındaki entalpi değişimi, entropi değişimi, serbest entalpi değişimi ve denge sabiti belirlenerek adsorpsiyon olayı termodinamik olarak incelenir. Bir gazın bir katı üzerindeki adsorpsiyon dengesi,



şeklinde yazılabilir. Sabit sıcaklık ve sabit basınçta kurulan adsorpsiyon dengesi sırasında adsorplanmış fazın μ_a kimyasal potansiyeli gazın $\mu = \mu^0 + RT \ln (p/p^0)$ kimyasal potansiyeline eşit olacağından sırasıyla

$$\mu = \mu^0 + RT \ln (p/p^0) \quad (2. 1)$$

$$\ln (p/p^0) = (\mu_a - \mu^0) / RT = \Delta G^0 / RT \quad (2. 2)$$

$$\Delta G^0 = RT \ln (p/p^0) = - RT \ln K \quad (2. 3)$$

eşitlikleri yazılabilir. Buna göre adsorpsiyon denge sabiti ile adsorpsiyon denge basıncı arasında $K = 1 / (p/p^0)$ ilişkisi vardır. Buradaki ΔG^0 adsorpsiyon serbest enerjisini göstermektedir. Son iki bağıntı kullanılarak Gibbs- Helmholtz denklemi ile

$$(\delta \ln K / \delta T)_n = -(\delta \ln P / \delta T)_n = \Delta H^0 / RT^2 = q_{iz} / RT^2 \quad (2. 4)$$

şeklinde van't Hoff eşitliği bulunur. Buradaki ΔH^0 adsorpsiyon sırasındaki ısı alışverişine eşit olan ve izosterik adsorpsiyon ısısı adı verilen adsorpsiyon entalpisini göstermektedir. Buhar fazından adsorpsiyondaki net adsorpsiyon ısısı, izosterik

adsorpsiyon ısısından yoğunlaşma ısısı çıkarılarak bulunur. Adsorpsiyon serbest entalpisi ve adsorpsiyon entalpisi arasındaki

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ} \quad (2.5)$$

eşitliğinden adsorpsiyon entropisi bulunur (Sarıkaya 1997).

2. 4. 3. Adsorpsiyon Dengesi

Adsorpsiyon bir denge sürecidir ve adsorplananın çözeltide kalan derişimi ile katı yüzeye tutunan derişimi arasında dinamik bir denge oluşana kadar sürer. Dengenin bu durumunda adsorplananın katı ve sıvı fazları arasında belirli dağılımı vardır (Karakaya 2008).

Adsorplanan miktar, çeşitli birimlerde verilebilir. Bir adsorplayıcının birim kütleğinde adsorplanan miktar, yalnızca denge basıncının ya da derişiminin ve sıcaklığının fonksiyonudur. Adsorpsiyonda bu üç değişkenden biri sabit tutularak çeşitli karakteristik eğriler elde edilir.

Sıcaklık sabit tutulduğunda gaz fazında adsorpsiyon yalnızca basınca, çözeltiden adsorpsiyon ise yalnızca derişime bağlıdır. Bu durumda, sabit sıcaklıkta adsorplanan madde miktarının basınçla ya da derişimle değişimini veren eğriye **adsorpsiyon izotermi** denir.

Basınç sabit tutulduğunda gaz fazında adsorpsiyon yalnızca sıcaklığa bağlı olmaktadır. Bu durumda, adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla değişimini veren eğrilere **adsorpsiyon izobarı** denir.

Adsorplanan gaz hacmi sabit tutulduğunda adsorpsiyon basıncının sıcaklığa bağlı olarak değişimini gösteren eğrilere ise **adsorpsiyon izokoru** denir.

Bir gram adsorplayıcı yüzeyinin bir molekül tabakası ile yani mono moleküler olarak kaplanabilmesi için gerekli madde miktarına **tek tabaka kapasitesi** denir (Bulut 2003).

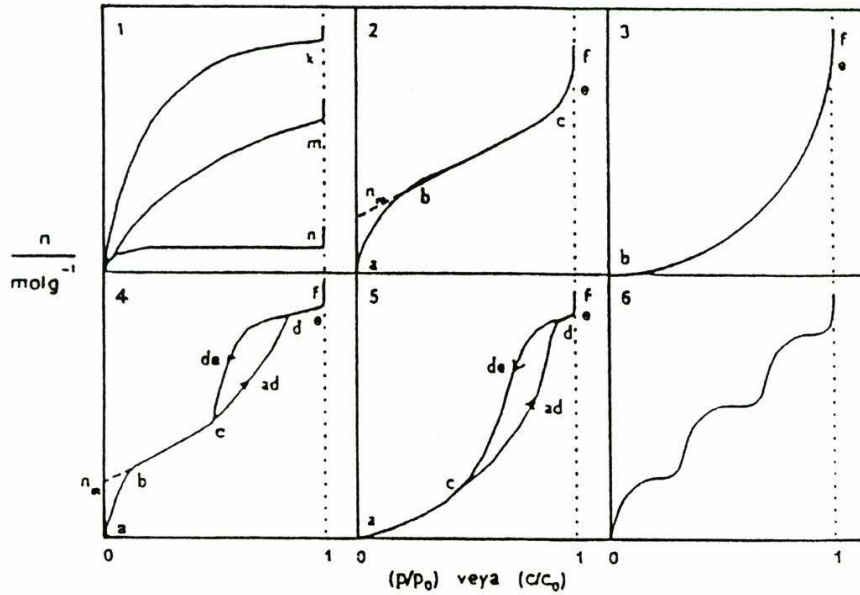
2. 4. 4. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorplayıcı ile dengede bulunan adsorplanan madde miktarını, sabit sıcaklıkta adsorplanan madde derişimine ya da basıncına bağlayan grafiğe adsorpsiyon izotermi denir. İzoterm sabit sıcaklıkta denge koşullarının grafiğidir. Bir adsorpsiyon süreci en

2. KAYNAK ÖZETLERİ

iyi şekilde izotermelerden anlaşılabilir, ama izotermelerden adsorpsiyon hızı hakkında bilgi edinilemez. Ayrıca bir adsorplayıcının yüzey alanı ve gözenekliliğini anlamak için de adsorpsiyon izotermelerinden yararlanılır (Güzel 1991).

Denel yoldan belirlenen adsorpsiyon izotermeleri Şekil 2. 4. 1'de görüldüğü gibi şematik olarak çizilen 6 tip izoterm eğrisinden birisine çok benzemektedir. Daha çok buhar fazından adsorpsiyon için kullanılan bu adsorpsiyon izotermelerinin bazıları çözeltilerden adsorpsiyon içinde geçerlidir (Sarıkaya 1997). Bu izotermelerden adsorpsiyonun türü ve mekanizmasının yanı sıra adsorblayıcıya ait özelliklerden yüzey alanı ve gözenek yapısı hakkında da fikir edinilebilir (Mutlu 2009).



Şekil 2. 4. 1. Adsorpsiyon izotermelerinin 6 karakteristik tipi.

Şekildeki p/p^0 bağıl denge basıncını, c/c^0 ise bağıl denge derişimini göstermektedir. Buradaki p^0 doygun buhar basıncını, c^0 ise doygun çözeltilinin derişimini yani derişimini göstermektedir. Aynı izotermeler p/p^0 yerine p^0 denge basıncı, c/c^0 yerine de c denge derişimi alınarak da çizilebilir. Şekildeki $p/p^0 = 1$ ya da $c/c^0 = 1$ değerlerinde adsorplanan madde yığın olarak ayrıldığıında izoterm eğrileri dikey olarak yükselmeye başlamaktadır. Bu dikey yükselme noktasına gelindiğinde adsorpsiyon tamamlanmış demektir.

1) Monomoleküler yani tek tabakalı olan kimyasal adsorpsiyon izotermeleri k ve n eğrilerine benzemektedir. Ayrıca mikrogözenekli katıların adsorpsiyon izotermi k eğrisine benzerken, makro gözenekli katılar için adsorpsiyon izotermi n eğrisine

yakındır. Mikrogözeneklerin adsorplama gücü yüksek olduğundan yüzeyleri monomoleküler olarak kaplandığında gözenekler tümüyle dolduğundan adsorpsiyon tamamlanmış olacaktır. Bu nedenle, mikro- ve makrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi arasındaki yükseklik farkı dışında şeklen birbirine benzemektedir. Çözüldüğüden adsorpsiyon izotermi k, n ve m eğrilerinden birine yakın olarak ortaya çıkar.

2) Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. İzotermin ab parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon, be parçası boyunca ise çok tabakalı adsorpsiyon ve kılcal yoğunlaşma tamamlanmaktadır, izotermin b noktasından sonraki doğrusal kısmının uzantısından nm tek tabaka kapasitesi yaklaşık olarak okunabilir. Doygunluk noktasına gelindiğinden dolayı ef boyunca adsorplanan madde sıvı ya da katı olarak yığın halinde ayrılır.

3) Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. Adsorplama gücü çok düşük olan katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe uymaktadır. Eğrinin gidişinden nm tek tabaka kapasitesini bulmak mümkün değildir.

4) Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. Şekilde görüldüğü gibi adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi farklı yollar izlemesine **adsorpsiyon histerezisi** denir. Bu durum, dar ağızlarından dolan gözeneklerin geniş ağızlarından boşalmasıyla açıklanabilir, izotermin ab parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon, be parçası boyunca ise çok tabakalı adsorpsiyon ve cd parçası boyunca kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Kılcal yoğunlaşma tamamlandıktan sonra gözeneklerin ağızlarındaki çukur yüzeyler de boyunca dolmakta ve ef boyunca adsorplanan madde yığın olarak ayrılmaktadır. Genellikle mikro ve mezo gözenek içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe uymaktadırlar. Bu izotermden de nm tek tabaka kapasitesi yaklaşık olarak bulunmaktadır.

5) Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir, izotermin ac parçası boyunca tek tabakalı ya da çok tabakalı olarak kaplanma ve cd

boyunca kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Adsorplama gücü düşük olan mezogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzemektedir.

6) Basamaklı olan bu izoterm tipine çok az rastlanmaktadır. Mikrogözenekler yanında farklı mezogözenek grupları içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzerler (Sarıkaya 1997).

Adsorpsiyon izotermelerini ve diğer adsorpsiyon verilerini değerlendirmek için denel yoldan belirlenen çok sayıda denklem türetilmiştir. Adsorplanan ve adsorplayıcı maddelerin özelliklerine göre bir adsorpsiyon için bu eşitliklerden biri veya bir kaç uygun olmaktadır (Bulut 2003). Burada yaygın olarak kullanılan üç adsorpsiyon denklemini inceleyeceğiz.

2. 4. 4. 1. Langmuir İzoterm Denklemi

Yüzey kimyası alanındaki çalışmalarından dolayı 1932 yılı Nobel Kimya Ödülü sahibi Amerikalı bilim adamı Irving Langmuir tarafından 1916 yılında kimyasal adsorpsiyon için çok basit bir izoterm denklemi türetilmiştir. Tek tabakalı fiziksel adsorpsiyon ve çözüldüden adsorpsiyon içinde geçerli olan bu eşitliğe Langmuir denklemi denir (Sarıkaya 1997). Adsorplayıcı yüzeyinin adsorplama kapasitesi bakımından homojen olduğunu ve belli sayıda aktif adsorpsiyon alanları bulunduğunu varsayan bu izoterm, her bir adsorpsiyon alanında en fazla bir molekül adsorplandığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, Langmuir izotermi, tek tabaka adsorpsiyonunu tanımlamakta (Atiç 2008) ve aşağıdaki kabulleri kapsamaktadır.

1. Adsorplanmış tabaka monomolekülerdir.
2. Adsorpsiyon dengesi dinamik bir denge. Yani dt zamanı içinde adsorplanan gaz miktarı, katı yüzeyden ayrılan gaz miktarına eşittir.
3. Adsorpsiyon hızı, gazın basıncı ve katının örtülmemiş yüzeyi ile orantılıdır.
4. Adsorplanmış moleküller dissosiyeye değildir. Dissasyon halinde teori genelleştirilebilir (Berkem ve ark. 1994).

Langmuir izoterm denkleminin çizgisel şekli,

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2. 6)$$

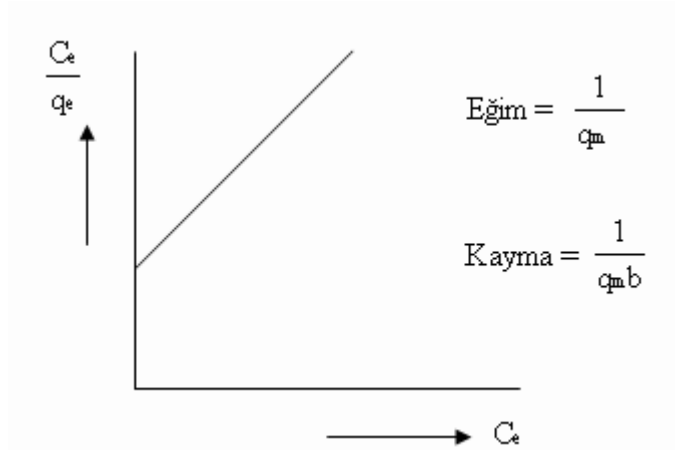
olup; q_e denge anında adsorplanan miktar (mg/g), C_e adsorplananın denge derişimi (mg/L) ve q_m ile b ise Langmuir sabitleridir. q_m , maximum adsorpsiyon kapasitesi (tek tabaka kapasitesi) dir. b ise adsorpsiyon enerjisine ilişkin bir sabittir (Lous ve ark. 2010). Böylece, q_m büyük ise adsorplayıcının adsorplama kapasitesi büyüktür ve adsorplayıcı geniş bir yüzey alanına sahiptir. b sabiti sıcaklığa bağlıdır ve

$$b = b_o \cdot \exp(Q_{ads} / RT) \quad (2.7)$$

$$\log b = \log b_o - \frac{\Delta H}{2,303R} \times \frac{1}{T} \quad (2.8)$$

bağıntısı ile verilir. b , adsorpsiyon ısısı ile orantılı olan bir büyüklüktür. Adsorpsiyon ısısı arttıkça b artar.

C_e değerine karşılık C_e / q_e değerleri grafiğe geçirildiğinde (Şekil 2. 4. 2), eğimi $1/q_m$ ve kayma değeri ise $1/q_m b$ olan bir doğru elde edilir. Eğim ve kayma değerlerinde q_m ve b sabitleri kullanılır.



Şekil 2. 4. 2. Langmuir çizgisel izotermi (Güzel 1991)

Adsorplayıcının toplam yüzeyi S , kaplanan yüzey kesri θ ise; kaplanan yüzey θS ; serbest yüzey de $(1-\theta)S$ dir. Kinetik teoriye göre birim yüzeye çarpan moleküllerin hızı derişimi ile orantılıdır. Buradan, moleküllerin adsorbent yüzeyinde adsorpsiyon hızı, serbest yüzey kesri ve adsorplanan madde konsantrasyonuna bağlıdır. Denge durumunda adsorpsiyon ve desorpsiyon hızları birbirine eşittir (Yılmaz 2007). Eğer P ile gazın basıncı, k_1 ve k_2 ile de adsorpsiyon ve desorpsiyon orantı katsayıları gösterilecek olursa dt zamanında

$$k_1 P(1-\theta)S dt = k_2 \theta S dt \quad (2.9)$$

$$\theta = k_1 P / k_2 + k_1 P \quad (k_1 / k_2 = b) \quad (2. 10)$$

$$\theta = bP / 1 + bP \quad (2. 11)$$

Adsorplayıcının birim kütlesi alanı tarafından adsorplanan gaz hacmi V_a , örtülen yüzey kesri ile orantılıdır.

$$V_a = V_m \theta = V_m bP / 1 + bP \quad (2. 12)$$

Bu denklem çizgisel hale dönüştürülebilir ve P değerlerine karşılık P/V değerleri grafiğe geçirildiğinde eğimi $1/V_m$ ve kayması $1/V_m b$ olan gaz fazından adsorpsiyon için Langmuir izoterm denkleminin çizgisel şekli,

$$\frac{P}{V_a} = \frac{1}{V_m b} + \frac{P}{V_m} \quad (2. 13)$$

oluşur. V_a adsorplayıcının birim kütlesi başına adsorplanan gazın normal koşullardaki hacmi, P adsorplayıcı ile dengede bulunan gazın basıncı, V_m ise birim kütledeki adsorplayıcı yüzeyini tek tabakalı örtecek gazın normal koşullardaki hacmi olup tek tabaka kapasitesidir. b sabiti büyük ise adsorpsiyon düşük basınçlarda tamamlanır ve adsorpsiyon izotermi keskin köşe yapar. Bu durumda adsorplayıcının adsorplama yeteneği, düşük denge basıncında aralığında iyi demektir. V_m büyük ise adsorplayıcının adsorplama kapasitesi büyüktür. Genel olarak adsorpsiyon ısısı büyük olan ise b büyüktür ve adsorplayıcı geniş bir yüzey alanına sahip ise V_m büyük olur (Bulut 2003).

2. 4. 4. 2. Freundlich İzoterm Denklemi

Adsorpsiyon izoterm eşitliklerinden biri de Freundlich adsorpsiyon izotermi olup, yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Freundlich izotermi üstel bir eşitliktir ve bu eşitlik birçok adsorpsiyon verisini tanımlayan, orta derişim veya basınçlarda adsorpsiyonu tamamen amprik vermektedir. Adsorplanan madde miktar ile denge derişimi ilişkisini göstermek üzere Freundlich H. tarafından 1907'de önerilen Freundlich izotermi genellikle sıvı çözeltilerden adsorpsiyon için kullanılmakla birlikte, gazların adsorpsiyonu için de kullanılmaktadır. Belli miktarda adsorplayıcı tarafından adsorplanan madde miktarı, derişimle ya da basınçla hızlı bir şekilde artar ve daha sonra katı yüzeyinin adsorplanan molekülleriyle doymasıyla daha yavaş artış gösterir.

Freundlich izotermi, adsorpsiyon ısisının yzney örtüsü ile logaritmik olarak azaldığını kabul etmekte ve Şu denklemlle ifade edilmektedir.

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2.14)$$

Freundlich izoterm denkleminde eŐitliđin her iki yanında logaritmasını alarak doğrusal hale getirirsek:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2.15)$$

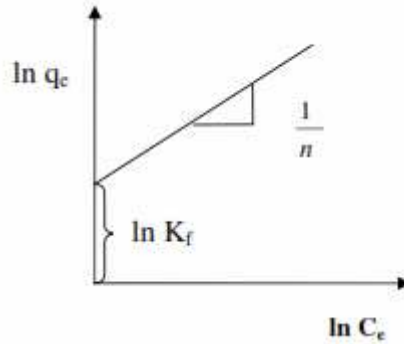
Őeklindeki ifade elde edilir. Burada;

C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltilde kalan madde konsantrasyonu (mg/L),

q_e : Birim adsorbant üzerine adsorplanan madde miktar (mg/g),

K_f : Adsorpsiyon kapasitesi,

n : Adsorpsiyon Őiddetinin ölçüsünü ifade etmektedir



Şekil 2. 4. 3. Freundlich izotermine grafiksel görüntüsü

Freundlich izoterm denkleml aşağıdaki gibi de gösterilebilmektedir,

$$V = k.C^n \quad (2.16)$$

$$V = k.P^n \quad (2.17)$$

Bunlardan birincisi çözeltilde adsorpsiyona, ikincisi ise gaz fazından adsorpsiyona uygulanır. Burada V adsorplanan madde miktarını; C ve p sırasıyla adsorplayıcı ile dengede bulunan çözeltilin derişimi ile gazın basıncıdır. k ve n terimleri sabit olup, k terimi adsorplayıcının adsorplama kapasitesi ile, n terimi ise adsorplananın

adorplanma eğilimi ile orantılıdır. k' nin büyük olması, adsorpsiyon izoterminin daha yüksekten seyretmesi ile, n' nin büyük olması ise izotermin düşük denge basıncında keskin köşe yapması ile sonuçlanır (Berkem ve ark. 1994, Aksoy 2008).

2. 4. 4. 3. Brunauer, Emmett ve Teller (B. E. T.) İzotermi

1938 yılında Brunauer, Emmet ve Teller katı maddelerin yüzey alanının gaz adsorpsiyonu ile bulunabileceğini belirtmişlerdir. Tek tabaka için verilen Langmuir denkleminin çok tabakalı adsorpsiyonun açıklanabilmesi amacı ile genişletilmiş halidir.

İlk tabaka dışındaki bütün tabakalarda adsorplanan miktarların aynı olduğunu kabul eden BET kuramına göre ilk tabaka dolmadan ikinci tabakada da adsorplama olabileceğini ifade etmektedir. Her bir tabaka için moleküllerin kendi arasında hiçbir etkileşme olmadığı da bu kuramın varsayımlarındandır (Mısırlı 2004, Özsoy 2007)

B. E. T. İzotermi genellikle,

$$P/V(P_0 - P) = 1/V_m C + (C - 1)P/V_m C P_0 \quad (2. 18)$$

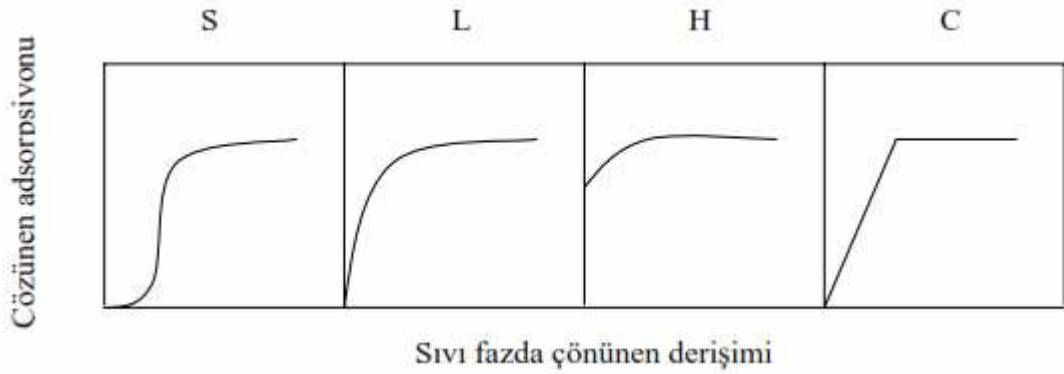
çizgisel biçimiyle verilir. Burada P_0 adsorplananın deney sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı, P adsorpsiyonun ölçüldüğü esnadaki buhar basıncını, V_m tek tabaka kapasitesi, C ise;

$$C = \exp(E_1 - E_L) / RT \quad (2. 19)$$

Bağıntısına göre adsorpsiyon ısısının, yoğunlaşma ısısını aşan miktarının ölçüsü olan bir sabittir. $(E_1 - E_L)$ ise net adsorpsiyon ısısıdır (Bulut 2003).

2. 4. 5. Çözünmüş Maddelerin Katılar Tarafından Adsorpsiyonu

Bir çözeltilde çözünmüş madde ve de çözücü de, katı tarafından adsorplanabilir. Giles, çözünmüş madde ile çözücü rekabetinden dolayı çözeltilen adsorpsiyon izotermelerini Şekil 2. 4. 4. de görüldüğü gibi sınıflandırmıştır.



Şekil 2. 4. 4. Giles adsorpsiyon sınıflandırması

S - TİPİ: Bu tip izoterm, apsis eksenine doğru dış bükeydir ve çözücünün kuvvetli olarak adsorplanmasında, adsorplanmış tabaka içinde kuvvetli bir moleküller arası etkileşimin varlığında ve adsorplayıcının mono fonksiyonel olmasında ortaya çıkar.

L - TİPİ: Langmuir tipi izoterm olup apsis eksenine doğru iç bükeydir. Çözücü tarafından kuvvetli bir yarışmanın olmadığı durumlarda ortaya çıkar.

H - TİPİ: Başlangıç noktaları ordinat üzerinde bir nokta olup, adsorplayıcı ve adsorplanan arasındaki kuvvetli bir ilgiden, özellikle kemisorpsiyonda ortaya çıkar.

C - TİPİ: Orjinden geçen düz bir doğru şeklindedir. Bu durumda adsorplanacak maddenin çözücü faz ile katı faz arasındaki dağılım sabittir. Derişim ile adsorplanan arasında sabit bir oran vardır.

Çözeltiden adsorpsiyona etki eden etmenler; pH, sıcaklık, adsorplayıcının yüzey alanı, adsorplanan derişimi, çalkalama hızı, adsorplananın çözünürlüğü, adsorplayıcının yüzey fonksiyonel grupları, adsorplananın kimyasal yapısı, adsorplananın parçacık boyutu, katı-sıvı oranı, tuzluluk, denge temas süresi ve adsorplayıcı miktarıdır (Bulut 2003, Atiç 2008). Çözünmüş maddenin adsorpsiyonu ikiye ayrılabilir.

- 1) Yüzey gerilimdeki derişiklikten ileri gelen adsorpsiyon,
- 2) Elektrostatik kuvvetlerden ileri gelen adsorpsiyon.

1) Yüzey gerilimdeki derişiklikten ileri gelen adsorpsiyon

Bir çözültiden çözülmüş bir cisim, yüzey tabakasında ve sıvının içinde farklı bir dağılıma sahiptir. W. Gibbs bununla ilgili şu sonucu vermiştir: Yüzey gerilimi azaltan cisimlerin sınır yüzeyindeki konsantrasyonları sıvı içindekinden fazla, yüzey gerilimi

artıran cisimlerin sınır yüzeyindeki konsantrasyonları sıvı içinden daha azdır. Birinci halde adsorpsiyon pozitif, ikinci halde ise negatiftir. Aynı olay iki sıvının ve bir katı ile sıvının temas yüzeyinde de kendinin gösterir. Pozitif adsorpsiyonda şu genel özellikler görülür:

1. Adsorplayıcının birim kütlesi tarafından adsorplanan madde miktarı çözülmüş maddenin konsantrasyonuna bağlıdır. Adsorplayıcı doyumluğa ulaştığında adsorpsiyon durur.

2. Adsorpsiyon iki yönlüdür; ancak adsorpsiyon sonucu kimyasal değişme olursa olay iki yönlü değildir.

3. Bir cisim, yüksek yüzey gerilimli bir çözücüde, düşük yüzey gerilimli bir çözücüye oranla daha şiddetle adsorplanır.

4. Adsorplanmış bir cismin, kendisine oranla daha şiddetle adsorplanan bir başka cisim tarafından adsorplayıcı yüzeyinden alınabilir (Berkem ve ark. 1994).

2. Elektrostatik kuvvetlerden ileri gelen adsorpsiyon

Eğer farklı kimyasal yapıda iki faz birbiri ile temasta bulunursa, bu iki faz arasında bir elektriksel potansiyel farkı meydana gelir. Bu fark arayüzeyin bir tarafını pozitif diğer tarafını negatif yükleyerek yük ayırması yapar. Yüzeydeki bu elektrik yükü, diğer fazdaki zıt işaretli iyonları adsorplar (Berkem ve ark. 1994).

2. 4. 6. Adsorplanan Madde

Adsorplayıcının kütlesindeki artma ya da adsorplayıcının kütlesindeki azalma ölçülerek adsorplanan madde miktarına geçilebilir. Çözeltiden adsorpsiyon sırasında çözeltinin derişimindeki düşmeden, gaz adsorpsiyonu sırasında ise sabit sıcaklık ve sabit hacimdeki gazın basıncındaki azalmadan ya da sabit sıcaklık ve sabit basınçtaki gazın hacmindeki azalmadan adsorplanan madde miktarına geçilebilmektedir (Sarıkaya 1997). Çözeltiden adsorpsiyon sırasında adsorplanan madde miktarı çözeltinin derişimine bağlıdır. Gaz fazından adsorpsiyon sırasında basıncın işlevi ne ise çözeltiden adsorpsiyon sırasında da derişimin işlevi de odur (Bulut 2003).

2. 4. 7. Adsorplayıcı Katılar

Adsorpsiyon sürecinin uygulanabilirliği adsorpsiyon veriminin yanı sıra adsorbentlerin ucuz ve kolay temin edilebilir olma özelliğine de bağlıdır. Ağır metal giderilmesi işlemlerinde, aktif karbon ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarının etkili olduğu bulunmuştur. Bu işlemin pahalı olması nedeniyle kil, uçucu kül, aktif çamur, doğal zeolitler, meyve artıkları, mikro biyolojik, bitkisel ve zirai artıklar, kitin ve çitosan gibi doğal polimerler, sentetik polimerler, hidroksiapatit gibi birçok katı madde ucuz alternatif adsorplayıcı olarak kullanılmıştır (Jang ve ark. 2008, Yıldız 2008, Swayampakula ve ark 2009).

Adsorpsiyon, kimyasal kirliliğin giderilmesinde kullanılan oldukça etkili, kolay ve ucuz bir yöntemdir. Adsorpsiyon sürecinin uygulanabilirliği adsorpsiyon veriminin yanı sıra adsorbentlerin ucuz ve kolay temin edilebilir olma özelliğine de bağlıdır. Ağır metal giderilmesi işlemlerinde, aktif karbon ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarının etkili olduğu bulunmuştur. Bu işlemin pahalı olması nedeniyle kil, uçucu kül, aktif çamur, doğal zeolitler, meyve artıkları, mikro biyolojik ve bitkisel artıklar, kitin, çitosan gibi birçok ucuz alternatif adsorplayıcı madde kullanılmıştır (Yıldız 2008, Swayampakula ve ark 2009).

Son yıllarda bu adsorplayıcıların bazı dezavantajlarını azaltmak ve daha yüksek adsorplama kapasitesi elde etmek için, iki veya daha fazla adsorplayıcı bir araya getirilerek hazırlanan kompozit maddeler kullanılmıştır.

İki veya daha fazla malzemenin, özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak için, mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla oluşan malzeme olarak tanımlanan kompozitlerin hazırlanmasında temel amaç, farklı maddelerin iyi özelliklerini bir malzemede toplayabilmektir. Kompozitler organik, inorganik ve polimer yapıların karıştırılması ile elde edilebilir (Starodoubtsev ve ark. 2000, Şimşek 2001, Ulçay ve ark. 2002, Esen 2007, Saçak 2008). Bu çalışmada çitosan ve bentonit kili kullanılarak kompozit hazırlanmış ve adsorplayıcı olarak kullanılmıştır.

2. 4. 7. 1 Çitosan

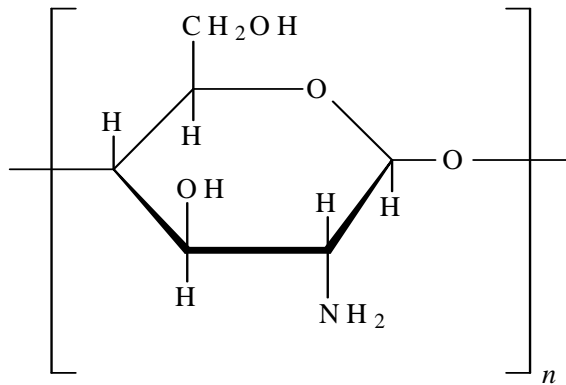
Selülozdan sonra doğada en yaygın bulunan biyopolimer kitinin alkali ortamda desatilasyonu ile elde edilen çitosan, deniz ürünü eklem bacaklıların büyük bir

2. KAYNAK ÖZETLERİ

bölümünün artıklarının işlenmesi ile kolayca elde edilebilir [(Akkaya 2005 b), Dragan ve Ark. 2010)]. Katyonik bir polisakkarit olan çitosan β -(1 \rightarrow 4) – 2 – amino – deoksi – D – glukopiranoz ve β - (1 \rightarrow 4) – 2 – asetamido – 2 – deoksi – D – glukopiranoz birimlerinden oluşur.

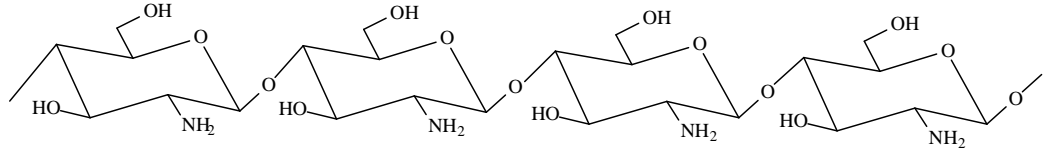
Çitosanın biyobozunabilirlik, kimyasal uyumluluk ve antibakteriyel aktivitesi araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Son zamanlarda çitosanın adsorplayıcı olarak ağır metal uzaklaştırılmasında kullanımı gittikçe artmaktadır (Dragan ve ark. 2010, Swayampakula ve ark. 2009). Yapısında bulunan hidroksil (-OH) ve amino (-NH₂) grupları çitosanın ağır metallerle bağ yapabilme potansiyeline sahip olmasını sağlar [(Futalan ve ark. 2011 a)].

Çitosanın doğal yapısına bazı spesifik fonksiyonel grupların aşılansarak eklenmesi, adsorpsiyon özelliklerinin gelişmesini sağlar (Swayampakula ve ark. 2009). Çitosan, birçok organik reaksiyon (tosilleme, alkilleme, karboksilleme, sülfolama, schiff baz, kuarterner tuz vs.) ile kolayca modifiye olabilen serbest amin grupların 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 dönüştürülebilir. Yapısındaki amin grupları nedeniyle asidik ortamda çözünür özelliğe sahiptir (Başer 2007). Aşağıda çitosanın moleküler yapısı verilmiştir.



Şekil 2. 4. 5. Çitosanın moleküler yapısı

Polimer zincir halinde ise aşağıdaki yapıyı oluşturmaktadır.

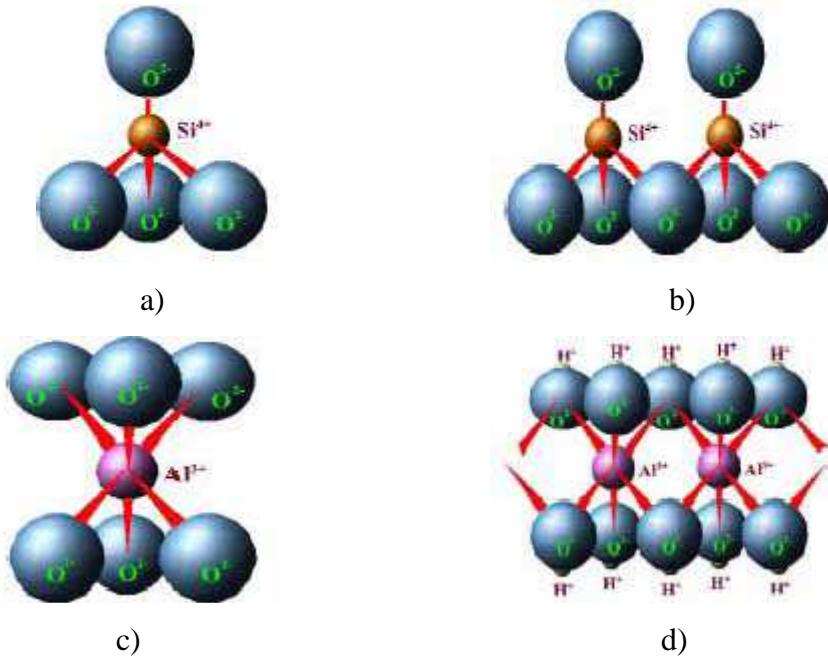


Şekil 2. 4. 6. Çitosanın polimer zincir yapısı (Atiç 2008)

2. 4. 7. 2. Bentonit

İlk insanlardan bu yana kullanıldığı sanılan killer bilinen en eski hammaddelerdendir. Güçlü hava akımının etkisi altında kayaların aşınmasıyla oluşan killer ya oluştukları yerde ya da rüzgâr ve su gücü ile taşınarak başka yerlerde büyük yataklar halinde depolanmıştır. Kimyasal analizler, killerin su tutma ve iyon değiştirme güçleri yüksek alüminyum silikat bileşikleri olduğunu göstermiştir. Mineral içerikleri ve minerallerin kimyasal bileşimlerine bağlı olarak doğal killerin rengi beyaz, gri, yeşil, pembe ve kahverenginin çeşitli tonlarında olabilmektedir (Zengin 2010).

Killer, feldispatlı volkanik kayaların kimyasal ve mekanik değişimleri ile oluşan hidratlanmış alüminyum silikatlardır. Kil mineralleri, tetrahedral ve oktahedral levhaların belirli bir kristal sistemine göre üst üste dizilmeleriyle oluşmuş ve tabakalar arasında değişebilir katyonlar ya da su molekülleri içeren, tanecik boyutları 2 mikrondan küçük minerallerdir. Oktahedral yapıyı oluşturan birimlerin şekli düzgün sekiz yüzlü olup merkezde alüminyum, demir ya da magnezyum iyonlarından biri, köşelerde ise merkez atomlarından eşit uzaklıkta oksijen atomları ya da hidroksil grupları bulunmaktadır. Tetrahedral yapıyı oluşturan birimlerin geometrik şekli düzgün dört yüzlü olup merkezde silisyum atomu köşelerde ise merkez atomundan eşit uzaklıkta oksijen atomları bulunmaktadır (Şenol 2008).

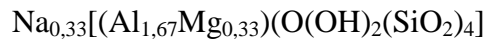


Şekil. 2. 4. 7. a) Tetrahedral birim, b) Silikat tabakası, c) Oktahedral birim, d) Alümina tabakası (Şenol 2008)

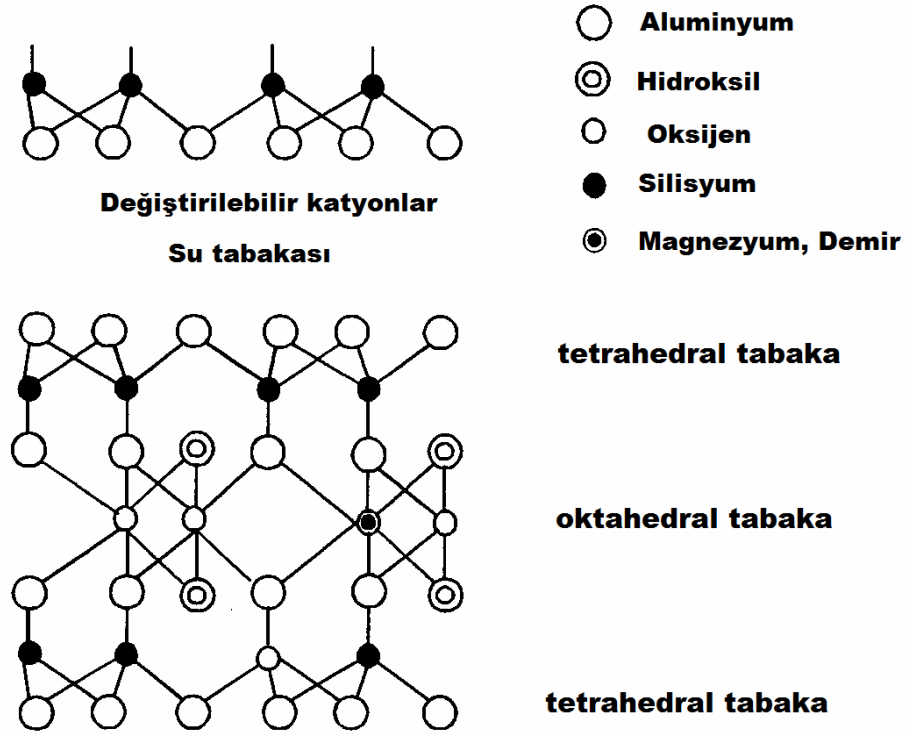
En çok bilinen killer, illite, kaolinit, klorit ve smektit grubu killerdir. Smektit grubu killerin bir alt türü olan montmorilonitlerin ideal formülleri,



şekindedir. Burada M değişebilir katyondur ve Ca^{+2} , Mg^{+2} gibi toprak alkali ya da Na^+ gibi alkali metaller olabilir. Montmorilonitin Na^+ formu Bentonit olarak bilinir ve formülü,



şekindedir. Bu killer 2:1 tipi tabaka yapısına sahiptir. İki silisyum tetrahedral levha (T) arasında bir alüminyum oktahedral levhanın (O) oksijen bağları ile oluşan tabakalarının (TOT) şeklinde belirli aralıklarda yenilenmesi ile oluşur (Şimşek 2001, Wei ve ark. 2009).



Şekil. 2. 4. 8. Bentonit TOT yapısı (Şimşek 2001, Luchkam ve Rossi 1999)

Bentonit oldukça özel bir yüzey alana sahiptir. Kimyasal ve fiziksel kararlılığı, ucuz ve kolay elde edilmesi, kimyasal ve mekanik olarak kullanımının uygun olması gibi özellikleri sayesinde yaygınca kullanılan bir kil çeşidi olmuştur [(Futalan ve ark 2011 a,b)]. Doğal bir madde olan bentonit yüksek oranda şişebilme özelliğinden dolayı yüksek adsorpsiyon ve iyon değiştirme kapasitesine sahiptir (Holzer ve ark. 2010).

Birçok ağır metal adsorpsiyonu çalışmasında kullanılan bentonitin özellikle bakır, kurşun, kadyum ve çinko gibi ağır metalleri için etkili bir adsorplayıcı olduğu tespit edilmiştir. Bentonitin ağır metal adsorplamada ki yüksek eğiliminin yanı sıra fenol ve benzer bileşiklerin adsorpsiyonla giderilmesinde de oldukça etkilidir (Kaya ve Ören 2005).

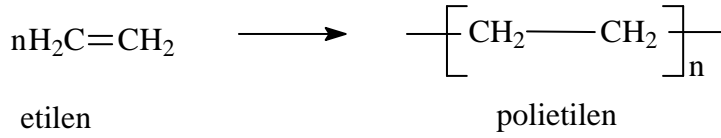
2. 4. 7. 3. Polimerler

Polimerler, kimyasal ve fiziksel özellikleri açısından çoğunlukla küçük moleküllü maddelerden ayrılırlar. Bu nedenle, polimerlerde gözlenen farklı davranışlar, küçük moleküllü kimyasallar için zaman içinde geliştirilmiş ve kullanılagelmiş tanımlar

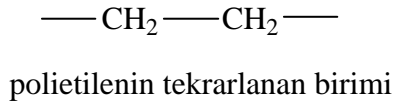
2. KAYNAK ÖZETLERİ

ya da kavramlar her zaman açıklanamaz. Polimerler için bilinmesi gereken temel tanım ve kavramları aşağıdaki gibi verilebilir.

Monomer, birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük mol kütleli kimyasal maddeler için kullanılan bir tanımlamadır. **Polimer** ise, çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbirine bağlanarak oluşturduğu iri molekülün adıdır. Monomer molekülleri polimerizasyon tepkimeleri üzerinden polimer molekülüne dönüşürler. Bir polimer molekülünde onlarca, yüzlerce, binlerce monomerden gelen birim bulunabilir. Etilen molekülünün polimerizasyonu ile elde edilen polietilen polimerinin aşağıdaki yazılımı polimerler için en genel ve kısa biçimdeki gösterimidir (Tsuruta 2001, Beşergil 2008, Saçak 2008).



Polietilen kimyasal gösteriminde, parantez içerisinde verilen yapıya **tekrarlanan birim** denir. Tekrarlanan birimlerinin yan yana yazılması ile polimer molekülüne geçilir (Tsuruta 2001, Beşergil 2008, Saçak 2008).



Polimer Sentezi: Polimerler, değişik kimyasal tepkimelerden yararlanılarak sentezlenebilir. Bu tepkimeler, genel işleyiş mekanizması açısından;

- *basamaklı polimerizasyon,*
- *katılma polimerizasyonu*

adları verilen iki temel polimerizasyon yöntemi altında toplanırlar. Polimerleşmeye yatkın kimyasal maddeler, bu ki mekanizmadan birisini izleyerek polimer zincirlerine katılırlar. Polimerizasyon mekanizmasının, özellikle polimerizasyonun zamanla davranışının bilinmesi (polimerizasyon kinetiği), aranan karakteristikleri taşıyan ve istenilen türde polimer üretimi açısından önemlidir (Tsuruta 2001, Beşergil 2008, Saçak 2008).

Basamaklı polimerizasyon ile elde edilen basamaklı polimerler; kondensasyon, Micheal katılması, Friedel-Crafts, Diels-Alder katılması, ürean oluşumu türü organik tepkimelerle hazırlanabilir. Bu tepkimeler içerisinde en sık kullanılanı ve laboratuvar ya da endüstride basamaklı polimer üretimine en uygunu kondensasyon tepkimeleridir. Bu tepkimelerin genel tanımı fonksiyonel grupları bulunan iki molekülün aralarından küçük bir molekül ayrılarak birleşmesi şeklinde yapılır.

Katılma polimerizasyonunda monomer molekülleri, büyümekte olan polimer zincirlerine birer birer ve hızla katılırlar. Hızlı zincir büyümesinden dolayı polimerizasyonun her aşamasında, yalnız yüksek mol kütleli polimer ve tepkimeye girmemiş monomer bulunur. Katılma polimerizasyonunu başlatma yöntemlerinden birisi, serbest radikallerden (çiftleşmemiş elektronu bulunan bileşikler) yararlanmaktır (radikalik katılma polimerizasyonu). Kimyasal maddeler kullanarak veya fiziksel etkenlerden yararlanılarak polimerizasyon ortamında radikaller oluşturulabilir. Örneğin; benzoil peroksit (BPO), azobisisobütironitril (AIBN) türü bazı organik bileşikler ısı etkisiyle serbest radikaller verecek şekilde bozunurlar.

Örneğin; polimerleşmeye yatkın bir kimyasal madde üzerine az miktarda benzoil peroksit katıldıktan sonra (monomere göre kütlece yaklaşık %1) 70-80 °C dolayına ısıtılırsa benzoil peroksit parçalanır ve iki benzoil oksid radikali oluşur. Benzoil oksid radikali (kısaca R[•]) daha sonra, monomerin π - elektronlarının birisi üzerinden monomerle birleşerek ilk monomerik radikali oluşturur. Bu yeni radikalik aktif merkez ikinci bir monomeri benzer şekilde katar ve polimerizasyon, monomerlerin radikalik aktif zincire ard arda katılmasıyla ilerler. Sözü edilen adımları akrilonitrilin polimerizasyonu örnek verilerek gösterilebilir.

Basamaklı polimerizasyonda, polimerizasyon ortamında bulunan her boy molekül birbiri ile tepkimeye girerek zinciri büyütebilir iken, katılma polimerizasyonunda büyüme tepkimeleri yalnız aktif zincirler ve monomer molekülleri arasındadır. Polimerizasyon ortamındaki değişik tepkimeler, aktif zincirlerin sonlanmasına neden olabilir. Örneğin aktif iki zincir, uçlarındaki radikaller üzerinden birleşerek sonlanabilir ve monomer katma yeteneği olmayan kendilerinden daha uzun bir ölü polimer zincirine dönüşebilir. Aktif zincirlerin birisinden diğerine bir atomun

aktarılması (genelde hidrojen atomu), bir başka sonlanma türüdür (Tsuruta 2001, Beşergil 2008, Saçak 2008).

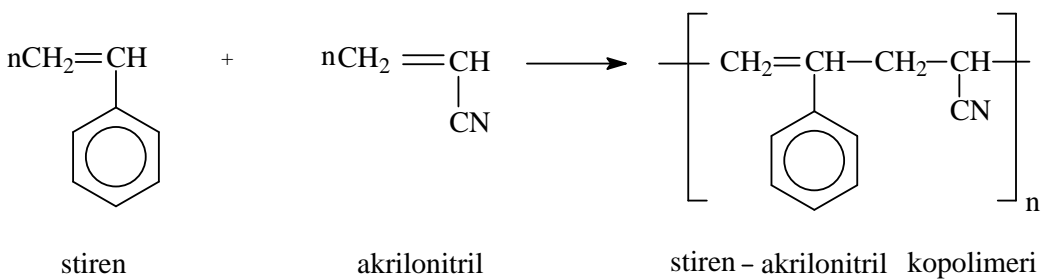
Doymamış bağlar taşıyan alkenler, asetilenler, aldehitler veya diğer benzeri bileşikler katılma polimerizasyonu ile polimerleşmeye yatkın kimyasallardır. Özellikle vinil klorür, akrilonitril gibi vinil bileşikleri ($\text{CH}_2 = \text{CHR}$) katılma polimerizasyonuna uygun monomerlerdir.

Katılma polimerizasyonu radikaller dışında iyonik karakterdeki aktif merkezler üzerinden de gerçekleştirilebilir. İyonik katılma polimerizasyonu olarak bilinen bu polimerizasyon yönteminde, zincir büyümesini sağlayan aktif merkezin türüne göre ayrıca katyonik katılma ve anyonik katılma polimerizasyonu şeklinde iki kısma ayrılır.



Yaygın olarak kullanılan monomerler ve katılma polimerizasyonu ile elde edilen polimer hallerinin yapıları Şekil 2.4.9'de verilmiştir.

Homopolimer, tek tür monomerden çıkılarak sentezlenen polimerlere verilen isimdir. Örneğin, saf haldeki polietilen, polistiren, politetrafloretillen polimerleri birer homopolimerdir.

Kopolimer, zincirlerinde kimyasal yapısı farklı birden fazla monomer birimi bulunan polimerdir. Akrilonitril ve stiren monomerlerinin birlikte polimerizasyonu (kopolimerizasyon), zincirler üzerinde akrilonitril ve stiren birimlerinin yer aldığı aşağıdaki kopolimeri verir.

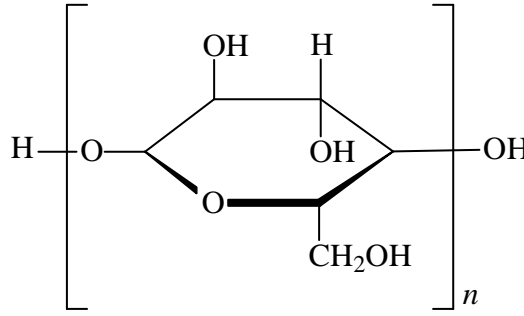


Basamaklı polimerizasyon veya katılma polimerizasyonu yöntemleriyle kopolimerler sentezlenebilse de, katılma polimerizasyonu yöntemleriyle kopolimer sentezine daha uygundur.

monomer		polimer	
$\text{CH}_2=\text{CH}$ H	etilen	$\left[\text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ H	polietilen
$\text{CH}_2=\text{CH}$ 	stiren	$\left[\text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ 	polistiren
$\text{CH}_2=\text{CH}$ Cl	vinil klorür	$\left[\text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ Cl	poli(vinil klorür)
$\text{CH}_2=\text{CH}$ CN	akrilonitril	$\left[\text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ CN	poliakrilonitril
$\text{CH}_2=\text{CH}$ CH ₃	propilen	$\left[\text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ CH ₃	polipropilen
$\text{CH}_2=\text{CH}$ O C=O CH ₃	vinil asetat	$\left[\text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ O C=O CH ₃	poli(vinil asetat)
$\text{CH}_2=\text{C}$ CH ₃ CH ₃	izobütilen	$\left[\text{CH}_2-\text{C} \right]_n$ CH ₃ CH ₃	poliizobütilen
$\text{CH}_2=\text{C}$ Cl Cl	vinilden klorür	$\left[\text{CH}_2-\text{C} \right]_n$ Cl Cl	poli(vinilden klorür)
$\text{CH}_2=\text{C}$ CH ₃ O C=O CH ₃	metil metakrilamit	$\left[\text{CH}_2-\text{C} \right]_n$ CH ₃ O C=O CH ₃	poli(metil metakrilamit)

Şekil. 2. 4. 9. Bazı katılma polimerleri

Doğal polimerler, doğada kendiliğinden oluşan polimerlerdir ve insanlar her dönem bu polimerleri değişik alanlarda kullanmışlardır. Çok farklı doğal polimerler vardır. Bitki ve ağaçların temel yapısını oluşturan selüloz doğada en bol bulunan polimerdir (Tsuruta 2001, Beşergil 2008, Saçak 2008).



selüloz

Şekil 2. 4. 10. Selülozun yapısı

Selüloz gibi genelde doğal polimerlerin önemli bir kısmı canlıların yapısında yer alır. Canlıların hareketlilik, yaşlanma, duyu gibi özelliklerinden sorumlu olan bu polimerlere biyopolimerler denir. Selülozdan sonra doğada en çok bulunan polimerlerden biri olan kitin ve kitinden elde edilen çitosan biyopolimerlere örnektir.

2. 4. 7. 4. Kompozit Maddeler

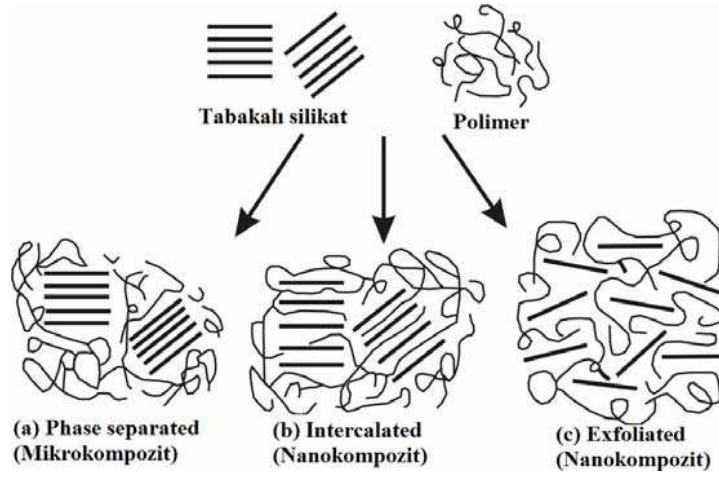
İki veya daha fazla malzemenin, iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak için, mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla oluşan malzemeye birleşik veya kompozit malzeme denir. Kompozitlerin hazırlanmasında temel amaç, farklı maddelerin iyi özelliklerini bir malzemede toplayabilmektir. Günümüzde polimerik kompozitlerin hazırlanmasında yaygın olarak lifsel maddelerden yararlanılır (Ulçay ve ark. 2002, Esen 2007, Saçak 2008).

Kompozit yapıların bileşimi örneğin bir kil veya zeolit ile bir polimerin bileşiminden oluşabilir (Starodoubtsev ve ark. 2000). Bir kil ile polimerin oluşturduğu kompozit malzemede polimer ya kil tabakalar arasındaki boşluklara girer ya da yapının yüzeyini kaplar. Bu melez yapının özellikleri bileşenlerinden hem mekanik hem de fizikokimyasal olarak farklılık gösterir (Choi ve Chung 2004).

Kompozitler organik, inorganik ve polimer yapıların karıştırılması ile elde edilebilir. Doğal adsorplayıcılar olan aktif kömür, uçucu kül, kil, zeolit gibi inorganik

türlerin polimerler ile olan kompozit yapıları ilginç çalışmalarla ortaya konulmuş ve çarpıcı sonuçlar alınmıştır (Şimşek 2001).

Kil ve zeolit gibi adsorpsiyon çalışmalarında genelde sık kullanılan ama pratik kullanımlarda agregasyon ve koagülasyon gibi hidrodinamik özellikleri etkileyen olumsuzluklar ile karşılaşılır. Bu olumsuzluklar adsorplayıcıların polimerler ile oluşturabilecekleri kompozitlerin kullanımı ile giderilebilir (Friedrich 2005). Şekil 2, 4. 7. de polimerlerin kil ve benzeri örgüye sahip malzemelerle oluşturdukları kompozit tiplerini göstermektedir.



Şekil 2. 4. 11. Farklı tip kompozitlerin oluşumu

Polimer/kil kompozitleri yapısal esneklik, yüksek partikül dağılımı, gaz geçirgenliği, yangın söndürücü, termal ve mekanik kararlılık gibi eşsiz özelliklerinden dolayı birçok uygulama için gelecek vaadeden materyaller olmuştur. Birçok araştırmacı polimer/kil kompozitlerin ağır metal adsorpsiyonu performanslarını araştırmıştır [(Dinu ve ark. 2009, Dragan ve ark. 2009, Bleiman ve Mishael 2010, Zhu ve ark. 2010, Futralan ve ark. 2011 a)].

Bir polisakkarit olan çitosan içerdiği çok sayıdaki fonksiyonel grupların modifikasyonu ile seçicilik ve adsorpsiyon kapasitesi gibi özelliklerinin gelişmesini mümkün kılar. Çitosan temelli kompozitlerden, çitosan/kil kompozitlerin ağır metal ve boyar madde adsorpsiyonunda birçok çalışmada kullanıldığı tespit edilmiştir (Dragan ve ark. 2009, Zhao ve ark. 2010, Zhu ve ark. 2010).

2. 5. Önceki Çalışmalar

Çitosan biyopolimeri, adsorpsiyon işlemi ile düşük konsantrasyonda bile ağır metal ve boya giderilmesinde kullanılmaktadır (Grégorio 2006). Çitosan ve çitosan türevleri birçok adsorpsiyon uygulamasında kullanılmış ve ağır metal ve boya gibi toksik maddelerin atık sularından giderilmesinde iyi bir adsorplayıcı olduğu test edilmiştir.

Çitosanın birçok madde ile kompoziti hazırlanmış ve adsorpsiyon işlemlerinde kullanılmıştır. Ayrıca çitosan/kil-zeolit kompozitleri de yaygın olarak literatürde yer almıştır.

Wan Ngah ve ark. [(2008 a)] sulu ortamdan humik asitin giderilmesi için çapraz bağlı çitosan-epiklorohidrin kürelerini kullanmışlardır.

Lous ve ark. (2010) da çapraz bağlı çitosan-epiklorohidrin-trifosfat küreleri ile Cu(II), Cd(II) ve Pb(II) iyonlarının atık sulardan giderilmesi çalışmalarını yapmışlardır.

Zhou ve ark. (2009) ise çitosan-tiyöüre küreleri ile Hg(II), Ni(II) ve Cu(II) iyonlarının atık sulardan giderilmesi çalışmalarını yapmışlardır.

Killer, fiziksel, kimyasal ve spesifik yüzey alanları gibi özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir (Lin ve ark. 2004). Bentonit yapısında SiO₂, CaO, MgO, Fe₂O₃, Na₂O ve K₂O bulunduran ve şişebilme özelliği ile yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip bir kildir (Wan Ngah ve ark. 2011). Birçok adsorpsiyon çalışmasında kullanılmıştır.

Gitipour ve ark. (1997) bentoniti atık sularından aromatik organik bileşiklerin giderilmesinde, Wei ve ark. (2009) ise 2-naftolün giderilmesinde kullanılmıştır.

Bentonit ile Kaya ve Ören (2005) Zn(II) iyonlarının atık sulardan giderilmesi çalışmalarını, Karapınar ve Donat (2009) da Cu(II) ve Cd(II) iyonlarının atık sulardan giderilmesi çalışmalarını yapmışlardır.

Bazı çalışmalarda da çitosan/bentonit kompozitleri hazırlanarak adsorplayıcı olarak kullanılmıştır. Wan Ngah ve ark. [(2010 (a,b))], tartrazin ve malakit yeşili boyarmaddelerinin adsorpsiyonunda çitosan/bentonit kompozitlerini kullanmışlardır.

Fan ve ark. (2006), Bleiman ve Misheal (2010) ve Wang ve Wang (2007) tarafından çitosan/montmorillonit kompozitleri hazırlanmış ve Cr(VI) iyonlarının, selenik asit ve kongo kırmızısının giderilmesinde kullanılmıştır.

Wang ve ark (2009) atapulgit/çitosan kompozitini Cu(II) iyonlarının giderilmesinde kullanmıştır.

Zhu ve ark (2010) da kaolin/çitosan kompozitini anyonik azo boyarmaddelerin giderilmesinde kullanmıştır

Çitosan/zeolit kompozitleri olarak çitosan/klinoptilolit kompozitleri hazırlanmıştır. Bu kompozitleri Dragan ve ark. (2010) Cu(II) iyonlarını uzaklaştırılmada, Dinu ve Dragan (2010) ise Co(II) ve Ni(II) iyonlarını uzaklaştırmada kullanmıştır.

Alimuna, ihtiva ettiği alimunyum hidroksitin amfoter karakterinden dolayı adsorplayıcı olarak kullanılmıştır (Márta ve ark. 1998). Adsorplayıcı olarak alimunanın önemi bazı çalışmalarla fark edilmiştir (Ahmed ve ark. 2000).

Bazı çalışmalarda çitosan/seramik alümina kompozitleri ağır metal giderilmesinde kullanılmıştır. Örneğin; Veera ve ark. [(2003, 2008 a,b)] Cr(VI), As(III), As(V), Cu(II) ve Ni(II) iyonlarının uzaklaştırılmasında bu kompozitleri kullanmıştır.

Perlit, inci taşı anlamına gelen grinin tonlarından siyaha kadar değişik renklerde camsı volkanik bir kayadır (Mathialagan ve Virarakhavan 2002). Perlitin çitosan ile hazırlanan kompozitleri adsorplayıcı olarak kullanılmıştır.

Shameem ve ark. (2003, 2006) çitosan/perlit kompozitlerini adsorplayıcı olarak Cd(II), Cr(VI) iyonlarının giderilmesinde, Kalyani ve ark (2005, 2009) ve Swayampakula ve ark. (2009) ise Cu(II) ve Ni(II) gibi iyonların giderilmesinde kullanmıştır.

Manyetit, spiral yapısındaki ferrimanyetik, Fe₃O₄ formülü ile gösterilen demir mineralidir. Bazı radyoaktif maddelerin adsorpsiyon çalışmalarında manyetit kullanılmıştır (Martinez 2006). Birkaç literatürde çitosan/manyetit kompozitleri hazırlanmış ve atık sulardan ağır metal iyonlarının giderilmesinde kullanılmıştır (Huang ve ark. 2009, Liu ve ark. 2009, Tran ve ark. 2010).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kum, atık sulardan ağır metal ve boya giderilmesi için adsorplayıcı olarak kullanılmak üzere modifiye edilebilir (Wan Ngah ve ark. 2011). Wan ve ark. (2007) çitosan üzerine kum tutturularak hazırlanan kompozitlerle Cu(II) adsorpsiyonu çalışmışlardır.

Doğada en bol bulunan bir biyopolimer olan selüloz, çok çeşitli fonksiyonel materyalin hazırlanmasına imkan kılar (Benoit ve ark. 2009, Rosa ve ark. 2010). Li ve ark. (2005) ve Sun ve ark. (2009) benzer metotlarla çitosan/selüloz kompozitleri hazırlamış ve Cu(II), Ni(II), Zn(II), Cr(VI) ve Pb(II) gibi iyonların giderilmesinde kullanmışlardır.

Poli(vinil alkol) (PVA), yüksek hidrofilik, antitoksik ve biyokullanılabilir özelliklere sahip olan bir polimer olmanın yanı sıra mekanik olarak güçlü, termal ve farklı pH ortamlarında kararlıdır (Li ve ark 2000, Ma ve ark 2007, Brian ve ark. 2009). PVA'nın sahip olduğu bu özelliklerden dolayı çitosan/PVA kompozitleri hazırlanmış ve Wan Ngah ve ark. (2004) tarafından Cu(II) iyonları, Kumar ve ark. (2009) tarafından da Cd(II) iyonlarının giderilmesinde kullanılmıştır.

Poli(vinil klorür) (PVC), yüksek yüzey alana, asidik ve organik çözücüler içinde iyi bir fiziksel ve kimyasal kararlılığa sahiptir. Bu özellikler PVC'nin modifiye edilerek iyi bir adsorplayıcı elde edilmesini sağlar (Farzaneh ve ark. 2009). Srinivasa ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada çitosan/PVC kompozitleri Cu(II) ve Ni(II) iyonlarının giderilmesinde kullanılmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

3. 1. Deneysel Kısım

Sulu çözeltilerden Cu(II) iyonlarının uzaklaştırılması amacı ile batch tekniği kullanıldı. Başlangıç derişimi belli olan çözeltiler belirli miktarlarda adsorplayıcılarla erlende karıştırıldı. Belirli hız ve sıcaklıkta sulu çalkalayıcıda belirli sürelerde karıştırılan çözeltilerden belirli miktarlarda çözelti alınarak AAS'de (Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi) ölçümler alındı.

3. 2. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada kimyasal madde olarak, Merck ticari markalı bakır sülfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), NaOH, asetik asit, metilenbisakrilamit (MBA), çitosan ve Elazığ-Yalavuz Bentoniti kullanıldı.

3. 3. Kullanılan Alet ve Cihazlar

Çitosanın öğütülmesinde Waring Commercial marka laboratuvar blendırı, Mettler Toledo markalı pH metre, tartım işlemi için Pioneer Ohaus markalı terazi, Wisestir markalı magnetik karıştırıcı ve çalkalama işleminde Nüve markalı çalkalayıcı kullanıldı. Bakır iyonunun analizleri için Perkin Elmer markalı Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi, karakterizasyon işlemleri içinde Perkin Elmer markalı İnfrared Spektrofotometresi kullanıldı.

3. 4. Kullanılan Adsorplayıcılar ve Hazırlanması

Ticari olarak temin edilen çitosanın saf hali blendırda öğütülerek kullanıldı. Bentonit kili ek bir işlem yapılmadan kullanıldı.

Çitosanın 1 gramı 100 ml 1 M asetik asit içinde çözüldü ve 1 g bentonit kili ile karıştırıldı. Bir saat çalkalanan çözelti 4:1 hacim oranında % 15 NaOH ve % 95 etanol içeren nötralizasyon solüsyonu içine, sabit bir şekilde, bir şırınga ile damla damla püskürtüldü. Bir gün boyunca solüsyonda bekletilen çitosan/kil (ÇK) kompozitleri daha sonra saf su ile yıkanıp kurutuldu ve adsorplayıcı olarak kullanıldı.

Çapraz bağlı çitosan/kil kompozitleri (ÇÇK) ise, 0,1 g ÇK ve 0,2 g Metilenbisakrilamid (MBA)' in 50°C'de 50ml 1 N NaOH çözeltisi içinde bir gün boyunca reflakt edilip saf suyla yıkanıp kurutulmasıyla elde edildi.

3. 5. Kinetik Çalışmalar

3. 5. 1. Başlangıç derişimi (C_o) etkisi:

Başlangıç derişimi 25, 50, 100 mg/L olan bakır iyonu çözeltilerinin 50 mL'si, 0,01 g adsorplayıcı ile 25 °C sıcaklıkta, 120 rpm hızla, 24 saat boyunca çalkalandı. Belirli zaman aralıklarında (0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18 ve 24 saat) karışımdan 1 ml alınıp gerekli seyreltme işlemi yapılarak AAS' de derişimi belirlendi ve kinetik veriler hesaplandı. Bu işlem her dört adsorplayıcı için yapıldı. 1 gram adsorplayıcı tarafından adsorplanan miktar (q) denklem (3. 1) hesaplandı. Zamana karşı denge derişimi ve q grafiğe geçilerek kinetik eğriler elde edildi (Çizelge 4. 1, Şekil 4. 1-3).

$$q = \frac{(C_o - C_d)V}{m} \quad (3. 1)$$

Burada C_o Cu(II) iyonlarının başlangıç derişimi, C_d Cu(II) iyonlarının denge derişimi, V Cu(II) çözelti hacmi, m adsorplayıcı kütesidir

3. 5. 2. Sıcaklık etkisi:

Başlangıç derişimi 50 mg/L olan bakır iyonu çözeltisinin 50 mL'si, 0,01 g adsorplayıcı ile 25, 35 ve 40 °C sıcaklıklarda, 120 rpm hızla, 24 saat boyunca çalkalandı. Belirli zaman aralıklarında (0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18 ve 24 saat) karışımdan 1 ml alınıp gerekli seyreltme işlemi yapılarak AAS' de derişimi belirlendi ve kinetik veriler hesaplandı. Bu işlem her dört adsorplayıcı için yapıldı ve zamana karşı denge derişimi ve q grafiğe geçilerek kinetik veriler elde edildi (Çizelge 4. 2, Şekil 4. 4-7). Farklı sıcaklıklarda yapılan adsorpsiyon çalışmalarıyla elde edilen hız sabitleri (psödo ikinci mertbe hız sabitleri) denklem (3.2)'de (Arrhenius denklemi) değerlendirilerek 1/T'ye karşılık lnk grafiğe geçirildi. Doğruların eğim değerlerinden E_a hesaplandı (Şekil 4. 30., Çizelge 4.17).

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (3. 2)$$

3. 5. 3. Hız etkisi:

Başlangıç derişimi 50 mg/L olan bakır iyonu çözeltilisinin 50 mL'si, 0,01 g adsorplayıcı ile 25 °C sıcaklıkta, 100, 120 ve 140 rpm hızlarda, 24 saat boyunca çalkalandı. Belirli zaman aralıklarında (0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18 ve 24 saat) karışımdan 1 ml alınıp gerekli seyreltme işlemi yapılarak AAS' de derişimi belirlendi ve bu işlem her dört adsorplayıcı için yapıldı. Zamana karşı denge derişimi ve q grafiğe geçilerek kinetik eğriler elde edildi (Çizelge 4. 3, Şekil 4. 8-11).

3. 5. 4. Adsorpsiyon Hız Sabitlerinin Hesaplanması

Başlangıç derişimi, sıcaklık ve hız etkisi kinetik çalışmalarından elde edilen veriler (Çizelge 4. 1-3) aşağıdaki modellerde değerlendirilerek adsorpsiyon hız sabitleri bulundu.

- **Psödo-birinci Mertebe Hız Denklemi** (Wan Ngah ve Fatinathan 2008, Wan ve ark. 2010):

$$\log(q_d - q_t) = \log q_d - \frac{k_{pb}}{2,303} t \quad (3. 3)$$

şeklinde olup t zaman (saat), k_{pb} psödo birinci mertebe hız sabiti (sa^{-1}), q_d denge anında, q_t ise t anında 1 g adsorplayıcı üzerinde adsorplanan Cu(II) iyonu miktarıdır (mg/g). Psödo-birinci mertebe hız verileri Çizelge 4. 4, Çizelge 4. 7 ve Çizelge 4.10'da yer almaktadır. t' ye karşı $\log (q_d - q_t)$ değerleri grafiğe geçirildi (Şekil 4. 12, 16, 20) ve doğruların eğim kayma değerlerinden hız sabitleri ve q_d değerleri hesaplandı (Çizelge 4. 6, 9, 12).

- **Psödo-ikinci mertebe Hız Denklemi** (Wan Ngah ve Fatinathan 2008, Dragan ve ark 2010, Wan ve ark. 2010):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_{pi} q_d^2} + \frac{t}{q_d} \quad (3. 4)$$

şeklinde olup t zaman (saat), k_{pi} psödo ikinci mertebe hız sabiti (g/mg sa), q_d denge anında, q_t ise t anında 1 g adsorplayıcı üzerinde adsorplanan Cu(II) iyon miktarıdır (mg/g). Psödo-ikinci mertebe hız verileri Çizelge 4. 4, Çizelge 4. 7 ve Çizelge 4.10'da yer almaktadır. t'ye karşı t/q_t değerleri grafiğe geçirildi (Şekil 4. 13, 17, 21) ve

doğruların eğim kayma değerlerinden hız sabitleri ve q_d değerleri hesaplandı (Çizelge 4. 6, 9, 12).

- **Gözenek Difüzyon Katsayısının Hesaplanması**

Başlangıç derişimi, sıcaklık ve hız etkisi kinetik çalışmalarından elde edilen veriler (Çizelge 4. 1-3) Weber ve Morris denkleminde (Denklem 3. 5) değerlendirilerek gözenek difüzyon katsayısı hesaplandı (Bulut 2003).

$$\frac{C_t}{C_o} = k_{gd} t^{1/2} \quad (3. 5)$$

Burada t zaman (saat), k_{gd} gözenek difüzyon hız sabiti ($sa^{-1/2}$), C_o başlangıç anında, C_t ise t anındaki Cu(II) iyonu konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir. Gözenek difüzyon katsayısının hesaplama verileri Çizelge 4. 5, Çizelge 4. 8 ve Çizelge 4. 11 de verilmiştir. $t^{1/2}$, ye karşı C_t/C_o değerleri grafiğe geçirildi (Şekil 4. 14, 18, 22) ve doğruların eğiminden hız sabitleri hesaplandı (Çizelge 4. 6, 9, 12).

- **Parçacık İçi (intraparticle) Kütle Difüzyon Katsayısının Hesaplanması**

Çizelge 4. 1-3' deki veriler Weber –Morris' in parçacık içi kütle difüzyon denkleminde değerlendirilerek parçacık içi (intraparticle) kütle difüzyon katsayısı hesaplandı (Wan Nghah ve ark. 2008, Dinu ve Dragan 2010, Futralan ve ark. 2011a). Weber-Morris parçacık içi kütle difüzyon denklemi:

$$q_t = k_{pik} t^{1/2} \quad (3. 6)$$

şeklinde olup t zaman (saat), k_{pik} parçacık içi kütle difüzyon hız sabiti ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$), q_t ise t anında 1 g adsorplayıcı üzerinde adsorplanan Cu(II) iyonu miktarıdır (mg/g). Parçacık içi (intraparticle) kütle difüzyon katsayısının hesaplama verileri Çizelge 4. 5, Çizelge 4. 8 ve Çizelge 4. 11' de yer almaktadır. $t^{1/2}$, ye karşı q_t değerleri grafiğe geçirildi (Şekil 4. 15, 19, 23) ve doğruların eğim ve kayma değerlerinden hız sabitleri hesaplandı (Çizelge 4. 6, 9, 12).

3. 6. Termodinamik Hesaplamalar

Langmuir adsorpsiyon izoterm sabiti olan b değerinden K denge sabiti hesaplandı. Denklem (3.7)'de değerlendirilerek ΔG değerleri hesaplandı. ΔG - T grafiği

çizilerek (Şekil 4. 31.) eğim ve kayma değerlerinden ΔH ve ΔS değerleri hesaplandı (Çizelge 4.18)

$$\Delta G = -RT \ln K \quad (3. 7)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (3. 8)$$

3. 7. Adsorpsiyon İzoterm Çalışmaları

Başlangıç derişimi (C_o) belli (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 ve 200 mg/L) olan, bir seri Cu(II) çözeltilisinin 25 mL'si 0,005 g adsorplayıcıyla, farklı sıcaklıklarda (25, 35 ve 40 °C), 120 rpm hızla belirlenen denge süresince çalkalandı. Daha sonra çözeltiden alınan örnekler uygun seyreltmeler yapıp AAS'de analiz edilerek denge derişimi (C_d) belirlendi ve gram adsorplayıcı başına adsorplanan metal iyonu miktarı (q_d) hesaplandı (Çizelge 4. 13). Çizelge 4. 13' deki veriler kullanılarak adsorpsiyon izotermi eğrileri çizildi (Şekil 4. 24-25).

Adsorpsiyon izoterm verileri Langmuir ve Freunlich adsorpsiyon modellerinde değerlendirildi.

Langmuir izoterm denklemi ise (Anirudhan ve Suchithra 2010, Lous ve ark. 2010);

$$q_d = \frac{q_m b C_d}{1 + b C_d} \quad (3. 9)$$

şeklinde olup çizgisel hali ise;

$$\frac{C_d}{q_d} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_d}{q_m} \quad (3. 10)$$

Freunlich adsorpsiyon denklemi (Swayampakula ve ark. 2009, Wan ve ark. 2010)

$$q_d = K_f C_d^{1/n} \quad (3. 11)$$

şeklinde olup çizgisel hali ise;

$$\ln q_d = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_d \quad (3. 12)$$

şeklinde. Bu denklemlerde q_d denge anında birim miktar adsorplayıcı üzerinde adsorplanan Cu(II) iyonu miktarı (mg/g), C_d adsorplananın denge derişimi (mg/L) ve K_f ve n Freunlich, q_m ve b ise Langmuir sabitleridir.

Çizelge 4. 13'teki veriler kullanılarak bu izoterm modellerin çizgisel hal verileri elde edildi (Çizelge 4. 14-15) ve çizgisel izotermier çizildi (Şekil 4. 26-27). Çizilen doğruların kayma ve eğim değerlerinden adsorpsiyon izoterm sabitleri bulundu (Çizelge 4. 16)

3. 8. Adsorbent Dozu Etkisi

Başlangıç derişimi 50 mg/L olan bakır çözeltilerinden 25'er ml alınıp her dört adsorplayıcının farklı miktarları (0,003, 0,006 ve 0,012 g) ile 25 °C ve 120 rpm de denge süresince çalkalandı. Daha sonra çözeltiden alınan örnekler uygun seyreltmeler yapıp AAS'de analiz edilerek kütle etkisi incelendi (Çizelge 4. 17, Şekil 4. 28)

3. 9. pH Etkisi

Başlangıç derişimi 50 mg/L olan bakır çözeltileri 0,1 N HCl ve 0,1 N NaOH çözeltileri kullanılarak pH=2, 4, 6, 8 ve 10'a ayarlandı. Bu çözeltilerden 25'er ml alınıp her dört adsorplayıcının 0,005 g ile 25 °C ve 120 rpm de denge süresince çalkalandı. Daha sonra çözeltiden alınan örnekler uygun seyreltmeler yapıp AAS'de analiz edilerek pH etkisi incelendi (Çizelge 4. 18)

3. 10. Desorpsiyon Çalışmaları

Başlangıç derişimi 50 mg/L olan bakır çözeltisi ile adsorplanan metalin desorpsiyon işlemleri için 50 ml 0,01 N HNO₃ asit çözeltisi ile çalkalandı. 1, 2 ve 18 saat sonra alınan örnekler AAS'de analiz edilerek % desorpsiyon hesaplandı (Çizelge 4. 19).

3. 11. Metal İyonlarının Adsorpsiyon Rekabeti

Başlangıç derişimleri 50 mg/L olacak şekilde hazırlanan Cu(II)-Ni(II), Cu(II)-Zn(II) ikili karışımları ve Cu(II)-Ni(II)-Zn(II) karışımları herbir adsorplayıcının 0,01 g ile denge süresince çalkalandı ve bu süre sonunda denge derişimi belirlenerek adsorplanan metal iyon yüzdesi (%A) hesaplandı (Çizelge 4. 20-21).

3. 12. Adsorplayıcıların Karakterizasyonu

Karakterizasyon işlemi için IR ve SEM analizleri yapıldı. SEM analizleri Tübitak Marmara Araştırma Merkezinde yapıldı.

Her dört adsorplayıcı için ayrı olarak saf ve bakır adsorplamış hallerinin IR analizleri aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 4. 29-30). Ayrıca ÇK ve ÇÇK komppozitlerinin IR analizleri de Şekil 4.31 de bir arada verilmiştir.

SEM analizlerinin sonuçları Şekil 4. 32-33'de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Çizelge ve Şekiller

Çizelge 4. 1. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonunun farklı başlangıç derişimlerindeki kinetik verileri (V=50 mL, m=0,01 g, T=25 °C, hız=120 rpm, t=24 sa)

Ads. Tür	Süre	C _d (mg/L)			q _t (mg/g)		
	t (sa)	C _o =25 mg/L	C _o =50 mg/L	C _o =100 mg/L	C _o =25 mg/L	C _o =50 mg/L	C _o =100 mg/L
Ç	0	25,00	50,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	20,90	40,54	92,60	20,50	47,30	37,00
	1	19,65	40,24	89,00	26,75	48,80	55,00
	2	19,11	40,10	88,27	29,45	49,50	58,65
	4	18,55	39,13	83,45	32,25	54,35	82,75
	6	16,60	38,43	81,50	42,00	57,85	92,50
	8	15,69	37,65	80,00	46,55	61,75	100,00
	10	15,45	36,89	77,87	47,75	65,55	110,65
	12	15,09	35,71	77,03	49,55	71,45	114,85
	18	15,00	35,00	76,61	50,00	75,00	116,95
24	14,67	34,67	75,63	51,65	76,65	121,85	
K	0	25,00	50,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	18,43	41,15	92,50	32,85	44,25	37,50
	1	17,20	41,07	91,70	39,00	44,65	41,50
	2	15,99	39,15	87,00	45,05	54,25	65,00
	4	15,47	38,10	84,70	47,65	59,50	76,50
	6	15,30	36,38	82,00	48,50	68,10	90,00
	8	15,07	34,91	79,96	49,65	75,45	100,20
	10	14,84	34,49	78,50	50,80	77,55	107,50
	12	14,02	34,25	77,68	54,90	78,75	111,60
	18	13,90	32,30	76,50	55,50	88,50	117,50
24	12,22	31,76	75,90	63,90	91,20	120,50	
ÇK	0	25,00	50,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	21,70	41,89	92,70	16,50	40,55	36,50
	1	20,08	41,80	87,24	24,60	41,00	63,80
	2	18,21	40,87	84,78	33,95	45,65	76,10
	4	17,28	38,00	79,29	38,60	60,00	103,55
	6	16,33	35,75	76,56	43,35	71,25	117,20
	8	15,60	34,76	73,01	47,00	76,20	134,95
	10	14,93	33,87	71,91	50,35	80,65	140,45
	12	13,97	32,67	70,15	55,15	86,65	149,25
	18	12,88	32,10	68,96	60,60	89,50	155,20
24	12,10	31,04	67,49	64,50	94,80	162,55	
ÇÇK	0	25,00	50,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	19,42	41,76	91,40	27,90	41,20	43,00
	1	18,80	39,08	88,80	31,00	54,60	56,00
	2	18,40	38,31	88,32	33,00	58,45	58,40
	4	18,04	36,31	86,26	34,80	68,45	68,70
	6	16,89	35,58	84,00	40,55	72,10	80,00
	8	16,50	35,19	82,35	42,50	74,05	88,25
	10	16,30	34,50	81,54	43,50	77,50	92,30
	12	15,57	33,77	80,79	47,15	81,15	96,05
	18	14,94	32,24	79,17	50,30	88,80	104,15
24	14,57	31,52	78,50	52,15	92,40	107,50	

Çizelge 4. 2. Cu(II) iyonlarının farklı adsorptivite üzerine adsorpsiyonunun farklı sıcaklıklardaki kinetik verileri ($C_0=50$ mg/L, $V=50$ mL, $m=0,01$ g, hız=120 rpm, $t=24$ sa)

Ads. Tür	Süre t (sa)	C_d (mg/L)			q_t (mg/g)		
		25 °C	35 °C	40 °C	25 °C	35 °C	40 °C
Ç	0	50,00	50,00	50	0,00	0,00	0,00
	0,5	40,54	45,91	45,59	47,30	20,45	22,05
	1	40,24	42,05	43,42	48,80	39,75	32,90
	2	40,10	41,18	42,78	49,50	44,10	36,10
	4	39,13	40,34	41,34	54,35	48,30	43,30
	6	38,43	39,86	40,14	57,85	50,70	49,30
	8	37,65	38,54	39,33	61,75	57,30	53,35
	10	36,89	37,26	38,12	65,55	63,70	59,40
	12	35,71	36,37	37,19	71,45	68,15	64,05
	18	35,00	35,80	36,43	75,00	71,00	67,85
	24	34,67	35,03	35,94	76,65	74,85	70,30
K	0	50,00	50,00	50	0,00	0,00	0,00
	0,5	41,15	43,32	44,08	44,25	33,40	29,60
	1	41,07	41,98	43,19	44,65	40,10	34,05
	2	39,15	41,27	42,33	54,25	43,65	38,35
	4	38,10	40,62	41,09	59,50	46,90	44,55
	6	36,38	38,26	39,47	68,10	58,70	52,65
	8	34,91	36,63	37,54	75,45	66,85	62,30
	10	34,49	35,77	36,21	77,55	71,15	68,95
	12	34,25	33,98	34,35	78,75	80,10	78,25
	18	32,30	32,81	33,25	88,50	85,95	83,75
	24	31,76	32,06	32,89	91,20	89,70	85,55
ÇK	0	50,00	50,00	50	0,00	0,00	0,00
	0,5	41,89	44,08	45,53	40,55	29,60	22,35
	1	41,80	42,54	43,88	41,00	37,30	30,60
	2	40,87	41,53	42,22	45,65	42,35	38,90
	4	38,00	41,17	41,59	60,00	44,15	42,05
	6	35,75	38,65	39,30	71,25	56,75	53,50
	8	34,76	37,84	38,15	76,20	60,80	59,25
	10	33,87	36,75	37,68	80,65	66,25	61,60
	12	32,67	36,51	36,87	86,65	67,45	65,65
	18	32,24	34,30	35,43	88,80	78,50	72,85
	24	31,04	31,96	32,12	94,80	90,20	89,40
ÇÇK	0	50,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	41,76	44,34	46,24	41,20	28,30	18,80
	1	39,08	42,69	44,28	54,60	36,55	28,60
	2	38,31	41,63	44,03	58,45	41,85	29,85
	4	36,31	40,89	41,19	68,45	45,55	44,05
	6	35,58	39,67	39,58	72,10	51,65	52,10
	8	35,19	38,13	39,23	74,05	59,35	53,85
	10	34,50	37,74	38,90	77,50	61,30	55,50
	12	33,77	36,82	38,30	81,15	65,90	58,50
	18	32,10	35,47	37,67	89,50	72,65	61,65
	24	31,52	32,92	35,82	92,40	85,40	70,90

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4. 3. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonunun farklı hızlardaki kinetik verileri ($C_0=50$ mg/L, $V=50$ mL, $m=0,01$ g, $T=25$ °C, $t=24$ sa)

Ads. Tür	Süre t (sa)	C_d (mg/L)			q_t (mg/g)		
		100 rpm	120 rpm	140 rpm	100 rpm	120 rpm	140 rpm
Ç	0	50	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	49,34	40,54	40,32	3,30	47,30	48,40
	1	47,67	40,24	40,19	11,65	48,80	49,05
	2	45,35	40,10	38,95	23,25	49,50	55,25
	4	44,08	39,13	38,14	29,60	54,35	59,30
	6	43,54	38,43	37,94	32,30	57,85	60,30
	8	42,12	37,65	36,62	39,40	61,75	66,90
	10	41,24	36,89	35,53	43,80	65,55	72,35
	12	40,6	35,71	34,92	47,00	71,45	75,40
	18	38,91	35,00	34,79	55,45	75,00	76,05
	24	38,02	34,67	33,37	59,90	76,65	83,15
K	0	50	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	49,2	41,15	38,50	4,00	44,25	57,50
	1	47,85	41,07	37,20	10,75	44,65	64,00
	2	44,34	39,15	35,86	28,30	54,25	70,70
	4	43,65	38,10	34,80	31,75	59,50	76,00
	6	42,89	36,38	33,37	35,55	68,10	83,15
	8	42,68	34,91	31,25	36,60	75,45	93,75
	10	41,1	34,49	31,19	44,50	77,55	94,05
	12	40,59	34,25	30,85	47,05	78,75	95,75
	18	39,13	32,30	29,82	54,35	88,50	100,90
	24	37,37	31,76	27,78	63,15	91,20	111,10
ÇK	0	50	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	48,91	41,89	40,55	5,45	40,55	47,25
	1	46,67	41,80	40,20	16,65	41,00	49,00
	2	45,37	40,87	38,49	23,15	45,65	57,55
	4	44,09	38,00	36,14	29,55	60,00	69,30
	6	43,11	35,75	34,60	34,45	71,25	77,00
	8	41,62	34,76	32,77	41,90	76,20	86,15
	10	40,73	33,87	31,60	46,35	80,65	92,00
	12	39,81	32,67	31,24	50,95	86,65	93,80
	18	38,13	32,24	29,03	59,35	88,80	104,85
	24	35,89	31,04	26,48	70,55	94,80	117,55
ÇÇK	0	50	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00
	0,5	47,85	41,76	37,65	10,75	41,20	61,75
	1	45,48	39,08	35,12	22,60	54,60	74,40
	2	44,09	38,31	34,04	29,55	58,45	79,80
	4	43,11	36,31	33,32	34,45	68,45	83,40
	6	40,95	35,58	33,28	45,25	72,10	83,60
	8	40,13	35,19	29,28	49,35	74,05	103,60
	10	39,42	34,50	26,83	52,90	77,50	115,85
	12	38,01	33,77	24,82	59,95	81,15	125,90
	18	38,91	32,10	23,35	55,45	89,50	133,25
	24	36,38	31,52	22,05	68,10	92,40	139,75

Çizelge 4. 4. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği psödo-birinci ve psödo-ikinci mertbe verileri (Farklı başlangıç derişimlerinde, V=50 mL, m=0,01 g, T=25 °C, hız=120 rpm, t=24 sa)

Ads. Tür	Süre	log(q _a -q _t)			t/q _t		
	t (sa)	C _o =25 mg/L	C _o =50 mg/L	C _o =100 mg/L	C _o =25 mg/L	C _o =50 mg/L	C _o =100 mg/L
Ç	0	1,713	1,885	2,082	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
	0,5	1,493	1,468	1,900	0,024	0,011	0,012
	1	1,396	1,445	1,817	0,037	0,020	0,018
	2	1,346	1,434	1,792	0,068	0,040	0,034
	4	1,288	1,348	1,579	0,124	0,074	0,053
	6	0,985	1,274	1,449	0,143	0,104	0,067
	8	0,708	1,173	1,315	0,172	0,130	0,080
	10	0,591	1,045	1,119	0,209	0,153	0,090
	12	0,322	0,716	0,889	0,242	0,168	0,104
	18	0,217	0,217	0,498	0,360	0,240	0,154
	24	#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,465	0,313	0,197
K	0	1,806	1,960	2,081	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
	0,5	1,492	1,672	1,919	0,015	0,011	0,013
	1	1,396	1,668	1,898	0,026	0,022	0,024
	2	1,275	1,568	1,744	0,044	0,037	0,031
	4	1,211	1,501	1,643	0,084	0,067	0,052
	6	1,188	1,364	1,484	0,124	0,088	0,067
	8	1,154	1,197	1,307	0,161	0,106	0,080
	10	1,117	1,135	1,114	0,197	0,129	0,093
	12	0,954	1,095	0,949	0,219	0,152	0,108
	18	0,924	0,431	0,477	0,324	0,203	0,153
	24	#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,376	0,263	0,199
ÇK	0	1,810	1,977	2,211	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
	0,5	1,681	1,734	2,100	0,030	0,012	0,014
	1	1,601	1,731	1,994	0,041	0,024	0,016
	2	1,485	1,692	1,937	0,059	0,044	0,026
	4	1,413	1,542	1,770	0,104	0,067	0,039
	6	1,325	1,372	1,656	0,138	0,084	0,051
	8	1,243	1,270	1,440	0,170	0,105	0,059
	10	1,151	1,151	1,343	0,199	0,124	0,071
	12	0,971	0,911	1,122	0,218	0,138	0,080
	18	0,591	0,778	0,863	0,297	0,203	0,116
	24	#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,372	0,253	0,148
ÇÇK	0	1,717	1,966	2,031	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
	0,5	1,385	1,709	1,810	0,018	0,012	0,012
	1	1,325	1,577	1,712	0,032	0,018	0,018
	2	1,282	1,531	1,691	0,061	0,034	0,034
	4	1,239	1,379	1,589	0,115	0,058	0,058
	6	1,064	1,307	1,439	0,148	0,083	0,075
	8	0,985	1,264	1,284	0,188	0,108	0,091
	10	0,937	1,173	1,182	0,230	0,129	0,108
	12	0,699	1,051	1,059	0,255	0,148	0,125
	18	0,267	0,462	0,525	0,358	0,201	0,173
	24	#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,460	0,260	0,223

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4. 5. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği gözenek difüzyon katsayısı ve parçacık içi kütle transfer katsayısı hesaplama verileri (Farklı başlangıç derişimlerinde, V=50 mL, m=0,01 g, T=25 °C, hız=120 rpm, t=24 sa)

Ads. Tür	Süre $t^{1/2}$	C_d/C_o			q_t (mg/g)		
		$C_o=25$ mg/L	$C_o=50$ mg/L	$C_o=100$ mg/L	$C_o=25$ mg/L	$C_o=50$ mg/L	$C_o=100$ mg/L
Ç	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,000	0,000
	0,707	0,836	0,811	0,926	20,50	47,30	41,20
	1,000	0,786	0,805	0,890	26,75	48,800	55,000
	1,414	0,764	0,802	0,883	29,450	49,500	58,650
	2,000	0,742	0,783	0,835	32,250	54,350	75,000
	2,449	0,664	0,769	0,815	42,000	57,850	90,000
	2,828	0,628	0,753	0,800	46,550	61,750	100,000
	3,162	0,618	0,738	0,779	47,750	65,550	110,650
	3,464	0,604	0,714	0,770	49,550	71,450	114,850
	4,243	0,600	0,700	0,766	50,000	75,000	116,950
4,899	0,587	0,693	0,756	51,650	76,650	121,850	
K	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	0,707	0,737	0,823	0,925	32,850	44,250	37,500
	1,000	0,688	0,821	0,917	39,000	44,650	41,500
	1,414	0,640	0,783	0,870	45,050	54,250	65,000
	2,000	0,619	0,762	0,847	47,650	59,500	76,500
	2,449	0,612	0,728	0,820	48,500	68,100	90,000
	2,828	0,603	0,698	0,800	49,650	75,450	100,200
	3,162	0,594	0,690	0,785	50,800	77,550	107,500
	3,464	0,561	0,685	0,777	54,900	78,750	111,600
	4,243	0,556	0,646	0,765	55,500	88,500	117,500
4,899	0,489	0,635	0,759	63,900	91,200	120,500	
ÇK	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	0,707	0,868	0,838	0,927	16,500	40,550	36,500
	1,000	0,803	0,836	0,872	24,600	41,000	63,800
	1,414	0,728	0,817	0,848	33,950	45,650	76,100
	2,000	0,691	0,760	0,793	38,600	60,000	103,550
	2,449	0,653	0,715	0,766	43,350	71,250	117,200
	2,828	0,624	0,695	0,730	47,000	76,200	134,950
	3,162	0,597	0,677	0,719	50,350	80,650	140,450
	3,464	0,559	0,653	0,702	55,150	86,650	149,250
	4,243	0,515	0,645	0,690	60,600	88,800	155,200
4,899	0,484	0,621	0,675	64,500	94,800	162,550	
ÇÇK	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
	0,707	0,777	0,835	0,914	27,900	41,200	43,000
	1,000	0,752	0,782	0,888	31,000	54,600	56,000
	1,414	0,736	0,766	0,883	33,000	58,450	58,400
	2,000	0,722	0,726	0,863	34,800	68,450	68,700
	2,449	0,676	0,712	0,840	40,550	72,100	80,000
	2,828	0,660	0,704	0,824	42,500	74,050	88,250
	3,162	0,652	0,690	0,815	43,500	77,500	92,300
	3,464	0,623	0,675	0,808	47,150	81,150	96,050
	4,243	0,598	0,642	0,792	50,300	89,500	104,150
4,899	0,583	0,630	0,785	52,150	92,400	107,500	

Çizelge 4. 6. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde farklı başlangıç derişimlerinde adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri (V=50 mL, m=0,01 g, T=25 °C, hız=120 rpm, t=24 sa)

Ads. Tür	Model	Sabitler	C ₀ (mg/L)			
			C ₀ =25 mg/L	C ₀ =50 mg/L	C ₀ =100 mg/L	
Ç	Pseudo First	q _d (mg/g)	29,52	42,28	87,70	
		k _{pb} (sa ⁻¹)	0,165	0,164	0,191	
		R ²	0,9149	0,9517	0,9934	
	Pseudo Second	q _d (mg/g)	53,48	78,13	128,21	
		k _{pi} (g/mgsa)	0,015	0,012	0,005	
		R ²	0,9929	0,9906	0,9894	
	Weber Morris	k _{pik} (sa ^{-1/2})	9,74	11,99	23,60	
		R ²	0,8535	0,7511	0,8965	
	İntra Particular	k _{gd} (mg ⁻¹ g ⁻¹ sa ^{1/2})	0,078	0,048	0,048	
		R ²	0,8535	0,7511	0,8961	
	K	Pseudo First	q _d (mg/g)	35,79	63,76	95,19
			k _{pb} (sa ⁻¹)	0,123	0,169	0,193
R ²			0,9149	0,9745	0,9958	
Pseudo Second		q _d (mg/g)	61,73	93,46	126,58	
		k _{pi} (g/mgsa)	0,016	0,008	0,005	
		R ²	0,9856	0,9895	0,9914	
Weber Morris		k _{pik} (sa ^{-1/2})	9,43	15,88	24,42	
		R ²	0,7280	0,8599	0,9110	
İntra Particular		k _{gd} (mg ⁻¹ g ⁻¹ sa ^{1/2})	0,076	0,064	0,049	
		R ²	0,7280	0,8599	0,9110	
ÇK		Pseudo First	q _d (mg/g)	55,78	69,83	137,91
			k _{pb} (sa ⁻¹)	0,070	0,165	0,191
	R ²		0,9386	0,9691	0,9801	
	Pseudo Second	q _d (mg/g)	66,67	97,09	172,41	
		k _{pi} (g/mgsa)	0,007	0,007	0,003	
		R ²	0,9810	0,9892	0,9904	
	Weber Morris	k _{pik} (sa ^{-1/2})	12,47	17,62	33,47	
		R ²	0,9409	0,8971	0,9197	
	İntra Particular	k _{gd} (mg ⁻¹ g ⁻¹ sa ^{1/2})	0,100	0,071	0,067	
		R ²	0,9409	0,8971	0,9197	
	ÇÇK	Pseudo First	q _d (mg/g)	30,71	59,19	79,12
			k _{pb} (sa ⁻¹)	0,147	0,164	0,177
R ²			0,9644	0,9633	0,9867	
Pseudo Second		q _d (mg/g)	52,91	93,46	111,11	
		k _{pi} (g/mgsa)	0,016	0,009	0,006	
		R ²	0,9905	0,9912	0,9901	
Weber Morris		k _{pik} (sa ^{-1/2})	8,51	15,49	19,59	
		R ²	0,8022	0,8151	0,8842	
İntra Particular		k _{gd} (mg ⁻¹ g ⁻¹ sa ^{1/2})	0,068	0,062	0,039	
		R ²	0,8022	0,8151	0,8842	

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4. 7. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği psödo-birinci ve psödo-ikinci merteye verileri (Farklı sıcaklıklarda, $C_0=50$ mg/L, $V=50$ mL, $m=0,01$ g, hız=120 rpm, $t=24$ sa)

Ads. Tür	Süre t (sa)	log(q_a-q_t)			t/ q_t		
		25 °C	35 °C	40 °C	25 °C	35 °C	40 °C
Ç	0	1,885	1,874	1,847	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
	0,5	1,468	1,736	1,683	0,011	0,024	0,023
	1	1,445	1,545	1,573	0,020	0,025	0,030
	2	1,434	1,488	1,534	0,040	0,045	0,055
	4	1,348	1,424	1,431	0,074	0,083	0,092
	6	1,274	1,383	1,322	0,104	0,118	0,122
	8	1,173	1,244	1,229	0,130	0,140	0,150
	10	1,045	1,047	1,037	0,153	0,157	0,168
	12	0,716	0,826	0,796	0,168	0,176	0,187
	18	0,217	0,585	0,389	0,240	0,254	0,265
	24	#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,313	0,321	0,341
	K	0	1,960	1,953	1,932	#SAYI/0!	#SAYI/0!
0,5		1,672	1,751	1,748	0,011	0,015	0,017
1		1,668	1,695	1,712	0,022	0,025	0,029
2		1,568	1,663	1,674	0,037	0,046	0,052
4		1,501	1,631	1,613	0,067	0,085	0,090
6		1,364	1,491	1,517	0,088	0,102	0,114
8		1,197	1,359	1,366	0,106	0,120	0,128
10		1,135	1,268	1,220	0,129	0,141	0,145
12		1,095	0,982	0,863	0,152	0,150	0,153
18		0,431	0,574	0,255	0,203	0,209	0,215
24		#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,263	0,268	0,281
ÇK		0	1,977	1,955	1,951	#SAYI/0!	#SAYI/0!
	0,5	1,734	1,782	1,826	0,012	0,017	0,022
	1	1,731	1,723	1,769	0,024	0,027	0,033
	2	1,692	1,680	1,703	0,044	0,047	0,051
	4	1,542	1,663	1,675	0,067	0,091	0,095
	6	1,372	1,524	1,555	0,084	0,106	0,112
	8	1,270	1,468	1,479	0,105	0,132	0,135
	10	1,151	1,379	1,444	0,124	0,151	0,162
	12	0,911	1,357	1,376	0,138	0,178	0,183
	18	0,778	1,068	1,219	0,203	0,229	0,247
	24	#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,253	0,266	0,268
	ÇÇK	0	1,966	1,931	1,851	#SAYI/0!	#SAYI/0!
0,5		1,709	1,757	1,717	0,012	0,018	0,027
1		1,577	1,689	1,626	0,018	0,027	0,035
2		1,531	1,639	1,613	0,034	0,048	0,067
4		1,379	1,600	1,429	0,058	0,088	0,091
6		1,307	1,528	1,274	0,083	0,116	0,115
8		1,264	1,416	1,232	0,108	0,135	0,149
10		1,173	1,382	1,188	0,129	0,163	0,180
12		1,051	1,290	1,093	0,148	0,182	0,205
18		0,462	1,106	0,966	0,201	0,248	0,292
24		#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,260	0,281	0,339

Çizelge 4. 8. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği gözenek difüzyon katsayısı ve parçacık içi kütle transfer katsayısı hesaplama verileri (Farklı sıcaklıklarda, $C_0=50$ mg/L, $V=50$ mL, $m=0,01$ g, hız=120 rpm, $t=24$ sa)

Ads. Tür	Süre $t^{1/2}$	C_d/C_0			q_t (mg/g)		
		25 °C	35 °C	40 °C	25 °C	35 °C	40 °C
Ç	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,00	0,00
	0,707	0,811	0,918	0,912	47,30	20,45	22,05
	1,000	0,805	0,841	0,868	48,80	39,75	32,90
	1,414	0,802	0,824	0,856	49,50	44,10	36,10
	2,000	0,783	0,807	0,827	54,35	48,30	43,30
	2,449	0,769	0,797	0,803	57,85	50,70	49,30
	2,828	0,753	0,771	0,787	61,75	57,30	53,35
	3,162	0,738	0,745	0,762	65,55	63,70	59,40
	3,464	0,714	0,727	0,744	71,45	68,15	64,05
	4,243	0,700	0,716	0,729	75,00	71,00	67,85
4,899	0,693	0,701	0,719	76,65	74,85	70,30	
K	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,00	0,00
	0,707	0,823	0,866	0,882	44,25	33,40	29,60
	1,000	0,821	0,840	0,864	44,65	40,10	34,05
	1,414	0,783	0,825	0,847	54,25	43,65	38,35
	2,000	0,762	0,812	0,822	59,50	46,90	44,55
	2,449	0,728	0,765	0,789	68,10	58,70	52,65
	2,828	0,698	0,733	0,751	75,45	66,85	62,30
	3,162	0,690	0,715	0,724	77,55	71,15	68,95
	3,464	0,685	0,680	0,687	78,75	80,10	78,25
	4,243	0,646	0,656	0,665	88,50	85,95	83,75
4,899	0,635	0,641	0,658	91,20	89,70	85,55	
ÇK	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,00	0,00
	0,707	0,838	0,882	0,911	40,55	29,60	22,35
	1,000	0,836	0,851	0,878	41,00	37,30	30,60
	1,414	0,817	0,831	0,844	45,65	42,35	38,90
	2,000	0,760	0,823	0,832	60,00	44,15	42,05
	2,449	0,715	0,773	0,786	71,25	56,75	53,50
	2,828	0,695	0,757	0,763	76,20	60,80	59,25
	3,162	0,677	0,735	0,754	80,65	66,25	61,60
	3,464	0,653	0,730	0,737	86,65	67,45	65,65
	4,243	0,645	0,686	0,709	88,80	78,50	72,85
4,899	0,621	0,639	0,642	94,80	90,20	89,40	
ÇÇK	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,00	0,00
	0,707	0,835	0,887	0,925	41,20	28,30	18,80
	1,000	0,782	0,854	0,886	54,60	36,55	28,60
	1,414	0,766	0,833	0,881	58,45	41,85	29,85
	2,000	0,726	0,818	0,824	68,45	45,55	44,05
	2,449	0,712	0,793	0,792	72,10	51,65	52,10
	2,828	0,704	0,763	0,785	74,05	59,35	53,85
	3,162	0,690	0,755	0,778	77,50	61,30	55,50
	3,464	0,675	0,736	0,766	81,15	65,90	58,50
	4,243	0,642	0,709	0,753	89,50	72,65	61,65
4,899	0,630	0,658	0,716	92,40	85,40	70,90	

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4. 9. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri ($C_0=50$ mg/L, $V=50$ mL, $m=0,01$ g, hız=120 rpm, $t=24$ sa)

Ads. Tür	Model	Sabitler	T (°C)		
			25 °C	35 °C	40 °C
Ç	Pseudo First	q_d (mg/g)	42,28	52,87	54,43
		k_{pb} (sa^{-1})	0,164	0,153	0,168
		R^2	0,9517	0,9523	0,9886
	Pseudo Second	q_d (mg/g)	78,13	76,92	73,53
		k_{pi} (g/mgsa)	0,012	0,008	0,008
		R^2	0,9906	0,9863	0,9858
	Weber Morris	k_{pik} ($sa^{-1/2}$)	11,99	13,94	13,49
		R^2	0,7511	0,8814	0,9200
	İntra Particular	k_{gd} ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$)	0,048	0,056	0,054
		R^2	0,7511	0,8814	0,9200
K	Pseudo First	q_d (mg/g)	63,76	76,52	77,79
		k_{pb} (sa^{-1})	0,169	0,171	0,186
		R^2	0,9745	0,9796	0,9723
	Pseudo Second	q_d (mg/g)	93,46	93,46	90,91
		k_{pi} (g/mgsa)	0,008	0,005	0,005
		R^2	0,9895	0,9742	0,9689
	Weber Morris	k_{pik} ($sa^{-1/2}$)	15,88	16,86	16,86
		R^2	0,8599	0,9310	0,9466
	İntra Particular	k_{gd} ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$)	0,064	0,068	0,067
		R^2	0,8599	0,9310	0,9466
ÇK	Pseudo First	q_d (mg/g)	69,83	82,36	87,06
		k_{pb} (sa^{-1})	0,165	0,147	0,144
		R^2	0,9691	0,8800	0,8417
	Pseudo Second	q_d (mg/g)	97,09	90,09	88,50
		k_{pi} (g/mgsa)	0,007	0,0046	0,0041
		R^2	0,9892	0,9598	0,9521
	Weber Morris	k_{pik} ($sa^{-1/2}$)	17,62	15,98	16,26
		R^2	0,8971	0,9456	0,9659
	İntra Particular	k_{gd} ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$)	0,071	0,06	0,07
		R^2	0,8971	0,9456	0,9659
ÇÇK	Pseudo First	q_d (mg/g)	59,19	80,70	57,00
		k_{pb} (sa^{-1})	0,164	0,159	0,143
		R^2	0,9633	0,8986	0,9136
	Pseudo Second	q_d (mg/g)	93,46	84,03	71,43
		k_{pi} (g/mgsa)	0,009	0,005	0,007
		R^2	0,9912	0,9632	0,9819
	Weber Morris	k_{pik} ($sa^{-1/2}$)	15,49	14,84	13,42
		R^2	0,8151	0,9359	0,9228
	İntra Particular	k_{gd} ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$)	0,062	0,059	0,054
		R^2	0,8151	0,9359	0,9228

Çizelge 4. 10. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği psödo-birinci ve psödo-ikinci mertbe verileri (Farklı hızlarda, $C_0=50$ mg/L, $V=50$ mL, $m=0,01$ g, $T=25$ °C, $t=24$ sa)

Ads. Tür	Süre t (sa)	log(q_a-q_t)			t/ q_t		
		100 rpm	120 rpm	140 rpm	100 rpm	120 rpm	140 rpm
Ç	0	1,777	1,885	1,920	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
	0,5	1,753	1,468	1,541	0,152	0,011	0,010
	1	1,683	1,445	1,533	0,086	0,020	0,020
	2	1,564	1,434	1,446	0,086	0,040	0,036
	4	1,481	1,348	1,377	0,135	0,074	0,067
	6	1,441	1,274	1,359	0,186	0,104	0,100
	8	1,312	1,173	1,211	0,203	0,130	0,120
	10	1,207	1,045	1,033	0,228	0,153	0,138
	12	1,111	0,716	0,889	0,255	0,168	0,159
	18	0,648	0,217	0,851	0,325	0,240	0,237
	24	#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,401	0,313	0,289
	K	0	1,800	1,960	2,046	#SAYI/0!	#SAYI/0!
0,5		1,772	1,672	1,729	0,125	0,011	0,009
1		1,719	1,668	1,673	0,093	0,022	0,016
2		1,542	1,568	1,606	0,071	0,037	0,028
4		1,497	1,501	1,545	0,126	0,067	0,053
6		1,441	1,364	1,446	0,169	0,088	0,072
8		1,424	1,197	1,239	0,219	0,106	0,085
10		1,271	1,135	1,232	0,225	0,129	0,106
12		1,207	1,095	1,186	0,255	0,152	0,125
18		0,944	0,431	1,009	0,331	0,203	0,178
24		#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,380	0,263	0,216
ÇK		0	1,848	1,977	1,994	#SAYI/0!	#SAYI/0!
	0,5	1,814	1,734	1,710	0,092	0,012	0,011
	1	1,732	1,731	1,695	0,060	0,024	0,020
	2	1,676	1,692	1,613	0,086	0,044	0,035
	4	1,613	1,542	1,466	0,135	0,067	0,058
	6	1,558	1,372	1,333	0,174	0,084	0,078
	8	1,457	1,270	1,093	0,191	0,105	0,093
	10	1,384	1,151	0,816	0,216	0,124	0,109
	12	1,292	0,911	0,677	0,236	0,138	0,128
	18	1,049	0,778	0,568	0,303	0,203	0,190
	24	#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,340	0,253	0,244
	ÇÇK	0	1,833	1,966	2,145	#SAYI/0!	#SAYI/0!
0,5		1,759	1,709	1,892	0,047	0,012	0,008
1		1,658	1,577	1,815	0,044	0,018	0,013
2		1,586	1,531	1,778	0,068	0,034	0,025
4		1,527	1,379	1,751	0,116	0,058	0,048
6		1,359	1,307	1,749	0,133	0,083	0,072
8		1,273	1,264	1,558	0,162	0,108	0,077
10		1,182	1,173	1,378	0,189	0,129	0,086
12		0,911	1,051	1,141	0,200	0,148	0,095
18		1,102	0,462	0,813	0,325	0,201	0,135
24		#SAYI!	#SAYI!	#SAYI!	0,352	0,260	0,172

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4. 11. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetiği gözenek difüzyon katsayısı ve parçacık içi kütle transfer katsayısı hesaplama verileri (Farklı hızlarda, $C_0=50$ mg/L, $V=50$ mL, $m=0,01$ g, $T=25$ °C, $t=24$ sa)

Ads. Tür	Süre $t^{1/2}$	C_d/C_0			q_t (mg/g)		
		100 rpm	120 rpm	140 rpm	100 rpm	120 rpm	140 rpm
Ç	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,00	0,00
	0,707	0,987	0,811	0,806	3,30	47,30	48,40
	1,000	0,953	0,805	0,804	11,65	48,80	49,05
	1,414	0,907	0,802	0,779	23,25	49,50	55,25
	2,000	0,882	0,783	0,763	29,60	54,35	59,30
	2,449	0,871	0,769	0,759	32,30	57,85	60,30
	2,828	0,842	0,753	0,732	39,40	61,75	66,90
	3,162	0,825	0,738	0,711	43,80	65,55	72,35
	3,464	0,812	0,714	0,698	47,00	71,45	75,40
	4,243	0,778	0,700	0,696	55,45	75,00	76,05
4,899	0,760	0,693	0,667	59,9	76,65	83,15	
K	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,00	0,00
	0,707	0,984	0,823	0,770	4,00	44,25	57,50
	1,000	0,957	0,821	0,744	10,75	44,65	64,00
	1,414	0,887	0,783	0,717	28,30	54,25	70,70
	2,000	0,873	0,762	0,696	31,75	59,50	76,00
	2,449	0,858	0,728	0,667	35,55	68,10	83,15
	2,828	0,854	0,698	0,625	36,60	75,45	93,75
	3,162	0,822	0,690	0,624	44,50	77,55	94,05
	3,464	0,812	0,685	0,617	47,05	78,75	95,75
	4,243	0,783	0,646	0,596	54,35	88,50	100,90
4,899	0,747	0,635	0,556	63,15	91,20	111,10	
ÇK	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,00	0,00
	0,707	0,978	0,838	0,811	5,45	40,55	47,25
	1,000	0,933	0,836	0,804	16,65	41,00	49,00
	1,414	0,907	0,817	0,770	23,15	45,65	57,55
	2,000	0,882	0,760	0,723	29,55	60,00	69,30
	2,449	0,862	0,715	0,692	34,45	71,25	77,00
	2,828	0,832	0,695	0,655	41,90	76,20	86,15
	3,162	0,815	0,677	0,632	46,35	80,65	92,00
	3,464	0,796	0,653	0,625	50,95	86,65	93,80
	4,243	0,763	0,645	0,621	59,35	88,80	104,85
4,899	0,718	0,621	0,606	70,55	94,80	117,55	
ÇÇK	0,000	1,000	1,000	1,000	0,00	0,00	0,00
	0,707	0,957	0,835	0,753	10,75	41,20	61,75
	1,000	0,910	0,782	0,702	22,60	54,60	74,40
	1,414	0,882	0,766	0,681	29,55	58,45	79,80
	2,000	0,862	0,726	0,666	34,45	68,45	83,40
	2,449	0,819	0,712	0,666	45,25	72,10	83,60
	2,828	0,803	0,704	0,586	49,35	74,05	103,60
	3,162	0,788	0,690	0,537	52,90	77,50	115,85
	3,464	0,760	0,675	0,496	59,95	81,15	125,90
	4,243	0,778	0,642	0,467	55,45	89,50	133,25
4,899	0,728	0,630	0,441	68,10	92,40	139,75	

Çizelge 4. 12. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetiği hız sabitleri ($C_o=50$ mg/L, $V=50$ mL, $m=0,01$ g, $T=25$ °C, $t=24$ sa)

Ads. Tür	Model	Sabitler	Hız (rpm)		
			100 rpm	120 rpm	140 rpm
Ç	Pseudo First	q_d (mg/g)	62,95	42,28	47,93
		k_{pb} (sa^{-1})	0,157	0,164	0,143
		R^2	0,9728	0,9517	0,9148
	Pseudo Second	q_d (mg/g)	71,43	78,13	82,64
		k_{pi} (g/mgsa)	0,003	0,012	0,011
		R^2	0,9075	0,9906	0,9902
	Weber Morris	k_{pik} ($sa^{-1/2}$)	13,09	11,99	12,90
		R^2	0,9748	0,7511	0,7594
	İntra Particular	k_{gd} ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$)	0,052	0,048	0,052
		R^2	0,9748	0,7511	0,7594
K	Pseudo First	q_d (mg/g)	65,60	63,76	69,76
		k_{pb} (sa^{-1})	0,145	0,169	0,150
		R^2	0,9113	0,9745	0,8985
	Pseudo Second	q_d (mg/g)	70,92	93,46	109,89
		k_{pi} (g/mgsa)	0,003	0,008	0,008
		R^2	0,917	0,9895	0,9902
	Weber Morris	k_{pik} ($sa^{-1/2}$)	13,10	15,88	17,73
		R^2	0,959	0,8599	0,7935
	İntra Particular	k_{gd} ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$)	0,052	0,064	0,071
		R^2	0,959	0,8599	0,7935
ÇK	Pseudo First	q_d (mg/g)	78,76	69,84	59,21
		k_{pb} (sa^{-1})	0,146	0,165	0,176
		R^2	0,8909	0,9691	0,9573
	Pseudo Second	q_d (mg/g)	77,52	97,09	101,01
		k_{pi} (g/mgsa)	0,003	0,007	0,009
		R^2	0,9193	0,9892	0,9947
	Weber Morris	k_{pik} ($sa^{-1/2}$)	14,44	17,63	17,84
		R^2	0,9913	0,8971	0,8407
	İntra Particular	k_{gd} ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$)	0,058	0,071	0,071
		R^2	0,9913	0,8971	0,8407
ÇÇK	Pseudo First	q_d (mg/g)	59,68	59,19	113,11
		k_{pb} (sa^{-1})	0,144	0,164	0,177
		R^2	0,8845	0,9633	0,9526
	Pseudo Second	q_d (mg/g)	69,44	93,46	142,86
		k_{pi} (g/mgsa)	0,006	0,009	0,004
		R^2	0,9692	0,9912	0,9736
	Weber Morris	k_{pik} ($sa^{-1/2}$)	13,60	15,49	24,34
		R^2	0,9359	0,8151	0,8718
	İntra Particular	k_{gd} ($mg^{-1}g^{-1}sa^{1/2}$)	0,054	0,062	0,097
		R^2	0,9359	0,8151	0,8718

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4. 13. Farklı adsorplayıcılar üzerinde Cu (II) iyonlarının adsorpsiyon izoterm verileri (V=25 mL, m=0,005 g, hız=120 rpm, t=24 sa)

Ads. Tür	C _o (mg/L)	25 °C		35 °C		40 °C	
		C _a (mg/L)	q _t (mg/g)	C _a (mg/L)	q _t (mg/g)	C _a (mg/L)	q _t (mg/g)
Ç	10	5,463	22,685	6,034	19,83	5,99	20,05
	25	15,82	45,9	17,176	39,12	19,05	29,75
	50	32,13	89,35	36,388	68,06	37,932	60,34
	75	54,69	101,55	56,67	91,65	58,16	84,2
	100	75,46	122,7	78,38	108,1	80,51	97,45
	125	98	135	102,1	114,5	102,24	113,8
	150	122,5	137,5	124,64	126,8	126,1	119,5
	200	169,9	150,5	172,5	137,5	174,1	129,5
K	10	5,456	22,72	5,782	21,09	5,87	20,65
	25	13,9	55,5	17,05	39,75	19,02	29,9
	50	34,6	77	36,12	69,4	37,2	64
	75	54,62	101,9	55,96	95,2	56,08	94,6
	100	75,5	122,5	77,5	112,5	79,11	104,45
	125	100,47	122,65	101,43	117,85	102,74	111,3
	150	123	135	124,1	129,5	125,09	124,55
	200	170,01	149,95	171,91	140,45	173,65	131,75
ÇK	10	5,073	24,635	5,466	22,67	5,77	21,15
	25	12,98	60,1	14,02	54,9	14,35	53,25
	50	32,3	88,5	34,096	79,52	36,07	69,65
	75	53,2	109	55,95	95,25	56,27	93,65
	100	73,15	134,25	75,21	123,95	76,82	115,9
	125	95,11	149,45	98,25	133,75	99,54	127,3
	150	118,6	157	120,77	146,15	122,04	139,8
	200	167,08	164,6	169,8	151	171,15	144,25
ÇÇK	10	5,38	23,1	5,98	20,1	6,03	19,85
	25	15,1	49,5	17,13	39,35	18,88	30,6
	50	34,55	77,25	36,79	66,05	37,69	61,55
	75	54,89	100,55	56,43	92,85	57,18	89,1
	100	77,17	114,15	79,57	102,15	80,83	95,85
	125	100,86	120,7	102,8	111	104,25	103,75
	150	123,44	132,8	125,03	124,85	127,17	114,15
	200	172	140	173,85	130,75	174,63	126,85

Çizelge 4. 14. Farklı adsorplayıcılar üzerinde Cu(II) iyonlarının adsorpsiyon izotermelerinin Langmuir tipi çizgisel verileri (V=25 mL, m=0,005 g, hız=120 rpm, t=24 sa)

Ads. Tür	C _o (mg/L)	25 °C		35 °C		40 °C	
		C _d	C _d /q _d	C _d	C _d /q _d	C _d	C _d /q _d
Ç	10	5,66	0,26	6,03	0,30	5,99	20,05
	25	16,20	0,37	17,18	0,44	19,05	29,75
	50	35,13	0,47	36,39	0,53	37,932	60,34
	75	54,69	0,54	56,67	0,62	58,16	84,2
	100	76,46	0,65	78,38	0,73	80,51	97,45
	125	98,06	0,73	104,20	0,89	102,24	113,8
	150	121,35	0,85	124,64	0,98	126,1	119,5
	200	168,90	1,09	172,50	1,25	174,1	129,5
K	10	5,46	0,24	5,71	0,27	5,87	0,28
	25	13,90	0,25	17,65	0,43	19,02	0,64
	50	34,60	0,45	36,32	0,52	37,20	0,58
	75	54,62	0,54	55,96	0,59	56,08	0,59
	100	76,50	0,65	77,50	0,69	79,11	0,76
	125	100,47	0,82	101,43	0,86	102,74	0,92
	150	123,00	0,91	124,10	0,96	125,09	1,00
	200	170,01	1,13	171,91	1,22	173,65	1,32
ÇK	10	5,07	0,21	5,47	0,24	5,77	0,27
	25	12,98	0,22	13,70	0,26	14,35	0,27
	50	32,30	0,36	34,10	0,43	36,07	0,52
	75	53,20	0,49	55,42	0,59	56,27	0,60
	100	73,15	0,54	75,21	0,61	76,82	0,66
	125	95,11	0,64	98,25	0,73	99,54	0,78
	150	118,60	0,76	120,37	0,83	122,04	0,87
	200	167,08	1,02	169,80	1,12	171,15	1,19
ÇÇK	10	5,38	0,23	5,87	0,30	6,03	0,30
	25	15,10	0,31	17,83	0,44	18,88	0,62
	50	34,55	0,45	36,79	0,56	37,69	0,61
	75	54,89	0,55	56,43	0,61	57,18	0,64
	100	77,17	0,68	79,57	0,78	80,83	0,84
	125	100,86	0,84	102,80	0,93	104,25	1,00
	150	123,44	0,93	125,03	1,00	127,17	1,11
	200	172,00	1,23	173,85	1,33	174,63	1,38

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4. 15. Farklı adsorplayıcılar üzerinde Cu(II) iyonlarının adsorpsiyon izotermlerinin Freundlich tipi çizgisel verileri (V=25 mL, m=0,005 g, hız=120 rpm, t=24 sa)

Ads. Tür	C ₀ (mg/L)	25 °C		35 °C		40 °C	
		Log C _d	Log q _d	Log C _d	Log q _d	Log C _d	Log q _d
Ç	10	0,753	1,336	0,781	1,297	0,777	1,302
	25	1,210	1,643	1,235	1,592	1,280	1,473
	50	1,546	1,871	1,561	1,833	1,579	1,781
	75	1,738	2,007	1,753	1,962	1,765	1,925
	100	1,883	2,071	1,894	2,034	1,906	1,989
	125	1,991	2,129	2,018	2,059	2,010	2,056
	150	2,084	2,156	2,096	2,103	2,101	2,077
	200	2,228	2,192	2,237	2,138	2,241	2,112
K	10	0,737	1,356	0,757	1,324	0,769	1,315
	25	1,143	1,744	1,247	1,599	1,279	1,476
	50	1,539	1,886	1,560	1,841	1,571	1,806
	75	1,737	2,008	1,748	1,979	1,749	1,976
	100	1,884	2,070	1,889	2,051	1,898	2,019
	125	2,002	2,089	2,006	2,071	2,012	2,046
	150	2,090	2,130	2,094	2,112	2,097	2,095
	200	2,230	2,176	2,235	2,148	2,240	2,120
ÇK	10	0,705	1,392	0,738	1,355	0,761	1,325
	25	1,113	1,779	1,137	1,740	1,157	1,726
	50	1,509	1,947	1,533	1,900	1,557	1,843
	75	1,726	2,037	1,744	1,979	1,750	1,972
	100	1,864	2,128	1,876	2,093	1,885	2,064
	125	1,978	2,174	1,992	2,126	1,998	2,105
	150	2,074	2,196	2,081	2,165	2,087	2,146
	200	2,223	2,216	2,230	2,179	2,233	2,159
ÇÇK	10	0,731	1,364	0,769	1,303	0,780	1,298
	25	1,179	1,695	1,251	1,595	1,276	1,486
	50	1,538	1,888	1,566	1,820	1,576	1,789
	75	1,739	2,002	1,752	1,968	1,757	1,950
	100	1,887	2,057	1,901	2,009	1,908	1,982
	125	2,004	2,082	2,012	2,045	2,018	2,016
	150	2,091	2,123	2,097	2,096	2,104	2,057
	200	2,236	2,146	2,240	2,116	2,242	2,103

Çizelge 4. 16. Farklı adsorplayıcılar üzerinde Cu(II) iyonlarının adsorpsiyon izoterm sabitleri (V=25 mL, m=0,005 g, hız=120 rpm, t=24 sa)

Ads. Tür	T (°C)	Freundlich Sabitleri		
		k	n	R ²
Ç	25	8,268	1,665	0,9859
	35	7,340	1,677	0,9824
	40	1,633	6,220	0,9652
K	25	11,455	1,907	0,9566
	35	7,945	1,708	0,9812
	40	1,640	6,595	0,9518
ÇK	25	12,729	1,877	0,9589
	35	10,965	1,847	0,9615
	40	1,801	9,669	0,9603
ÇÇK	25	11,082	1,915	0,9714
	35	7,723	1,731	0,9802
	40	1,683	6,613	0,9660
Ads. Tür	T (°C)	Langmuir Sabitleri		
		Q _{max}	b	R ²
Ç	25	188,69	0,024	0,9937
	35	181,82	0,018	0,9939
	40	174,00	0,015	0,9411
K	25	178,57	0,0257	0,9900
	35	176,00	0,0195	0,9893
	40	175,44	0,0176	0,9764
ÇK	25	204,08	0,0266	0,9929
	35	188,68	0,0237	0,9860
	40	185,19	0,0213	0,9813
ÇÇK	25	169,49	0,0267	0,9978
	35	162,55	0,0205	0,9917
	40	156,25	0,0214	0,9868

4. ARASTIRMA BULGULARI

Çizelge 4. 17. Farklı adsorplayıcıların Cu(II) adsorpsiyonunda E_a (aktivasyon) enerjisi değerleri

Ads. Türü	lnk	1/T (K ⁻¹)	E_a (kJ/mol)
Ç	-4,423	0,0034	22,475
	-4,828	0,0032	
	-4,828	0,0032	
K	-4,828	0,0034	26,047
	-5,298	0,0032	
	-5,298	0,0032	
ÇK	-4,962	0,0034	99,327
	-3,079	0,0032	
	-3,194	0,0032	
ÇÇK	-4,711	0,0034	17,874
	-5,298	0,0032	
	-4,962	0,0032	

Çizelge 4. 18. Farklı adsorplayıcıların Cu(II) adsorpsiyonu termodinamik parametreleri

Ads. Türü	Sıcaklık (K)	lnK	ΔG (kJ/mol)	ΔS (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol K)
Ç	298	14,79	-36,64	0,203	23,980
	308	15,08	-38,61		
	313	15,26	-39,71		
K	298	14,72	-36,47	0,189	19,775
	308	15,00	-38,40		
	313	15,10	-39,29		
ÇK	298	14,69	-36,38	0,159	11,124
	308	14,80	-37,90		
	313	14,91	-38,79		
ÇÇK	298	14,68	-36,38	0,165	12,623
	308	14,95	-38,27		
	313	14,90	-38,78		

Çizelge 4. 19. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonunda adsorplayıcı kütle etkisi ($C_0=50$ mg/L, $V=25$ mL, $T=25$ °C, hız=120 rpm, $t=24$ sa)

Ads. Tür	m (g)	C_a (mg/L)	q_t (mg/g)	% A
Ç	0,003	41,56	70,33	16,88
	0,006	37,72	51,17	24,56
	0,012	28,85	44,06	42,3
K	0,003	42,96	58,67	14,08
	0,006	39,32	44,50	21,36
	0,012	32,56	36,33	34,88
ÇK	0,003	40,89	75,92	18,22
	0,006	37,03	54,04	25,94
	0,012	25,15	51,77	49,7
ÇÇK	0,003	42,49	62,58	15,02
	0,006	38,76	46,83	22,48
	0,012	36,09	28,98	27,82

Çizelge 4. 20. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyonuna pH etkisi ($C_0=50$ mg/L, $V=25$ mL, $T=25$ °C, $m=0,005$ g, hız=120 rpm, $t=24$ sa)

Adsorplayıcı	C_a (mg/L)	q_t (mg/g)	C_a (mg/L)	q_t (mg/g)	C_a (mg/L)	q_t (mg/g)
	pH=2	pH=2	pH=4	pH=4	pH=6	pH=6
Ç	42,73	36,35	35,34	73,3	28,66	106,7
K	43,94	30,3	38,6	57	30,03	99,85
ÇK	42,84	35,8	34,85	75,75	27,3	113,5
ÇÇK	44,59	27,05	40,53	47,35	31,87	90,65

Çizelge 4. 21. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde desorpsiyon verileri ($C_{asit}=0,01$ N, $V=50$ mL, $T=25$ °C hız=120 rpm, $t=18$ sa)

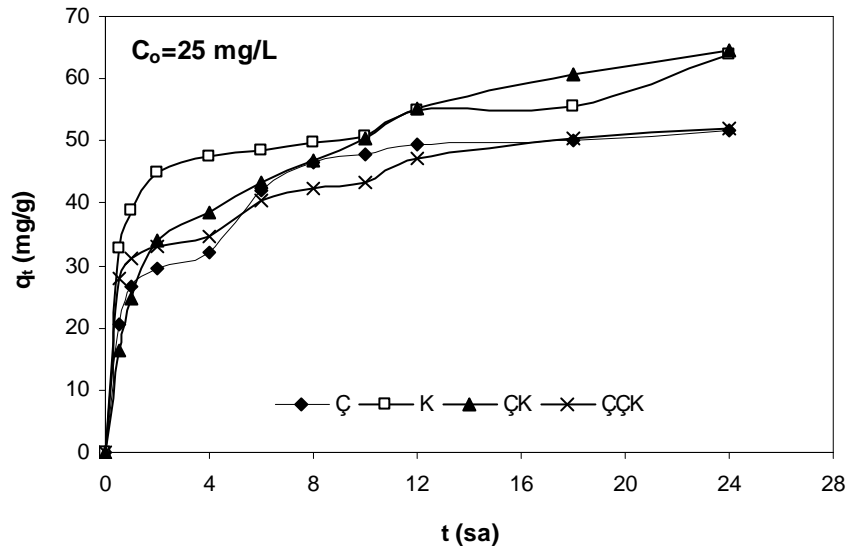
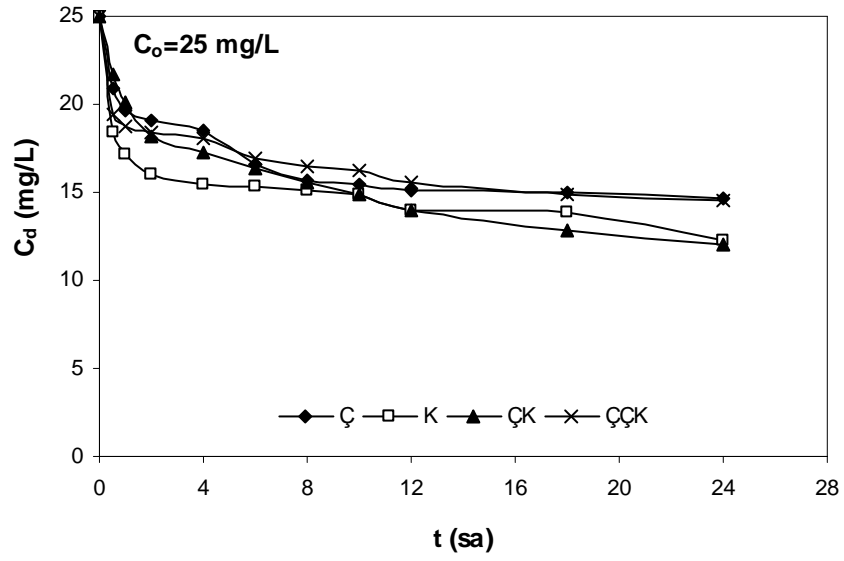
Ads. Tür	Süre (sa)	Adsorplanan mg/L	Desorplanan mg/L	% Desorpsiyon
Ç	1	11,64	6,06	52,04
	2		6,88	59,11
	18		10,48	90,03
K	1	9,13	7,64	83,68
	2		8,05	88,17
	18		8,73	95,62
ÇK	1	11,08	8,31	75,00
	2		8,86	79,96
	18		8,99	81,14
ÇÇK	1	11,69	8,34	71,34
	2		8,68	74,25
	18		9,72	83,15

Çizelge 4. 22. Metal İyonlarının Adsorpsiyon Rekabeti İkili Metal Karışımları ($C_0=50$ mg/L, $V=50$ mL, $T=25$ °C, $m=0,01$ g, hız=120 rpm, $t=24$ sa)

Metal Karışımı	Cu(II) - Ni(II)		Cu(II) - Ni(II)		Cu(II) - Zn(II)		Cu(II) - Zn(II)	
Metal İyonu	Cu(II)		Ni(II)		Cu(II)		Zn(II)	
	C_d (mg/L)	% A	C_d (mg/L)	% A	C_d (mg/L)	% A	C_d (mg/L)	% A
Ç	41,18	17,64	42,29	15,42	42,97	14,06	47,30	5,40
K	40,20	19,60	45,00	10,00	43,15	13,70	46,00	8,00
ÇK	40,54	18,92	42,94	14,12	41,90	16,20	44,15	11,70
ÇÇK	42,90	14,20	43,50	13,00	42,65	14,70	46,20	7,60

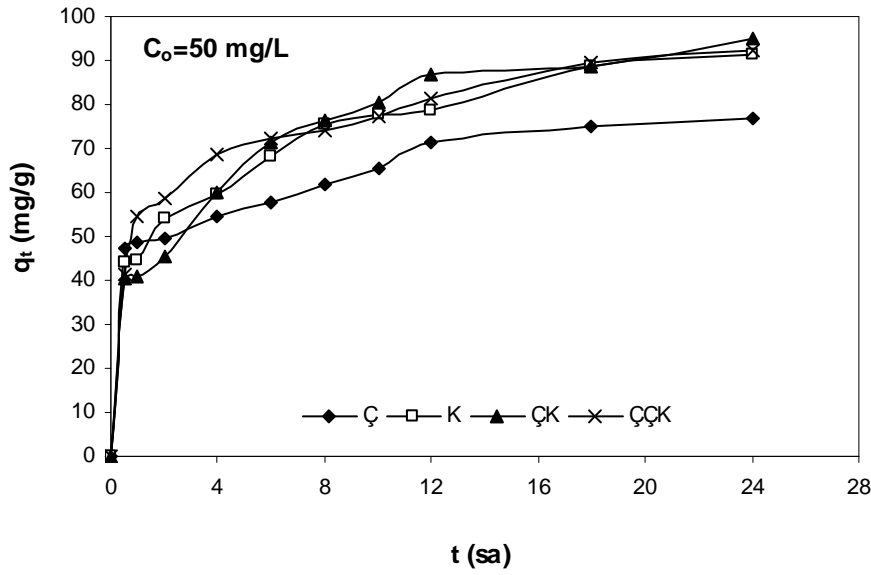
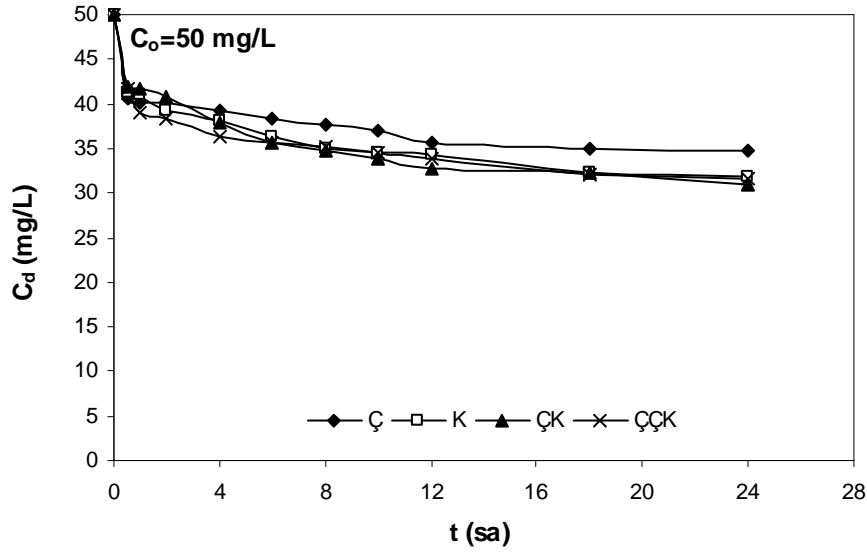
Çizelge 4. 23. Metal İyonlarının Adsorpsiyon Rekabeti Üçlü Metal Karışımları ($C_0=50$ mg/L, $V=60$ mL, $T=25$ °C, $m=0,01$ g, hız=120 rpm, $t=24$ sa)

Metal Karışımı	Cu(II) - Ni(II) - Zn(II)		Cu(II) - Ni(II) - Zn(II)		Cu(II) - Ni(II) - Zn(II)	
Metal İyonu	Cu(II)		Ni(II)		Zn(II)	
	C_d (mg/L)	% A	C_d (mg/L)	% A	C_d (mg/L)	% A
Ç	42,72	14,56	47,2	5,6	43,65	12,7
K	35,78	28,44	38,05	23,9	41,71	16,58
ÇK	40,67	18,66	41,38	17,24	41,6	16,8
ÇÇK	41,51	16,98	42,07	15,86	42,86	14,28

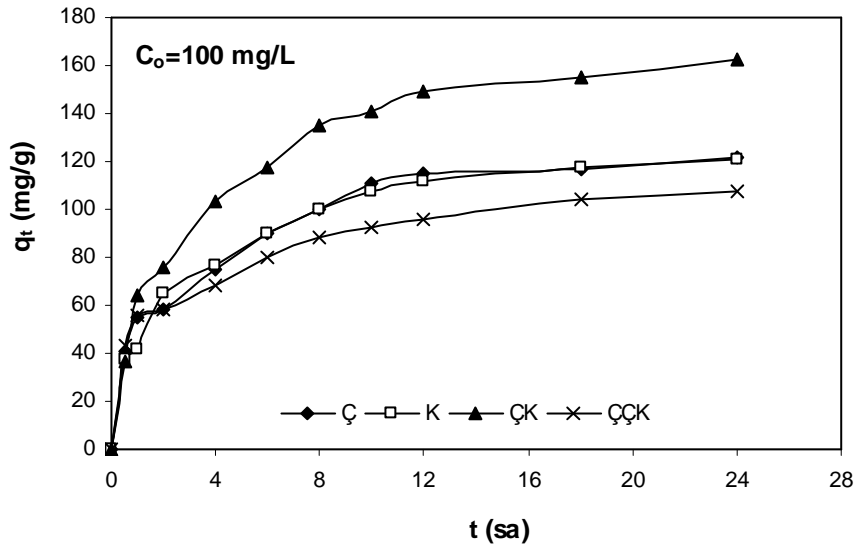
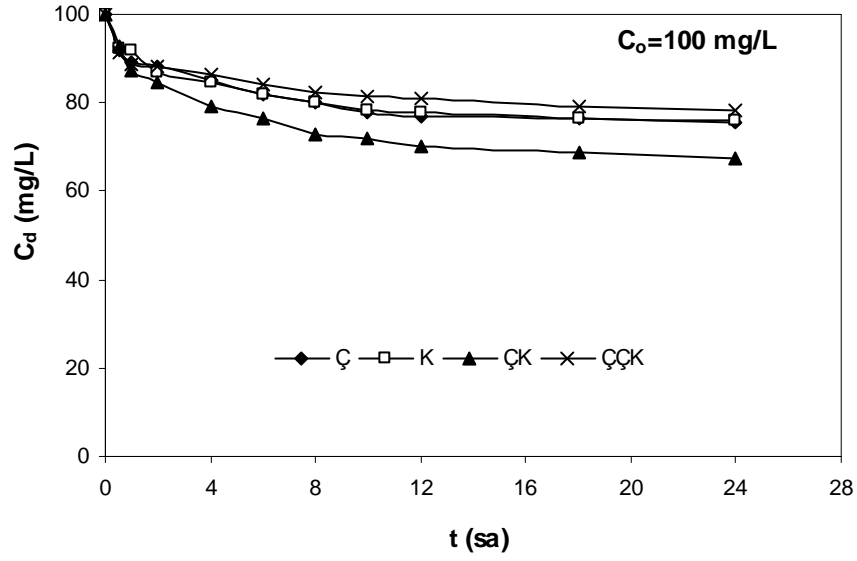


Şekil 4. 1. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde başlangıç konsantrasyonu 25 mg/L olan adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: T=25 °C, V=50 ml, m= 0,01 g, hız=120 rpm)

4. ARASTIRMA BULGULARI

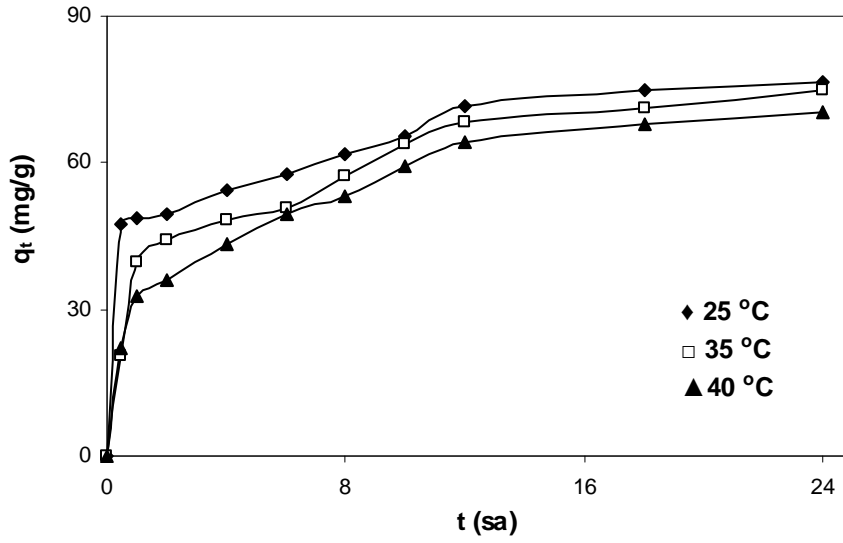
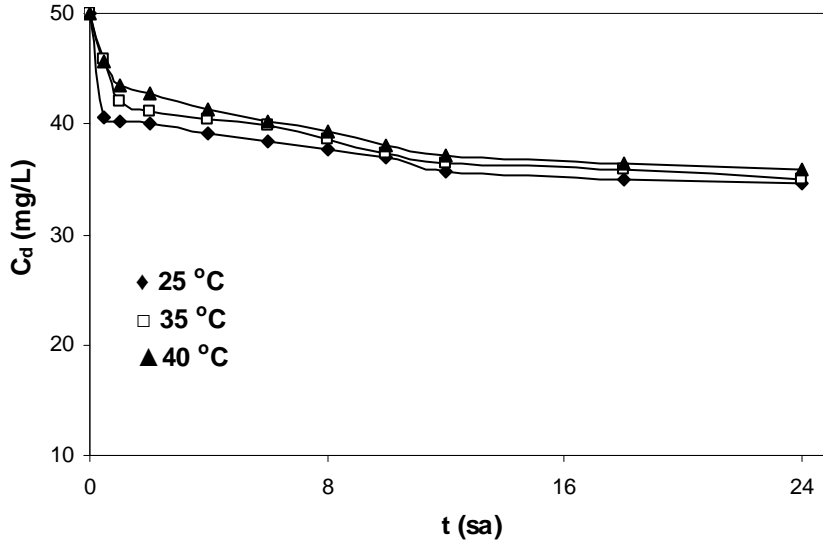


Şekil 4. 2. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: T=25 °C, V=50 ml, m= 0,01 g, hız=120 rpm)

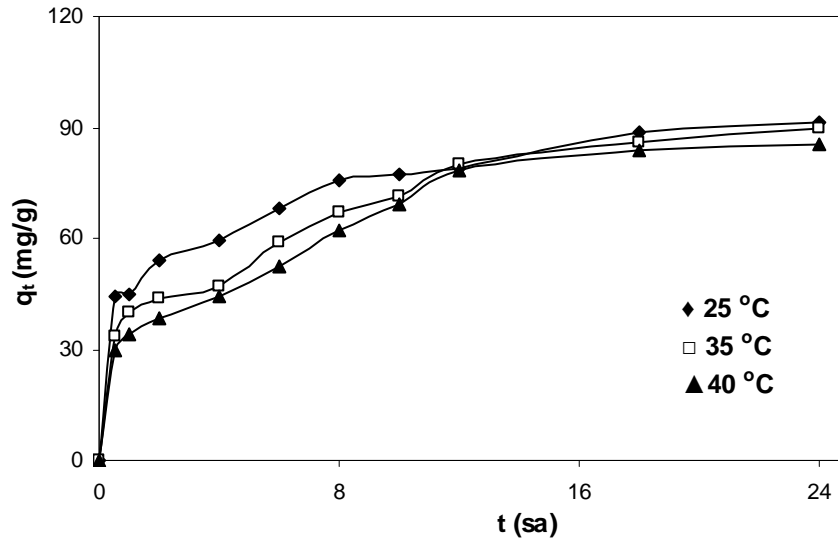
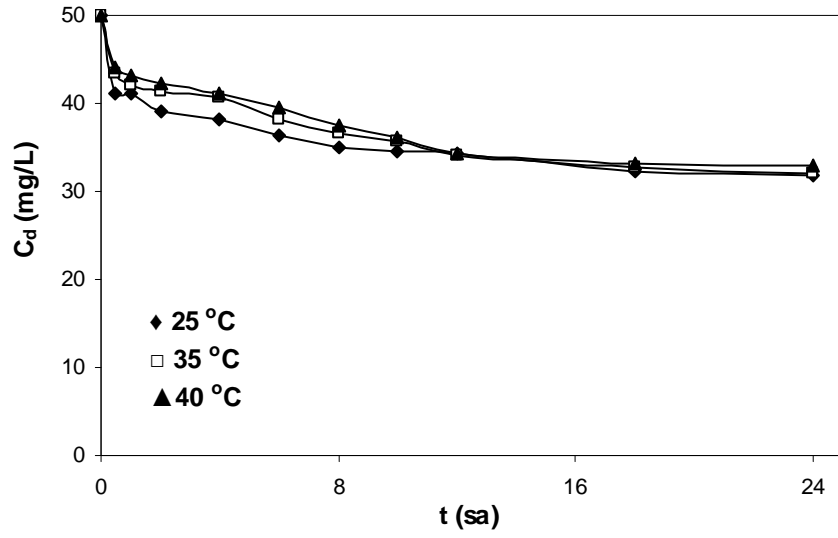


Şekil 4. 3. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde başlangıç konsantrasyonu 100 mg/L olan adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: $T=25$ °C, $V=50$ ml, $m=0,01$ g, hız=120 rpm)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

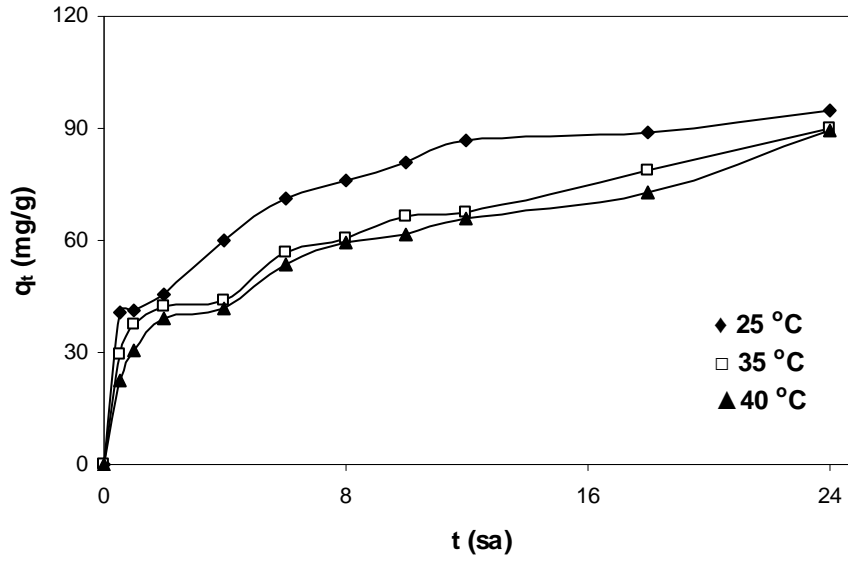
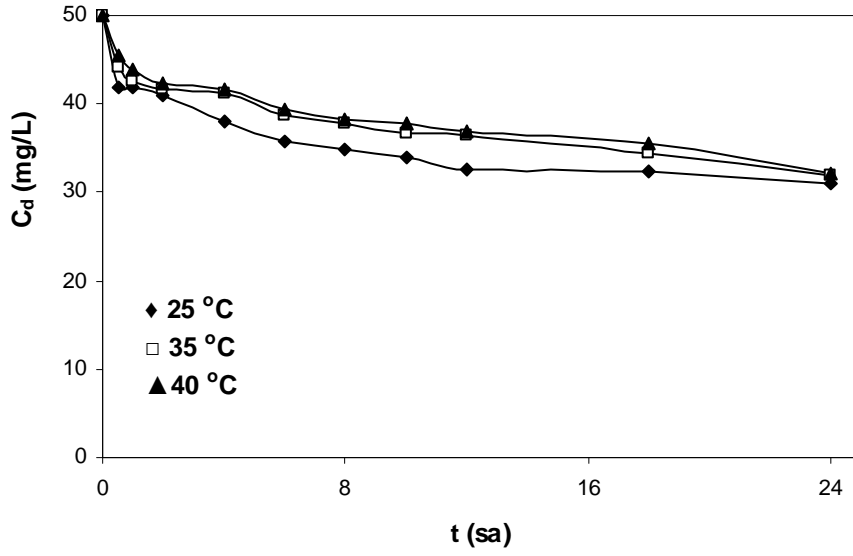


Şekil 4. 4. Cu(II) iyonlarının Ç üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: T=◆25 °C, □ 35 °C, ▲40 °C, V=50 ml, m=0,01 g, hız=120 rpm)

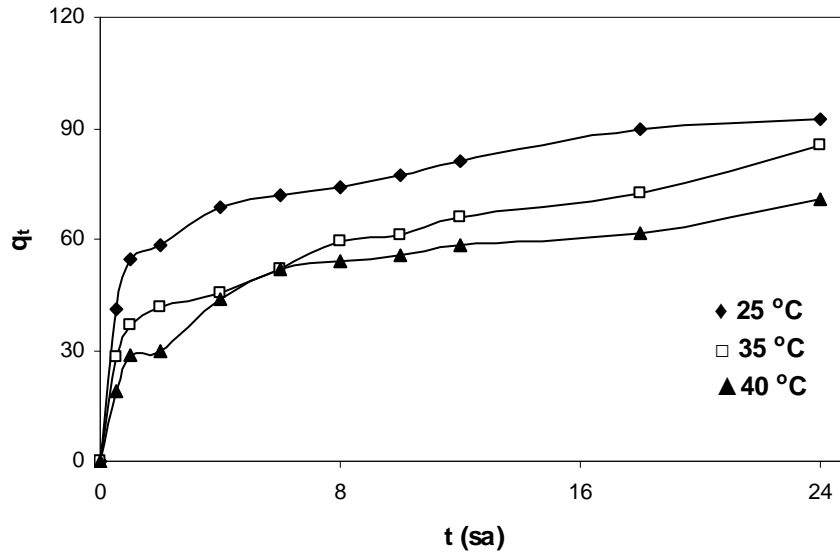
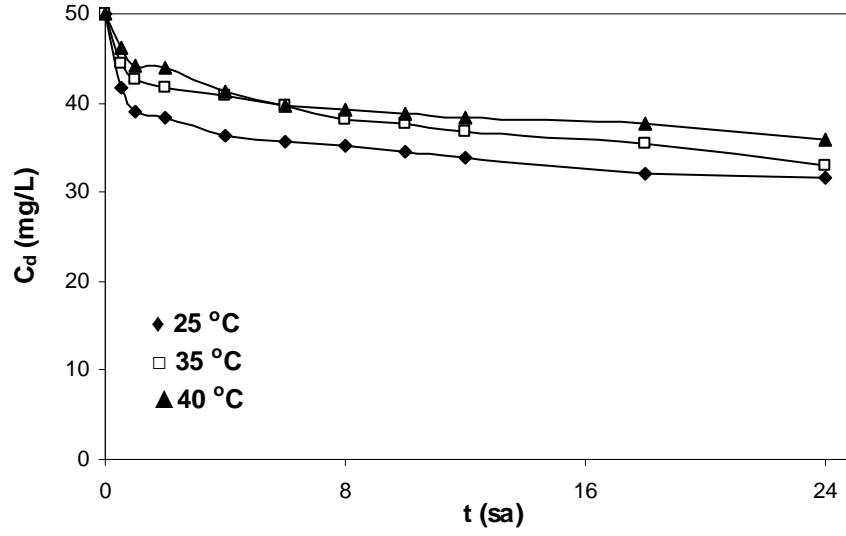


Şekil 4. 5. Cu(II) iyonlarının K üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: T=◆25 °C, □ 35 °C, ▲40 °C, V=50 ml, m=0,01 g, hız=120 rpm)

4. ARASTIRMA BULGULARI

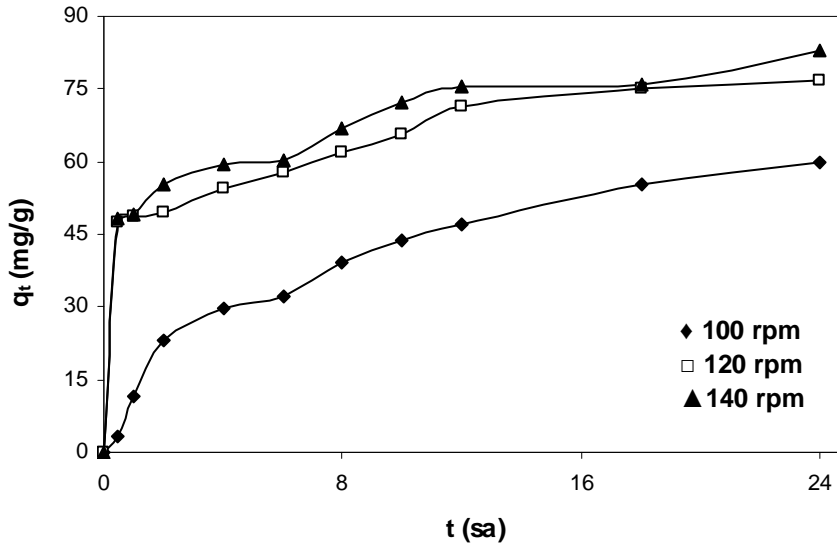
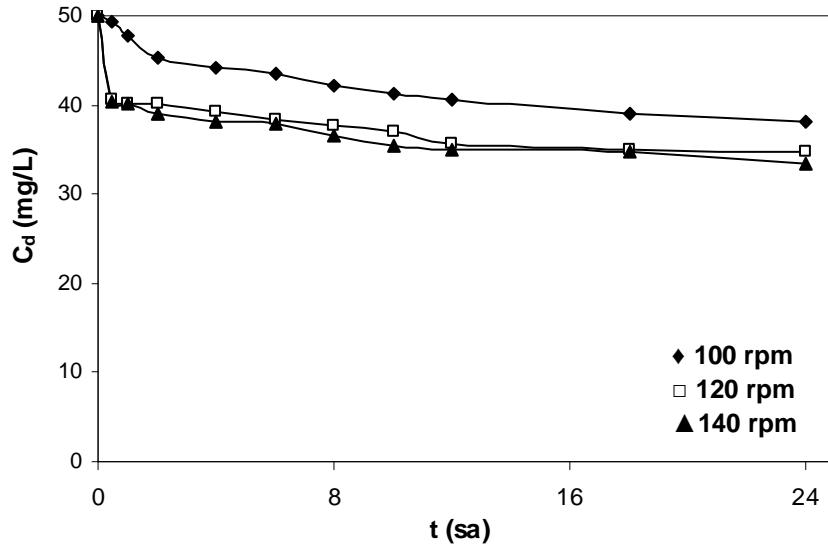


Şekil 4. 6. Cu(II) iyonlarının ÇK kompoziti üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: T=◆25 °C, □ 35 °C, ▲40°C, V=50 ml, m= 0,01 g, hız=120 rpm)

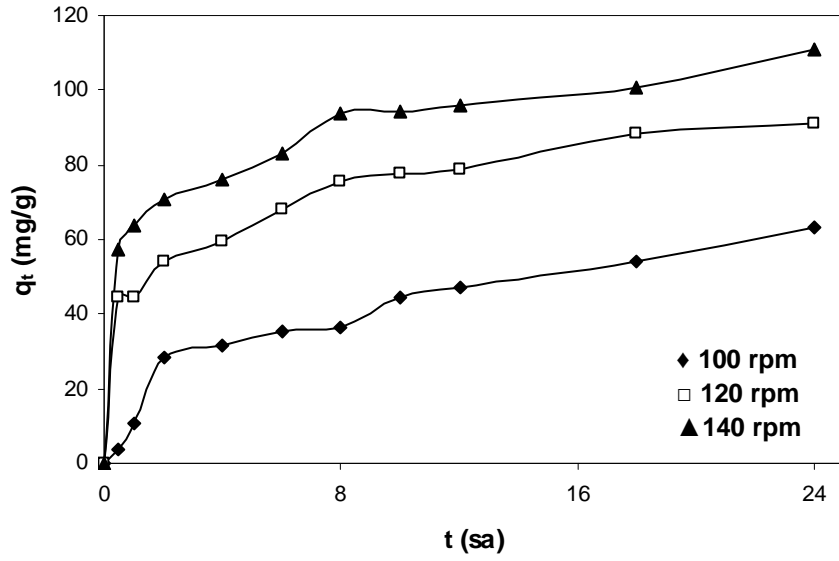
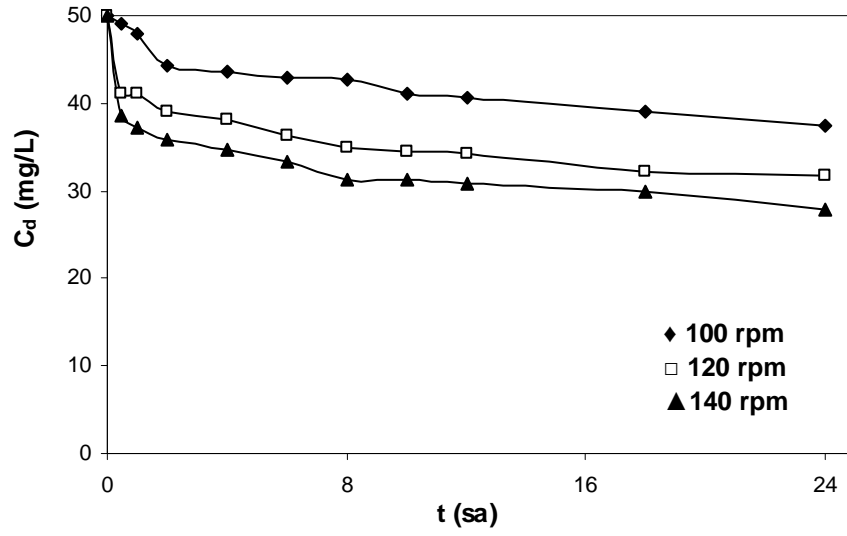


Şekil 4. 7. Cu(II) iyonlarının ÇÇK kompoziti üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: T=◆25 °C, □ 35 °C, ▲40°C, V=50 ml, m= 0,01 g, hız=120 rpm)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

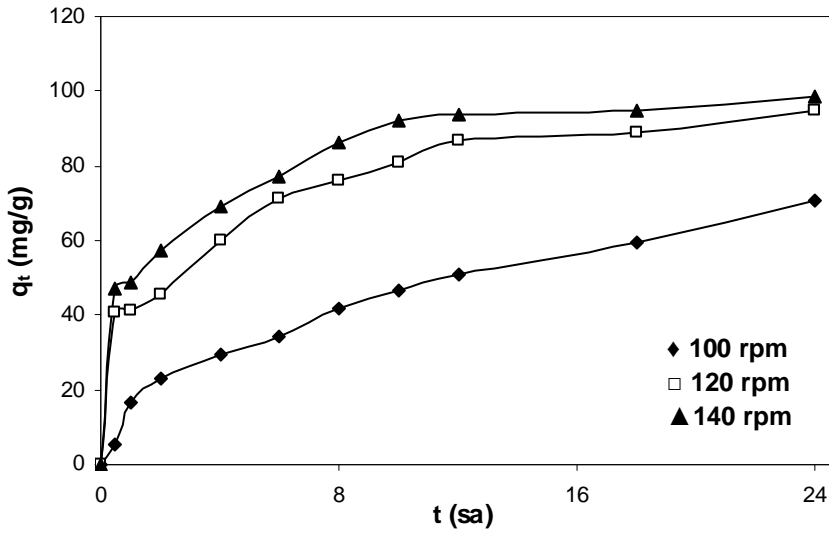
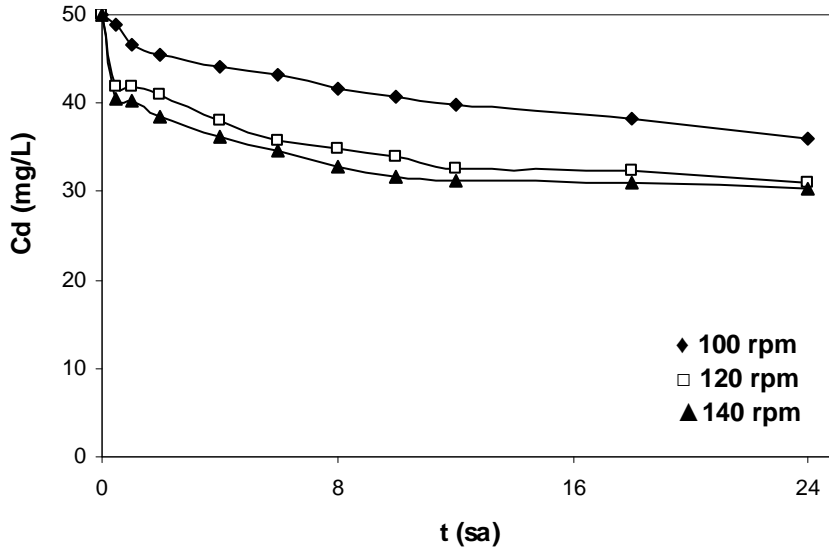


Şekil 4. 8. Cu(II) iyonlarının Ç üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: hız= \blacklozenge 100 rpm, \square 120 rpm, \blacktriangle 140 rpm, $V=50$ ml, $m=0,01$ g, $T=25^\circ\text{C}$)

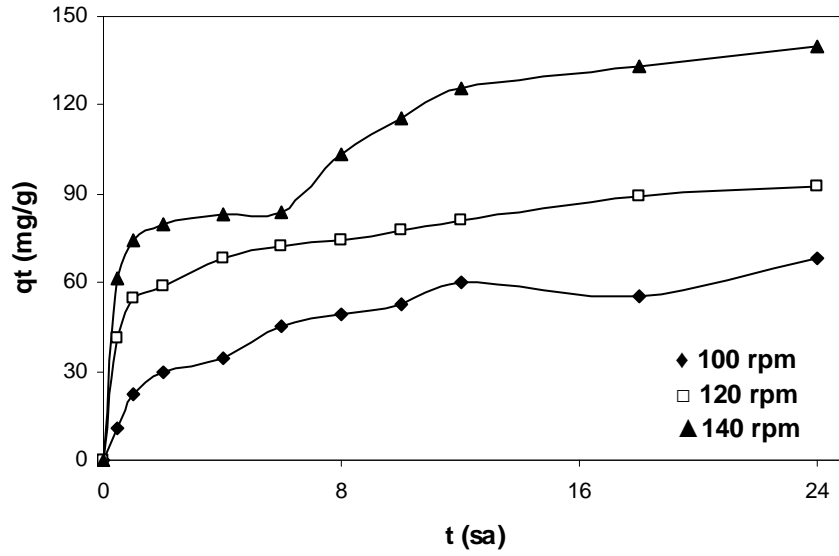
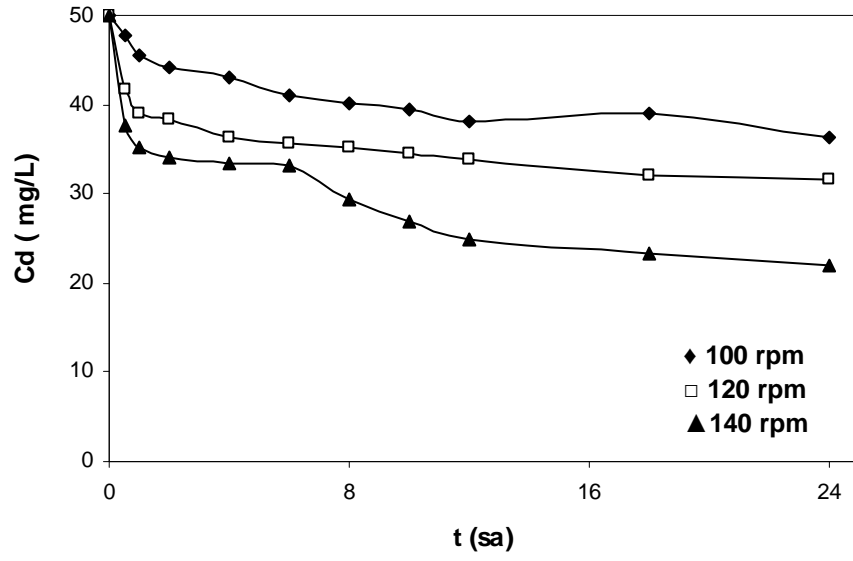


Şekil 4. 9. Cu(II) iyonlarının K üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: hız=◆ 100 rpm, □ 120 rpm, ▲ 140 rpm, V=50 ml, m= 0,01 g, T= 25°C)

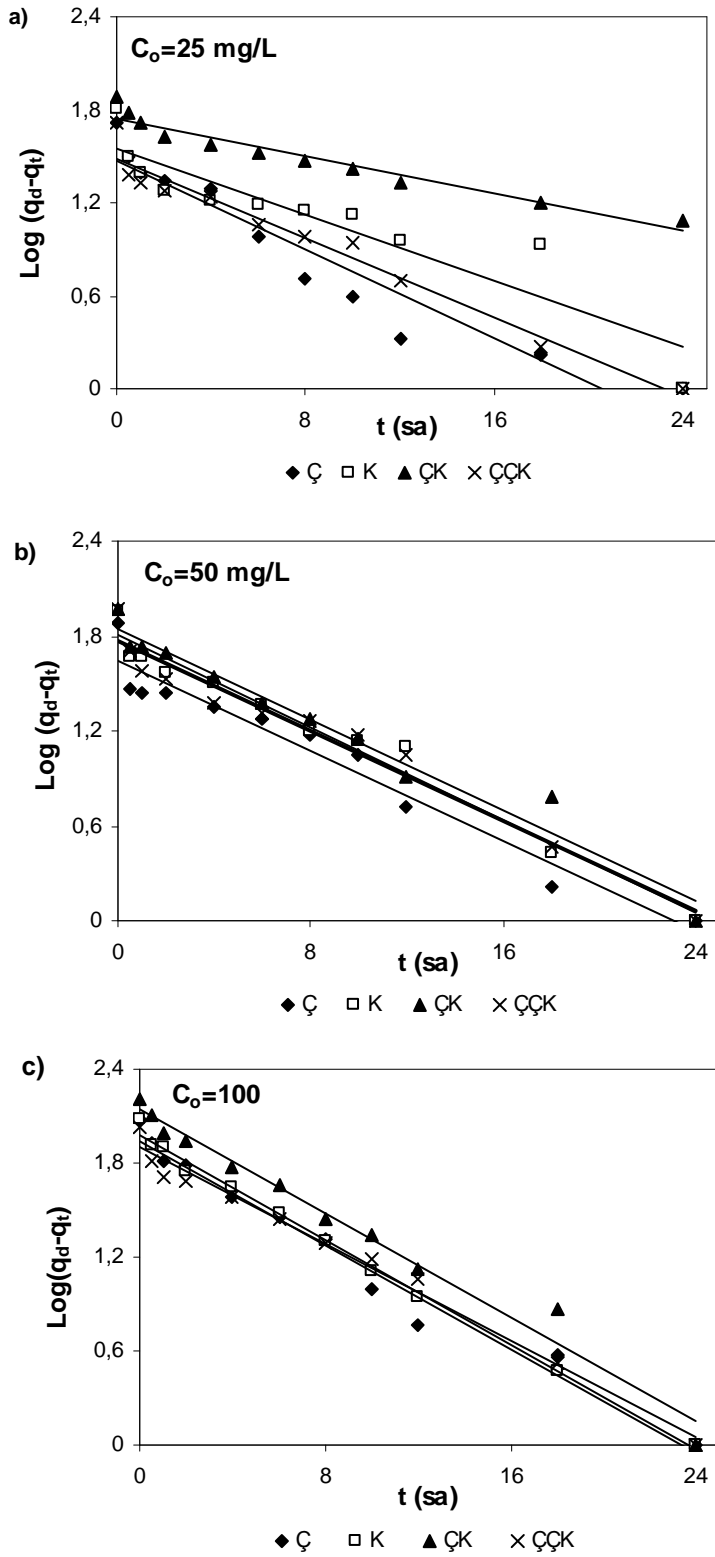
4. ARAŞTIRMA BULGULARI



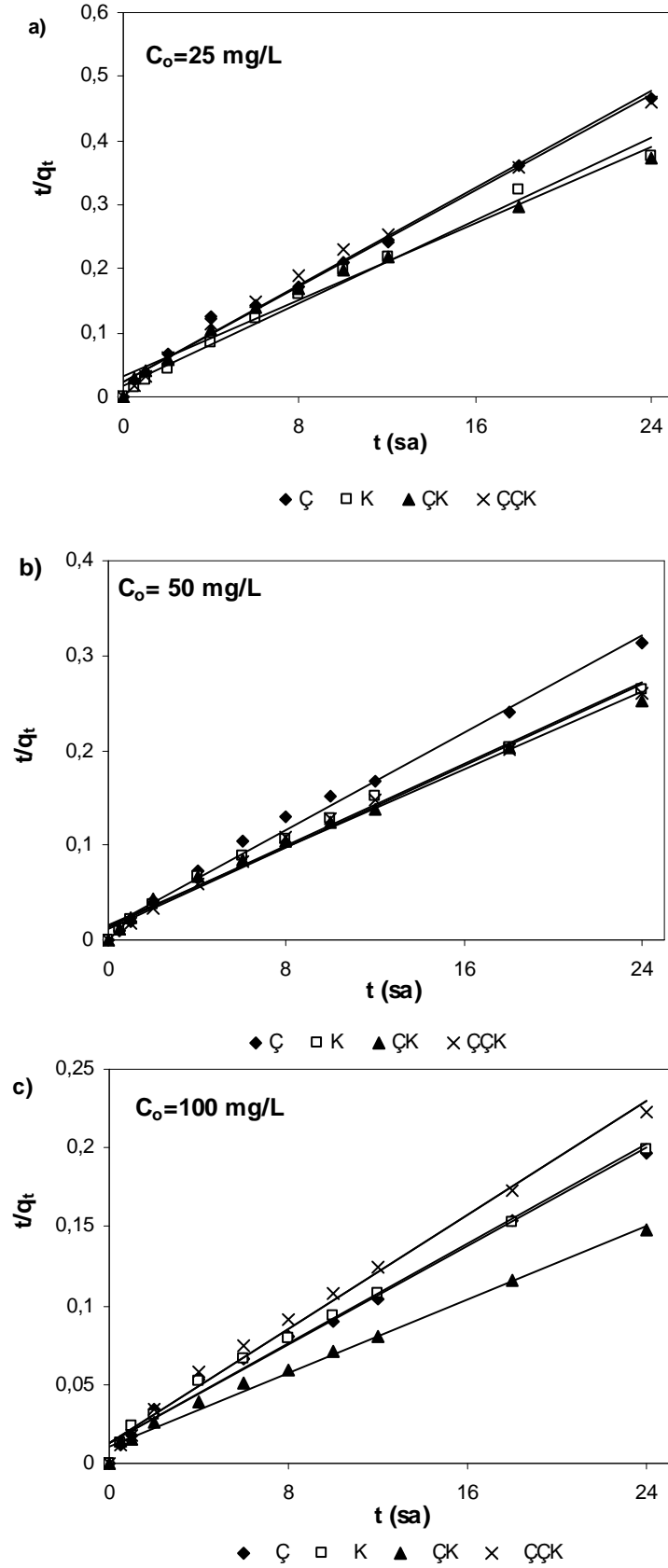
Şekil 4. 10. Cu(II) iyonlarının ÇK kompoziti üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: hız=◆ 100 rpm, □ 120 rpm, ▲ 140 rpm, V=50 ml, m= 0,01 g, T= 25°C)



Şekil 4. 11. Cu(II) iyonlarının ÇÇK kompoziti üzerinde başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan farklı hızlardaki adsorpsiyon kinetik eğrileri (Adsorpsiyon şartları: hız=◆ 100 rpm, □ 120 rpm, ▲ 140 rpm, V=50 ml, m= 0,01 g, T= 25°C)

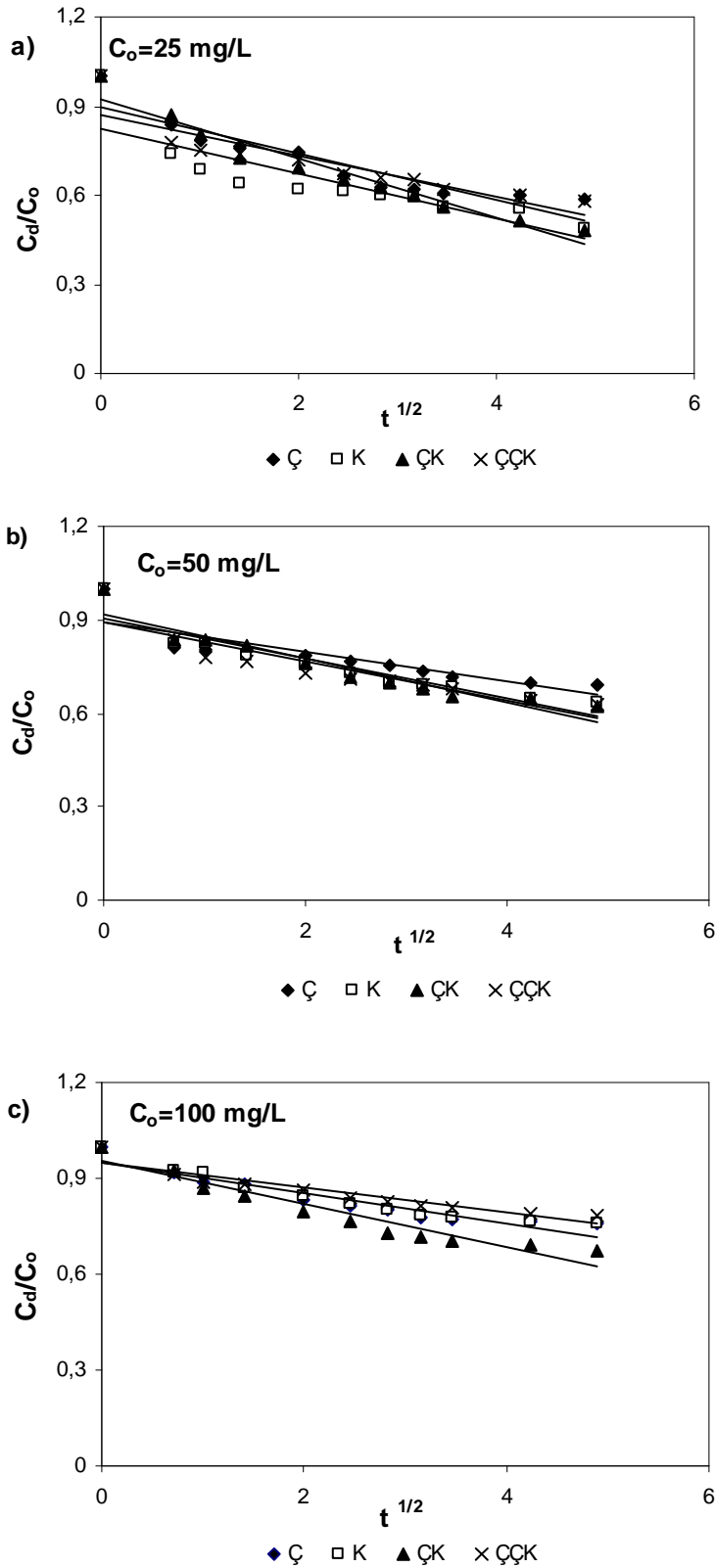


Şekil 4. 12. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo birinci mertebeye çizimleri. Başlangıç bakır derişimi, a) 25 mg/L, b) 50 mg/L, c) 100 mg/L

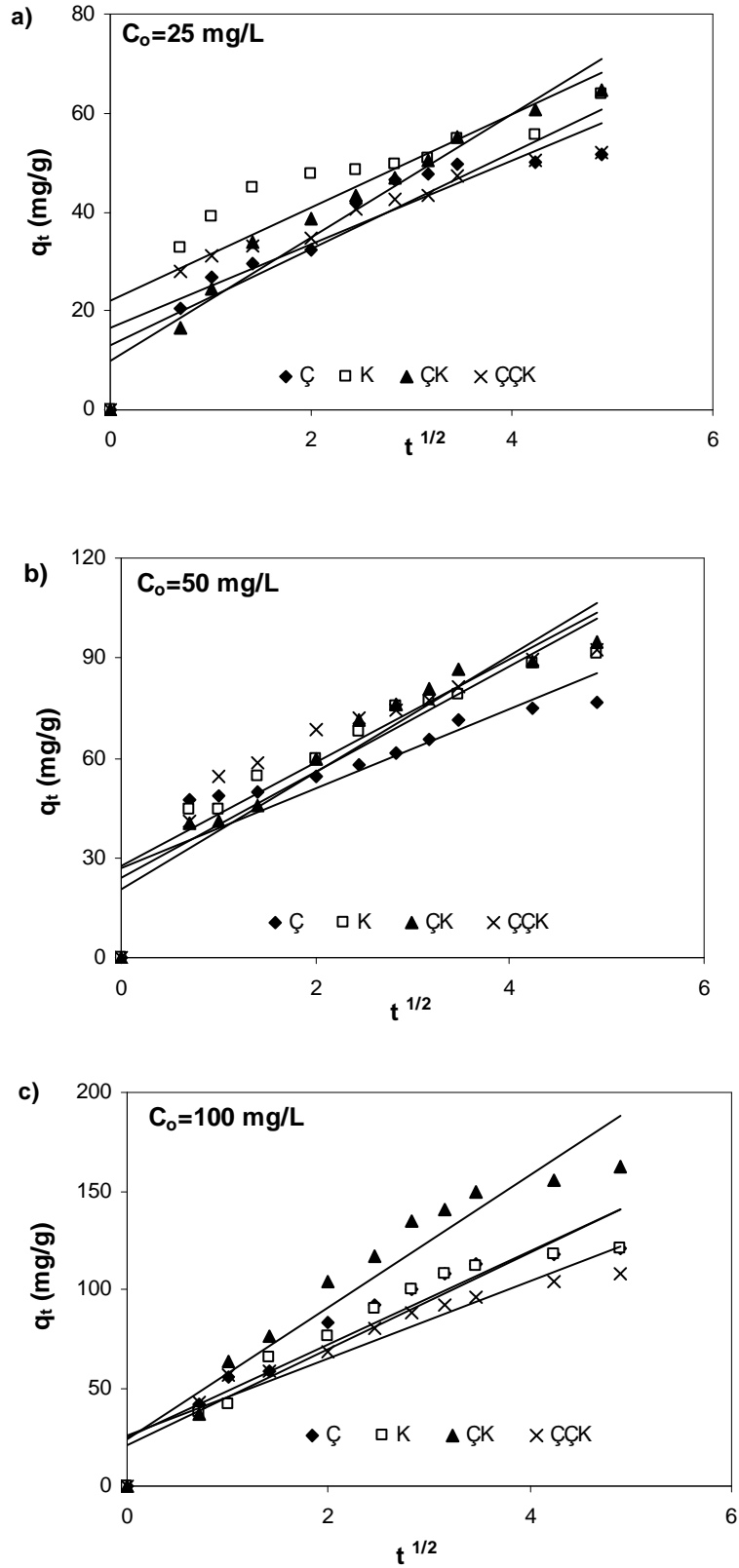


Şekil 4. 13. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo ikinci mertebe çizimleri. Başlangıç bakır derişimi, a) 25 mg/L, b) 50 mg/L, c) 100 mg/L

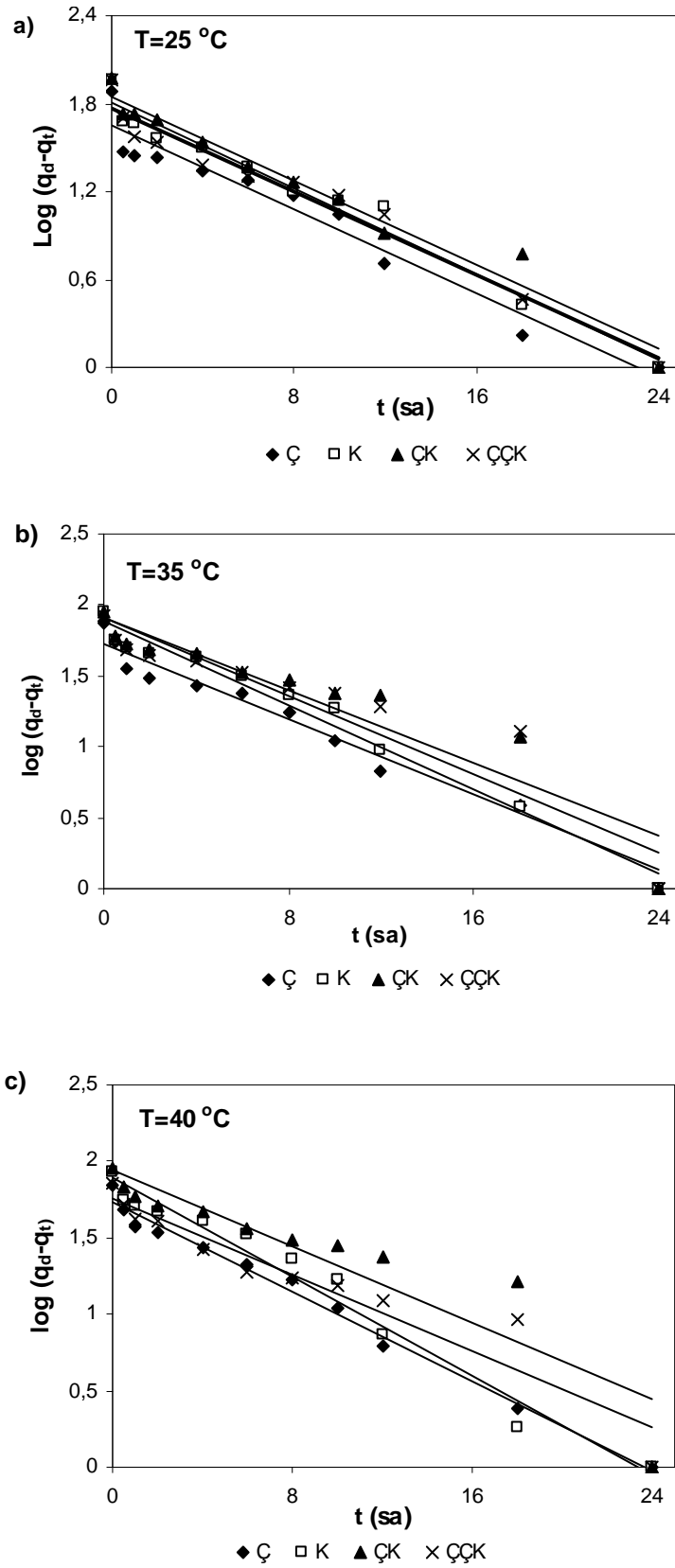
4. ARAŞTIRMA BULGULARI



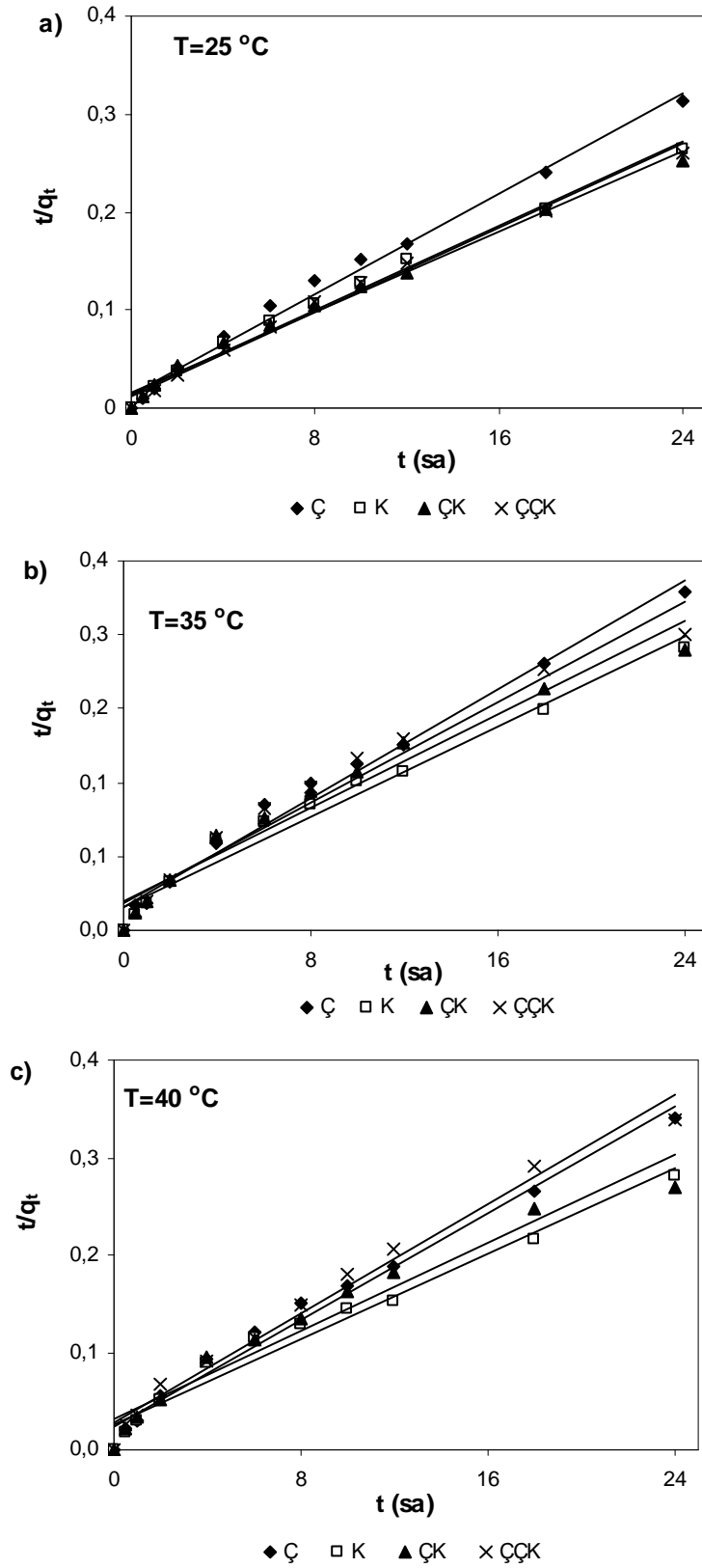
Şekil 4. 14. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri. Başlangıç bakır derişimi, a) 25 mg/L, b) 50 mg/L, c) 100 mg/L



Şekil 4. 15. Cu(II) iyonlarının farklı adsorptörler üzerinde adsorpsiyon parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri. Başlangıç bakır derişimi, a) 25 mg/L, b) 50 mg/L, c) 100 mg/L

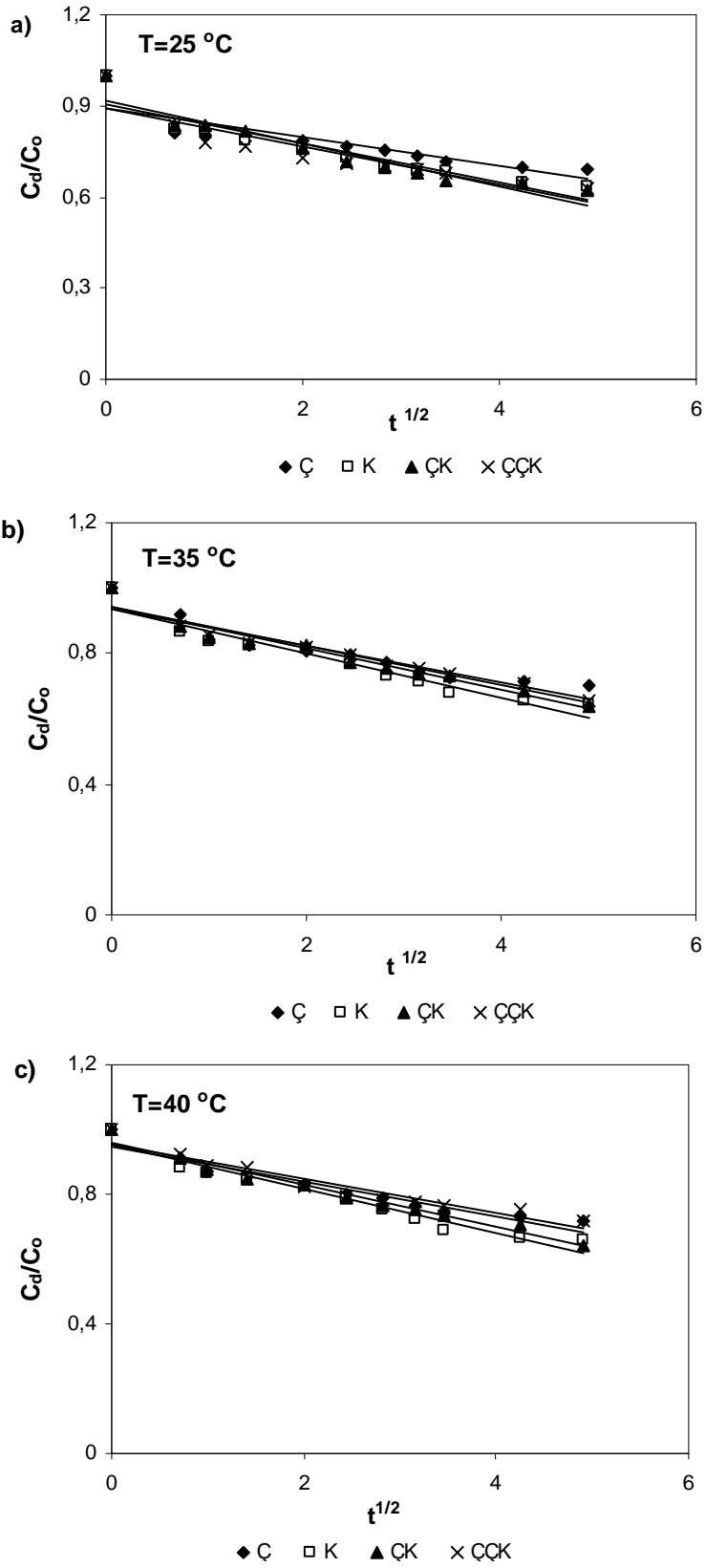


Şekil 4. 16. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo birinci merteye çizimleri. a) 25 °C, b) 35 °C, c) 40 °C

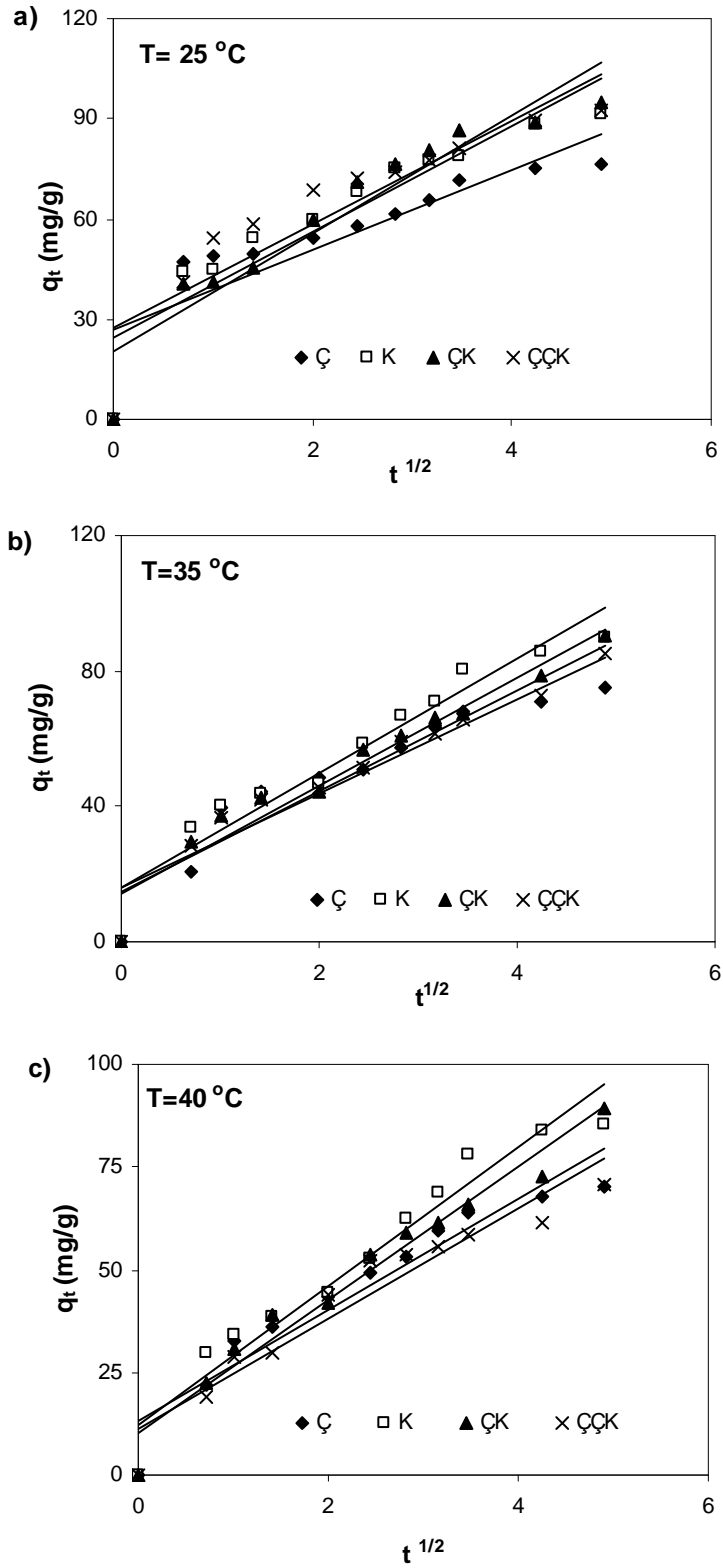


Şekil 4. 17. Cu(II) iyonlarının farklı adsorptörler üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo ikinci mertebe çizimleri. a) 25 °C, b) 35 °C, c) 40 °C

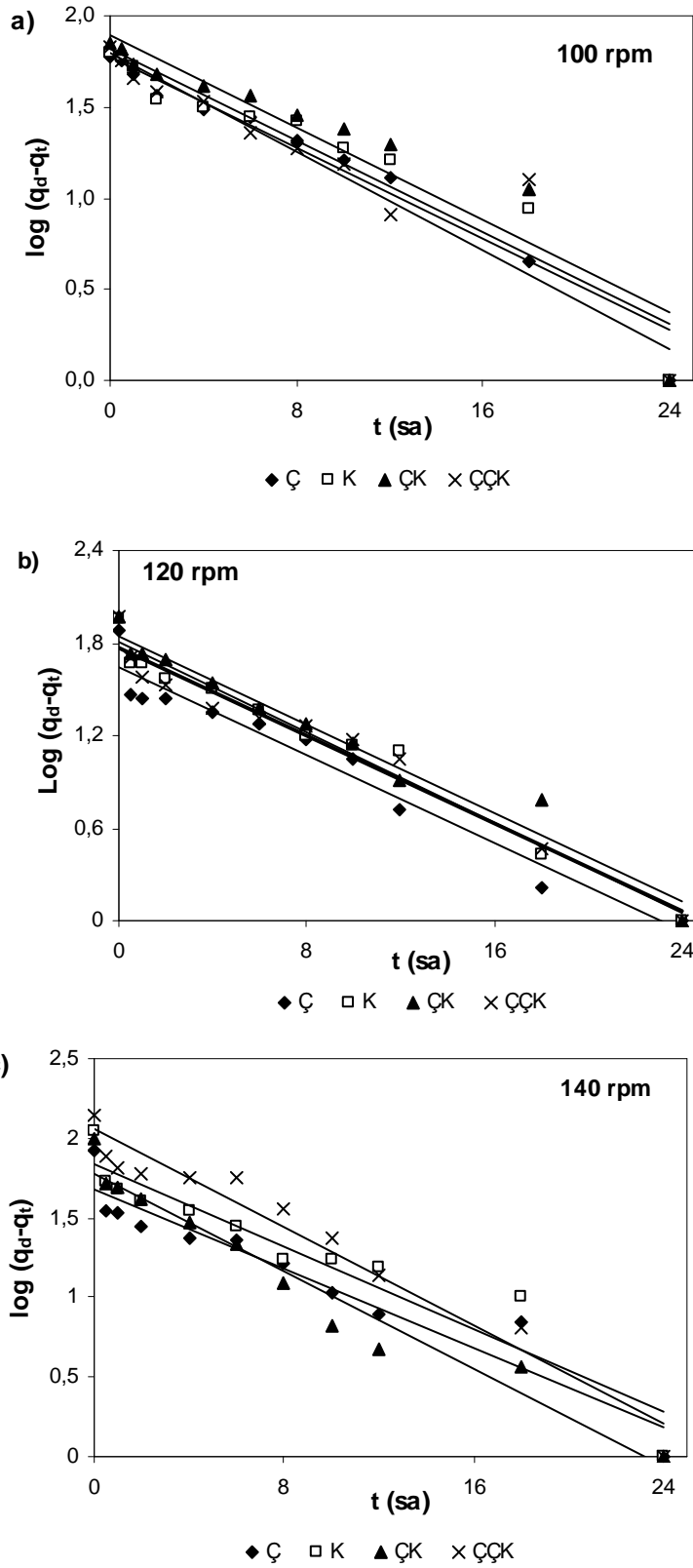
4. ARAŞTIRMA BULGULARI



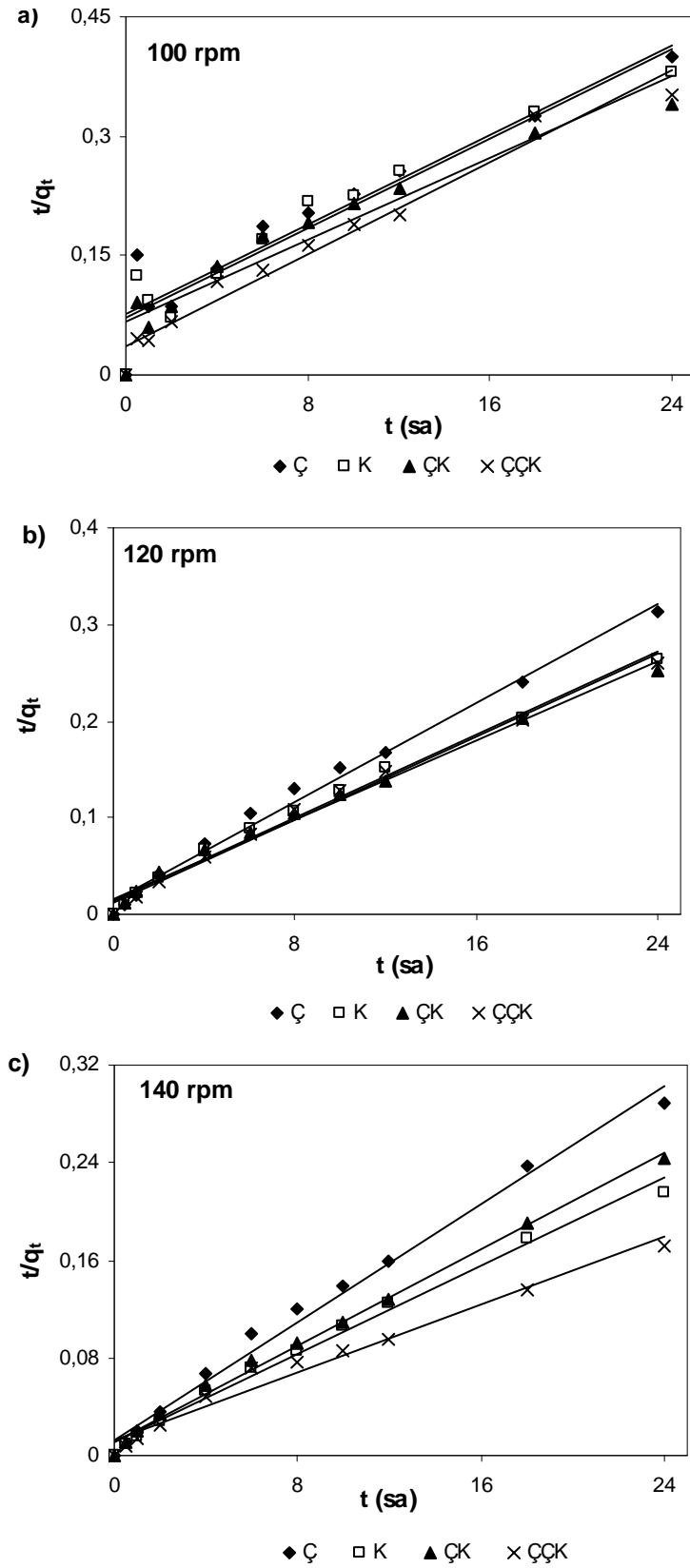
Şekil 4. 18. Cu(II) iyonlarının farklı adsorptörler üzerinde adsorpsiyon gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri. a) 25 °C, b) 35 °C, c) 40 °C



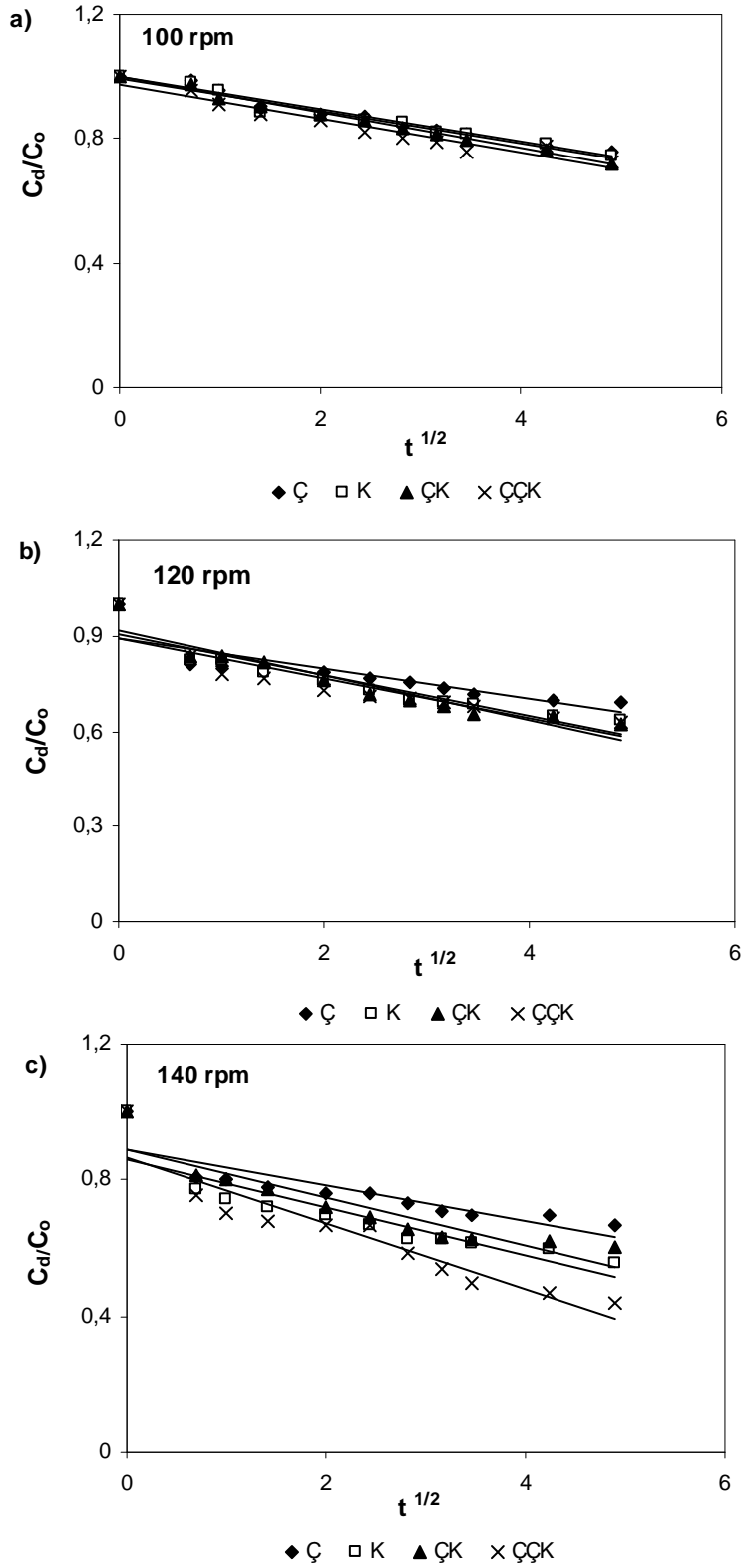
Şekil 4. 19. Cu(II) iyonlarının farklı adsorptörler üzerinde adsorpsiyon parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri. a) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, b) $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, c) $40\text{ }^{\circ}\text{C}$



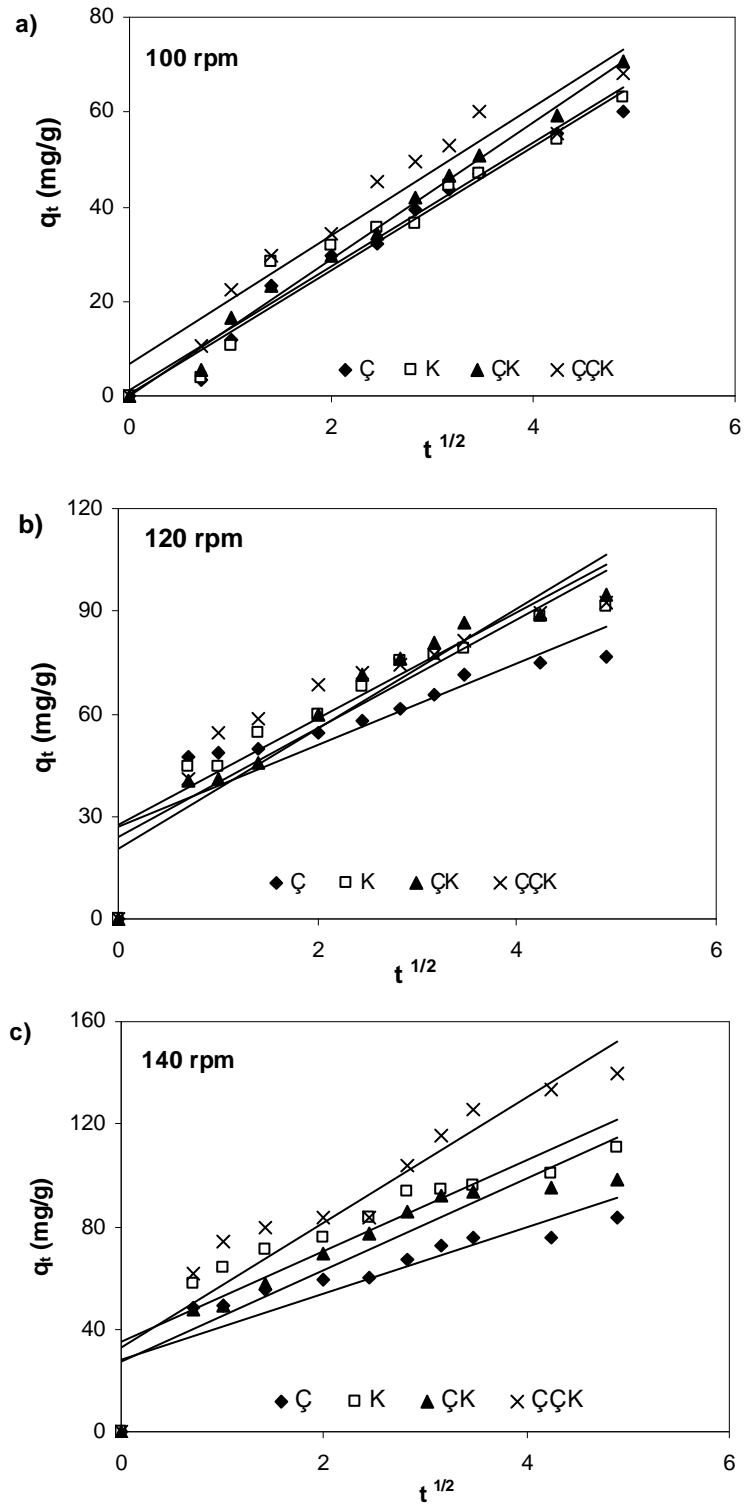
Şekil 4. 20. Cu(II) iyonlarının farklı adsorptörler üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo birinci mertebeye çizimleri. a) 100 rpm, b) 120 rpm, c) 140 rpm



Şekil 4. 21. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon kinetik psödo ikinci mertebe çizimleri. a) 100 rpm, b) 120 rpm, c) 140 rpm

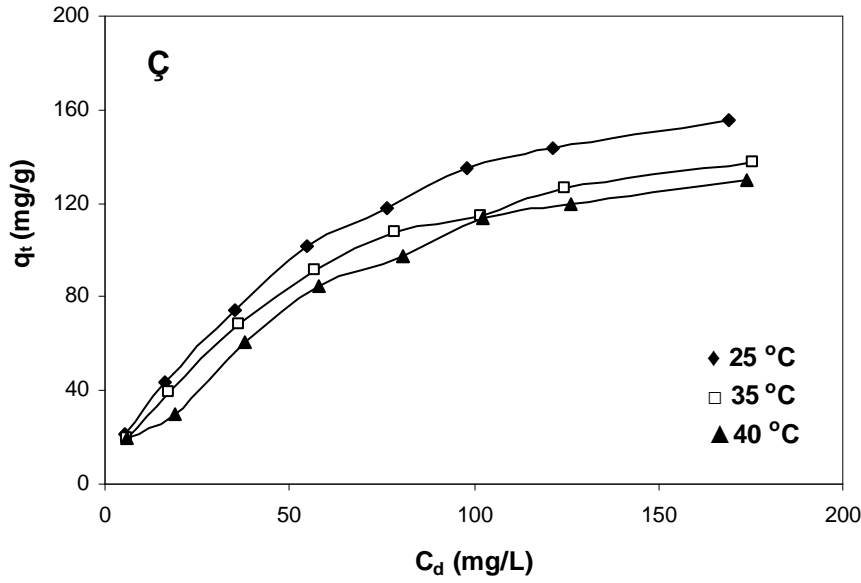


Şekil 4. 22. Cu(II) iyonlarının farklı adsorptörler üzerinde adsorpsiyon gözenek difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri. a) 100 rpm, b) 120 rpm, c) 140 rpm

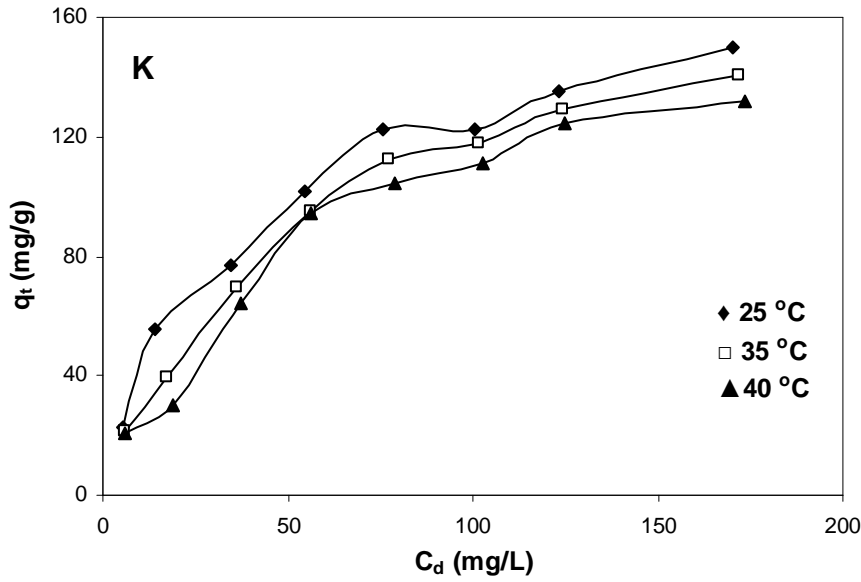


Şekil 4. 23. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon parçacık içi kütle difüzyon katsayısı hesaplama çizimleri. a) 100 rpm, b) 120 rpm, c) 140 rpm

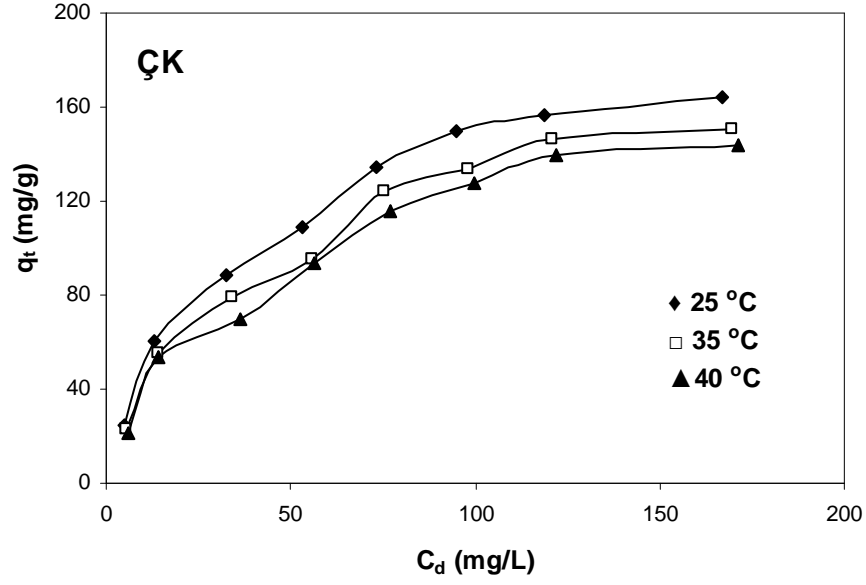
4. ARASTIRMA BULGULARI



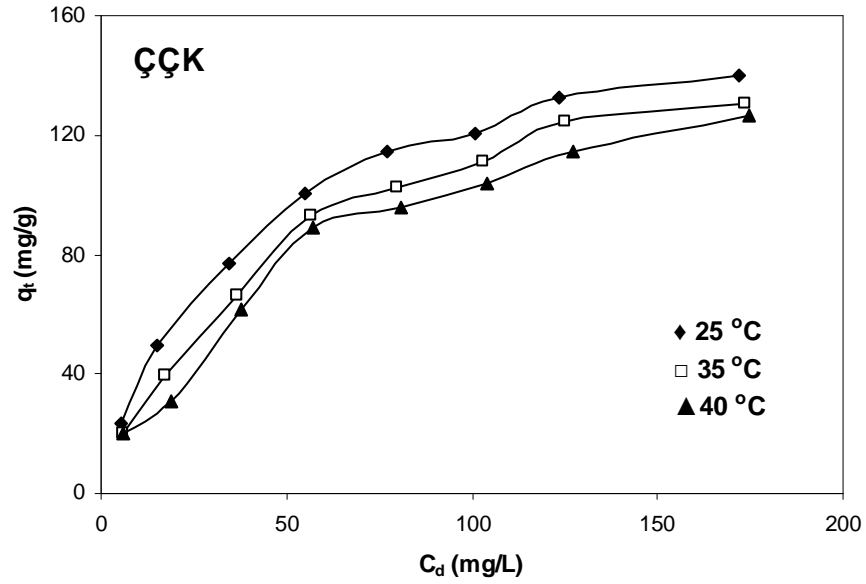
Şekil 4. 24. Cu(II) iyonlarının Ç üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon izoterm eğrileri (Adsorpsiyon şartları: $C_0=50$ mg/L, $T=\blacklozenge 25$ °C, $\square 35$ °C, $\blacktriangle 40$ °C, $V=25$ mL, $m= 0,005$ g, hız=120 rpm)



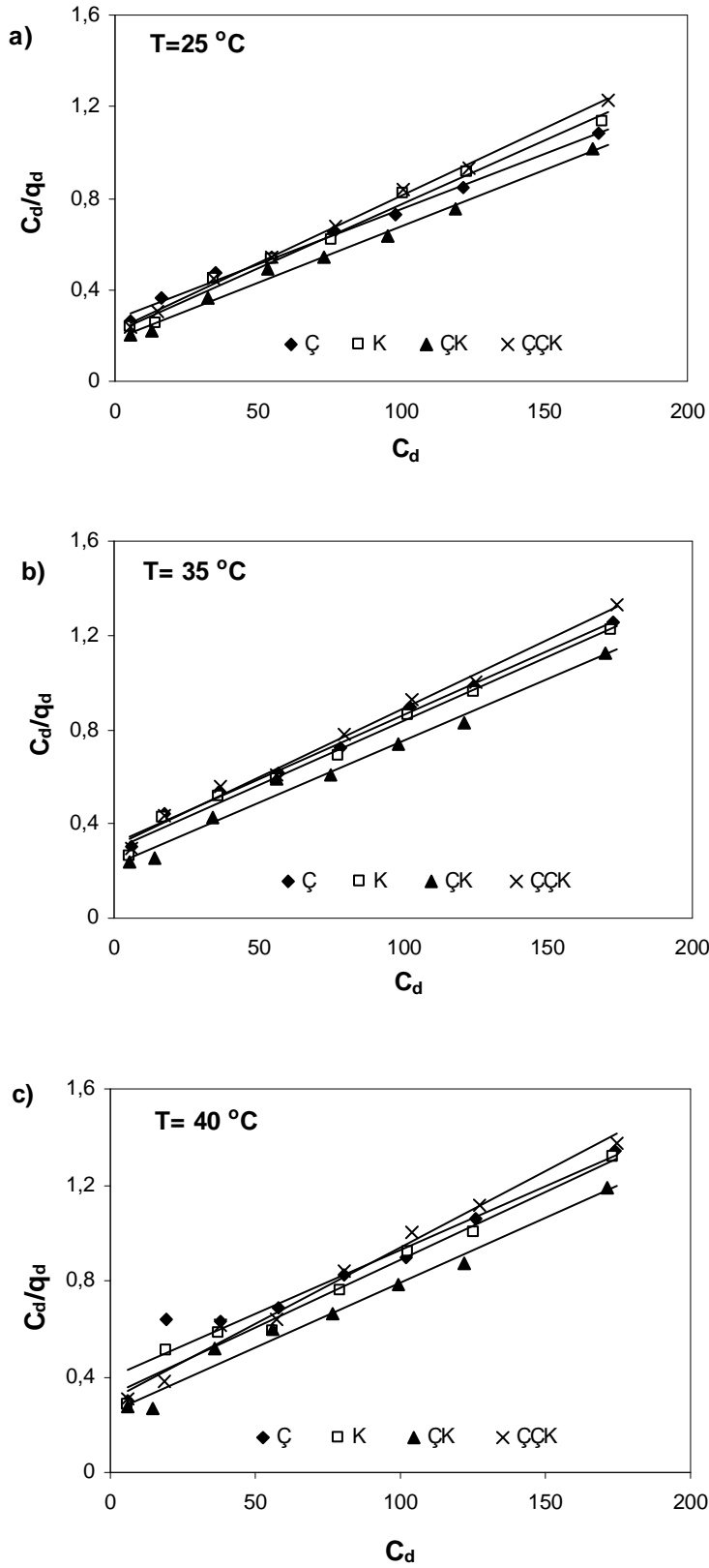
Şekil 4. 25. Cu(II) iyonlarının K üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon izoterm eğrileri (Adsorpsiyon şartları: $C_0=50$ mg/L, $T=\blacklozenge 25$ °C, $\square 35$ °C, $\blacktriangle 40$ °C, $V=25$ mL, $m= 0,005$ g, hız=120 rpm)



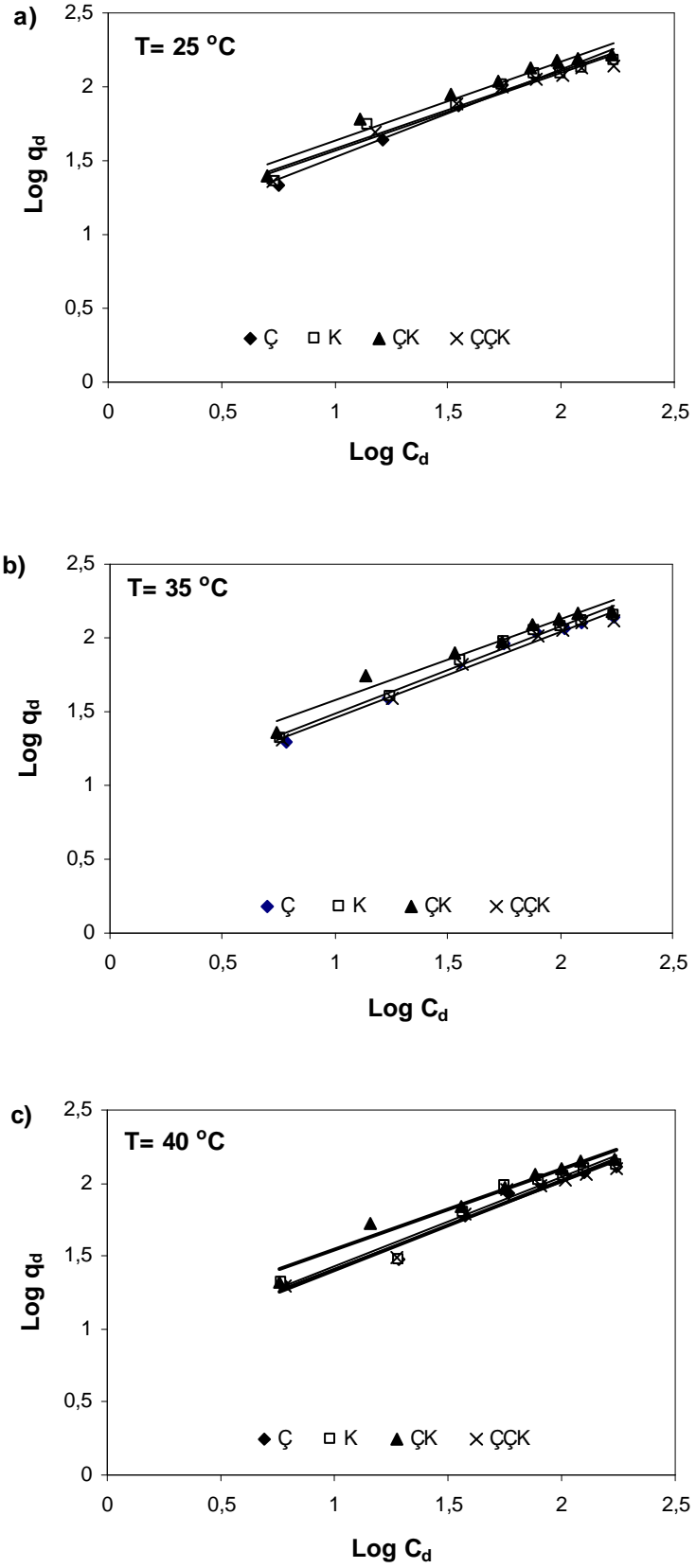
Şekil 4. 26. Cu(II) iyonlarının ÇK üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon izoterm eğrileri (Adsorpsiyon şartları: $C_0=50$ mg/L $T=$ ◆25 °C, □ 35 °C, ▲40°C, $V=25$ mL, $m= 0,005$ g, hız=120 rpm)



Şekil 4. 27. Cu(II) iyonlarının ÇÇK üzerinde farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon izoterm eğrileri (Adsorpsiyon şartları: $C_0=50$ mg/L $T=$ ◆25 °C, □ 35 °C, ▲40°C, $V=25$ mL, $m= 0,005$ g, hız=120 rpm)

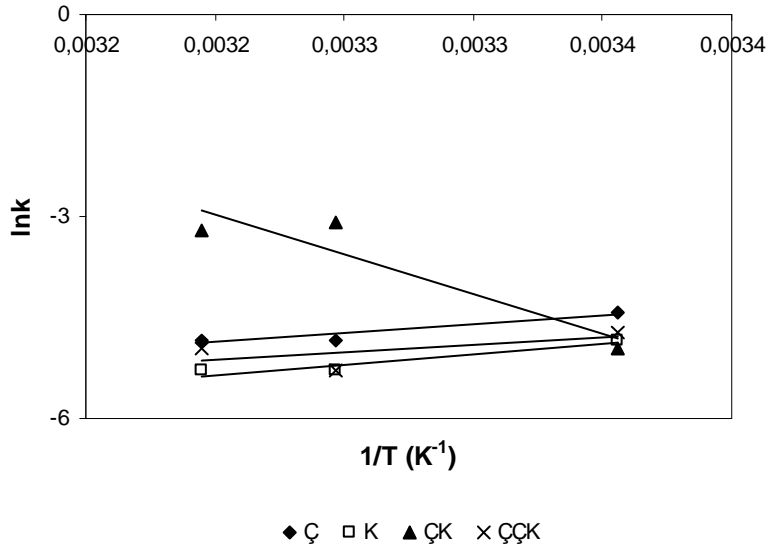


Şekil 4. 28. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon izotermelerinin Langmuir tipi çizgisel halleri. (a) 25 °C, b) 35 °C, c) 40 °C yapılan izoterm halleri)

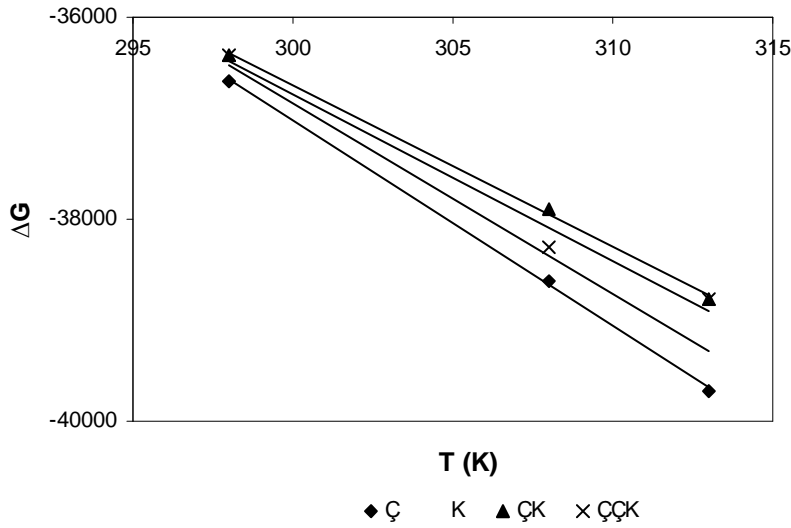


Şekil 4. 29. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorpsiyon izotermelerinin Freundlich tipi çizgisel halleri (a) 25 °C, b) 35 °C, c) 40 °C yapılan izoterm halleri)

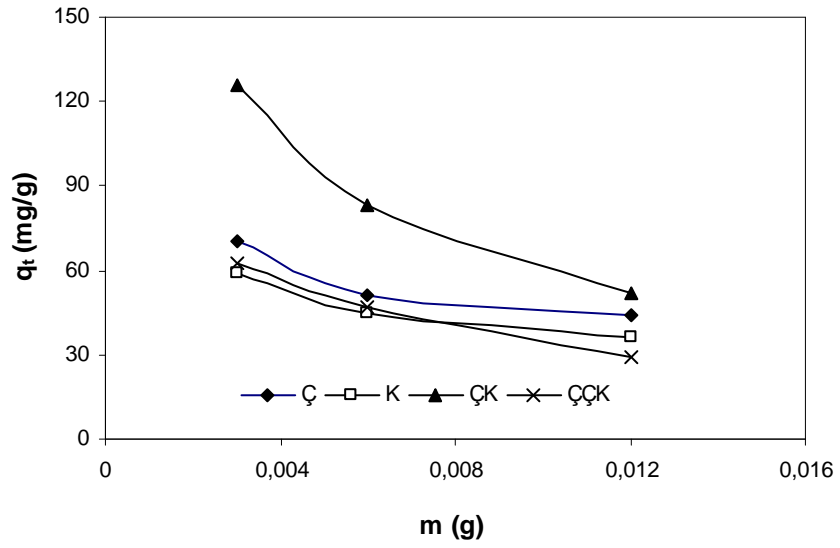
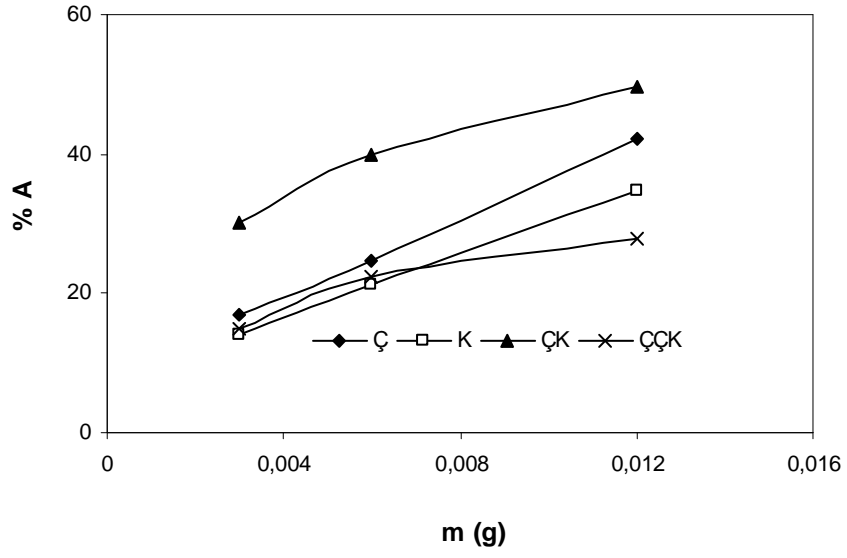
4. ARAŞTIRMA BULGULARI



Şekil 4. 30. Farklı adsorplayıcıların Cu(II) adsorpsiyonunda Arrhenius denkleminin çizgisel çizimi

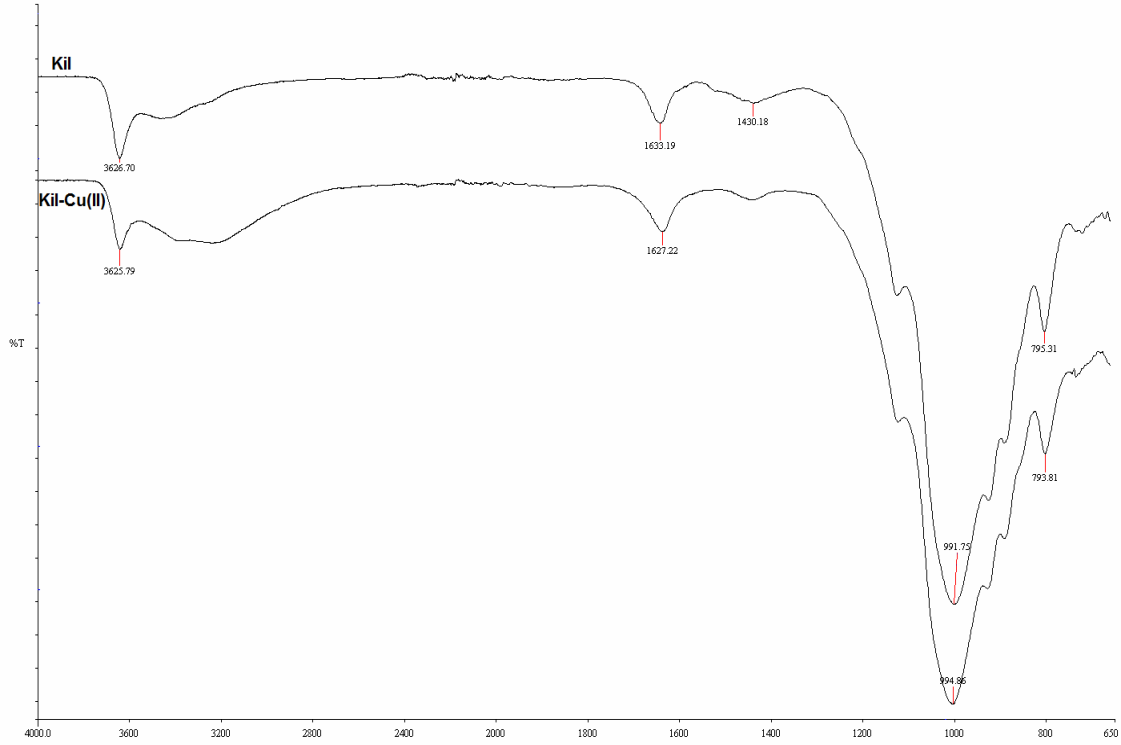
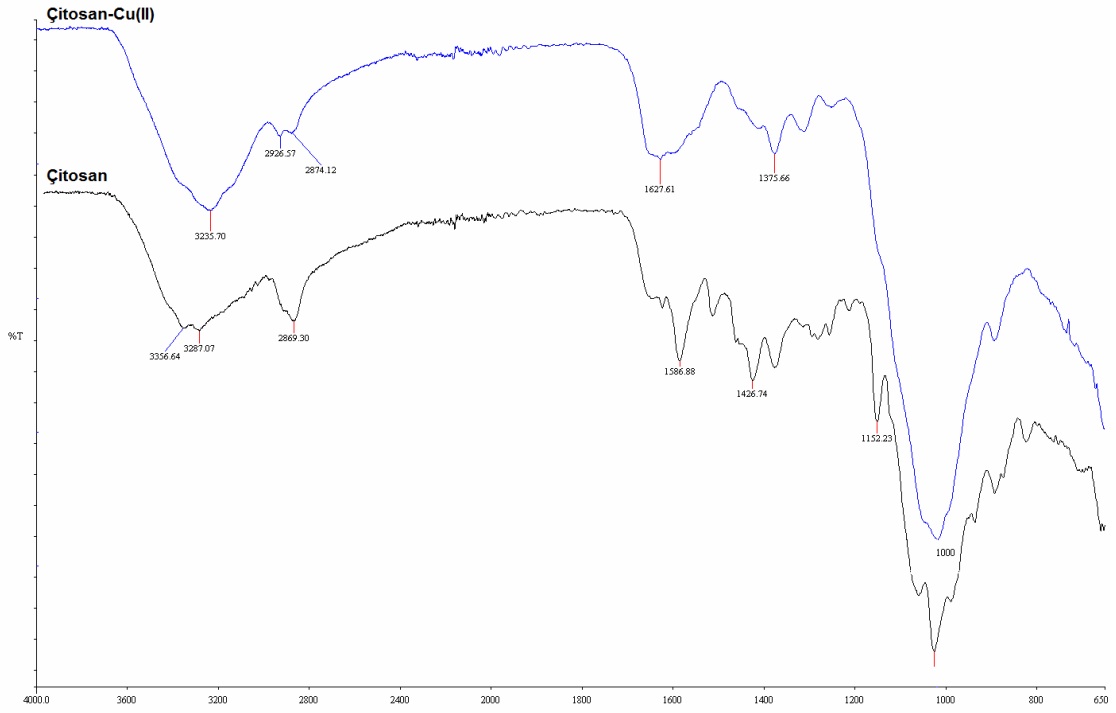


Şekil 4. 31. Farklı adsorplayıcıların Cu(II) adsorpsiyonunda ΔG-T çizimleri

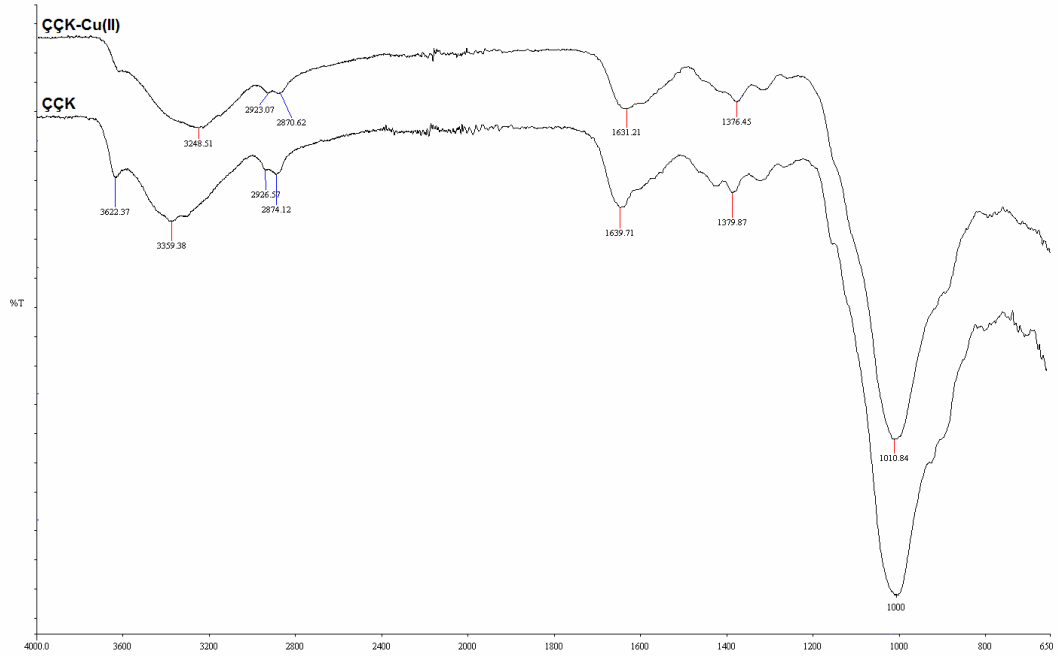
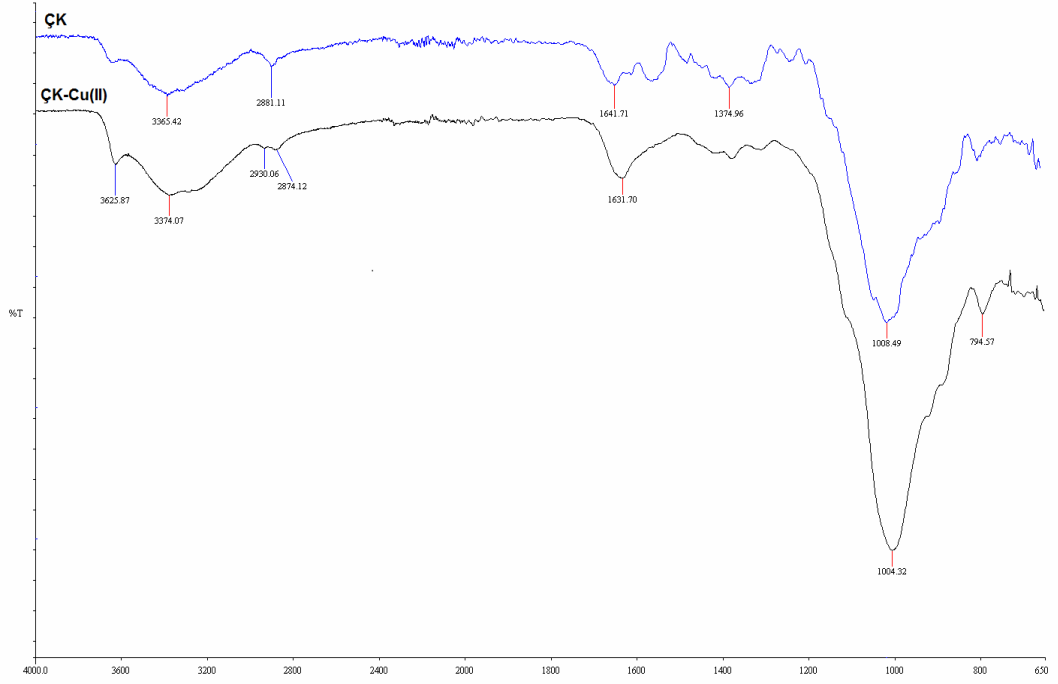


Şekil 4. 32. Cu(II) iyonlarının farklı adsorplayıcılar üzerinde adsorplayıcı kütle etkisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

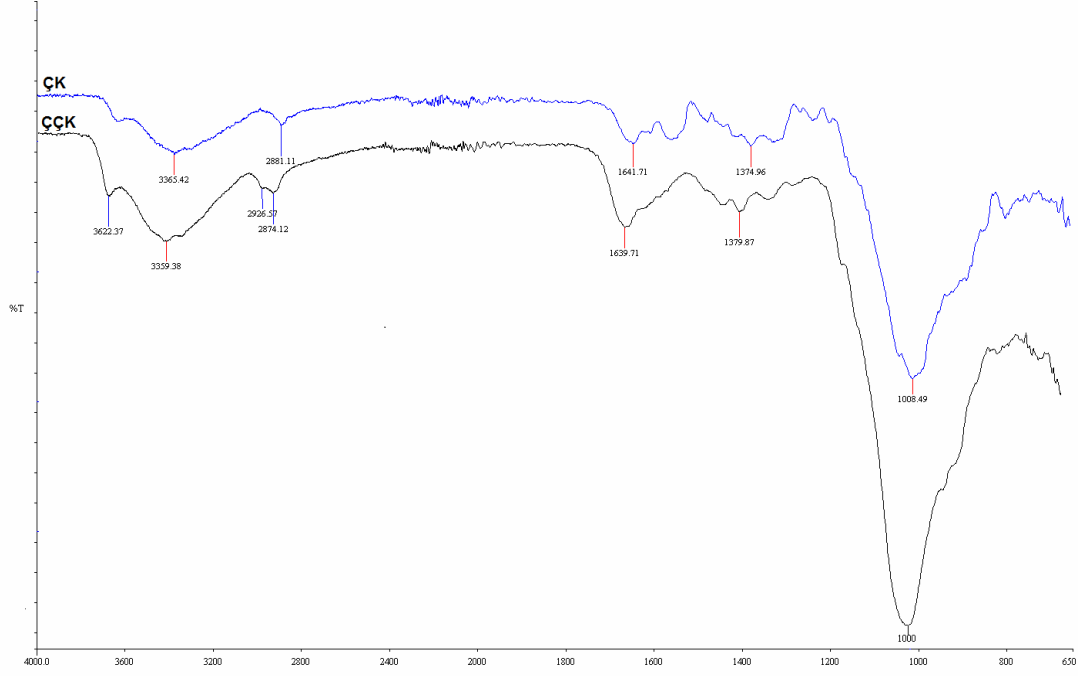


Şekil 4. 33. Çitosan ve kilin saf ve Cu(II) adsorplamış hallerinin IR analizleri

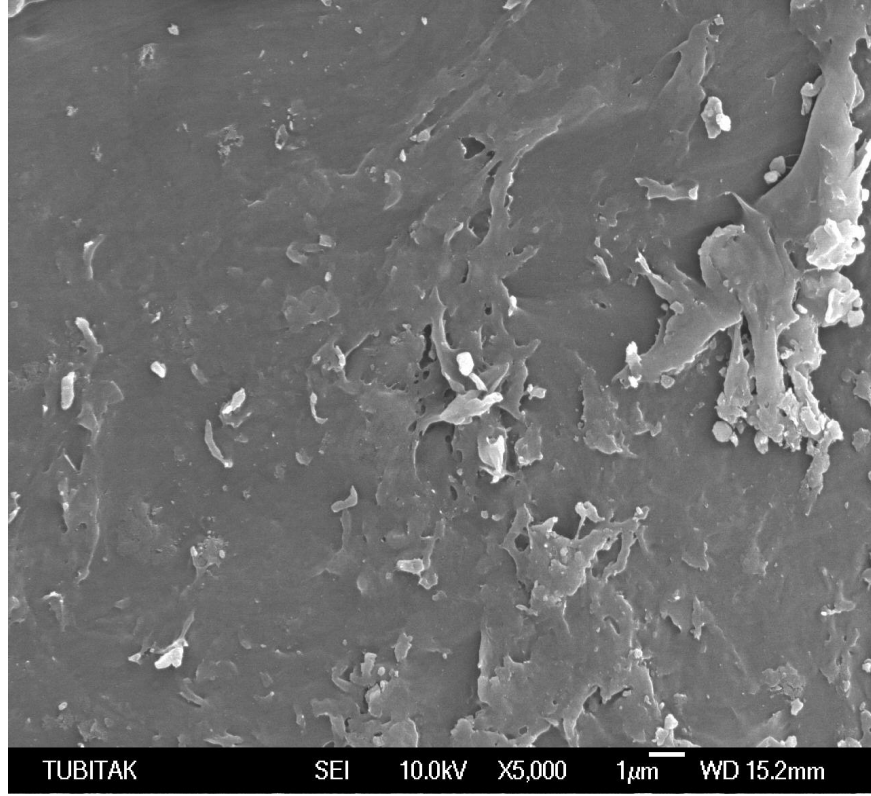


Şekil 4. 34. ÇK ve ÇÇK kompozitlerinin saf ve Cu(II) adsorplamış hallerinin IR analizleri

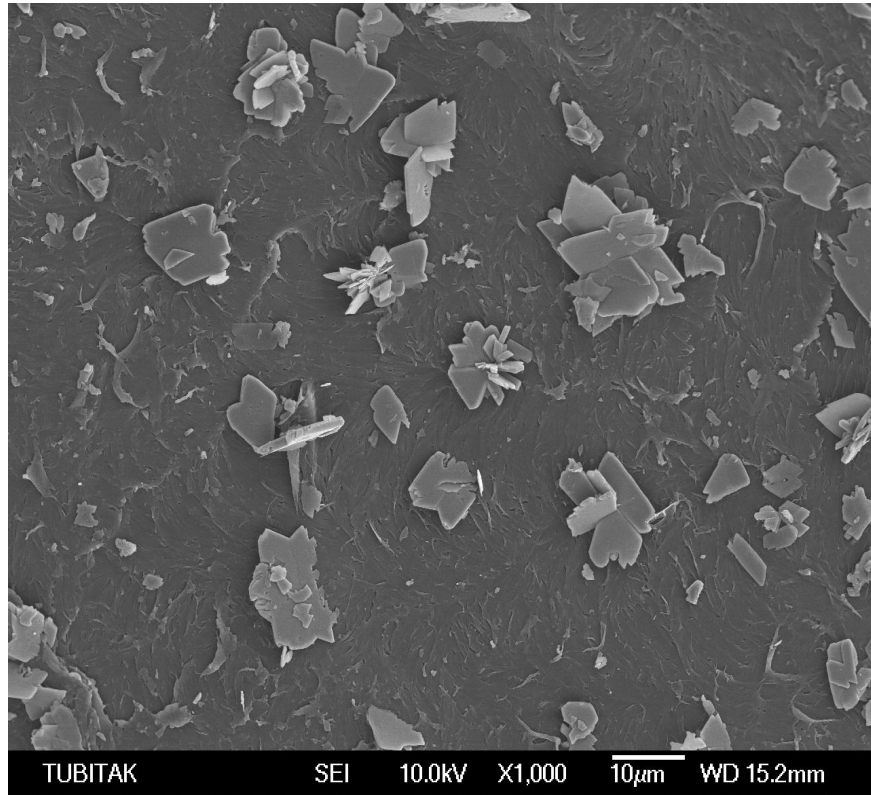
4. ARASTIRMA BULGULARI



Şekil 4. 35. ÇK ve ÇÇK kompozitlerinin hallerinin IR analizleri

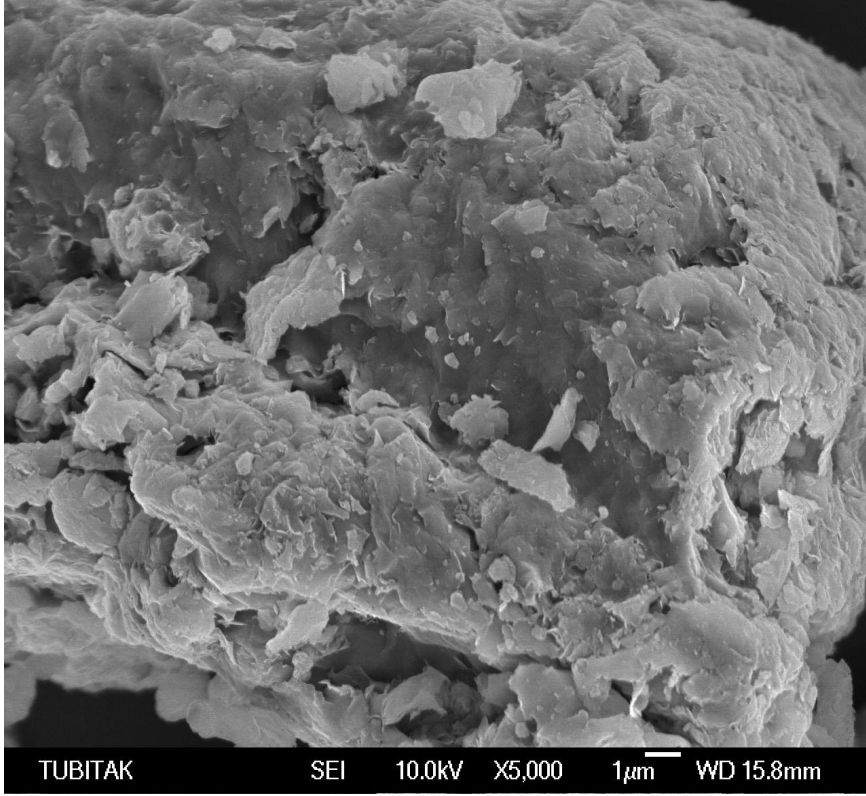


a)

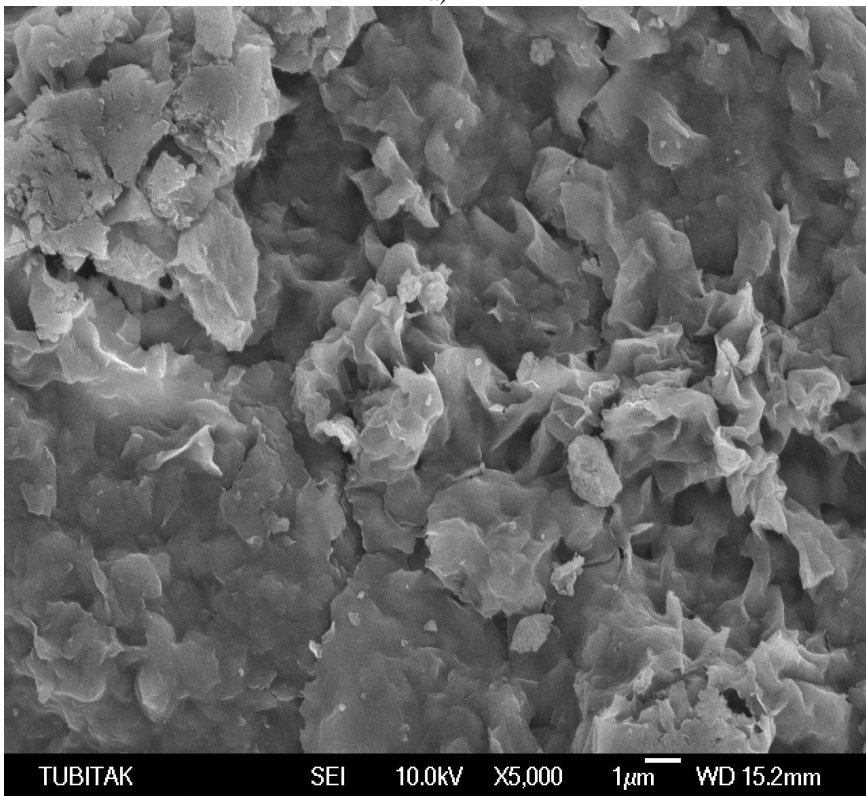


b)

Şekil 4. 36. Çitosanın SEM analizleri. a) Çitosan b) Çitosan-Cu(II)

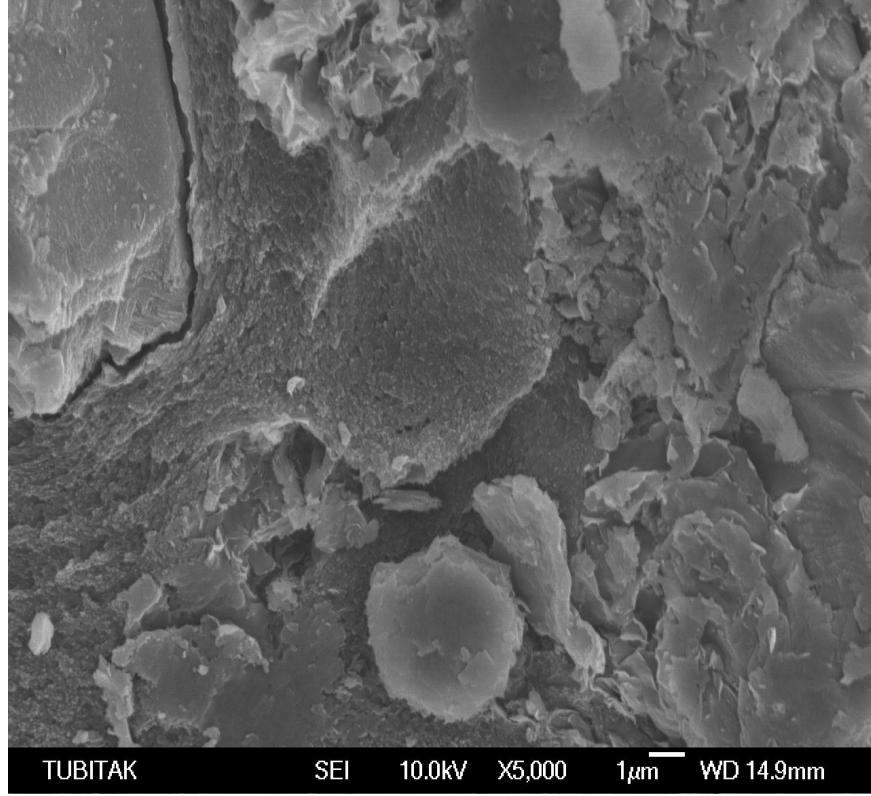


a)

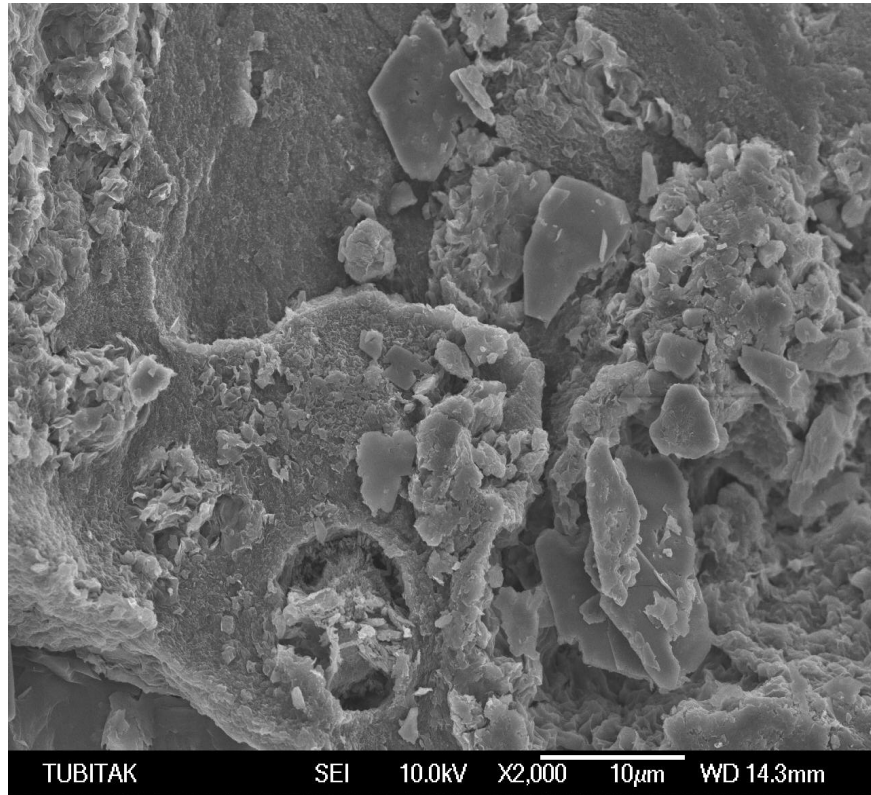


b)

Şekil 4. 37. Kilin SEM analizleri. a) Kil b) Kil-Cu(II)

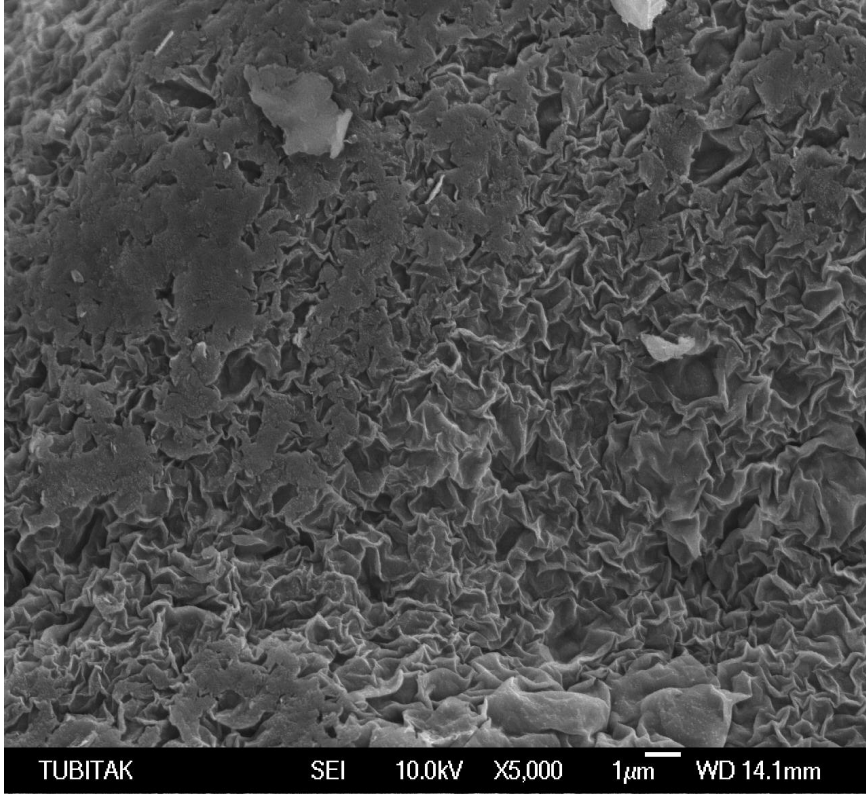


a)

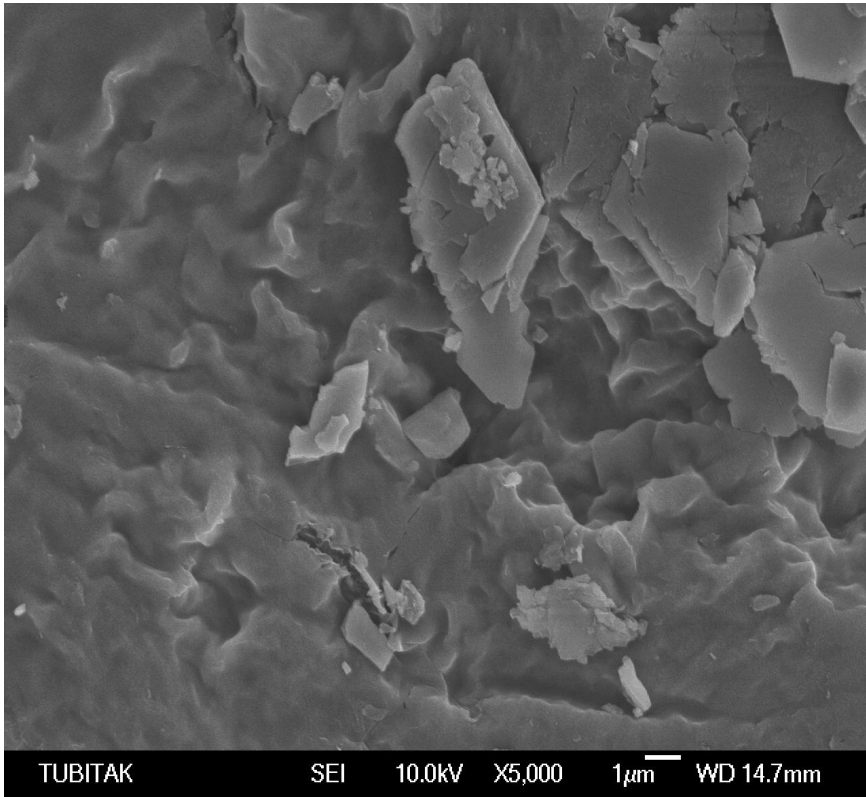


b)

Şekil 4. 38. ÇK'nın SEM analizleri. a) ÇK b) ÇK-Cu(II)



a)



b)

Şekil 4. 39. ÇÇK'nın SEM analizleri. a) ÇÇK b) ÇÇK-Cu(II)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada sulu çözeltiden Cu(II) iyonlarının uzaklaştırılması amacı ile çitosan, kil, çitosan/kil ve çapraz bağlı çitosan/kil kompoziti adsorplayıcı olarak kullanıldı. Adsorpsiyon işlemlerinde maliyet önemli bir parametre olduğundan adsorplayıcı olarak düşük maliyetli adsorplayıcılar tercih edilmekle beraber bunların da adsorpsiyon kapasitesi düşük olmaktadır. Birçok çalışmada çitosan ve kil, adsorplayıcı olarak kullanılmıştır. Ancak çitosanın düşük yoğunluk ve yüzey alan, mekanik ve kimyasal olarak zayıf özellikleri, kilinde pratik kullanımlarda agregasyon ve koagülasyon gibi hidrodinamik özellikleri etkileyen olumsuzluklar gibi dezavantajları vardır. Bununla beraber son zamanlarda farklı maddelerin iyi özellikleri bir araya getirilerek kompozit sentezine ilgi artmıştır. Bu çalışmada da ülkemizde bolca bulunan bentonit kili ve düşük maliyetli adsorplayıcı sınıfına giren çitosandan kompozit elde edildi ve adsorplayıcı olarak kullanıldı.

5. 1. Kinetik Çalışmaların Değerlendirilmesi

Adsorpsiyon süreci öncelikle kinetik olarak incelendi ve denge süresi belirlendi. Farklı başlangıç konsantrasyonlu (25, 50 ve 100 mg/L) çözeltilerle yapılan kinetik incelemede zamanla denge derişimi azalmakta (Çizelge 4. 1) ve adsorplanan Cu(II) miktarı artmaktadır (Çizelge 4. 1). Şekil 4. 1-3. 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 adsorpsiyon hızı azalır. Şekil ve çizelgelerden görüldüğü gibi farklı başlangıç derişimli çalışmaların hepsinde 24 saat sonra adsorplanan miktarın hemen hemen yarısından fazlası ilk 2-4 saatte adsorplanmaktadır. 4 ve 8. saatlerde adsorpsiyon yavaş yavaş artmakta ve 12 ve 18. saatlerde dengeye ulaşmaktadır. Çalışmalarda 18 saat denge süresi olarak belirlendi.

Çitosan/klinoptilolit kompoziti ile Cu(II), Co(II) ve Ni(II) iyonlarının giderilmesi çalışmalarını yapan Dragan ve ark (2010) ve Dinu ve Dragan (2010) tarafından denge süresi 24 saat, çapraz bağlı çitosan/epiklorohidrin-trifosfat kompoziti ile ağır metal giderilmesi çalışmasını yapan Laus ve ark. (2010) tarafından Cu(II) için de denge süresi 30 saat olarak belirlenmiştir.

Adsorplayıcılar ile Cu(II) iyonları adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi kinetik olarak incelendiğinde 4 adsorplayıcı içinde fazla olmamakla beraber sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun azaldığı görülmekte (Çizelge 4. 2, Şekil 4. 4-7.).

Çizelge incelendiğinde sıcaklık 25 °C'den 40 °C'ye çıktığında 18. saatte adsorplanan miktar Ç için 75 mg/g'dan 67.85 mg/g'a, K için 88.50 mg/g'dan 83.75 mg/g'a, ÇK için 89.5 mg/g'dan 72.85 mg/g'a ve ÇÇK için 88.80 mg/g'dan 61.85 mg/g'a azalmaktadır. Adsorpsiyon miktarındaki bu azalma Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu gösterir.

Aktivasyon enerjisi adsorpsiyon türü hakkında fikir verebilmektedir. 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 aktivasyon enerjisi genellikle 20 kJ/mol'ün üzerine çıkamamaktadır. Kimyasal adsorpsiyonda ise adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı, kimyasal reaksiyon ısısı düzeyindedir ve aktivasyon enerjisi 21-420 kJ/mol aralığındadır. Bu çalışmada da farklı sıcaklıklar için saptanan k değeri kullanılarak elde edilen E_a değerinin ÇK kompoziti için 21-420 kJ/mol aralığında bulunması (99.327 kJ/mol) işlemin kimyasal adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Diğer adsorplayıcılar için bulunan değerler ise 20 kJ/mol'e yakın olduğundan çoğunlukla fiziksel adsorpsiyondur.

Adsorplayıcılar ile Cu(II) iyonları adsorpsiyonu üzerine çalkalama hızının etkisi kinetik olarak incelendiğinde 4 adsorplayıcı için hız arttıkça adsorpsiyonun arttığı görülmektedir (Çizelge 4. 3, Şekil 4. 8-11.).

Çizelge incelendiğinde çalkalama hızı 100 rpm'den 140 rpm'e çıktığında 18. saatte adsorplanan miktar Ç için 55.45 mg/g'dan 76.05 mg/g'a, K için 54.35 mg/g'dan 100.90 mg/g'a, ÇK için 59.35 mg/g'dan 104.85 mg/g'a ve ÇÇK için 55.45 mg/g'dan 133,25 mg/g'a artmaktadır.

Metal iyonlarının uzaklaştırılması ile ilgili değişik sorpsiyon kinetik modelleri 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. Ancak son zamanlarda Ho ve McKay sorpsiyon sisteminin psödo-ikinci mertebe hız denklemi ile açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Literatürde psödo-birinci mertebe hız denkleminin uygulandığı birçok

çalışma belirtilmiştir [(Wan Ngah ve Fatinathan 2008, Anirudhan ve Suchithra 2010, Futalan ve ark. 2011 a)]. Bu uygulamalarda, başlangıçtaki adsorpsiyon kinetiği psödo-birinci mertebe hız denklemi ile iyi bir uyum göstermekle beraber adsorpsiyonun yaklaşık % 40'ı gerçekleşikten sonra bu uyum azalmaktadır. Birçok araştırmacı bunu tam olarak açıklayamamışlardır. Bazıları, bir başlangıç difüzyon işlemini takip eden yüzey bileşiği oluşumu ile bazıları da psödo-birinci mertebe reaksiyonlarının birçoklu serisi olmasına bağlamışlardır.

Bu çalışmada da farklı konsantrasyon, farklı sıcaklık ve farklı hızlardaki kinetik veriler psödo-birinci, ikinci mertebe, gözenek difüzyon ve parçacık içi kütle difüzyon hız denklemlerinde değerlendirilerek kinetik hız sabitleri hesaplandı. Hız sabitleri farklı birimlerde olduğundan kıyaslanamaz, ancak modeller için R^2 değerleri kıyaslanabilir. R^2 değerleri incelendiğinde farklı konsantrasyon, sıcaklık ve hızlarda adsorpsiyon kinetiğinin daha çok psödo- ikinci mertebe modeline uyduğu görülmektedir.

Fan ve ark. (2006), Wan Ngah ve Fatinathan (2008), Srinivasa ve ark. (2009), Dragan ve ark (2010) ve Dinu ve Dragan (2010) tarafından yapılan çalışmalarda da psödo- ikinci mertebe modelinin uygunluğu görülmüştür.

5. 2. Adsorpsiyon İzoterm Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Farklı başlangıç derişimli (10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 ve 200 mg/L) Cu(II) çözeltileri farklı 3 sıcaklıkta (25, 35 ve 40 °C) belli 0.005 g adsorplayıcı ile belirlenen denge süresince çalkalandı. Denge derişimine (C_d) karşılık 1 gram adsorplayıcı üzerinde adsorlanan metal iyonu miktarı (q) değerleri hesaplanarak adsorpsiyon izoterm verileri elde edildi ve izoterm çizildi.

Bu adsorpsiyon, izoterm verileri Langmuir ve Freundlich denklemlerinde değerlendirildi. Langmuir modeli için C_d 'ye karşı C_d/q , Freundlich modeli için $\log C_d$ 'ye karşı $\log q$ değerleri hesaplandı. Bu veriler kullanılarak farklı sıcaklıklarda izoterm halleri çizildi ve doğruların eğim ve kayma değerinden bu modellere ait sabitler hesaplandı. Çizelge 4. 16'daki R^2 değerleri kıyaslandığında 3 farklı sıcaklıkta da Langmuir denklemi için R^2 değerinin Freundlich denklemindeki R^2 değerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu da adsorpsiyonun daha çok Langmuir modeline uyduğu gösterilmektedir. Sıcaklık arttıkça k değerleri azaldığı gibi adsorpsiyon kapasitesi olan Q_m değeride azalmaktadır. Örneğin ÇK için 25 °C'de 204.08

mg/g olan Q_m , 35 °C'de 188.68 ve 45 °C'de 185.19 mg/g'a azalmaktadır. b sabiti Arrhenius denklemi fonksiyonelliğindeki hız sabitlerinin oranı olup sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Aşağıda yapılan bazı çalışmaların maksimum Cu(II) adsorpsiyonu kapasitesi (Q_m mg/g) değerleri verilmiştir.

Adsorplayıcı	Q_m (mg/g) Cu(II)	Kaynak
Çitosan-kum	10,87	Wan ve ark. (2010)
Çitosan-selüloz	26,50	Sun ve ark. (2009)
Çitosan-PVA	47,85	Wan Ngah ve ark. (2004)
Çitosan-seramik alümina	86,20	Veera ve ark. (2008)
Çitosan-PVC	87,90	Srinivasa ve ark. (2009)
Çitosan-perlit	104,0	Shameem ve ark. (2008)
Çitosan-perlit	196,07	Kalyani ve ark (2005)
Çitosan-bentonit (ÇK)	204,08	Bu çalışma

Langmuir adsorpsiyon izoterm sabiti olan b değerinden hesaplanan K denge sabiti $\Delta G = -RT \ln K$ denkleminde değerlendirilerek serbest enerji değerleri bulundu. Bu değerlerin negatif ve sıcaklık arttıkça küçüldüğü görüldü. Bu da adsorpsiyon olayının kendiliğinden olma eğiliminde olduğunu göstermektedir. T sıcaklık değerine karşılık ΔG değerleri grafiğe geçirildi ve bu doğrunun kayma ve eğim değerlerinden $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ denklemi kullanılarak ΔH (entalpi) ve ΔS (entropi) değişim değerleri hesaplandı. Entropi ve entalpi değişiminin pozitif değeri, katı – çözelti ara yüzeyinde artan düzensizliği ve adsorpsiyon olayının endotermik olduğunu göstermektedir

5. 3. Adsorbent Dozu Etkisinin Değerlendirilmesi

Başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L olan Cu(II) çözeltisi farklı miktarlardaki (0.003, 0.006 ve 0.012 g) adsorplayıcılarla etkileştirilerek adsorbent dozu etkisi incelendi. Sonuçlar çizelge 4.17'de görülmektedir. Adsorbent dozu 0.003 gramdan 0.012 grama arttığında %A değeride Ç için % 16.88 den % 42.3'e , K için % 14.08'den % 34.88'e, ÇK için % 18.22'den % 49.7'ye ve ÇÇK için % 15.02'den % 27.82'e artmaktadır. Ancak q değeri sırası ile 70.33'ten 44.06'ya, 58.67'den 36.33'e, 75.92'den 51.77'ye ve 62.58'den 28.98'e azalmaktadır. % adsorpsiyonun artması beklenen bir durumdur.

Çünkü adsorplayıcı miktarı arttıkça adsorpsiyona uygun yerler artmakta ve buna bağlı olarak adsorpsiyonda artmaktadır. Birim gram başına adsorplanan metal iyonu

miktarı olan q 'nın azalması ise adsorpsiyona uygun yerlerin dolmadığını yani boş olduğunu göstermektedir.

5. 4. pH Etkisinin Değerlendirilmesi

Başlangıç derişimi 50 mg/l olan cozelti ler istenen pH değerine 0.1 N HCl ve 0.1 N NaOH ile ayarlandı. Sonra pH değerleri ölçüldü. Daha sonra adsorpsiyon işleme tabi tutulduktan sonra denge derişimi ölçüldü ve farklı pH'larda adsorplanan Cu (II) miktarı hesaplandı (Çizelge 4.18). Çizelgeden görüldüğü gibi pH arttıkça q değerleri de arttı. 6'dan daha yüksek pH larda çalışılmadı çünkü yüksek pH'larda bakır çökmektedir. Orijinal çözeltinin pH değeri 5.8 olduğundan diğer çalışmalarda pH ayarlanması yapılmadı.

5. 5. Adsorpsiyon Rekabetinin Değerlendirilmesi

Adsorplayıcılar ile Cu(II), Ni(II)ve Zn (II) ikili ve üçlü karışım halindeki adsorpsiyon deneylerinden elde edilen % A ve q değerleri Çizelge 4.19'da görülmektedir. İkili karışımlarda Ni(II) için q değerleri göz önüne alındığında 3 farklı karışımdan farklı değerler görülmektedir. Metal iyonlarının adsorpsiyonunun iyon değiştirme mekanizması olduğu düşünülürse iyon değiştirme reaksiyonlarında bazı iyonlar diğerlerine göre kuvvetle tutulurlar. Genellikle yükü büyük olan iyonlar ve aynı yüke sahip olanlar arasında ise iyon yarıçapı büyük olanlar daha kuvvetle tutulurlar.

5. 6. IR Analizlerinin Değerlendirilmesi

Çitosanın IR spektrumuna bakıldığında 3356.64 cm^{-1} , 3287.07 cm^{-1} 'de görülen $-\text{NH}_2$ ve $-\text{OH}$ gruplarına ait pikler Cu(II) adsorsiyonu sonucu daha düşük dalga sayısına kaymıştır (Şekil 4. 29). Görüldüğü gibi bahsedilen pikler tek pik olarak 3235.70 cm^{-1} 'de ve yayvanlaştığı görülmektedir.

Kilin IR spektrumuna bakıldığında 3626.70 cm^{-1} 'de serbest $-\text{OH}$ 'den kaynaklanan bir gerilme titreşimi ve 1633.19 cm^{-1} 'de silikatlardan kaynaklanan ikili bağı ifade eden bir gerilme titreşimi görülmektedir. Adsorpsiyon sonrası bu piklerin daha düşük dalga sayısına kaydığı (3625.79 cm^{-1} , 1627.22 cm^{-1}) görülmektedir (Şekil 4. 29). Bu kaymanın Cu(II) adsorpsiyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4. 30'a bakıldığında ÇK kompozitine ait spekturumda, çitosandan kaynaklanan 3365.42 cm^{-1} 'de N-H gerilme titreşimi, 2881.11 cm^{-1} 'de alifatik C-H gerilme titreşimi ve 1641.71 cm^{-1} 'de kilin yapısında bulunan ikili bağlardan kaynaklanan bir gerilme titreşimi görülmektedir. ÇK kompozitinin Cu(II) adsorpsiyonu sonrası IR analizine bakıldığında 3374.07 cm^{-1} 'de çıkan daha önce 3365.42 cm^{-1} 'de belirtilen ve N-H gerilme titreşiminden kaynaklanan pikin yayvanlaştığı, 1631.70 cm^{-1} 'deki pikin ise daha önce belirtilen değere göre (1641.71 cm^{-1} 'de) daha düşük dalga sayısına kaydığı görülmektedir. Bu durumda hem amino grubunda hemde ikili bağ bölgesinde değişme meydana geldiği için adsorpsiyonda bu her iki grubunda yer aldığı düşünülmektedir.

ÇÇK kompozitine ait spekturuma bakıldığında çitosan ve kilin yapısından kaynaklanan piklerin varolduğu (3622.37 cm^{-1} , 3359.38 cm^{-1} , 1639.71 cm^{-1}) ama metilenbisakrilamite ait piklerin olmayışı (Şekil 4. 30-31) çapraz bağlanmanın istenilen düzeyde olmadığını göstermektedir. Ayrıca adsorpsiyon verilerine de bakıldığında ÇÇK kompozitinin istenilen kapasitede adsorpsiyon yapmadığı, ÇK kompozitinin çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çapraz bağlanmadaki bu sorunun, çapraz bağlayıcı miktarının iyi ayarlanmamış olması ya da ilk kompozit hazırlanırken ortama çapraz bağlayıcının ilave edilmiş olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. 7. SEM Analizlerinin Değerlendirilmesi

Şekil 4. 32-35 sırayla incelendiğinde hazırlanan ÇK ve ÇÇK kompozitlerinin yüzey morfolojisinin çitosan ve kilden farklı olduğu görülmektedir. Ayrıca her bir adsorplayıcının Cu(II) adsorpsiyonu sonrası yüzey morfolojisinde değişme meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4. 32-35).

6. KAYNAKLAR

- Ahmed, W., Rego, C. A., Cherry, R., Afzal, A., Ali, N., Hassan, I. U. 2000. CVD diamond: Controlling structure and morphology. *Vacuum*, 56: 153–158.
- Akın, A. B. 2006. Farklı Yöntemlerle Hazırlanmış Aktif Çamur Biyosorbentleriyle Reaktif Boyarmaddelerin Gideriminde Adsorpsiyon Hız ve Verimliliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, 15.
- Akın, M., Akın, G. 2007. Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47, 2: 105-118
- Akkaya, G. 2005.(a) Supranol Red 3BW (acıd red 274) Boyasının *Dicranella Varia*’ya Biyosorpsiyonuna Ortam Koşullarının Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, 3.
- Akkaya, R. 2005. (b) Kitosan Ve Poliakrilamit-Kitosan Kompozitine U, Th, Pb, Tl, Ra, Bi ve Ac Adsorpsiyonun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, 12.
- Akkuş, B.2007. Atık Suların Arıtılmasında Uygun Adsorban Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Celal Bayar Üniversitesi, 12.
- Aksoy, S. 2008. Farklı Boy Gruplarında Fitoplanktonik Organizmalar Kullanılarak Atık sulardan Cr^{+6} Biyosorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, 24.
- Aktay, Y. 2001. Ağır Metallerin Kitin ve Kitosan Üzerine Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 7, 10.
- Alp, T. 2007. Ağır Metal Kirliliği İçeren Atık sularda Çeşitli Türdeki Maya ve Küf Mantarı Hücrelerinin Büyüme Kinetiğinin ve Hücrelerdeki Metal Biyobirikimi İle Biyosorpsiyonunun Karşılaştırmalı İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, 27, 28, 30.
- Anirudhan, T. S., Suchithra, P. S. 2010. Heavy metals uptake from aqueous solutions and industrial wastewaters by humic acid-immobilized polymer/bentonite composite: Kinetics and equilibrium modeling. *Chemical Engineering Journal*, 156: 146–156

- Atiç, S. 2008. Sulu Çözeltilerden Chitosan ve Chitosan Türevi İle Bazı Toksik Boyarmaddelerin Adsorpsiyonunun Kinetik ve Termodinamik Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, 12, 19, 20.
- Başer, B. 2007. Kitosan Üzerine Tarak Tipi Aşılınmış Poli(N,N- dimetilakrilamid) Ve Poli(akrilamid) Hidrojellerinin Hazırlanması Ve Dna Adsorpsiyonunda Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 5.
- Benoît, J. C. D., Aji, R. M., Kristiina, O. 2009. All-cellulose composited by partial dissolution in the ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium. *Composites: Part A*, 40: 2031–2037.
- Beşergil, B. 2008. Polimer Kimyası. Gazi Kitabevi, 1-50, Ankara.
- 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.
- Berkem, A. R., Baykut, S., Berkem, M. L. 1994. Fizikokimya Cilt II, İstanbul Üniversitesi İletişim Fakültesi Basımevi, 50-80. İstanbul.
- Brian, B., Thuy, T., Manh, H., Xie, Z. L. 2009. Crosslinked poly(vinyl alcohol) membranes. *Progress in Polymer Science*, 34: 969–981.
- Bulut, Y. 2003. Çeşitli Bitkisel Atıklar Üzerinde Ağır Metal Adsorpsiyon Kinetiği ve Dengesinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, 1-38.
- Choi, Y. S., Chung I. J., 2004. An explanation of silicate exfoliation in polyacrylonitrile/silicate nanocomposites prepared by in situ polymerization using an initiator adsorbed on silicate, *Polymer*, 45: 3827-3834
- 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 composite: Kinetics and isotherms. *Chemical Engineering Journal*, 160: 157-163
- 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 Şener, A. 2002. Atık Sulardaki Bakır ve Kromun Dolgulu Kolonlarda Adsorpsiyon Yoluyla Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 2, 5.

Erdik, E., Sarkaya, Y. 1999. Temel Üniversite Kimyası, Gazi Üniversitesi, 441, Ankara

Erişim: http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87evre_kirlili%C4%9Fi, Erişim Tarihi:13.06.2011.

Erişim: <http://www.adanahen.gov.tr/site/index.php/component/content/article/78>, Erişim Tarihi:13.06.2011.

Erişim: <http://www.adanahen.gov.tr/site/index.php?view=article&id=51>, Erişim Tarihi:13.06.2011.

Erişim: <http://www.wikipedia.org/wiki/Bak%C4B1r>, Erişim Tarihi:13.06.2011.

Esen, K. 2007. Uranyum Ve Toryumun Ayrılmasında Kompozit Adsorbanlarının Geliştirilmesi Ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, 2.

Fan, D. H., Zhu, X. M., Xu, M. R., Yan, J. L. 2006. Adsorption properties of chromium (VI) by chitosan coated montmorillonite. *Journal of Biological Sciences*, 6: 941–945.

Farzaneh, M., Mehrorang, G., Ardeshir, S., Morteza, M., Shanaz, D. 2009. Sodium dodecyl sulfate coated poly (vinyl) chloride: An alternative support for solid phase extraction of some transition and heavy metals. *Chemosphere*, 74: 583–589.

Futalan, C. M., Kan, C. C., Dalida, M. L., Hsien, K. J., Pascua, C., Wan, M. W. 2011. a) Comparative and competitive adsorption of copper, lead, and nickel using chitosan immobilized on bentonite. *Carbohydrate Polymers*, 83: 528-536.

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

Friedrich, K., 2005. *Polymer composites from nano to macro scale*, 1, Springer, USA.

Gitipour, S., Bowers, M T., Huff, W., Bodocsi, A. 1997. The efficiency of modified bentonite clays for removal of aromatic organics from oily liquid wastes. *Spill Science & Technology Bulletin*, 4: 155–164.

Grégorio, C. 2006. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresource Technology*, 97: 1061–1085.

Güzel, F. 1991. Fındık ve Badem Kabuklarından Çeşitli Hazırlama Koşullarında Aktif Karbon Üretimi ve Bunların Adsorpsiyon Karakteristiklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, 1-50.

Holzer, L., Münch, B., Rizzi, M., Wepf, P., Marschall, P., Graule, T. 2010. 3D-microstructure analysis of hydrated bentonite with cryo-stabilized pore water. *Applied Clay Science*, 47: 330-342.

Huang, G. L., Zhang, H. Y., Jeffrey, X. S., Tim, A. G. L. 2009. Adsorption of chromium(VI) from aqueous solutions using cross-linked magnetic chitosan beads. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48: 2646–2651

Jang, S. H., Jeong, Y. G., Min, B. G., Lyoo, W. S., Lee, S. C. 2008. Preparation and lead ion removal property of hydroxyapatite/polyacrylamide composite hydrogels. *Journal of Hazardous Materials*, 159: 294-299.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-I. *Metalurji Dergisi*, 136: 47-53

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.

Kalyani, S., Veera, M. B., Siva, K. N., Krishnaiah, A. 2009. Competitive adsorption of Cu(II), Co(II) and Ni(II) from their binary and tertiary aqueous solutions using chitosan-coated perlite beads as biosorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 170: 680–689.

Karakaya, G. 2008. Atık Sulardan Bakır (II) ve Kobalt (III) İyonlarının Adsorpsiyon Metoduyla Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, 2., 9.

Karapınar, N., Donat, R. 2009. Adsorption behaviour of Cu²⁺ and Cd²⁺ onto natural bentonite. *Desalination*, 249: 123–129

Kaya, A., Ören, A. H. 2005. Adsorption Of Zinc From Aqueous Solutions To Bentonite. *Journal of Hazardous Materials*, 25:183-189

- Keser, G. 2005. *Nasturtium Officinale* R. Br.'de Kurşunun Strese Bağlı Enzimlerin Aktivitelerine, Gelişmeye, Mineral ve Klorofil İçeriğine Etkileri. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, 3.
- Koyuncu, H. 2008. Adsorption kinetics of 3-hydroxybenzaldehyde on native and activated bentonite. *Applied Clay Science*, 38: 279–287
- Kumar, V., Wati, L., Nigam, P., Banat, I.M., Yadav, B.S., Sing, D., Marchant, R. 1998. Decolorization and biodegradation of anaerobically digested *sugarcane molasses* spent wash effluent from biomethanation plants by white-rot fungi. *Process Biochemistry*, 33(1): 83-88
- Kumar, M., Bijay, P. T., Vinod, K. S. 2009. Crosslinked chitosan/polyvinyl alcohol blend beads for removal and recovery of Cd(II) from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 172: 1041–1048.
- Li, N., Liu, Z. Z., Xu, S. G. 2000. Dynamically formed poly(vinyl alcohol) ultrafiltration membranes with good anti-fouling characteristics. *Journal of Membrane Science*, 169: 17–28.
- Li, N., Bai, R. 2005. Copper adsorption on chitosan–cellulose hydrogel beads: Behaviors and mechanisms. *Separation and Purification Technology*, 42: 237–247.
- Lin, S. H., Juang, R. S., Wang, Y. H. 2004. Adsorption of acid dye from water onto pristine and acid-activated clays in fixed beds. *Journal of Hazardous Materials*, B113: 195–200
- Liu, X. W., Hu, Q. Y., Fang, Z., Zhang, X. J., Zhang, B. B. 2009. Magnetic chitosan nanocomposites: A useful recyclable tool for heavy metal ion removal. *Langmuir*, 25: 3–8.
- Lous, R., Costa, T. G., Szpoganicz, B., Fávere, V. T. 2010. Adsorption And Adsorption of Cu(II), Cd(II) And Pb(II) Ions Using Chitosan Crosslinked With Epichlorohydrin-Triphosphate As The Adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 183: 233-241.
- Luckham, P. F., Rossi, S. 1999. The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 82: 43-92.
- Ma, X. L., Su, Y. L., Sun, Q., Wang, Y. Q., Jiang, Z. Y. 2007. Enhancing the antifouling property of polyethersulfone ultrafiltration membranes through surface adsorption-crosslinking of poly(vinyl alcohol). *Journal of Membrane Science*, 300: 71–78.
- Márta, S., Etelka, T., Kinga, F., Imre, D. 1998. Adsorption of salicylate on alumina surfaces. *Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 141: 319–325

- Martínez, M., Giménez, J., Pable, J., Rovira, M., Duro, L. 2006. Sorption of selenium (IV) and selenium (VI) onto magnetite. *Applied Surface Science*, 252: 3767–3773.
- Mathialagan, T., Viraraghavan, T. 2002. Adsorption of cadmium from aqueous solutions by perlite. *Journal of Hazardous Materials*, B94: 291–303
- Mısırlı, T. 2004. Kömür Maden Atıklarından Elde Edilen Adsorbentlerle Boyarmadde Ve Pestisit Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, 22.
- Mutlu, S. 2009. Fındık Kabuğu ve Üzüm Çekirdeğinden Üretilen Akti Karbonlar İle Kurşun İyonlarının Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 24.
- Özsoy, H. D. 2007. Palmiye Kını ve Susam Kozasının Adsorbent Olarak Kullanımı İle Sulu Çözeltilerinden Krom İyonlarının Gideriminin Araştırılması. Doktor Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, 3,14.
- Panday, K. K., Gür, P. And Sing V.N. 1985. Coppers II Removal from Aqueous Solution by Fly Ash. *Water Research* 19 (7): 869-873.
- Reddy, V. R., Behera, B. 2006. Impact of water pollution on rural communities: An economic analysis. *Ecological Economics*, 58: 520-537
- Rosa, M. F., Medeiros, E. S., Malmonge, J. A., Gregorski, K. S., Wood, D. F., Mattoso, L. H. C., et al. 2010. Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior. *Carbohydrate Polymers*, 81: 83–92.
- Saçak, M. 2008, Polimer Kimyası. Gazi Kitabevi, 1-50, Ankara.
- Sağlam, N., Cihangir, N. 1995. Ağır Metallerin Biyolojik Süreçlerle Biyosorpsiyonu Çalışmaları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11: 157-161
- Sarıkaya, Y. 1997. Fizikokimya. Gazi Kitapevi, 633-638, Ankara
- Shameem, H., Abburi, K., Tushar, K. G., Dabir, S. V., Veera, M. B., Edgar, D. S. 2003. Adsorption of chromium(VI) on chitosan-coated perlite. *Separation Science and Technology*, 38: 3775–3793.

Shameem, H., Abburi, K., Tushar, K. G., Dabir, S. V., Veera, M. B., Edgar, D. S. 2006. Adsorption of divalent cadmium (Cd(II)) from aqueous solutions onto chitosan-coated perlite beads. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45: 5066– 5077.

Shameem, H., Tushar, K. G., Dabir, S. V., Veera, M. B. 2008. Dispersion of chitosan on perlite for enhancement of copper(II) adsorption capacity. *Journal of Hazardous Materials*, 152: 826–837.

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.

Starodoubtsev, S.G., Chruochkina, N.A., Khokhlov, A.R. 2000. Hydrogel Composites of Neutral and Slightly Charged Poly(acrylamide) Gels With Incorporated Bentonite. Interaction With Salt And Ionic Surfactants, *Langmuire*, 16: 1529-1534

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.

Swayampakula, K., Boddu, M. V., Nadavala, K. S., Abburi, K. 2009. Competitive adsorption of Cu(II), Co(II) and Ni(II) from their binary and tertiary aqueous solutions using chitosan-coated perlite beads as biosorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 170: 680-689.

Şahin, A. 2006. Farklı Adsorbanların Ağır Metal İyonlarını Tutma Kapasitelerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri, Celal Bayar Üniversitesi, 1., 5.

Şenol, Z. M. 2008. Poliakrilamid-bentonit/zeolit Kompozitlerine Tl^{+3} Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri, Cumhuriyet Üniversitesi, 11.

Şimşek, S. 2001. Poliakrilonitril-Bentonit/Zeolit ve Poliakrilamid-Lignin Kompozitlerinin Hazırlanması, Modifikasyonu, Karakterizasyonu ve Bunlara UO^{+2} ve Pb^{+2} Adsorpsiyonu. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, 7., 10.

Tok, S. 2009. Doğal Zeolit (Klinoptilolit) İle Bakır Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 1., 36.

- 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. *Material Science and Engineering C*, 30: 304–310.
- Tsuruta, T. 2001, *Polimer Kimyası. Seç Yayın/Dağıtım*, 1-50, İstanbul.
- Ulçay, Y., Akyol M., Gemci R. 2002. Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık fakültesi*, Cilt 7, Sayı 1: 93-116.
- Unuabonah, E. I., Olu-Owolabi B. I., Fasuyi E. I., Adebowale, K. O. 2010. Modeling of fixed-bed column studies for the adsorption of cadmium onto novel polymer–clay composite adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 179: 415-423.
- Veera, M. B., Krishnaiah, A., Jonathan, L. T., Edgar, D. S. 2003. Removal of hexavalent chromium from wastewater using a new composite chitosan biosorbent. *Environmental Science & Technology*, 37: 4449–4456.
- Veera, M. B., Krishnaiah, A., Jonathan, L. T., Edgar, D. S., Richard, H. 2008. a) Removal of arsenic (III) and arsenic (V) from aqueous medium using chitosan-coated biosorbent. *Water Research*, 42: 633–642.
- Veera, M. B., Krishnaiah, A., Ann, J. R., & Edgar, D. S. 2008. b) Removal of copper(II) and nickel (II) ions from aqueous solutions by a composite chitosan biosorbent. *Separation Science and Technology*, 43: 1365–1381.
- 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 Ngah, W. S., Fatinathan, S. 2008. Adsorption of Cu(II) ions in aqueous using chitosan beads, chitosan-GLA beads and chitosan-alginate beads. *Chemical Engineering Journal*, 143: 62-72.
- Wan Ngah, W.S., Hanafiah, M.A.K.M., Yong, S.S. 2008. Adsorption of humic acid from aqueous solutions on crosslinked chitosan–epichlorohydrin beads: Kinetics and isotherm studies. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 65: 18–24

- Wan Ngah, W. S., Ariff, N. F. M., Hanafiah, M. A. K. M. 2010.a) Preparation, characterization, and environmental application of crosslinked chitosan-coated bentonite for tartrazine adsorption from aqueous 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.b) Malachite Green adsorption onto chitosan coated bentonite beads: Isotherms, kinetics and mechanism. *Clean—Soil, Air, Water*, 38: 394–400.
- Wan Ngah, W. S., Teong, L. C., Hanafiah, M. A. K. M. 2011. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83: 1446-1456.
- Wan, M. W., Kan, C. C., Lin, C. H., Buenda, D. R., Wu, C. H. 2007. Adsorption of copper (II) by chitosan immobilized on sand. *Chia-Nan Annual Bulletin*, 33: 96–106.
- Wan, M. W., Kan, C. C., Rogel, B. D., Dalida, M. L. P., 2010. Adsorption of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solution on chitosan-coated sand. *Carbohydrate Polymers*, 80: 891-899.
- Wang, L., Wang, A. 2007. Adsorption characteristics of Congo Red onto the chitosan/montmorillonite nanocomposite. *Journal of Hazardous Materials*, 147: 979–985.
- Wang, X., Zheng, Y., Wang, A. 2009. Fast removal of copper ions from aqueous solution by chitosan-g-poly(acrylic acid)/attapulgitite composites. *Journal of Hazardous Materials* 168: 970–977
- Wei, J., Zhu, R., Zhu, J., Ge, F., Yuan, P., He, H., Ming, C. 2009. Simultaneous sorption of crystal violet and 2-naphthol to bentonite with different CECs. *Journal of Hazardous Materials*, 166: 195-199
- Yalçın, H., Gürü, M. 2002. *Su Teknolojisi*. Palme Yayıncılık, 9, 372, Ankara, TÜRKİYE
- Yıldız, A. 2008. *Reaktif Azo Boyanın Kitosan İle Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, 2., 36.
- Yılmaz, N. 2007. *Doğal Kil Minareli Bentonit İle Boyar Maddelerin Adsorpsiyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, 1., 23.
- Zengin, F. 2010. *Propilen/Montmorillonit Esaslı Polimer/Kil Nanokompozitlerinde Dolgu-Matriks Etkileşiminin İyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, 9.

Zhao, Y., Yang, Z., Li, Y. 2010. Investigation of water pollution in Baiyangdian Lake, China. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 737-748

Zhao, Z. L., Wang, X. Q., Zhao, C., Zhu, X. G., Du, S. Y. 2010. Adsorption and desorption of antimony acetate on sodium montmorillonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 345: 154–159.

Zhou, L., Wang, Y., Liu, Z., Huang, Q. 2009. Characteristics of equilibrium, kinetics studies for adsorption of Hg(II), Cu(II), and Ni(II) ions by thiourea-modified magnetic chitosan microspheres. *Journal of Hazardous Materials*, 161: 995-1002

Zhu, H. Y., Jiang, R., Xiao, L. 2010. Adsorption of an anionic azo dye by chitosan/kaolin/ γ -Fe₂O₃ composites. *Applied Clay Science*, 48: 522-52

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Diyarbakır'ın Bismil ilçesinde, lise öğrenimini ise İstanbul Ümraniye'de tamamladı. 2003 yılında Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümüne yerleşti. 2008 yılında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizikokimya Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitime başladı. 2009'da yaklaşık bir yıl kadar Diyarbakır Bağlar Kaymakamlığında Sosyal İnceleme Uzmanı olarak çalıştı. 2010 yılından beri Siirt Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Fizikokimya Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.