

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜLFÜRİK ASİTLE MUAMELE EDİLMİŞ FINDIK
ZURUFU İLE KADMIYUM (II) VE KOBALT (II)
İYONLARININ ADSORPSİYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hülya YILDIZ

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA
Enstitü Bilim Dalı : ANALİTİK KİMYA
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa İMAMOĞLU

Ocak 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜLFÜRİK ASİTLE MUAMELE EDİLMİŞ FINDIK
ZURUFU İLE KADMIYUM (II) VE KOBALT (II)
İYONLARININ ADSORPSİYONU


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Hülya YILDIZ

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Enstitü Bilim Dalı : ANALİTİK KİMYA

Bu tez 26/01/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç.Dr. Mustafa İMAMOĞLU
Jüri Başkanı


Y.Doç.Dr. Hüseyin ALTUNDAĞ
Üye


Y.Doç.Dr. Füsun BOYSAN
Üye

TEŞEKKÜR

Çalışmamın planlanıp yürütülmesinde büyük yardımlarını gördüğüm, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa İMAMOĞLU'na en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince ilgisini ve desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ALTUNDAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tüm Analitik Kimya Anabilim Dalı ailesine verdikleri destek için teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Sezen SİVRİKAYA, Gülşah ÖZÇELİK, Ahmet VURAL, Arif BALKANCI, Selçuk KARAKAYA, Hilal KUDAY, Hilal DURMAZ'a, ve yüksek lisans eğitimim süresince manevi desteğiyle her zaman yanımda olan arkadaşım Seda KARACA'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her anında maddi manevi desteklerini gördüğüm, hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan sevgili anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ADSORPSİYON.....	3
2.1. Adsorpsiyon İzotermi.....	4
2.1.1. I. Tip izotermler.....	4
2.1.2. II. Tip izotermler.....	5
2.1.3. III., IV. ve V. Tip izotermler.....	5
2.1.4. Brunauer, Emet ve Teller (BET) izotermi.....	6
2.1.5. Freundlich izotermi.....	6
2.1.6. Langmuir izotermi.....	7
2.2. Adsorpsiyon Kinetiği	8
2.3. Adsorpsiyon Termodinamiği	9
2.4. Tek Kademeli Kesikli Adsorpsiyon Sistem Dizaynı.....	10
2.5. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) Adsorpsiyonu Konusunda Yapılmış Olan Çalışmalar.....	12
2.6. Çalışmanın Amacı.....	15

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE METOD	16
3.1. Çalışmada Kullanılan Cihazlar.....	16
3.1.1. Atomik absorpsiyon spektrometresi.....	16
3.1.2. pH metre.....	17
3.1.3. Sallayıcı su banyosu.....	17
3.1.4. Hassas terazi.....	17
3.1.5. Fırın.....	17
3.1.6. Etüv.....	18
3.1.7. İnfrared spektrometresi.....	18
3.2. Kullanılan Materyaller.....	18
3.2.1. Sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufu.....	18
3.2.2. Sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufunun karakterizasyonu.....	18
3.2.3. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının stok çözeltileri.....	19
3.3. Deneysel Çalışma Yöntemi.....	19
3.3.1. Standart Cd (II) ve Co (II) iyonları çözeltileri.....	20

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR.....	21
4.1. Sülfürik Asitle Muamele Edilmiş Fındık Zurufunun Karakterizasyonu.....	21
4.2. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları Adsorpsiyonuna pH Değişiminin Etkisi.....	23
4.3. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonlarının Adsorpsiyonuna Doz Değişiminin Etkisi.....	24
4.4. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları Adsorpsiyonuna Karıştırma süresinin etkisi.....	26
4.5. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonlarının Adsorban Üzerine Tekrar Yükleme Etkisi.....	26
4.6. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları Adsorpsiyonuna Alkali Metal Etkisi.....	31

4.7. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonlarının SAMFZ Üzerinden Desorpsiyonu.....	32
4.8. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları Adsorpsiyonuna Başlangıç Konsantrasyonu ve Sıcaklığın Etkisi.....	34
4.9. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) Adsorpsiyon İzotermeleri.....	37
4.10. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) Adsorpsiyon Kinetiği.....	44
4.11. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonlarının Adsorpsiyon Termodinamiği.....	47
4.12. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları İçin Tek Kademeli Kesikli Adsorpsiyon Sistemi Dizayını.....	49
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C_o	: Çözeltinin başlangıç konsantrasyonu, mg/L
C_e	: Çözeltinin denge konsantrasyonu, mg/L
c	: Verilen herhangi bir sıcaklıkta bir sabit (BET izoterminde)
K	: Langmuir izoterminde ait sabit, L/mg
k_1	: Birinci derece kinetik hız sabiti (dak^{-1})
k_2	: İkinci derece kinetik hız sabiti (g/mg.dak)
K_F	: Freundlich izoterminde ait sabit (mg/g)
m	: Adsorban miktarı, g
n	: Freundlich izoterminde konsantrasyona bağlı bir sabit
P	: Gazların kısmi basıncı (atm)
P_o	: Adsorplanmış maddenin doymuş buhar basıncı
R	: İdeal gaz sabiti, $8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
T	: Sıcaklık, K
t_k	: Karıştırma süresi
V	: Adsorplanmış gazın standart koşullarla göre hesaplanmış hacmi, L
V_m	: Gazın adsorplanan hacmi, L
q_e	: Adsorplanan miktar, mg/g
q_{\max}	: Adsorbe olan maddenin maksimum miktarıyla ilgili olan Langmuir izoterminde ait sabit, mg/g
ΔG	: Gibbs serbest enerji değişimi, KJmol^{-1}
ΔH	: Adsorpsiyonun entalpi değişimi, KJmol^{-1}
ΔS	: Adsorpsiyon entropi değişimi, Jmol/K
AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
BET	: Brunauer, Emmett, Teller
$^{\circ}\text{C}$: Santigrad derece
dak.	: Dakika

g	: Gram
J	: Joule
K	: Kelvin
kJ	: Kilojoule
L	: Litre
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
N	: Normalite
nm	: Nanometre
SAMFZ	: Sulfirik asitle muamele edilmiş fındık zurufu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	İzoterm çeşitleri.....	5
Şekil 3.1.	Alevli AAS cihazı.....	17
Şekil 4.1.	Fındık zurufunun IR spektrumu.....	22
Şekil 4.2.	Sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufunun IR spektrumu.....	22
Şekil 4.3.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının pH ile değişimi.....	24
Şekil 4.4.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının aktif karbon miktarı ile değişimi.....	25
Şekil 4.5.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının % adsorpsiyonunun aktif karbon miktarı ile değişimi.....	26
Şekil 4.6.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının karıştırma süresi ile değişimi.....	28
Şekil 4.7.	Tekrar yükleme ile Kadmiyum (II) iyonunun adsorplanan miktarının değişimi.....	29
Şekil 4.8.	Tekrar yükleme ile kobalt (II) iyonunun adsorplanan miktarının değişimi.....	30
Şekil 4.9.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının alkali metal iyonlarının varlığı ile değişimi.....	32
Şekil 4.10.	Asit derişimi ile % desorpsiyonun değişimi.....	33
Şekil 4.11.	Değişik sıcaklıklarda kadmiyum (II) iyonunun adsorplanan miktarının başlangıç konsantrasyonu ile değişimi	35
Şekil 4.12.	Değişik sıcaklıklarda kobalt (II) iyonunun adsorplanan miktarının başlangıç konsantrasyonu ile değişimi.....	36
Şekil 4.13.	Kadmiyum (II) iyonunun adsorplanan miktarının sıcaklıkla değişimi.....	36

Şekil 4.14.	Kobalt (II) iyonunun adsorplanan miktarının sıcaklıkla değişimi.....	37
Şekil 4.15.	Kadmiyum (II) iyonunun adsorpsiyon izotermi.....	37
Şekil 4.16.	Kobalt (II) iyonunun adsorpsiyon izotermi.....	38
Şekil 4.17.	Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm grafiği.....	39
Şekil 4.18.	Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm grafiği.....	40
Şekil 4.19.	Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm grafiği.....	42
Şekil 4.20.	Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm grafiği..	43
Şekil 4.21.	Yalancı 1. Mertebe Kinetik Model grafiği	45
Şekil 4.22.	Yalancı 2. Mertebe Kinetik Model grafiği	46
Şekil 4.23.	Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait $\ln K$ ile $1/T$ 'nin değişimi.....	48
Şekil 4.24.	Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait $\ln K$ ile $1/T$ 'nin değişimi....	48
Şekil 4.25.	Kadmiyum (II) iyonunun farklı giderme verimleri için çözelti hacmine karşı adsorban miktarının değişimi.....	50
Şekil 4.26.	Kobalt (II) iyonunun farklı giderme verimleri için çözelti hacmine karşı adsorban miktarının değişimi.....	51

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	AAS'nin Cd (II) ve Co (II) iyonları için çalışma koşulları.....	16
Tablo 4.1.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna pH değişim etkisi.....	23
Tablo 4.2.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna doz değişimi etkisi.....	25
Tablo 4.3.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna karıştırma süresinin etkisi.....	27
Tablo 4.4.	Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna tekrar yükleme etkisi.....	29
Tablo 4.5.	Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna tekrar yükleme etkisi.....	30
Tablo 4.6.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna alkali metal etkisi.....	31
Tablo 4.7.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının SAMFZ Üzerinden Desorpsiyonu.....	33
Tablo 4.8.	Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisi.....	34
Tablo 4.9.	Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisi.....	35
Tablo 4.10.	Kadmiyum (II) adsorpsiyonu için Langmuir eşitliği değerleri...	38
Tablo 4.11.	Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir sabitleri....	39
Tablo 4.12.	Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri.....	40
Tablo 4.13.	Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri.....	41
Tablo 4.14.	Kobalt (II) adsorpsiyonu için Langmuir eşitliği değerleri.....	41
Tablo 4.15.	Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir sabitleri.....	42

Tablo 4.16.	Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri.....	43
Tablo 4.17.	Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonu için Freundlich izotermi sabitleri.....	44
Tablo 4.18.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonu adsorpsiyonu için yalancı 1. derece kinetik model eşitliği değerleri.....	45
Tablo 4.19.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonu adsorpsiyonu için yalancı 2. derece kinetik model eşitliği değerleri.....	46
Tablo 4.20.	Yalancı 1. mertebe ve Yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri	47
Tablo 4.21.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna ait $\ln K$ ve $1/T$ değerleri.....	47
Tablo 4.22.	Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonu için ΔH , ΔG ve ΔS değerleri.....	49
Tablo 4.23.	Kadmiyum (II) adsorpsiyonu için tek kademeli kesikli adsorpsiyon sistemi dizaynı değerleri	50
Tablo 4.24.	Kobalt (II) adsorpsiyonu için tek kademeli kesikli adsorpsiyon sistemi dizaynı değerleri	51

ÖZET

Anahtar kelimeler: Adsorpsiyon, Kadmiyum, Kobalt, Adsorpsiyon Kinetiği, Adsorpsiyon İzotermi, Aktif Karbon, Fındık Zurufu

Bu çalışmada, fındık zurufundan sülfürik asit ile aktif karbon hazırlandı ve karakterize edildi. Kesikli yöntem ile kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının sulu çözeltilerinden adsorpsiyonu araştırıldı. Bu yöntemde ağır metal iyonlarının adsorplanan miktarına etki eden faktörler incelendi. Bu faktörler çözelti pH'sı, karıştırma süresi, adsorban miktarı, sıcaklık ve başlangıç konsantrasyonu şeklinde sıralanabilir. Elde edilen adsorpsiyon verileri Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine uygulandı. Ayrıca kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorpsiyon kinetiği ve termodinamiği incelendi. Son olarak, adsorpsiyon verileri kullanılarak tek kademeli kesikli adsorpsiyon sistemi dizayn edildi.

ADSORPTION OF CADMIUM (II) AND COBALT (II) IONS ON SULPHURIC ACID TREATED HAZELNUT HUSK

SUMMARY

Key Words: Adsorption, Cadmium, Cobalt, Adsorption Kinetics, Adsorption Isotherm, Activated Carbon, Hazelnut Husk

In this study, activated carbon was prepared from hazelnut husk and characterized. Adsorption of cadmium (II) and cobalt (II) ions from aqueous solutions was investigated by batch technique. Effective factors to adsorbed amount of these metal ions in this technique were investigated. These factors can be put in order as a solution pH, contact time, adsorbent amount, temperature, initial concentration. The obtained adsorption data were applied to Langmuir and Freundlich adsorption isotherms. Furthermore, adsorption kinetics and thermodynamics of cobalt (II) and cadmium (II) ions were investigated. At the end, a single stage batch adsorber was designed by using adsorption data.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hızlı endüstrileşme etkisi ile arsenik, kadmiyum, kurşun, civa gibi toksik metallerin çevreye salınımı artmaktadır. Ağır metaller organik atıklardan farklı olarak çevreye ve insan sağlığına geri dönüşümü olmayan zarar vermektedir. İnsan vücudunda biriken metal iyonları kan dolaşımında ve sinir sisteminde önemli fizyolojik bozukluklara sebep olmaktadır [1].

Ağır metallerin seviyesi içme sularında, atık sularda ve doğal sularda tolere edilebilir konsantrasyonda olmalıdır [2]. İnsani tüketim amaçlı sularda bulunabilecek maksimum kadmiyum (II) iyonu konsantrasyonu TSE standartlarına göre 5 µg/L olarak belirlenmiştir [3].

Cd (II) iyonlarının uzaklaştırılması insan, hayvan ve çevre üzerine zararlı etkilerinden dolayı ilgi görmektedir. Yüksek seviyede Cd (II) iyonlarının çevre kirliliğine sebep olmasında endüstri kuruluşlarının etkisi büyüktür. Endüstriyel ürünler olan telefon kablolarının kaplanmasında, metalürjik alaşımlarda, seramik eşyalarda, tekstil boyaları endüstrilerinde çeşitli miktarlarda kadmiyum alaşımları bulunmaktadır [4].

Ön deriştirme, iyon değişimi, solvent ekstraksiyonu, elektroliz, ters ozmos gibi geleneksel yöntemler ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanılabilir fakat bu metotlar pahalı ve verimsizdir [2]. Özellikle düşük konsantrasyonda ağır metal içeren suların arıtılmasında adsorpsiyon yöntemi hem etkili hem de ucuz bir yöntemdir [5].

Seçici adsorpsiyonda biyolojik materyallerden, mineral oksitlerden, polimerlerden ya da aktif karbonlardan faydalanılmaktadır [5]. Aktif karbon pahalı olduğundan dolayı, bitkisel atıklar gibi materyallerden düşük maliyetli aktif karbon hazırlanması günümüz araştırma konularındadır. Çeşitli karbon içeren kömür, linyit, hindistan

cevizi kabuğu, buğday kabuğu pirinç kabuğu findık zurufu gibi materyaller aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır [6]. Aktif karbon yüksek adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle suların temizlenmesinde kullanımı gittikçe artan bir maddedir [7]. Bu nedenle ekonomik değeri olmayan findık zurufunun aktif karbon üretiminde kullanılmasının araştırılması önemlidir.

Bu çalışmada bitki artığı olan findık zurufunun aktif karbon haline getirilerek ağır metal iyonlarının adsorpsiyonla uzaklaştırılması ve findık zurufunun aktif karbona dnüşürülerek adsorban olarak kullanımının incelenmesi amaçlandı. Cd (II) ve Co (II) iyonlarının sulu çözeltilerden aktif karbon üzerine adsorpsiyonu kesikli yöntem ile incelendi. Çalışma sonucunda adsorpsiyon değişkenleri tespit edildi.

BÖLÜM 2. ADSORPSİYON

Adsorpsiyon bir maddenin diğeri bir madde yüzeyinde veya iki faz arasındaki ara yüzeyde konsantrasyonun artması ya da bir başka ifade ile moleküllerin temas ettikleri yüzeydeki çekme kuvvetlerine bağılı olarak o yüzeyle birleşmesi olarak tanımlanır [8].

Gözenekli bir katı yüzeye tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına desorpsiyon denir. Katı yüzeye adsorban katı madde tarafından tutulan maddeye ise adsorbat denir [9].

Adsorban yüzeyinde adsorbatın tutulması fiziksel veya kimyasal etkileşimlerle meydana gelebilir. Buna bağılı olarak adsorpsiyon fizisorpsiyon ve kemisorpsiyon olmak üzere ikiye ayrılabilir [10].

Fizisorpsiyonda tutunan madde ile tutan madde arasında Van der Waals etkileşimi vardır. Van der Waals etkileşimleri zayıf etkileşimlerdir ve bir tanecik fiziksel olarak adsorplandığında salınan enerji, yoğunlaşma entalpiyle aynı mertebededir. Adsorpsiyon ısısı fizisorpsiyonda 20 kJ.mol^{-1} civarındadır [11]. Fiziksel adsorpsiyonun hızı sıcaklık arttıkça artar ve çok tabakalı olabilir [12].

Kemisorpsiyonda ise moleküller veya atomlar genellikle bir kovalent bağ oluşumuyla yüzeyde çarpışır. Kemisorpsiyon için entalpi değerleri fizisorpsiyon entalpi değerlerinden çok daha büyüktür ve 200 kJ.mol^{-1} civarındadır [11]. Kemisorpsiyon genellikle sıcaklık arttıkça artar ve yüzey üzerinde tek tabakalıdır [8].

Bir kristal yapıya sahip olsun veya olmasın tüm katılar az ya da çok bir adsorplama gücüne sahiptir. Adsorplama gücü yüksek olan bazı doğal katılar; killer, zeolitler, kömürler şeklinde; yapay katılar ise silika jeller, metal oksitler ve aktif kömürler

olarak sıralanabilir [9]. Adsorpsiyon işlemi daha etkin ve ucuz bir hale getirmek için birçok araştırmacı ucuz ve yenilenebilir adsorbanlar bulmak önemlidir. Maliyet azalımı ve etkinlik için öngörülen yollardan biri de adsorpsiyonun doğasının anlaşılmasıdır [1].

2.1. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon adsorban yüzeyinde tutunan madde derişimi ve çözültide kalan madde derişimi arasında bir denge oluşuncaya kadar devam eder. Adsorpsiyon izotermi sabit sıcaklıkta belirli miktardaki bir adsorban ile farklı konsantrasyonlardaki adsorbat çözülteleri dengeye gelince elde edilir. Yapılan deney sonucunda çözültideki adsorbat konsantrasyonları adsorban fazındaki adsorbat konsantrasyonuna karşı grafiğe geçirilir [10].

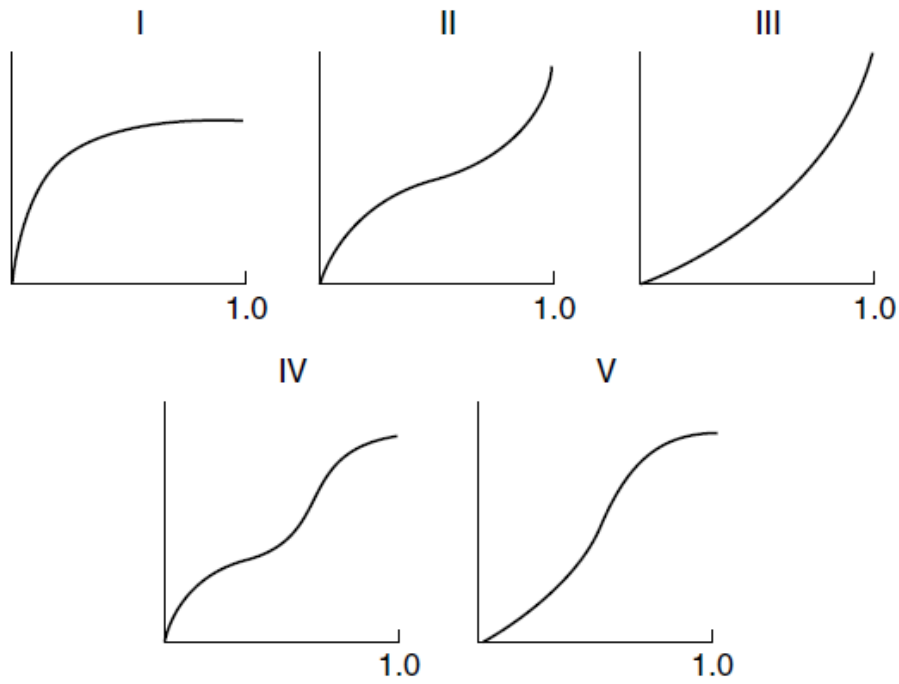
Denge şartlarında ve sabit sıcaklıkta çözültinin denge konsantrasyonu ile adsorplanan miktar arasındaki ilişki adsorpsiyon izotermi ile açıklanır. Buna göre adsorplanan miktar denge konsantrasyonunun bir fonksiyonudur [12,13]. Literatürde çok sayıda adsorpsiyon izotermi bulunmasına rağmen, adsorpsiyon izotermi beş tip olarak sınıflandırılmıştır. Adsorplanan miktar ile p/p_0 arasında çizilen adsorpsiyon izotermi Şekil 2.1'de gösterilmiştir [13]. Adsorplanan miktar ile denge konsantrasyonu arasındaki bağıntı için çeşitli matematiksel eşitlikler türetilmiştir. Uygulamada en çok kullanılan bu eşitlikler arasında BET, Freundlich ve Langmuir izotermi yer almaktadır.

2.1.1. I. Tip izotermi

Katı yüzey üzerindeki gözeneklerin büyüklüğü mükemmel derecede birbiriyle uyumlu ve bu bölgelerin enerjileri birbirine eşit ise yüzey ile aralarında etkileşim gerçekleşecek olan taneciklerin birbirine spesifik uyum sağladığı görülür. Bu durum yüzeyde bir potansiyel oluşmasını sağlar. Böylece yüzeye tutunma işlemi hızlıca gerçekleşir. Gaz adsorpsiyonuna ait izotermi genellikle I. tip izotermiye örnektir. Tek tabakalı izotermi I. tip izotermi ile açıklanır. Bu adsorpsiyon tipinde adsorban yüzeyi belirli bir süre sonra tamamen doygun hale gelir [13].

2.1.2. II. Tip izotermeler

Bu izoterm tipi çok tabakalı fiziksel adsorpsiyon gerçekleştiğinde gözlemlenir. Genellikle çizilen izoterm bir kısmı doğrusal olmasına rağmen grafiğin doğrusallıktan saptığı görülür. Bunun sebebi adsorban üzerinde yeni bir tabakanın oluşmasıdır. Bu tip izotermeler BET izoterm denkleminde açıklanır [13].



Şekil 2.1. İzoterm çeşitleri

2.1.3. III. IV. ve V. tip izotermeler

III. tip izotermeler genellikle çok yüksek poroziteye sahip adsorbanların yüzeyine adsorpsiyon olduğunda görülür. VI. ve V. tip izotermeler ise mezopor, mikropor boyutlarına veya polar, apolar yapıda bulunmasına bağlı olarak görülür. Genellikle adsorpsiyon enerjisi çok küçük değerler alır. Bu izoterm tipinde adsorban ve adsorbat arasında zayıf etkileşimler söz konusudur [13,14].

2.1.4. Brunauer, Emet ve Teller (BET) izotermi

Brunauer, Emet ve Teller çalışmalarında çok tabakalı adsorpsiyonu incelemişlerdir. Yüksek basınç altında tek tabakalı adsorpsiyon yerine çoklu tabakaların oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu adsorpsiyonun tabiatını açıklamak için BET izotermi kullanılır. BET izotermi çok tabakalı adsorpsiyona cevap verir.

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m \cdot c} + \frac{(c-1) \cdot P}{V_m \cdot c \cdot P_0} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki bağıntı ile verilir.

V : P basıncında ve T sıcaklığında adsorplanmış gazın standart koşullara göre hesaplanmış hacmi (L)

P_0 : T sıcaklığında adsorplanmış gazın doymuş buhar basıncı (atm)

V_m : Yüzey bir unimoleküler tabaka tarafından kaplandığında adsorplanmış gaz hacminin standart koşullardaki değeri (L)

c : : Verilen herhangi bir sıcaklıkta bir sabit olup adsorplama gücünün bir ölçüsüdür.

Yukarıdaki bağıntı aynı zamanda bir doğru denklemdir. Doğrunun y eksenini kestiği değer $(1/V_m \cdot c)$, eğim $(c-1)/V_m \cdot c \cdot P$ yi verir [8].

2.1.5. Freundlich izotermi

Freundlich izotermi logaritmik değişimle ilişkili olup,

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.2)$$

eşitliği ile verilir. Burada q_e dengede adsorbanın gramı başına adsorplanan adsorbat miktarıdır. K_F ve $1/n$ Freundlich sabitleridir. Yukarıdaki denklemin logaritması alınırsa

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2,3)$$

elde edilir ve $\ln q_e$ ile $\ln C_e$ arasında grafik çizilirse düz bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi $1/n$ ve y eksenini kestiği nokta da $\ln K_F$ değerini verecektir [11]. Freundlich izotermi sadece I. tip adsorpsiyon izotermi açıklar [15].

2.1.6. Langmuir izotermi

Langmuir izotermi aşağıdaki üç kabule dayanır;

1. Adsorpsiyon tek tabakalı kaplanmanın ötesine geçmez.
2. Bütün adsorpsiyon yüzeyi eşdeğerdir ve yüzey mikroskobik düzeyde mükemmel derecede düzgündür.
3. Belli bir bölgede adsorplanmış molekülün tutunma yeteneği çevresindeki bölgelerin boş ya da dolu olmasından bağımsızdır.

Langmuir denklemine göre adsorplanmış moleküllerle çözültide kalan moleküller arasında dinamik bir denge vardır. Langmuir denkleminin lineer hali;

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{\max}} + \frac{1}{K \cdot q_{\max}} \quad (2.4)$$

eşitliği ile verilir.

Burada;

q_{\max} : Adsorbanın tek tabaka kapasitesidir.

C_e : Denge kurulduğunda çözültide kalan adsorbat moleküllerinin derişimidir.

K : Langmuir sabitidir.

C_e 'ye karşı C_e/q_e grafiği çizilirse düz bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi $1/q_{\max}$ ve y eksenini kestiği nokta $1/q_{\max}K$ değerini verir [11].

2.2. Adsorpsiyon Kinetiği

Kinetik model adsorpsiyon ile metallerin uzaklaştırılması mekanizmasının aydınlatılmasında önemli yer tutar. Ağır metallerin herhangi bir adsorban üzerine adsorpsiyonunu açıklamak için genellikle yalancı 1. mertebe modeli ve yalancı 2. mertebe modeli model kullanılmaktadır.

Kesikli sistem prosesi için belirlenmiş uygun şartlarda adsorpsiyon, belirli bir kinetik üzerinden yürür. Lagergren'nin yalancı 1. mertebe modeli, adsorpsiyon için geçen süre ile çözeltide kalan ve adsorban üzerine tutunan adsorbat derişimleri arasında bir ilişki olduğunu vurgular. Katı yüzeyin farklı konsantrasyonlarda doyurulmasıyla zaman arasında orantılı bir değişim olduğu görülür. Genellikle yalancı 1. mertebe eşitliği;

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2.5)$$

ile veririr. Burada;

q_t : Herhangi bir zamanda adsorban üzerindeki bulunan adsorbat miktarı (mg/g)

k_1 : Birinci derece kinetik hız sabiti (dak^{-1})'dir.

$\ln(q_e - q_t)$ ile t arasında grafik çizilirse düz bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi k_1 sabitini y eksenini kestiği nokta ise $\ln q_e$ değerini verir [16].

Eğer adsorban yüzeyi homojen ve mükemmel derecede düzgün değilse Yalancı 1. mertebe modeline uymaz. Yukarıdaki denkleme deneysel veriler uygulandığında bir doğru denklemi elde edilmez.

Yalancı 2. mertebe kinetik modeli;

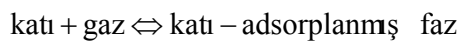
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2.6)$$

eşitliği ile verilir. Burada k_2 ; ikinci derece kinetik hız sabiti (g/mg.dak)'dir.

t/q_t ile t arasında grafik çizildiğinde düz bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi $1/q_e$ değerini y eksenini kestiği nokta ise $1/k_2q_e^2$ değerini verir [17].

2.3. Adsorpsiyon Termodinamiği

Adsorpsiyon sırasındaki entalpi, entropi 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 sonuçları kullanılarak çizilen Langmuir izoterm eşitliğinden elde edilen K sabiti termodinamik parametrelerin hesaplanmasında kullanılabilir. K sabiti sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterir. Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak adsorpsiyon prosesinin ΔG , ΔH ve ΔS değerleri belirlenebilir [18].

$$\Delta G = -RT \ln K \quad (2.7)$$

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (2.8)$$

Burada;

ΔG : Adsorpsiyon serbest gibbs enerjisi (kJ/mol)

R : R gaz sabiti (8,3145) J/(mol K)

K : Sıcaklık (Kelvin)

ΔH : Adsorpsiyon entalpisi (kJ/mol)

ΔS : Adsorpsiyon entropisi (J/(molK))

Yukarıdaki eşitlik ve Gibbs-Helmholtz denklemi kullanılarak aşağıdaki bağıntı elde edilir [18].

$$\ln K = -\frac{\Delta G}{RT} = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (2.9)$$

Yukarıdaki eşitlik aynı zaman da bir doğru denklemdir. $\ln K$ ile $1/T$ arasında grafik çizilirse eğim $-\Delta H/R$ değerini doğrunun y eksenini kestiği nokta ise $\Delta S/R$ değerini verecektir. Bu değerler kullanılarak adsorpsiyon gibbs serbest enerjisi, adsorpsiyon entropisi ve adsorpsiyon serbest entalpisi bulunabilir [9].

2.4. Tek Kademeli Kesikli Adsorpsiyon Sistem Dizaynı

Tek kademeli kesikli adsorpsiyon sistem dizaynı için adsorpsiyon izotermi verileri kullanılabilir.

Çözelti hacmi V (L) ve adsorbatın başlangıç konsantrasyonu C_0 ise adsorpsiyon işlemi ile konsantrasyon C_0 'dan C_e 'ye azalacaktır. m g adsorban çözeltiye ilave edildiğinde, adsorplanmış miktar ise $q_0=0$ dan q_e ye değişecektir. Sıvı çözeltilerden uzaklaştırılan adsorbatın miktarı, katı tarafından adsorplanmış olan adsorbatın miktarına eşit olacaktır. Kütle denkliği;

$$V(C_0 - C_e) = m(q_e - q_0) = mq_e \quad (2.10)$$

eşitliği halinde yazılabilir. Burada;

V : Çözelti hacmi (L)

m : Adsorban miktarı (g)

q_0 : Başlangıçta adsorban üzerindeki adsorbat miktarı (mg/g)

q_e : Denge anında adsorban üzerindeki adsorbat miktarı (mg/g)'dir.

2.12 eşitliği aşağıdaki gibi düzenlenirse

$$\frac{m}{V} = \frac{(C_0 - C_e)}{q_e} \quad (2.11)$$

elde edilir.

Langmuir izoterminde q_e değeri aşağıdaki denklem ile verilmektedir.

$$q_e = \frac{q_{\max} \cdot K \cdot C_e}{C_e K + q_{\max}} \quad (2.12)$$

Diğer taraftan Freundlich izoterminde ise q_e değeri 2.2 eşitliği ile verilmektedir.

Eğer incelenen adsorpsiyon sistemi Langmuir izotermine uymakta ise Langmuir izoterminden q_e değeri çekilerek 2.13 eşitliğinde yerine yazılırsa

$$\frac{m}{V} = \frac{(C_0 - C_e)}{q_e} = \frac{(C_0 - C_e)}{\left(\frac{q_{\max} K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e}\right)} \quad (2.13)$$

eşitliği elde edilir.

Eğer adsorpsiyon için Freundlich izotermi geçerliyse

$$\frac{m}{V} = \frac{(C_0 - C_e)}{q_e} = \frac{(C_0 - C_e)}{K_F C_e^{1/n}} \quad (2.14)$$

eşitliği elde edilir.

İncelenen adsorpsiyon için hangi izoterme uyduğuna bağlı olarak 2.13 veya 2.14 eşitlikleri kullanılarak, başlangıç konsantrasyonu bilinen ve belirli hacimdeki Cd (II) ya da Co (II) çözeltilisinden bu ağır metal iyonlarını adsorpsiyonla gidererek bu iyonların konsantrasyonunu istenen düzeye indirmek için gereken adsorban miktarı tespit edilebilir [19,20].

2.5. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) Adsorpsiyonu Konusunda Yapılmış Olan Çalışmalar

Anber ve arkadaşları zeytin kabuğunu adsorban olarak kullanmışlar ve Cd (II) iyonunun adsorpsiyonunu incelemişlerdir. pH 6 da seçici adsorpsiyon gerçekleştiği belirlenmiştir. Çalışmalar 28°C, 35°C, ve 45°C de yürütülmüştür. % 66 oranında uzaklaştırma verimi elde edilmiştir. Denge verileri Langmuir ve Freundlich izotermine uygulanmış ve izoterm sabitleri belirlenmiştir. Sıcaklık 28°C'den 45°C'ye yükselirken q_{max} değerlerinin 65,4 (mg/g)'ten 44,4 (mg/g)'a Freundlich sabitleri (K_F) ise 19,9'dan 15,7'ye düştüğü görülmüştür. Termodinamik parametrelerin belirlenmesinde Langmuir izotermi verileri kullanılmıştır. Gibbs serbest enerjisi (ΔG) ve serbest entalpi değişimi (ΔH) belirlenmiş ve adsorpsiyon olayının ekzotermik olduğu belirlenmiştir. Dinamik veriler yalancı I. mertebe modeli ve yalancı II. mertebe modeline uygulanmış ve II. Mertebeden yalancı modele uyduğu belirlenmiş ve regrasyon sabiti 0,99 olarak hesaplanmıştır [4].

Xin ve arkadaşları nitrik asit ile aktive edilmiş granüller aktif karbon kullanmışlardır. pH, iyonik şiddet, karıştırma süresi gibi adsorpsiyonu etkileyen parametreler belirlenmiştir. pH ve iyonik şiddet arttıkça Cd (II) adsorpsiyonun arttığını belirlemişlerdir. Adsorpsiyon prosesi yalancı 1. mertebe modeline uymaktadır. Denge verileri Langmuir izotermine uygulandığında adsorpsiyon kapasitesi 51,02 $\mu\text{mol/g}$ bulunmuştur. Van't Hoff eşitliği kullanılarak belirlenmiştir. $\Delta H = -25,29$ kJ/mol olduğu belirlenmiş ve buna bağlı olarak adsorpsiyon prosesinin ekzotermik olduğu görülmüştür. Langmuir ve Freundlich sabitleri belirlenmiştir [21].

Mohan ve arkadaşları tarımsal bir atık olan şeker pancarı küspesinden aktif karbon elde ederek Cd (II) adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Sıcaklık arttıkça adsorban üzerine tutunan Cd (II) iyonlarının sayısının arttığını belirlemişlerdir. pH= 6 da maksimum tutunma olduğu görülmüştür. Çalışmada karıştırma süresi, başlangıç konsantrasyonu, tanecik boyutu gibi adsorpsiyonu etkileyen parametrelerin optimum değerleri belirlenmiştir. Deneysel veriler Langmuir ve Freundlich izotermine uygulanarak izoterm sabitleri belirlenmiştir. Langmuir sabitleri kullanılarak

termodinamik sabitler belirlenmiştir. $\Delta H=9,08$ kJ/mol $\Delta S= 0,047$ kJ/mol.K olduğu belirlenmiştir [22].

Tajar ve arkadaşları çalışmalarında ticari aktif karbon, ceviz kabuğundan yapılmış aktif karbon ve bunların sülfürik asitle aktive edilmesiyle elde edilmiş aktif karbonlar kullanılmıştır. pH, karıştırma süresi, başlangıç konsantrasyonu gibi adsorpsiyonu etkileyen parametreler belirlenmiştir. Sülfürik asitle muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon ile pH=8 de % 92,4 oranında Cd (II) iyonlarının uzaklaştırıldığı görülmüştür. Ticari aktif karbon, ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif karbon ve bunların sülfürik asitle muamele edilerek elde edilmiş aktif karbonların maksimum adsorpsiyon kapasiteleri kıyaslanmıştır. En yüksek kapasite 142,86 mg/g olarak ceviz kabuğunun sülfürik asitle muamele edilmesiyle elde edilen aktif karbona ait olduğu belirlenmiştir [23].

Semerjian bıçkı tozunu adsorban olarak kullanarak sulu çözeltilerden Cd (II) adsorpsiyonunu incelemiştir. Kesikli yöntem ile yapılan çalışmalarda karıştırma süresi, metal konsantrasyonu gibi parametreler incelenmiştir. pH= 9 da maksimum adsorpsiyon olduğu gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon sürecinin dengeye gelmesi için geçen zamanın 10-20 dakika arasında olduğu belirlenmiştir. Adsorban dozu 10 mg/L alındığında 30 dakikada 5 mg/L Cd (II) iyonu uzaklaştırdığı görülmüştür. Cd (II) konsantrasyonu arttırıldığında tüm karıştırma sürelerinde adsorpsiyon %87'den %100'e ve adsorpsiyon kapasitesi de 0,11 mg/g'dan 5,36 mg/g' a çıkmıştır. Freundlich izotermi için regresyon katsayısı 0,960 olduğu belirlenmiştir. Cd (II) adsorpsiyon prosesinin yalancı 2. mertebe modeline uymaktadır [24].

Alemayehu ve arkadaşları iki ayrı volkanik kaya ile Cd (II) adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Adsorpsiyon denemelerinde ponza madeni ve maden cürufu kullanılmıştır. Tanecik boyutu, adsorban/adsorbat oranı karıştırma süresi, Cd (II) başlangıç konsantrasyonu gibi adsorpsiyonu etkileyen parametreler belirlenmiştir. pH arttıkça iyonik şiddetin de etkisiyle adsorpsiyonun arttığı gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon için en uygun şartlar; pH=6 da karıştırma süresi 24 saat ve adsorban dozu 50 g/L olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon prosesi yalancı 2. mertebeye

uymaktadır. Denge verilerine göre ponza madeninin adsorpsiyon kapasitesi daha büyüktür. Denge verileri Langmuir ve Freundlich izotermlerine uygulanmıştır [25].

Agrawal ve arkadaşları manganez tortusu kullanarak Cd (II) adsorpsiyonu incelenmiştir. Adsorpsiyonu etkileyen pH, karıştırma süresi, metal konsantrasyonu, sıcaklık gibi parametreler incelenmiştir. Metal çözeltisinin konsantrasyonu arttıkça adsorplanan miktarın arttığı görülmüştür. 200 mg/L ye kadar değişen konsantrasyondaki metal çözeltilerin adsorpsiyonu incelenerek denge verileri kullanılarak Langmuir ve Freundlich izotermlerine uygulandığında doğrusal bir grafik elde edilmiştir. Deneysel verilere göre yalancı 2. mertebe modeline uyduğu belirlenmiştir. Van't Hoff eşitliği kullanılarak $\Delta H=66,34$ kJ/mol $\Delta S=786,18$ J/mol.K olarak belirlenmiş ve adsorpsiyon prosesinin endotermik olduğu görülmüştür [26].

Kara ve arkadaşları sepiyolit üzerine Co (II) adsorpsiyonunu incelemiştir. Adsorpsiyon için optimum pH=2,8 olduğunu belirlemiştir. Sepiyolit üzerine Co (II) adsorpsiyonu süreci iyon değişimi prensibine göre yürüdüğü belirlenmiştir. Adsorban üzerindeki Mg (II) iyonları ile Co (II) iyonlarının yer değiştirdiği belirlenmiştir [27].

Marlohar ve arkadaşları alüminyum içeren bentonit üzerine Co (II) adsorpsiyonunu incelemiştir. Adsorpsiyon sürecine etki eden karıştırma süresi, pH, iyonik şiddet, başlangıç konsantrasyonu, adsorban dozu ve sıcaklık gibi parametreler belirlenmiştir. Adsorpsiyonun en etkili olduğu pH 4-6 arasında olduğu belirlenmiştir. pH=6 ve başlangıç konsantrasyonları 10 mg/L ve 25 mg/L alındığında maksimum adsorpsiyonun sırasıyla % 99,8 ve % 87,0 olduğu görülmüştür. Kinetik çalışmalar için dengeye gelme süresi 24 saat alınmıştır. Denge verileri parçacık dağılım modeline, kütle transfer modeline uygulanmıştır. Deneysel verilerin kütle transfer modeline uyum sağladığı görülmüştür. Langmuir, Freundlich ve Scatchard denklemlerine ait sabitler kullanılarak termodinamik sabitler belirlenmiştir [28].

Krishnan ve arkadaşları sülfürize edilmiş aktif karbon üzerine Co (II) iyonlarının adsorpsiyonunu incelemiştir. Deneysel kesikli yöntem kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneylerinde optimum pH, karıştırma süresi, başlangıç konsantrasyonu, iyonik

şiddet, sıcaklık, ve adsorban dozu belirlenmiştir. Maksimum adsorpsiyonun pH 4,5-8,5 aralığında olduğu görülmüştür. Başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L ve 100 mg/L alındığında ve pH=6 olduğunda adsorpsiyon kapasitesi % 90,3 ve % 81,0 olduğu görülmüştür. Başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklık etkisi deneylerinden elde edilen verilerden faydalanarak Langmuir ve Freundlich izotermi çizilmiştir. Adsorpsiyon sürecinin Langmuir izotermi ile uyum sağladığı görülmüştür [29].

Coşkun ve arkadaşları metakrilik asit-metakrilamid monomerleriyle karıştırılmış polietiltereftalat fiber ile Co (II) adsorpsiyonunu incelemiştir. Desorpsiyona etki eden pH, karıştırma süresi, başlangıç konsantrasyonu, sıcaklık gibi parametreleri incelenmişlerdir. Karıştırma süresi ve başlangıç konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyonun arttığı görülmüştür. Co (II) adsorpsiyon sürecinin Langmuir izotermi ile uyumlu olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon kapasitesi 27,11 mg/g olarak bulunmuştur [30].

2.6. Çalışmanın Amacı

Fındık zurufu genellikle yakılarak yok edilen ve ekonomik değeri olmayan bir bitki atığıdır. Bu çalışmada fındık zurufu aktif karbon haline getirilerek ağır metallerin adsorpsiyonla uzaklaştırılması için kullanımı amaçlandı.

Cd (II) ve Co (II) iyonlarının sulu çözeltilerden adsorpsiyonu incelendi, adsorpsiyona etki eden karıştırma süresi, pH, başlangıç konsantrasyonu sıcaklık etkisi, adsorban dozu gibi parametreler için optimum koşullar belirlendi. Sıcaklık ve konsantrasyon etkisi deneysel verilerinden faydalanarak Langmuir ve Freundlich izotermi çizildi. Ayrıca Cd (II) ve Co (II) iyonlarının adsorpsiyon kinetiği ve termodinamiği hesaplandı. Son olarak da tek kademeli kesikli adsorpsiyon sistemi dizayn edildi.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışmada Kullanılan Cihazlar

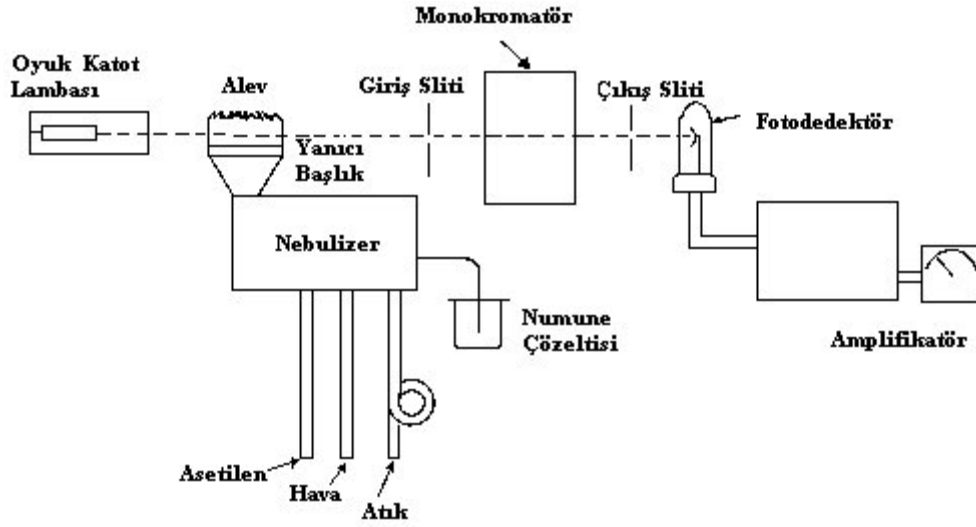
3.1.1. Atomik absorpsiyon spektrometresi

Deneysel çalışmalarda metal iyonlarının konsantrasyonlarının belirlenmesi için Şekil 3.1'de gösterilen, Shimadzu AA-6701 F model alevli absorpsiyon spektrometresi kullanıldı.

AAS ile analizden önce standart çözeltiler ile ölçüm alınarak kalibrasyon eğrisi çizildi. Cihazın Co ve Cd elementleri için çalışma şartları Tablo 3.1 de verildi.

Tablo 3.1. AAS'nin Cd (II) ve Co (II) iyonları için çalışma koşulları

Çalışma Şartları	Tayin Edilen Element	
	Co	Cd
Lamba Akımı (mA)	4	4
Yakıt	Asetilen	Asetilen
Destek	Hava	Hava
Alev Stokiyometrisi	Oksidasyon	Oksidasyon
Dalga Boyu (nm)	240,7	228,8
Yarık Genişliği (nm)	0,5	0,5
Optimum Çalışma Aralığı (mg/mL)	0,5-5	0,02-3



Şekil 3.1. Alevli AAS cihazı

3.1.2. pH metre

Çalışmanın tüm aşamalarındaki pH ölçümlerinde SCHOTT marka CG 840 model pH metre cihazı kullanıldı.

3.1.3. Sallayıcı su banyosu

Çalışmanın tüm aşamalarında Nüve ST 402 model sallayıcı su banyosu kullanıldı.

3.1.4. Hassas terazi

Çalışmanın tüm aşamalarında Libror AEG-200 model hassas terazi kullanıldı.

3.1.5. Fırın

Thermolyne marka 48000 model dijital göstergeli bir fırındır.

3.1.6. Etüv

Nüve marka FN 500 model etüv kullanıldı.

3.1.7. İnfrared spektrometresi

Sülfürik asitle aktifleştirilmiş fındık zurufunun FT-IR ölçümleri Shimadzu marka fourier transform infrared (FT-IR) cihazı ile alındı.

3.2. Kullanılan Materyaller

3.2.1. Sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufu

Çalışmalarda adsorban olarak fındık zurufu kullanılmıştır. Sakarya ilinden temin edilen fındık zurufu aşağıdaki şekilde aktifleştirildi.

%98 saflıkta 21 g sülfürik asit ve 21 g 53 µm-106 µm tanecik boyutunda fındık zurufu birlikte hızlıca ve iyice karıştırıldıktan sonra 24 saat desikatörde bekletildi. 24 saat sonunda yıkama sularının pH'sı 6 olana kadar destile su ile yıkandı. Daha sonra % 1,0'lik sodyum bikarbonat çözeltisinde 24 saat bekletilerek sülfürik asitin kalıntısı giderildi ve tekrar destile su ile pH 6 olana kadar yıkandı. Sülfürik asit ile aktifleştirilmiş fındık zurufu için 24 saat 105 °C etüvde kurutuldu.

3.2.2. Sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufunun karakterizasyonu

Sülfürik asitle aktifleştirilmiş fındık zurufunun karakterizasyonu nem tayini, kül içeriği, BET yüzey alanı, IR spektrumları ve elementel analiz ile yapıldı. Karbon, hidrojen, kükürt ve azot elementel analizleri LECO marka CHNS-932 model cihaz ile Atatürk Üniv. Fen Fak. Kimya Bölümünde yapıldı. BET yüzey alanı Quantachrome NOVA® 2200e cihazı kullanılarak Balıkesir Üniv. Fen-Ed. Fak. Kimya Bölümünde yapıldı.

3.2.3. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının stok çözeltileri

Kadmiyum (II) stok çözeltisi $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 'dan kadmiyum iyonu derişimi 1000 mg/L olacak şekilde 1000 mL hacimde hazırlandı. Çalışma çözeltileri ve standart çözeltiler stok çözeltiden hazırlandı.

Kobalt(II) stok çözeltisi $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'dan kobalt iyonu derişimi 1000 mg/L olacak şekilde 1000 mL hacimde hazırlandı. Çalışma çözeltileri ve standart çözeltiler stok çözeltiden hazırlandı.

3.3. Deneysel Çalışma Yöntemi

Sülfürik asit ile aktifleştirilmiş fındık zurufunun FT-IR spektrumu, BET yüzey alanı, elementel analiz sonuçları, kül içeriği ve nem miktarı belirlendi.

Kesikli yöntem ile yapılan çalışmada adsorpsiyona etki eden pH değişim etkisi, karıştırma süresi etkisi, doz etkisi, sıcaklık etkisi, konsantrasyon etkisi ve alkali metal etkisi gibi faktörler incelenirken metal iyonlarına ait çözeltiler, stok çözeltilerin seyreltilmesi ile hazırlandı.

Kesikli yöntemle yapılan adsorpsiyon çalışmaları için 50 mL hacminde ve değişik pH ve konsantrasyondaki Cd (II) veya Co (II) çözeltileri ile 50 mg adsorban bir erlen içine konularak 60 dak. süreyle sallayıcı su banyosunda değişik sıcaklıklarda karıştırıldı. Daha sonra süzgeç kağıdından süzölen çözeltilerdeki Cd (II) veya Co (II) konsantrasyonları alevli AAS ile ölçöldü. pH etkisi incelenirken çözelti pH sını 1 ile 4 aralığına ayarlamak için seyreltik HCl çözeltisi, 5 ve 5,5'a ayarlamak için ise 5,0 mL 0,1 M NaCH_3COO ve gereği kadar seyreltik HCl kullanıldı. pH etkisi dışındaki tüm deneyler pH 5,5'ta, karıştırma süresinin dışındaki tüm deneyler 60 dak.'da, aktif karbon miktarının etkisi dışındaki tüm deneyler için 50 mg aktif karbon, sıcaklık etkisi dışındaki tüm deneyler için sıcaklık 25°C alınarak çalışıldı. Alkali metal iyonlarının etkisi incelenirken metal iyonu çözeltilerin orijinal pH'larında adsorpsiyon deneyleri yapıldı.

Konsantrasyon ve sıcaklık etkisi birlikte incelenerek bu deneylerden elde edilen veriler kullanılarak Freundlich ve Langmuir izotermleri çizildi. Cd (II) ve Co (II) iyonlarının adsorpsiyonu için termodinamik nicelikler olan ΔH , ΔG ve ΔS değerleri hesaplandı.

Ayrıca Cd (II) ve Co (II) iyonlarının adsorpsiyon kinetiği, karıştırma süresi ile ilgili deneysel veriler yalancı 1. mertebe modeli ve yalancı 2. mertebe modeline uygulanarak incelendi.

3.3.1. Standart Cd (II) ve Co (II) iyonları çözeltileri

Standart Cd (II) çözeltileri 0,5, 1, 1,5, 2 ve 2,5 mg/L olacak şekilde stok çözeltiden hazırlandı. AAS ile ölçümleri alınarak kalibrasyon eğrisi çizildi.

Standart Co (II) çözeltileri 1, 2, 3, 4 ve 5 mg/L olacak şekilde stok çözeltiden hazırlandı. AAS ile ölçümleri alınarak kalibrasyon eğrisi çizildi.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

4.1. Sülfürik Asitle Muamele Edilmiş Fındık Zurufunun Karakterizasyonu

Sülfürik asit ile muamele edilmiş fındık zurufu önceden 150°C'ye ısıtılmış etüvde 3 saat bekletilerek sabit tartıma getirildi. Desikatörde soğuması sağlanarak tartıldı. Gerekli hesaplamalar yapılarak nem içeriği % 11,3 olarak belirlendi.

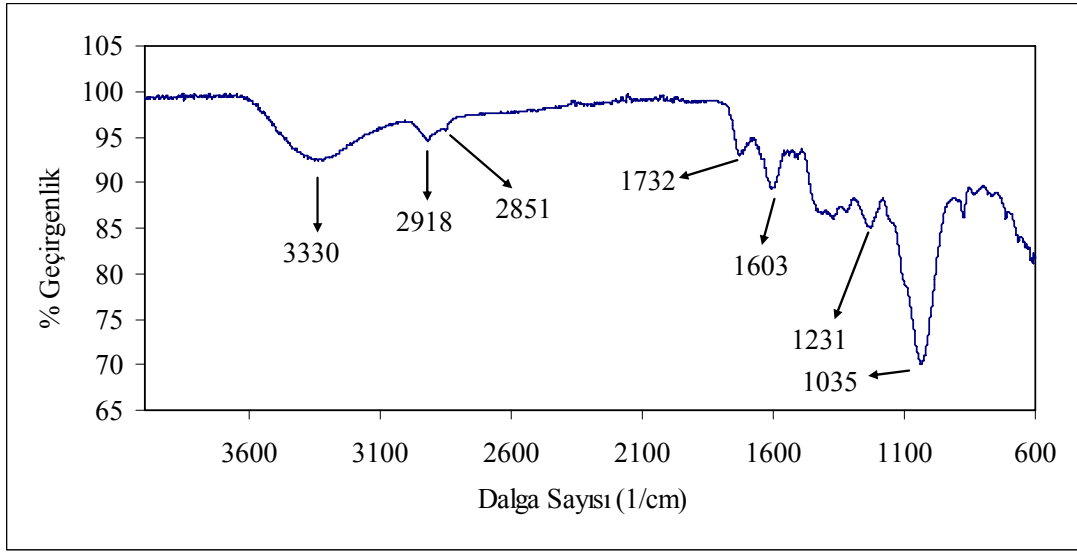
Sülfürik asit ile muamele edilmiş fındık zurufunun elementel analiz sonuçları % 60,07 C, % 3,61 H, % 0,85 N ve % 1,39 S olarak bulundu.

Diğer taraftan, hazırlanan adsorbanın BET yüzey alanı 35,7 m²/g olarak bulundu.

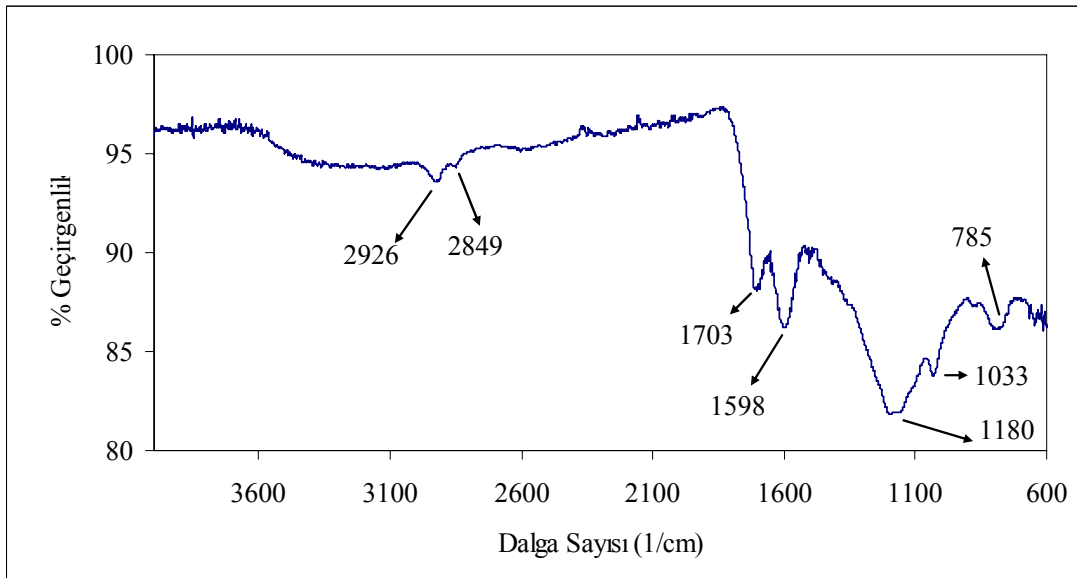
Sülfürik asitle muamele edilen fındık zurufu yeterli kuruluğa getirildikten sonra önceden 650°C de sabit tartıma getirilmiş krozede 650°C de 3 saat yakıldı. Desikatörde soğuması sağlanarak tartıldı. Gerekli hesaplamalar yapılarak kül içeriği % 1,30 olarak bulundu.

Fındık zurufu ve sülfürik asit ile muamele edilmiş fındık zurufunun IR spektrumları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterildi.

Fındık zurufunun IR spektrumu incelendiğinde 1603 cm⁻¹ dalga sayısındaki pik C=C [31] ve 1035 cm⁻¹ dalga sayısındaki pik eterik C-O [32] gurubu olarak yorumlandı. 3330 cm⁻¹ dalga sayısında görülen yayvan pik yapıda hidrojen bağı yapmış OH grubu, 1732 cm⁻¹ deki pik hidrosil grubunun yaptığı hidrojen bağı olarak yorumlandı [33]. 2918 ile 2851 cm⁻¹ dalga sayısındaki pikler C-H grubu varlığını göstermektedir [34,35].



Şekil 4.1. Fındık zurufunun IR spektrumu



Şekil 4.2. Sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufunun IR spektrumu

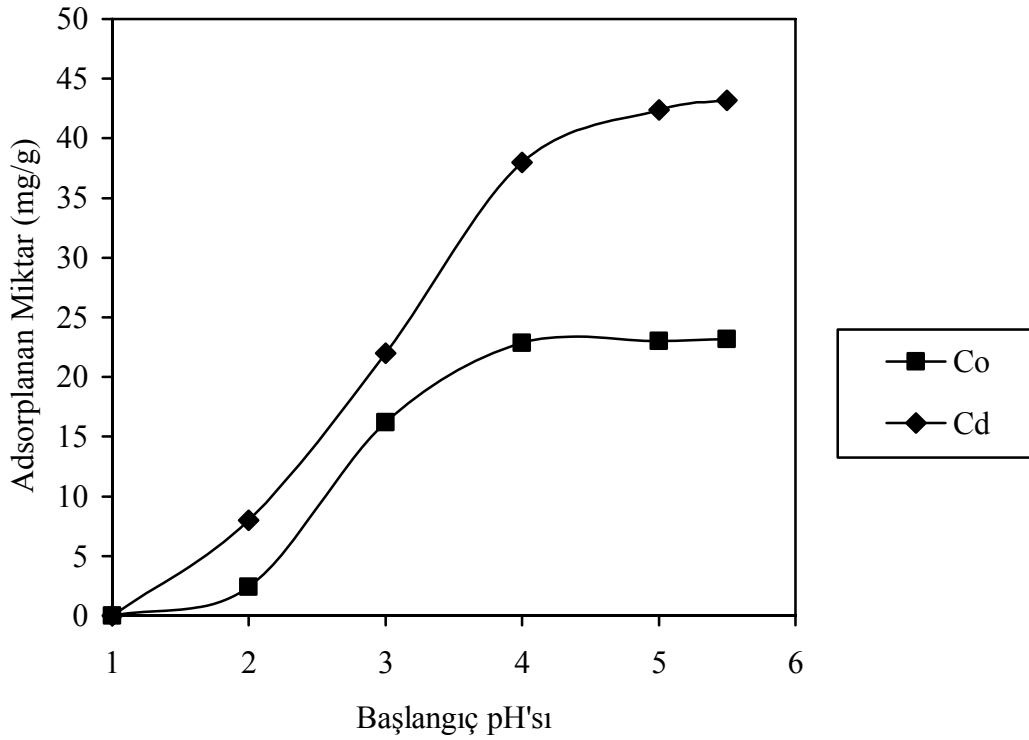
Sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufunun IR spektrumu incelendiğinde 2926 ile 2849 cm^{-1} 'de C-H pikleri ve 1598 cm^{-1} de C=C pikleri görülmektedir. 1703 cm^{-1} deki pikler yükseltgenerek oluşan asitlere ait karbonil grubu (C=O) titreşimleridir [36]. Yine 1180 cm^{-1} 'de yayvan pik COO^- grubuna ait C-O piki olarak yorumlandı [32]. Ayrıca, 3600-2200 cm^{-1} arasındaki piklerde görülen deformasyon yapının aside yükselttiği şeklinde yorumlanabilir.

4.2. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları Adsorpsiyonuna pH Değişiminin Etkisi

Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorpsiyonuna pH etkisini incelemek üzere pH'sı 1, 2, 3, 4, 5 ve 5,5 olan 50 mg/L konsantrasyonda ve 50 mL hacimde ayrı ayrı Cd (II) ve Co (II) iyonu çözeltileri hazırlandı. pH'sı 1, 2, 3 ve 4 olan çözeltilerin pH'sını ayarlamak için 0,1 M HCl kullanıldı. pH'sı 5 ve 5,5 olan çözeltilerin pH'sını ayarlamak için ise 5 mL hacminde 0,1 M sodyum asetat tampon çözeltisi metal iyonu içeren çözeltiliye ilave edildikten sonra gerekirse seyreltik HCl çözeltisi kullanılarak pH ayarlandıktan sonra hacim 50 mL'ye tamamlandı. 0,05 g SAMFZ ile bilinen pH'da 50 mL hacimdeki çözelti bir erlenin içine koyularak 298 K sıcaklıkta 60 dak. süreyle karıştırıldı. Deney sonunda aktif karbon süzgeç kağıdından süzülerek ayrıldı ve elde edilen süzüntüdeki Cd (II) ve Co (II) konsantrasyonları AAS ile belirlendi. Deney sonuçları Tablo 4.1 de verildi. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının pH ile değişimi Şekil 4.3 de gösterildi.

Tablo 4.1. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna pH değişim etkisi

pH	Kadmiyum		Kobalt	
	Denge Konsantrasyonu (mg/L)	Adsorplanan Miktar (mg/g)	Denge Konsantrasyonu (mg/L)	Adsorplanan Miktar (mg/g)
1	50,00	0,00	50,00	0,00
2	42,00	8,00	47,57	2,43
3	28,00	22,00	33,80	16,20
4	12,00	38,00	27,13	22,87
5	7,60	42,40	26,97	23,03
5,5	6,84	43,16	26,82	23,18



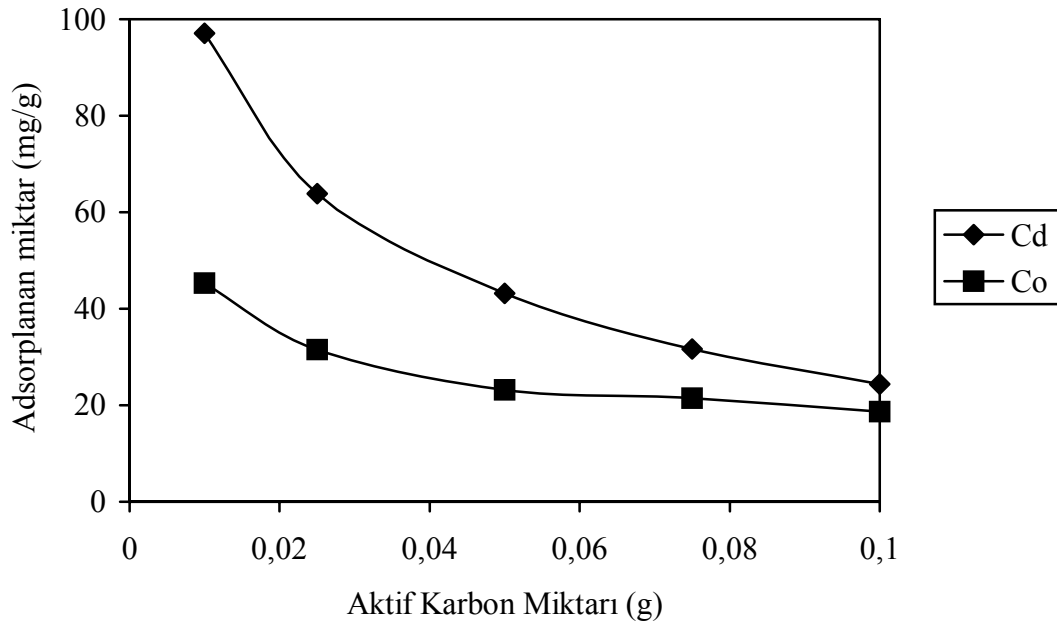
Şekil 4.3. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının pH ile değişimi

4.3. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonlarının Adsorpsiyonuna Doz Değişiminin Etkisi

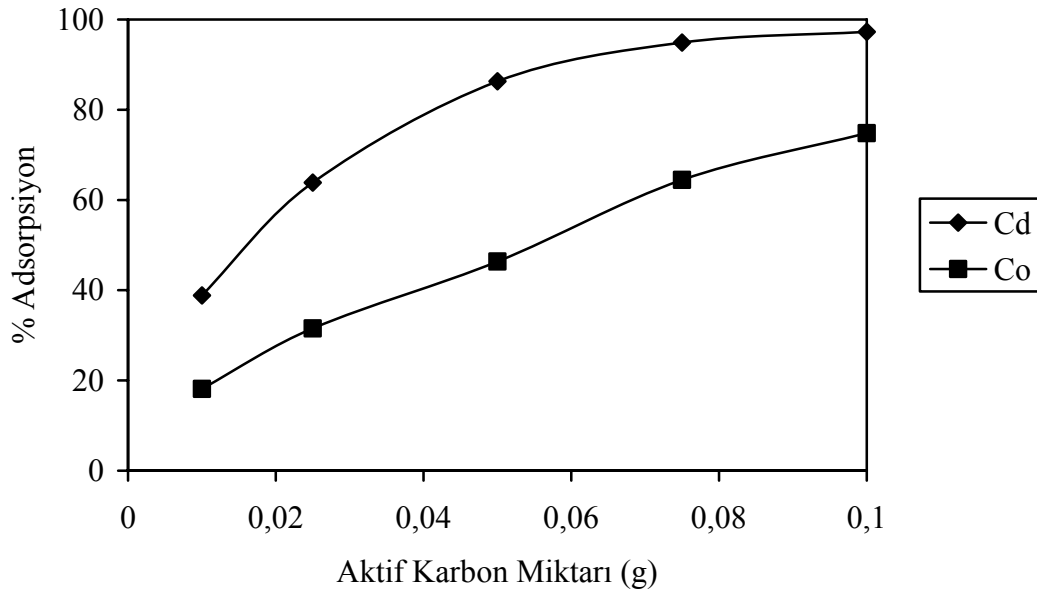
Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorpsiyonuna doz değişiminin etkisini incelemek üzere pH'sı 5,5' ayarlanmış 50 mg/L derişimde ve 50 mL hacimde çözeltiler hazırlandı. Bu çözeltilere 0,01, 0,025, 0,050, 0,075 ve 0,100 g sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufundan koyuldu ve 60 dakika 298 K de karıştırıldı. Deney sonunda elde edilen süzöntüdeki Cd (II) ve Co (II) konsantrasyonları AAS ile analiz edildi. Sonuçlar Tablo 4.2 de verildi. Doz miktarı ile adsorplanan miktarın değişimi Şekil 4.4 de gösterildi. Doz miktarı ile % adsorpsiyon değişimi Şekil 4.5 de gösterildi.

Tablo 4.2. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna doz değişimi etkisi

Doz (g)	Kadmiyum			Kobalt		
	Denge Konsant. (mg/L)	Ads. Miktar (mg/g)	% Adsorpsiyon	Denge Konsant. (mg/L)	Ads. Miktar (mg/g)	% Adsorpsiyon
0,100	1,36	24,32	97,28	12,60	18,7	74,8
0,075	2,55	31,63	94,90	17,78	21,48	64,44
0,050	6,84	43,16	86,32	26,82	23,18	46,36
0,025	18,08	63,84	63,84	34,24	31,52	31,52
0,010	30,58	97,1	38,84	40,93	45,35	18,14



Şekil 4.4. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının aktif karbon miktarı ile değişimi



Şekil 4.5. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının % adsorpsiyonunun aktif karbon miktarı ile değişimi

4.4. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları Adsorpsiyonuna Karıştırma Süresinin Etkisi

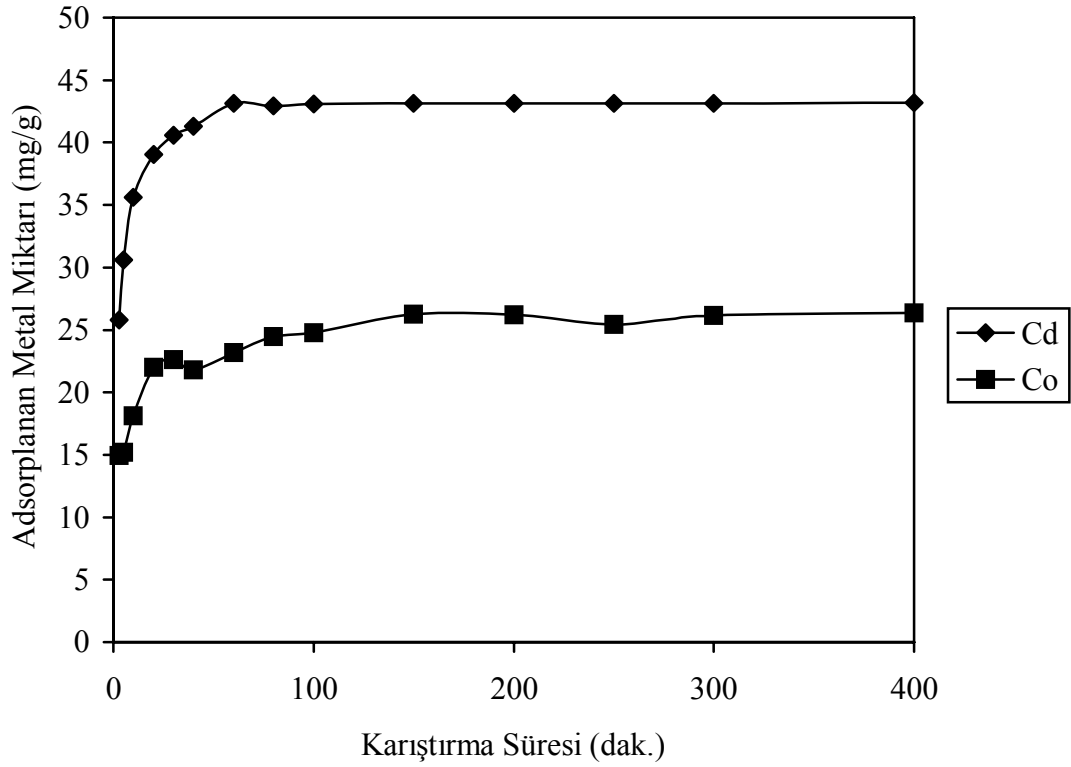
Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorpsiyonuna karıştırma süresinin etkisini incelemek için pH'sı 5,5 olan 50 mg/L ve 50 mL hacimde çözeltiler hazırlandı. Bu çözeltiler değişik karıştırma sürelerinde 0,05 g SAMFZ eklendi ve 298 K de karıştırıldı. Sonuçlar Tablo 4.3'de ve adsorplanan miktarın karıştırma süresi ile değişimi Şekil 4.6 da gösterildi.

4.5. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) iyonlarının Adsorban Üzerine Tekrar Yükleme Etkisi

Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna rejenere etmeden tekrar yükleme etkisi incelemek üzere pH'sı 5,5 olan 50 mg/L ve 50 mL hacimde kadmiyum (II) iyonu çözeltileri hazırlandı. Bu çözeltilere 0,05 g SAMFZ eklenerek 60 dakika 298 K de karıştırıldı. Deney sonucunda örnekler AAS ile analiz edildi.

Tablo 4.3. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna karıştırma süresinin etkisi

Karıştırma Süresi (dak.)	Kadmiyum		Kobalt	
	Denge Konsantrasyonu (mg/L)	Adsorplanan Miktar (mg/g)	Denge Konsantrasyonu (mg/L)	Adsorplanan Miktar (mg/g)
3	24,20	25,80	35,05	14,95
5	19,40	30,60	34,80	15,20
10	14,38	35,62	31,86	18,14
20	10,95	39,05	27,99	22,01
30	9,43	40,57	27,40	22,60
40	8,72	41,28	28,20	21,80
60	6,84	43,16	26,82	23,18
80	7,05	42,95	25,52	24,48
100	6,90	43,10	25,23	24,77
150	6,88	43,12	23,74	26,26
200	6,85	43,15	23,82	26,18
250	6,88	43,12	24,54	25,46
300	6,85	43,15	23,87	26,13
400	6,83	43,17	23,64	26,36

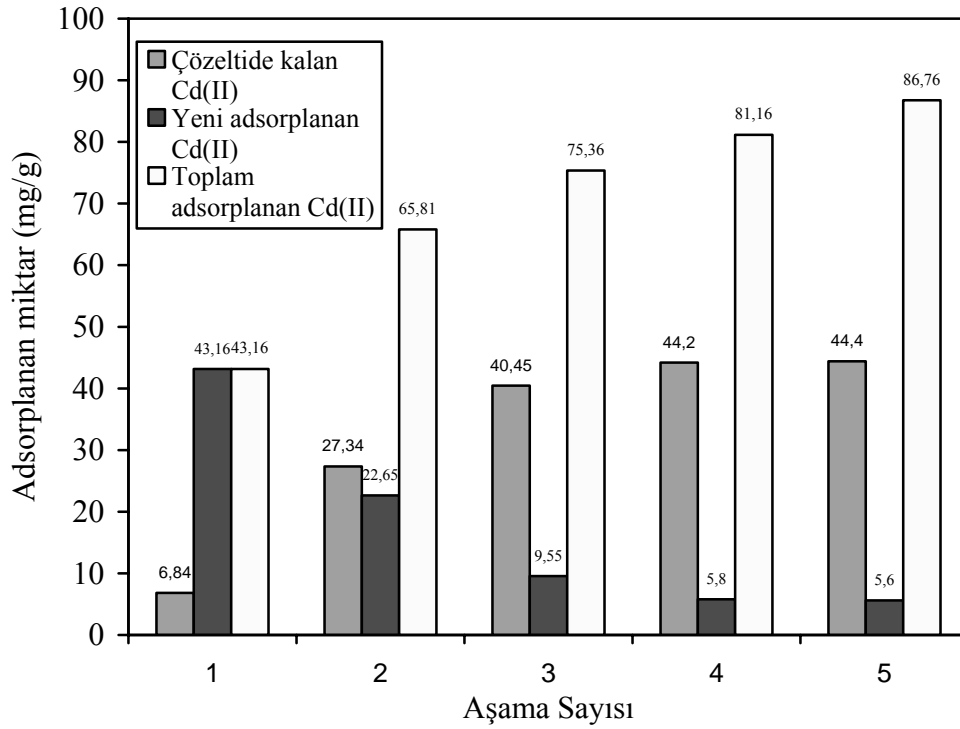


Şekil 4.6. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının karıştırma süresi ile değişimi

Deney sonunda adsorban olarak kullanılan SAMFZ tekrar kullanılmak üzere 60°C etüvde kurutuldu ve tekrar pH'sı 5,5 olan 50 mg/L 50 mL hacimde taze kadmiyum (II) ve kobalt (II) çözeltisi ile 60 dakika 298 K de karıştırıldı. Bu işlemler beş kere aynı adsorban kullanılarak tekrar edildi. Deney sonunda elde edilen süzüntüdeki Cd (II) ve Co (II) konsantrasyonları AAS ile analiz edildi. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları için sonuçlar, sırasıyla Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 de verildi. Tekrar yükleme ile kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının değişimi sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 de gösterildi.

Tablo 4.4. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna tekrar yükleme etkisi

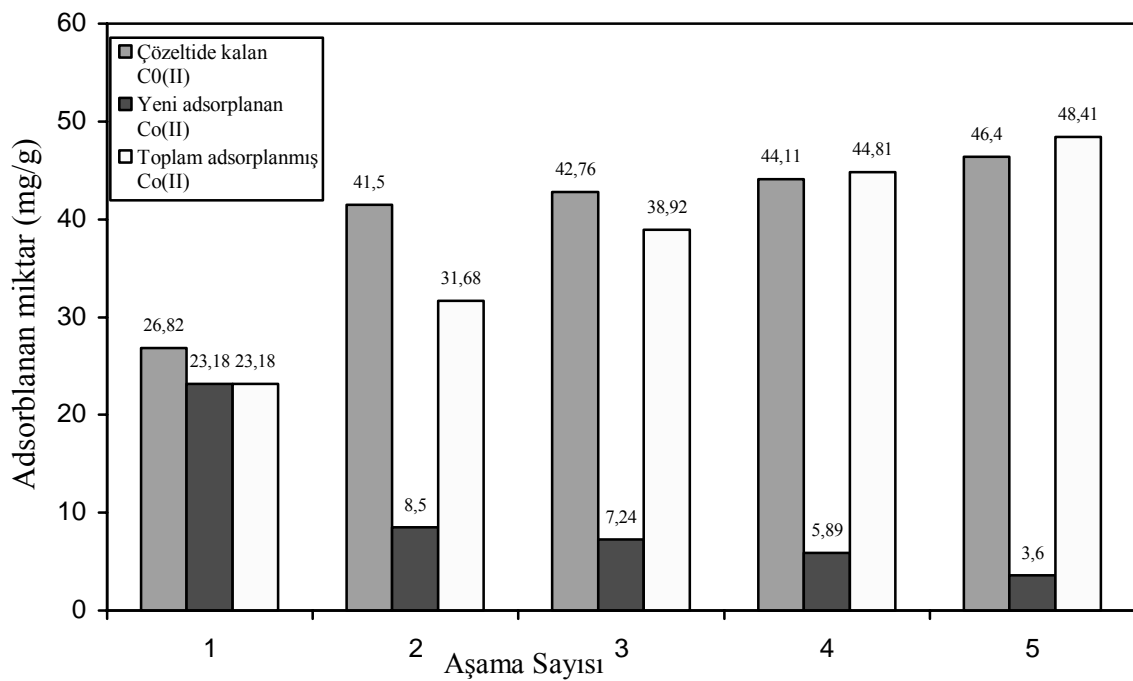
Aşama Sayısı	Denge Konsantrasyonu (mg/L)	Adsorplanan Miktar (mg/g)	Yeni adsorplanan Cd (II) miktarı (mg)	Toplam adsorplanan Cd (II) miktarı (mg)
1	6,84	43,16	43,16	43,16
2	27,34	22,65	22,65	65,81
3	40,45	9,55	9,55	75,36
4	44,20	5,80	5,80	81,16
5	44,40	5,60	5,60	86,76



Şekil 4.7. Tekrar yükleme ile kadmiyum (II) iyonunun adsorplanan miktarının değişimi

Tablo 4.5. Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna tekrar yükleme etkisi

Aşama Sayısı	Denge Konsantrasyonu (mg/L)	Adsorplanan Miktar (mg/g)	Yeni adsorplanan Cd (II) miktarı (mg)	Toplam adsorplanan Cd (II) miktarı (mg)
1	26,82	23,18	23,18	23,18
2	41,50	8,50	8,50	31,68
3	42,76	7,24	7,24	38,92
4	44,11	5,89	5,89	44,81
5	46,40	3,6	3,60	48,41



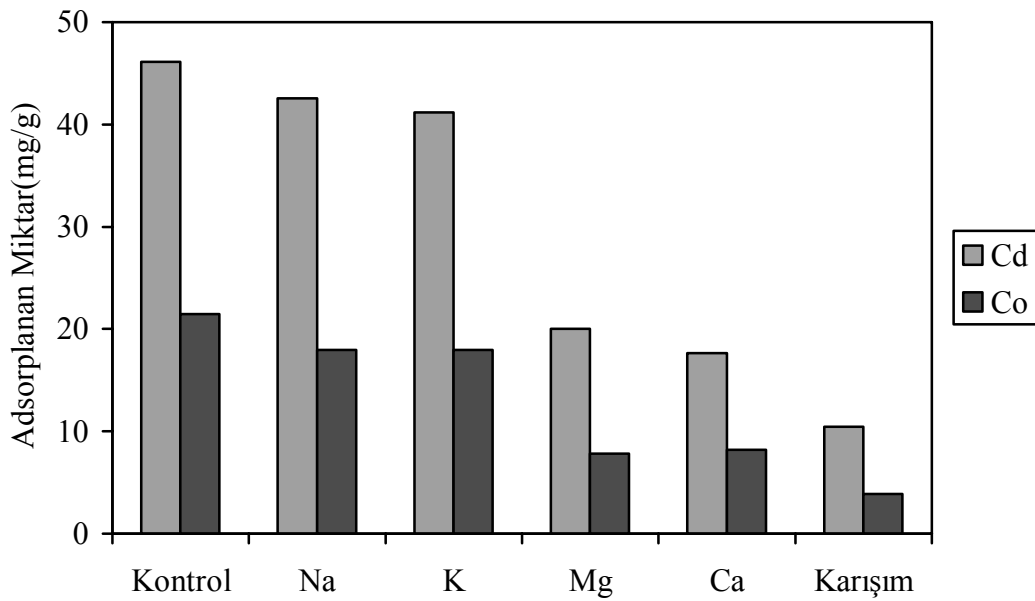
Şekil 4.8. Tekrar yükleme ile kobalt (II) iyonunun adsorplanan miktarının değişimi

4.6. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları Adsorpsiyonuna Alkali Metal Etkisi

Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} alkali metal iyonlarının etkisini incelemek üzere orijinal pH'larında ve 50 mg/L olan çözeltilere içlerinde alkali metal derişimleri 100 mg/L olacak şekilde metal tuzları koyuldu. Ayrıca içinde alkali metal bulunmayan orijinal pH'sında bir çözelti ve çalışılan tüm alkali metalleri 100 mg/L derişimde içeren bir karışım çözeltisi hazırlandı. Bu şekilde hazırlanan örnek çözeltileri 0,05 g SAAFZ ile 60 dakika 298 K de karıştırıldı. Sonuçlar Tablo 4.6 ve alkali metal türü ve konsantrasyonu ile adsorplanan Cd (II) ve Co (II) miktarının değişimi ise Şekil 4.9 da gösterildi.

Tablo 4.6. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna alkali metal etkisi

Alkali Metal Türü	Kadmiyum		Kobalt	
	Denge Konsantrasyonu (mg/L)	Adsorplanan Miktar (mg/g)	Denge Konsantrasyonu (mg/L)	Adsorplanan Miktar (mg/g)
Kontrol	3,88	46,12	28,52	21,48
CaCl_2	32,38	17,62	41,78	8,22
MgCl_2	29,98	20,02	42,20	7,80
KCl	8,83	41,17	32,04	17,96
NaCl	7,42	42,58	32,03	17,97
Karışım	39,53	10,47	46,12	3,88



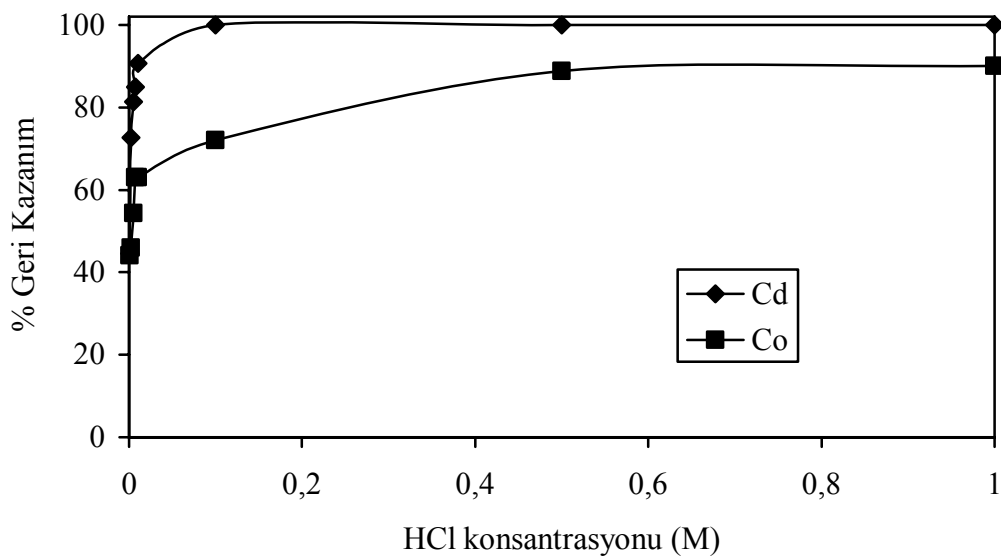
Şekil 4.9. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının alkali metal iyonlarının varlığı ile değişimi

4.7. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonlarının SAMFZ Yüzeyinden Desorpsiyonu

Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının SAMFZ adsorbantı yüzeyinden desorpsiyonunu incelemek üzere pH'sı 5,5 olan 50 mg/L ve 50 mL hacimde çözeltiler hazırlandı ve adsorpsiyon çalışması yapıldı. Deney sonunda elde edilen süzüntüdeki Cd (II) ve Co (II) konsantrasyonları AAS ile analiz edildi. Adsorpsiyon çalışması sırasında kullanılan adsorbant örnekleri 60⁰C etüvde kurutuldu. Bu adsorbant örnekleri sırasıyla 1.10⁻¹ M, 1.10⁻² M, 7,5.10⁻³ M, 5.10⁻³ M, 2,5.10⁻³ M ve 1.10⁻³M derişimlerde 50 mL hacimde HCl çözeltileri içinde 60 dakika 298 K de karıştırıldı. Deney sonunda elde edilen süzüntüdeki Cd (II) ve Co (II) konsantrasyonları AAS ile belirlendi. Hesaplanan sonuçlar Tablo 4.7 de verildi. Asit derişimi ile % desorpsiyonun değişimi Şekil 4.10'da gösterildi.

Tablo 4.7. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının SAMFZ üzerinden desorpsiyonu

Asit derişimi (M)	Kadmiyum (II) % geri kazanımı	Kobalt (II) % geri kazanımı
1,0000	%100,00	%90,00
0,5000	%100,00	%88,86
0,1000	%100,00	%71,96
0,0100	%90,65	%63,09
0,0075	%84,92	%63,05
0,0050	%81,34	%54,34
0,0025	%72,66	%45,94
0,0010	%44,55	%44,15



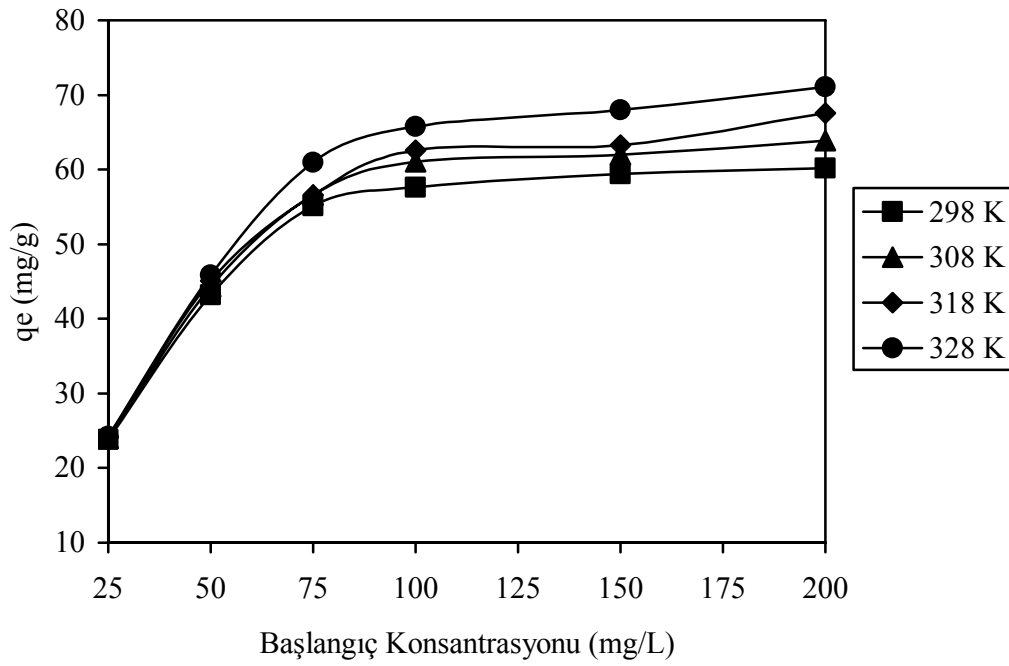
Şekil 4.10. Asit derişimi ile % desorpsiyonun değişimi

4.8. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları Adsorpsiyonuna Başlangıç Konsantrasyonu ve Sıcaklığın Etkisi

Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna konsantrasyon ve sıcaklık etkisinin incelenmesinde pH'sı 5,5 olan 50 mL hacimde 25, 50, 75, 100, 150, 200 mg/L konsantrasyonlarında çözeltiler stok çözeltiden hazırlandı. Her bir çözeltinin içine 0,05 g SAMFZ koyularak 298 K, 308 K, 318 K ve 328 K sıcaklıklarında 60 dakika karıştırılarak çalışıldı. Deney sonunda elde edilen süzüntüdeki Cd (II) ve Co (II) konsantrasyonları AAS ile analiz edildi. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisi sonuçları Tablo 4.8'de ve Co (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisi sonuçları Tablo 4.9'da verildi. Değişik sıcaklıklarda Cd (II) ve Co (II) iyonlarının adsorplanan miktarının başlangıç konsantrasyonu ile değişimi sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 da gösterildi. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorplanan miktarının sıcaklık ile değişimi sırasıyla Şekil 4.13 ve şekil 4.14 de gösterildi.

Tablo 4.8. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisi

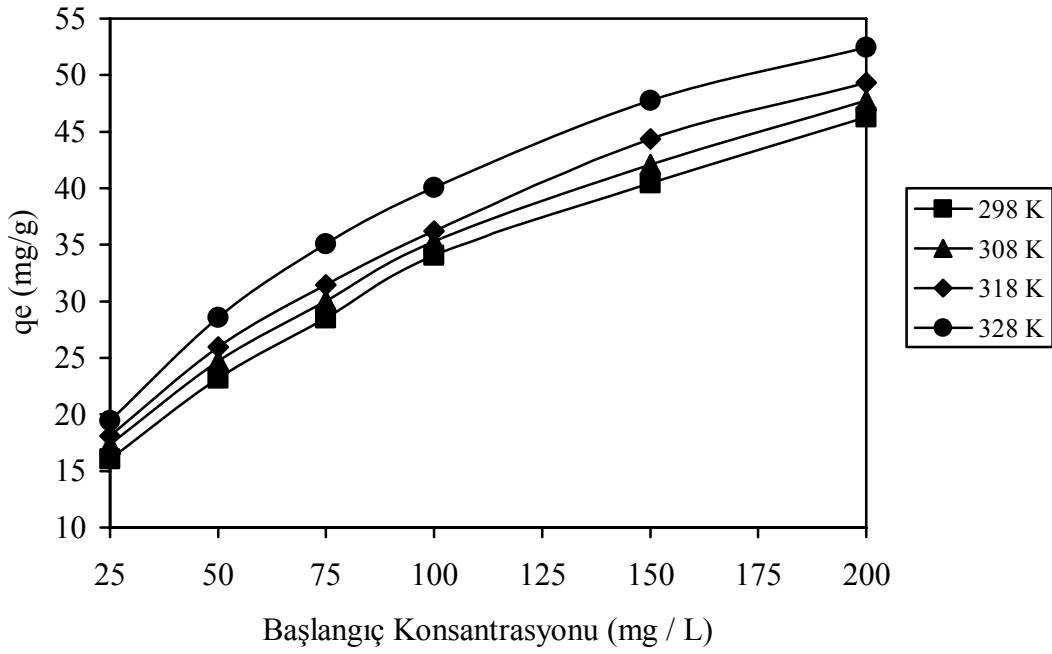
C ₀ (mg/L)	298 K		308 K		318 K		328 K	
	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)	C _e (mg/L)	q _e (mg/g)
25	1,18	23,82	1,01	23,99	0,81	24,19	0,72	24,28
50	6,84	43,16	5,68	44,32	4,95	45,05	4,12	45,88
75	19,84	55,16	18,46	56,54	18,42	56,58	14,03	60,97
100	42,37	57,63	38,92	61,08	37,38	62,62	34,23	65,77
150	90,63	59,37	88,02	61,98	86,69	63,31	82,04	67,96
200	139,79	60,21	136,13	63,87	132,41	67,59	128,91	71,09



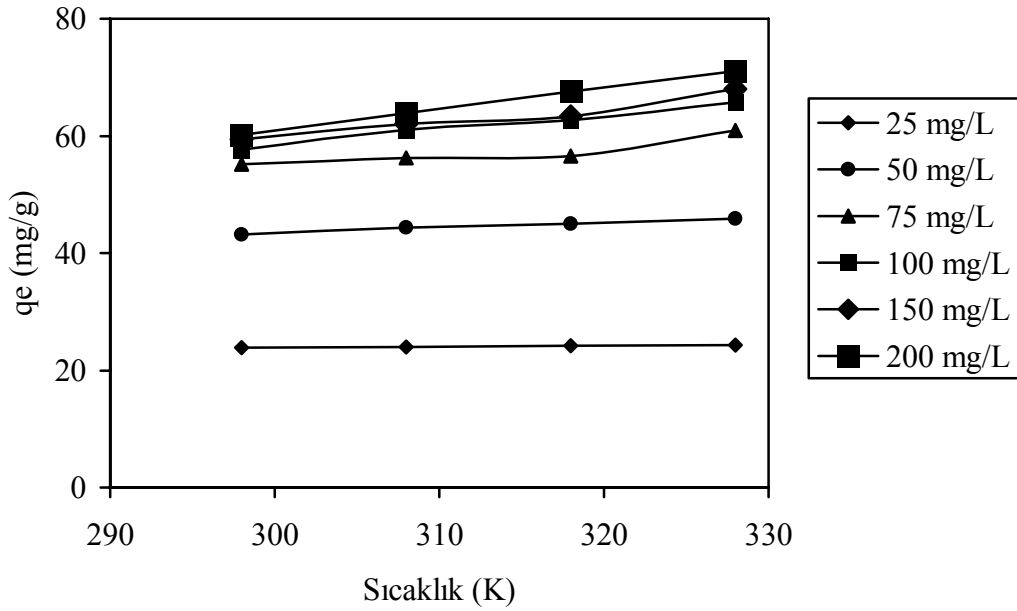
Şekil 4.11. Değişik sıcaklıklarda kadmiyum (II) iyonunun adsorplanan miktarının başlangıç konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 4.9 Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisi

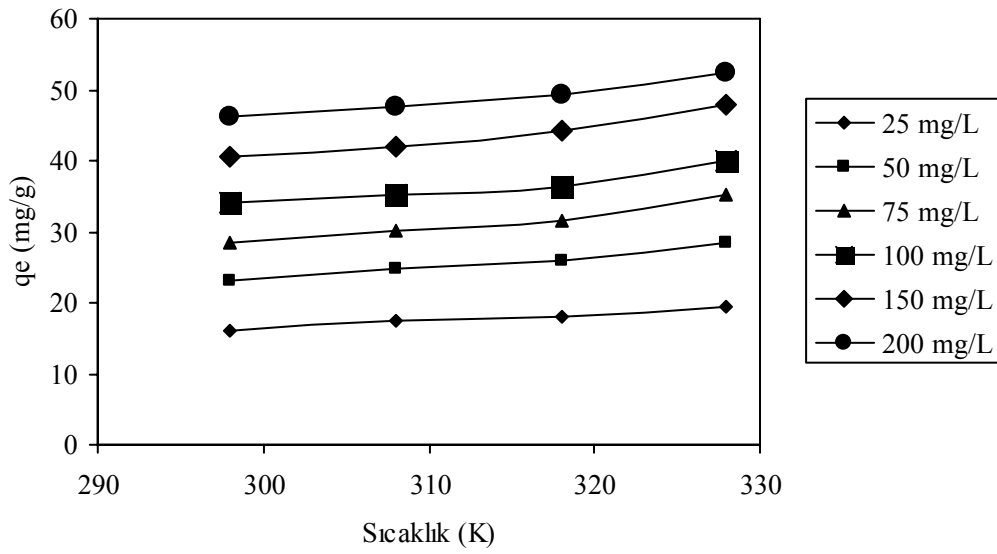
C_0 (mg/L)	298 K		308 K		318 K		382 K	
	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
25	8,97	16,03	7,66	17,37	6,93	18,07	5,55	19,45
50	26,82	23,18	25,28	24,72	24,05	25,95	21,41	28,59
75	46,47	28,53	44,96	30,04	43,52	31,48	39,91	35,09
100	65,93	34,07	64,72	35,28	63,79	36,21	59,94	40,06
150	109,52	40,48	107,90	42,10	105,65	44,35	102,22	47,78
200	153,72	46,28	152,26	47,74	150,67	49,33	147,52	52,48



Şekil 4.12. Değişik sıcaklıklarda kobalt (II) iyonunun adsorplanan miktarının başlangıç konsantrasyonu ile değişimi



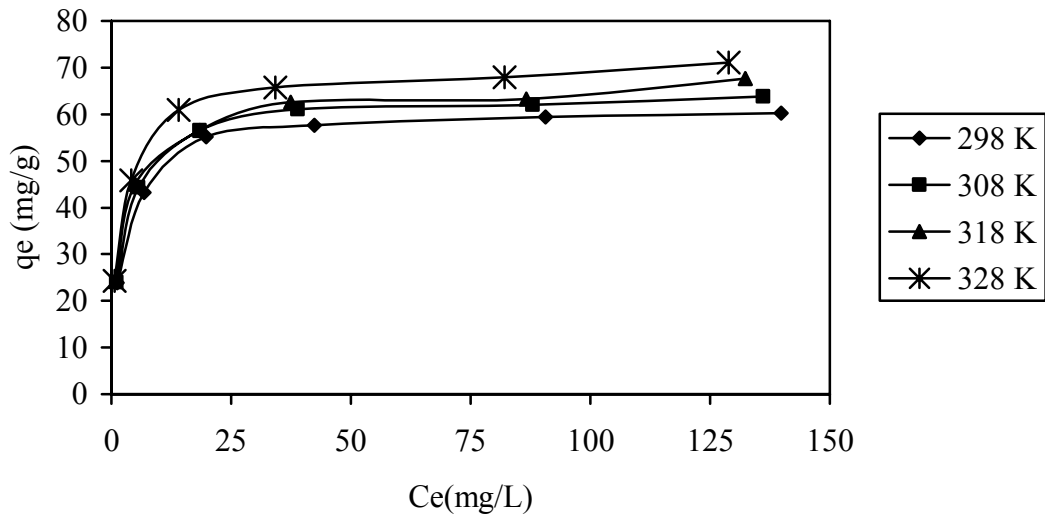
Şekil 4.13. Kadmiyum (II) iyonunun adsorplanan miktarının sıcaklıkla değişimi



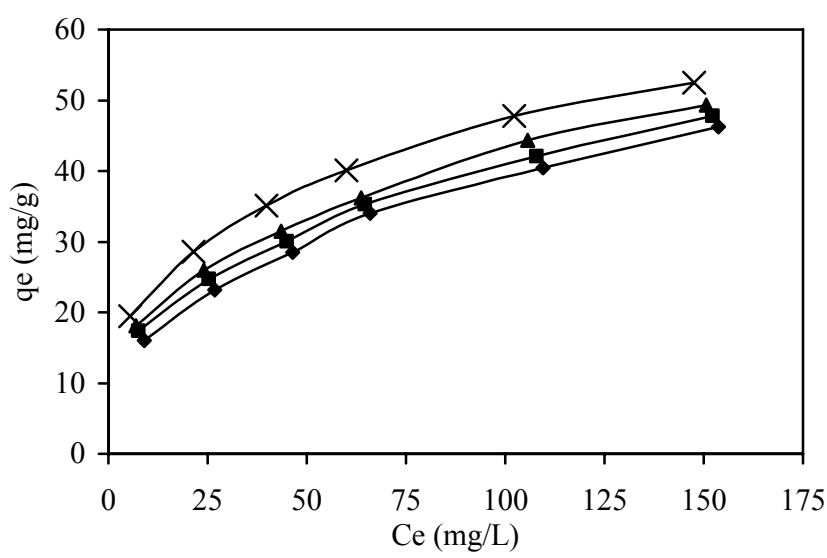
Şekil 4.14. Kobalt (II) iyonunun adsorplanan miktarının sıcaklıkla değişimi

4.9. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) Adsorpsiyon İzotermleri

Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonlarının adsorpsiyonuna ait sonuçlar kullanılarak çizilen adsorpsiyon izotermleri sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 de gösterildi.



Şekil 4.15. Kadmiyum (II) iyonunun adsorpsiyon izotermleri

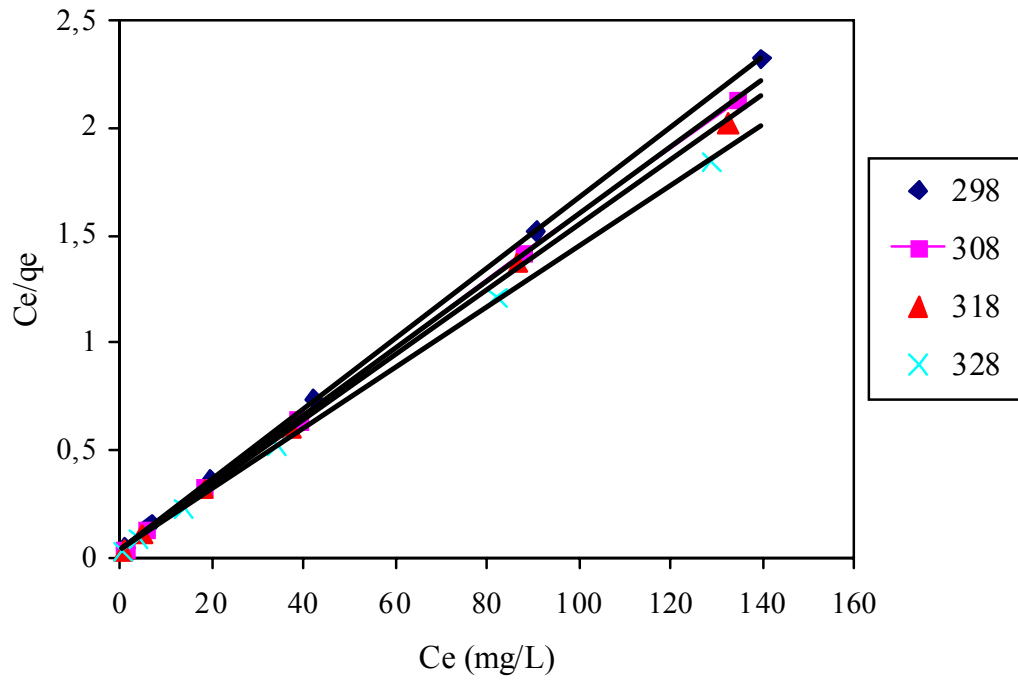


Şekil 4.16. Kobalt (II) iyonunun adsorpsiyon izotermi

Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait sonuçlar Langmuir eşitliğine uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı ve Tablo 4.10'da gösterildi. Kadmiyum (II) adsorpsiyonuna ait doğrusal Langmuir izoterm grafiği Şekil 4.17'de verildi. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi sabitleri hesaplandı ve sonuçlar Tablo 4.11'de verildi.

Tablo 4.10. Kadmiyum (II) adsorpsiyonu için Langmuir eşitliği değerleri

C_0 (mg/L)	298 K		308 K		318 K		382 K	
	C_e	C_e/q_e	C_e	C_e/q_e	C_e	C_e/q_e	C_e	C_e/q_e
25	1,18	0,05	1,01	0,04	0,81	0,033	0,72	0,03
50	6,84	0,16	5,68	0,13	4,95	0,11	4,12	0,09
75	19,84	0,36	18,46	0,33	18,42	0,32	14,03	0,23
100	42,37	0,74	38,92	0,64	37,38	0,60	34,23	0,52
150	90,63	1,52	88,02	1,42	86,69	1,37	82,04	1,21
200	139,79	2,32	136,13	2,13	132,41	1,95	128,91	1,81



Şekil 4.17. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi grafiği

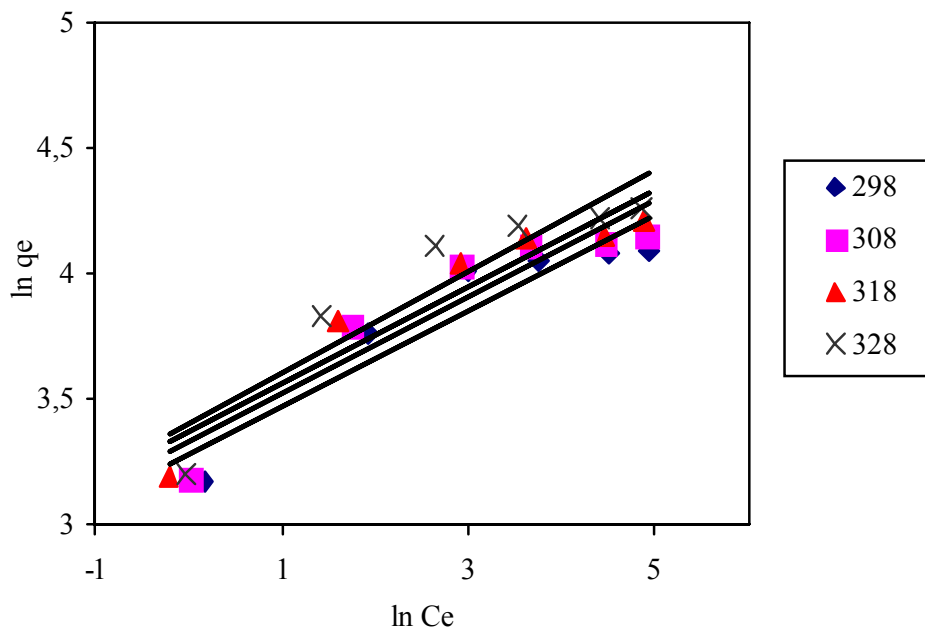
Tablo 4.11. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir sabitleri

Sıcaklık (K)	q_{\max} (mg g^{-1})	q_{\max} (mol g^{-1})	K (L mg^{-1})	K (L mol^{-1})	R^2
298	61,35	$5,46 \cdot 10^{-4}$	0,4065	45695,07	0,9999
308	64,10	$5,70 \cdot 10^{-4}$	0,4274	48044,03	0,9999
318	66,23	$5,89 \cdot 10^{-4}$	0,4326	48628,99	0,9997
328	70,92	$6,30 \cdot 10^{-4}$	0,4548	51124,52	0,9998

Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait sonuçlar Freundlich eşitliğine uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı ve Tablo 4.12 da gösterildi. Kadmiyum (II) adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm grafiği Şekil 4.18 de verildi.

Tablo 4.12. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri

C_0 (mg/L)	298 K		308 K		318 K		382 K	
	$\ln C_e$	$\ln q_e$	$\ln C_e$	$\ln q_e$	$\ln C_e$	$\ln q_e$	$\ln C_e$	$\ln q_e$
25	0,16	3,17	0,01	3,18	-0,21	3,19	-,033	3,20
50	1,92	3,76	1,74	3,79	1,60	3,81	1,42	3,83
75	2,99	4,01	2,92	4,03	2,91	4,04	2,64	4,11
100	3,75	4,05	3,66	4,11	3,62	4,14	3,53	4,19
150	4,51	4,08	4,47	4,12	4,46	4,15	4,41	4,22
200	4,94	4,09	4,91	4,15	4,88	4,21	4,86	4,26



Şekil 4.18. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm grafiği

Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi sabitleri hesaplandı ve Tablo 4.13 de verildi.

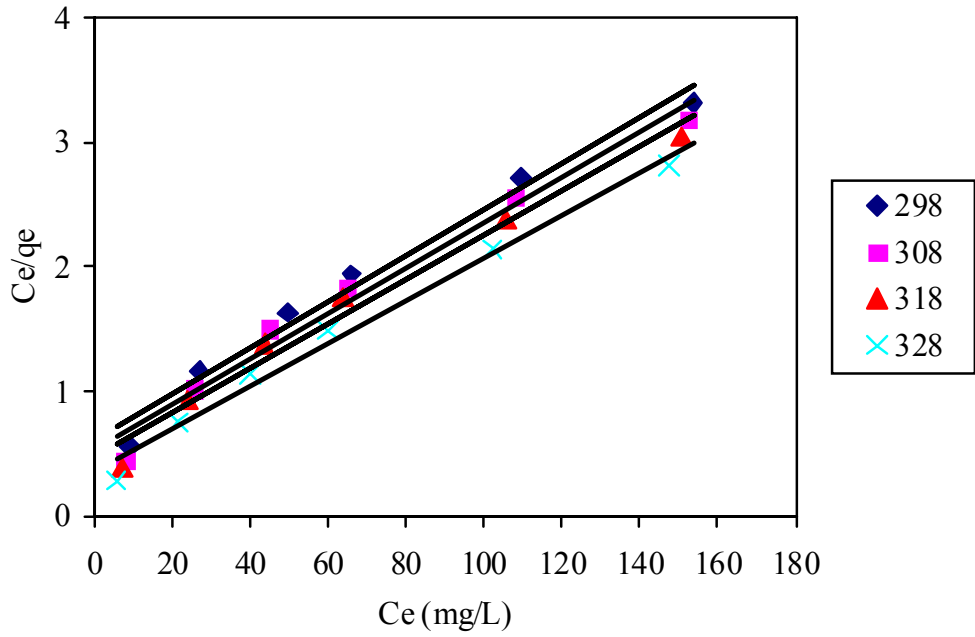
Tablo 4.13. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri

Sıcaklık (K)	n	K_f (mg g ⁻¹)	R ²
298	5,29	26,7169	0,8757
308	5,21	27,9327	0,8803
318	5,20	29,0814	0,9050
328	4,93	29,9551	0,8612

Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait sonuçlar Langmuir eşitliğine uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı ve Tablo 4.14 da gösterildi. Kadmiyum (II) adsorpsiyonuna ait doğrusal Langmuir izoterm grafiği Şekil 4.19 de verildi. Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi sabitleri hesaplandı ve sonuçlar Tablo 4.15 de verildi.

Tablo 4.14. Kobalt (II) adsorpsiyonu için Langmuir eşitliği değerleri

C ₀ (mg/L)	298 K		308 K		318 K		382 K	
	C _e	C _e /q _e	C _e	C _e /q _e	C _e	C _e /q _e	C _e	C _e /q _e
25	8,97	0,56	7,66	0,44	6,93	0,38	5,55	0,28
50	26,82	1,16	25,28	1,02	24,05	0,93	21,41	0,75
75	46,47	1,63	44,96	1,50	43,52	1,38	39,91	1,14
100	65,93	1,94	64,72	1,83	63,79	1,76	59,94	1,49
150	109,52	2,71	107,90	2,56	105,65	2,38	102,22	2,14
200	153,72	3,32	152,26	3,19	150,67	3,05	147,52	2,81



Şekil 4.19. Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm grafiği

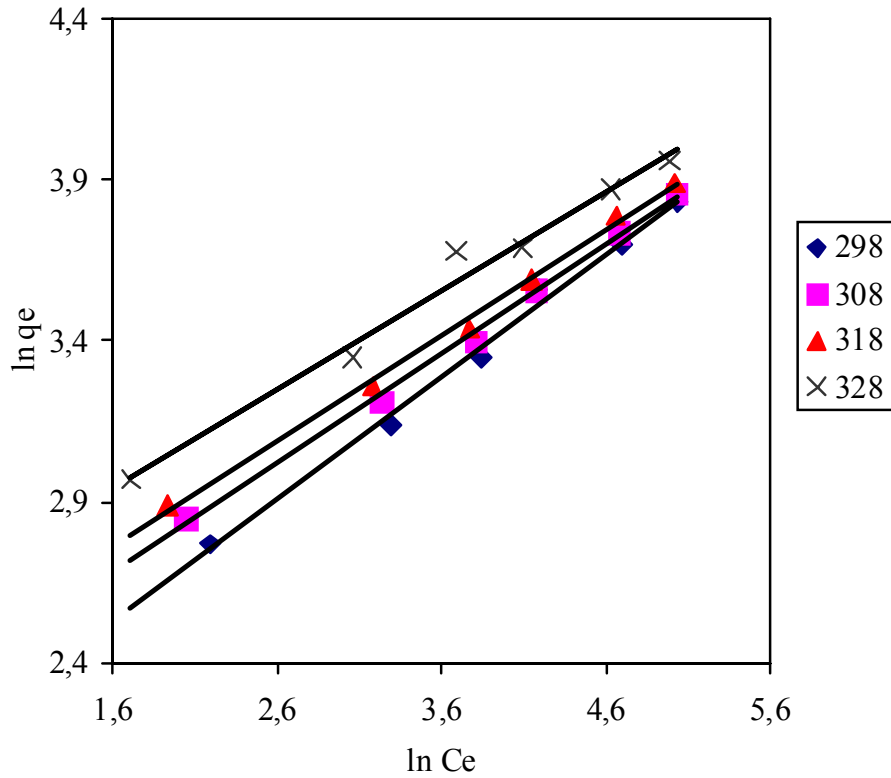
Tablo 4.15. Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir sabitleri

Sıcaklık (K)	q_{\max} (mg g^{-1})	q_{\max} (mol g^{-1})	K (L mg^{-1})	K (L mol^{-1})	R^2
298	54,05	$9,17 \cdot 10^{-4}$	0,0304	1791,57	0,9811
308	54,64	$9,27 \cdot 10^{-4}$	0,0348	2050,87	0,9786
318	56,18	$9,53 \cdot 10^{-4}$	0,0375	2209,99	0,9788
328	58,14	$9,86 \cdot 10^{-4}$	0,0485	2858,26	0,9865

Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait sonuçlar Freundlich eşitliğine uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı ve Tablo 4.16 da gösterildi. Kadmiyum (II) adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi Şekil 4.20 de verildi.

Tablo 4.16. Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri

C_0 (mg/L)	298K		308K		318K		328K	
	$\ln C_e$	$\ln q_e$	$\ln q_e$	$\ln q_e$	$\ln q_e$	$\ln q_e$	$\ln C_e$	$\ln q_e$
25	2,19	2,77	2,04	2,85	1,93	2,89	1,71	2,97
50	3,29	3,14	3,23	3,21	3,18	3,26	3,06	3,35
75	3,84	3,35	3,80	3,40	3,77	3,44	3,69	3,68
100	4,19	3,56	4,17	3,56	4,15	3,59	4,09	3,69
150	4,70	3,70	4,68	3,74	4,66	3,79	4,63	3,87
200	5,04	3,83	5,03	3,86	5,02	3,89	4,99	3,96



Şekil 4.20. Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm grafiği

Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi sabitleri hesaplandı. Sonuçlar tablo 4.17 de verildi.

Tablo 4.17. Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonu için Freundlich izotermi sabitleri

Sıcaklık (K)	n	$K_f(\text{mg g}^{-1})$	R^2
298	2,6413	6,85170	0,9942
308	2,9229	8,42075	0,9968
318	3,0459	9,33710	0,9961
328	3,2594	11,6243	0,9827

4.10. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) Adsorpsiyon Kinetiği

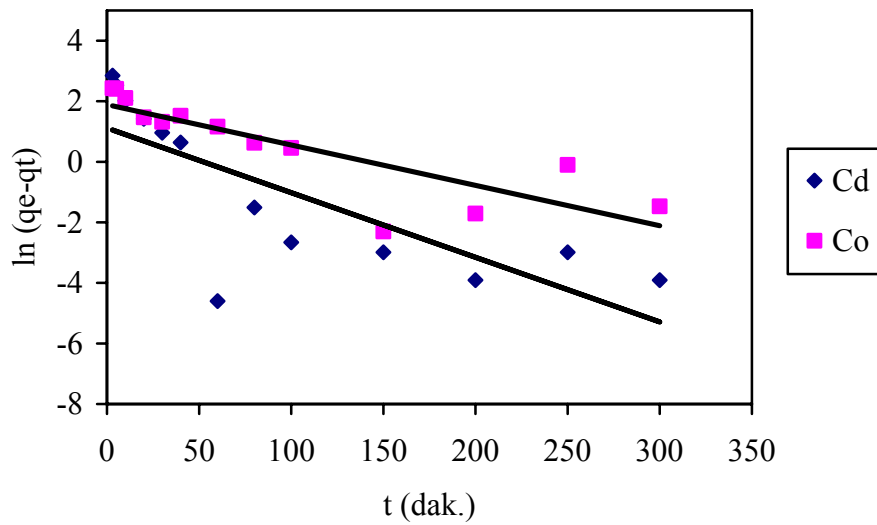
Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) iyonlarının SAMFZ yüzeyine adsorpsiyon hızı farklı karıştırma sürelerinde incelendi. Tablo 4.3 deki sonuçlar yalancı 1. mertebe kinetik modeli eşitliğine uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı. Sonuçlar Tablo 4.18 de verildi. Şekil 4. 21 de Yalancı 1. Mertebe Kinetik Model grafiği gösterildi.

Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) iyonlarının SAMFZ yüzeyine adsorpsiyon hızı farklı karıştırma sürelerinde incelendi. Tablo 4.3 deki sonuçlar yalancı 2. mertebe kinetik modeli eşitliğine uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı. Sonuçlar Tablo 4.19 de verildi. Şekil 4. 22 de Yalancı 2. Mertebe Kinetik Model grafiği gösterildi

Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Yalancı 1. ve 2. mertebe Kinetik Model sabitleri hesaplanarak sonuçlar Tablo 4.20 de verildi.

Tablo 4.18. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna için yalancı 1. derece kinetik model eşitliği değerleri

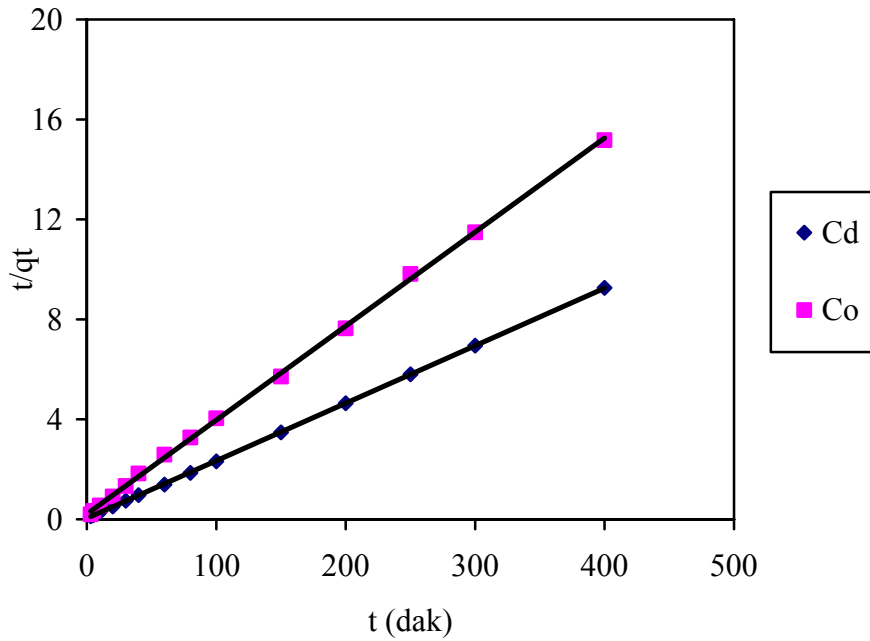
Karıştırma Süresi (dak.)	Kadmiyum (II) Adsorplanan miktarı (mg/g)	$\ln (q_e - q_t)$	Kobalt (II) Adsorplanan miktarı (mg/g)	$\ln (q_e - q_t)$
3	25,80	2,85	14,95	2,43
5	30,60	2,53	15,20	2,41
10	35,62	2,02	18,14	2,11
20	39,05	1,42	22,01	1,47
30	40,57	0,96	22,60	1,32
40	41,28	0,64	21,80	1,52
60	43,16	-4,60	23,18	1,16
80	42,95	-1,51	24,48	0,63
100	43,10	-2,66	24,77	0,46
150	43,12	-2,99	26,26	-2,30
200	43,15	-3,91	26,18	-1,71
250	43,12	-2,99	25,46	-0,10
300	43,15	-3,91	26,13	-1,47
400	43,17	-	26,36	-



Şekil 4.21. Yalancı 1. Mertebe Kinetik Model grafiği

Tablo 4.19. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna için yalnız 2. derece kinetik model eşitliği değerleri

Karıştırma Süresi (dak.)	Kadmiyum (II) Adsorplanan miktarı (mg/g)	t/q_t	Kobalt (II) Adsorplanan miktarı (mg/g)	t/q_t
3	25,80	0,12	14,95	0,20
5	30,60	0,16	15,20	0,33
10	35,62	0,28	18,14	0,55
20	39,05	0,51	22,01	0,91
30	40,57	0,74	22,60	1,33
40	41,28	0,97	21,80	1,83
60	43,16	1,39	23,18	2,59
80	42,95	1,86	24,48	3,27
100	43,10	2,32	24,77	4,04
150	43,12	3,48	26,26	5,71
200	43,15	4,64	26,18	7,64
250	43,12	5,80	25,46	9,82
300	43,15	6,95	26,13	11,48
400	43,17	9,26	26,36	15,17



Şekil 4. 22. Yalancı 2. Mertebe Kinetik Model grafiği

Tablo 4.20. Yalancı 1. mertebe ve Yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri

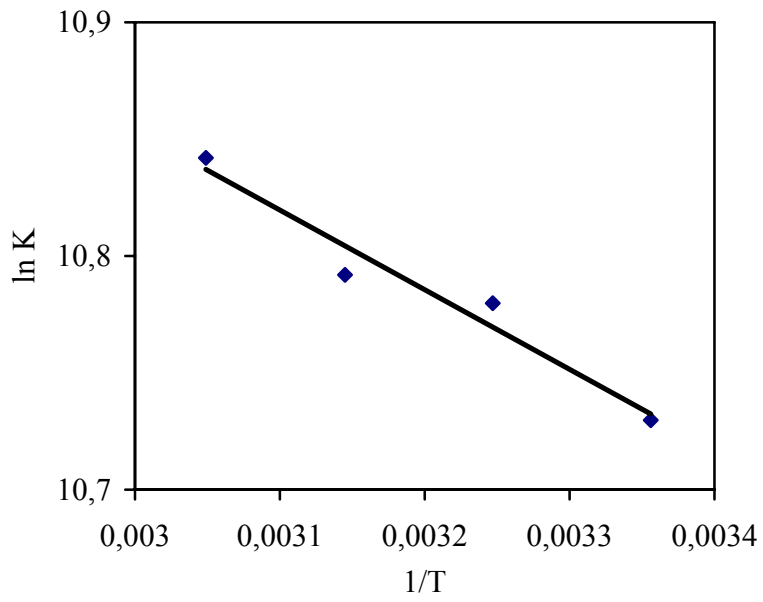
Element	q _e deneysel (mg/g)	Yalancı 1. Mertebe			Yalancı 2. Mertebe		
		k ₁ (min ⁻¹)	q _e hesaplanan (mg/g)	R ²	k ₂ (g/mg min)	q _e hesaplanan (mg/g)	R ²
Cd	43,17	0,0213	3,05	0,6012	0,0140	43,48	1,0000
Co	26,36	0,0133	6,63	0,7049	0,0069	26,60	0,9995

4.11. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonlarının Adsorpsiyon Termodinamiği

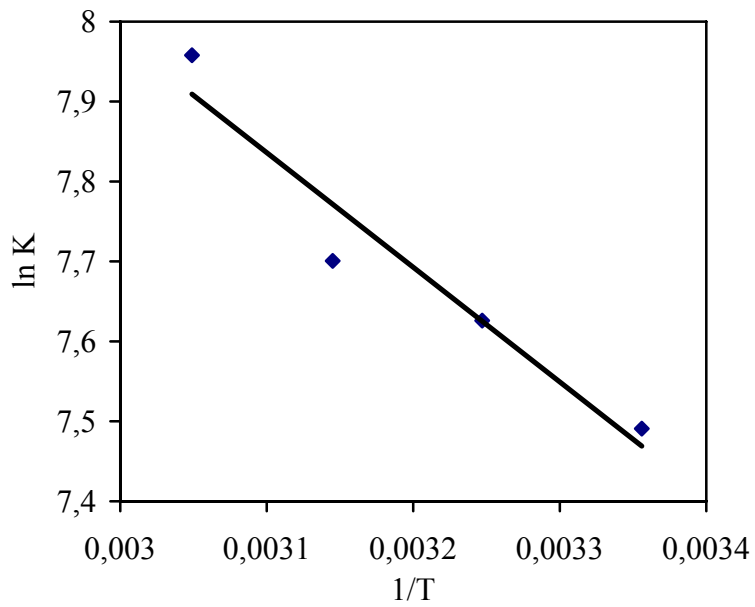
Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna ait lnK ve 1/T değerleri Tablo 4.21’de verildi ve lnK ile 1/T arasında çizilen grafikler sırasıyla şekil 4. 23 ve 4.24 de gösterildi. Kadmiyum (II)ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonu için ΔH , ΔG ve ΔS değerleri ise hesaplanarak Tablo 4.22’de verildi.

Tablo 4.21. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonuna ait lnK ve 1/T değerleri

Sıcaklık (K)	1/T	Cd		Co	
		K	ln K	K	ln K
298	0,003356	45695,07	10,7297	1791,57	7,4908
308	0,003247	48044,03	10,7798	2050,87	7,6260
318	0,003145	48628,99	10,7919	2209,99	7,7007
328	0,003049	51124,52	10,8420	2858,26	7,9579



Şekil 4.23. Kadmiyum (II) iyonu adsorpsiyonuna ait $\ln K$ ile $1/T$ 'nin değişimi



Şekil 4.25. Kobalt (II) iyonu adsorpsiyonuna ait $\ln K$ ile $1/T$ 'nin değişimi

Tablo 4.22. Kadmiyum (II) ve kobalt (II) iyonları adsorpsiyonu için ΔH , ΔG ve ΔS değerleri

Sıcaklık (K)	ΔG (kJ/mol)		ΔH (kJ /mol)		ΔS (J/mol K)	
	Cd	Co	Cd	Co	Cd	Co
298	- 26,58	- 18,56	2,83	11,92	98,75	102,12
308	- 27,60	- 19,53				
318	-28,53	-20,36				
328	-29,57	-21,70				

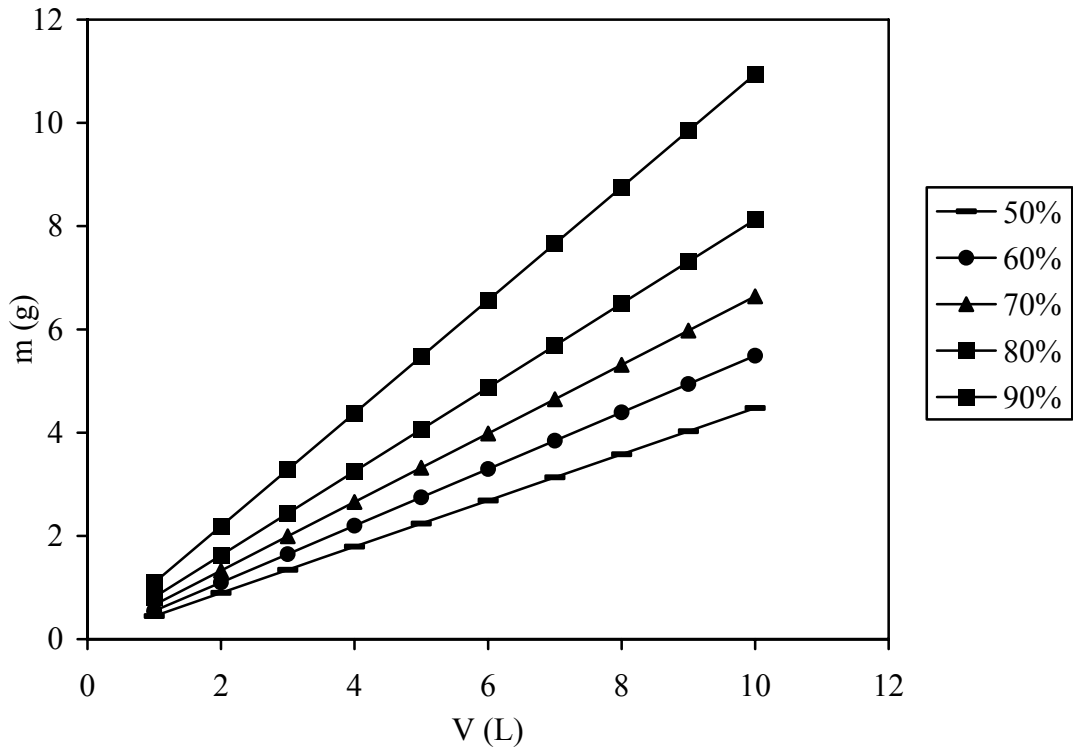
4.12. Kadmiyum (II) ve Kobalt (II) İyonları İçin Tek Kademeli Kesikli Adsorpsiyon Sistemi Dizaynı

50 mg/L kadmiyum (II) ve kobalt (II) konsantrasyonundaki farklı hacimlerdeki çözeltilerdeki Cd (II) ya da Co (II) iyonu çözeltilerinin % 50, % 60, % 70, % 80 ve % 90 verimle giderilmesi için gerekli olan sülfürik asitle muamele edilmiş fındık zurufu miktarları hesaplandı.

Kadmiyum (II) iyonlarının SAFMZ yüzeyine adsorpsiyonu Langmuir izotermi ile, kobalt (II) iyonlarının SAFMZ yüzeyine adsorpsiyonu ise Freundlich izotermi ile daha uyumludur. Bu nedenle Cd (II) iyonu için tek kademeli kesikli adsorpsiyon sistemi dizaynında 2.12 eşitliği, Co (II) iyonu için ise 2.14 eşitliği kullanıldı. Sonuçlar Tablo 4.23 ve 4.24 de verildi. Ayrıca bu sonuçlar yardımıyla çizilen grafikler Şekil 4.25 ve 4.26 de gösterildi.

Tablo 4.23. Kadmiyum (II) adsorpsiyonu için tek kademeli kesikli adsorpsiyon sistemi dizaynı değerleri

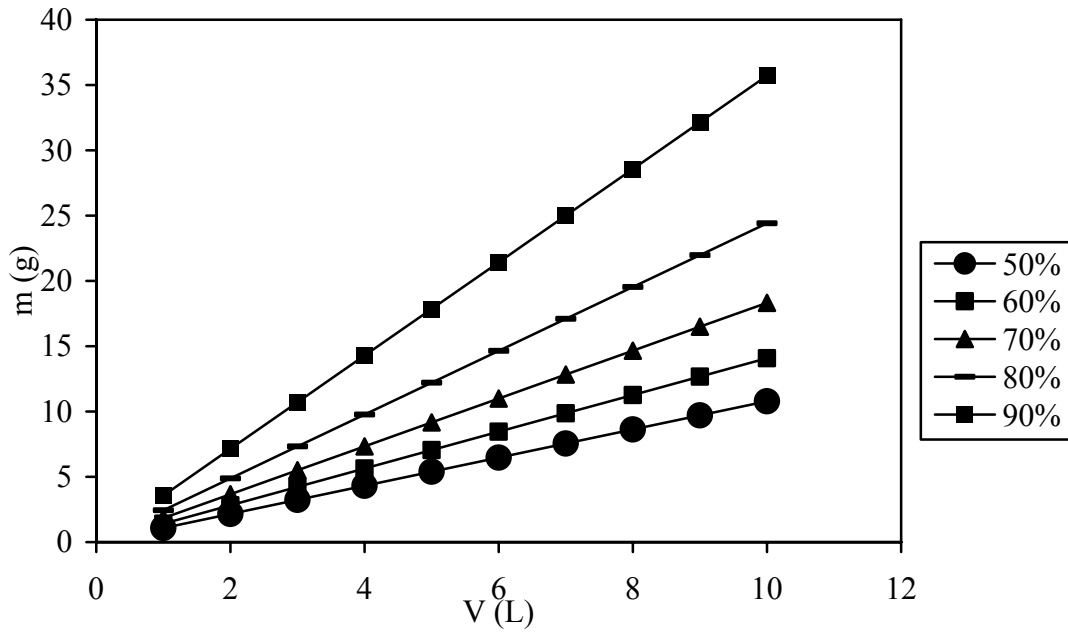
Hacim (L)	%50 Kadmiyum (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı	%60 Kadmiyum (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı	%70 Kadmiyum (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı	%80 Kadmiyum (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı	%90 Kadmiyum (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı
1	0,4475	0,5491	0,6641	0,8124	1,0944
2	0,8952	1,0980	1,3281	1,6248	2,1888
3	1,3428	1,6474	1,9923	2,4372	3,2831
4	1,7904	2,1966	2,6562	3,2495	4,3775
5	2,2379	2,7457	3,3203	4,0619	5,4719
6	2,6856	3,2949	3,9844	4,8743	6,5663
7	3,1332	3,8440	4,6484	5,6867	7,6607
8	3,5808	4,3931	5,3125	6,4991	8,7550
9	4,0284	4,9423	5,9765	7,3115	9,8494
10	4,4759	5,4914	6,6406	8,1239	10,9438



Şekil 4.26. Kadmiyum (II) iyonunun farklı giderme verimleri için çözelti hacmine karşı adsorban miktarının değişimi

Tablo 4.24. Kobalt (II) adsorpsiyonu için tek kademeli kesikli adsorpsiyon sistemi dizaynı değerleri

Hacim (L)	%50 Kobalt (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı (g)	%60 Kobalt (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı (g)	%70 Kobalt (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı (g)	%80 Kobalt (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı (g)	%90 Kobalt (II) giderilmesi için gerekli SAMFZ miktarı (g)
1	1,0786	1,4085	1,8323	2,4415	3,5709
2	2,1573	2,8169	3,6646	4,8830	7,1419
3	3,2359	4,2254	5,4969	7,3245	10,7128
4	4,3146	5,6339	7,3292	9,7661	14,2838
5	5,3932	7,0424	9,1616	12,2076	17,8547
6	6,4719	8,4509	10,9939	14,6491	21,4257
7	7,5505	9,8594	12,8262	17,0906	24,9966
8	8,6292	11,2678	14,6585	19,5322	28,5676
9	9,7078	12,6763	16,4908	21,9737	32,1385
10	10,7865	14,0848	18,3231	24,4152	35,7094



Şekil 4.26. Kobalt (II) iyonunun farklı giderme verimleri için çözelti hacmine karşı adsorban miktarının değişimi

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Kesikli sistem ile yapılan çalışmalarda değişen parametreler deneysel veriler grafikler ve tablolar halinde verilmiştir. Co (II) ve Cd (II) iyonu şeklinde çözeltilerde bulunması ancak pH 8' e kadar mümkündür [37]. Bundan daha yüksek değerlerde çözeltilerde kompleks oluşumları gözlenmektedir. Yüksek pH'larda çökelmeler sebebiyle giderim verimi artmakta, bu da adsorpsiyon sonuçlarını etkilemektedir [38]. Bu sebeple pH=5,5'dan daha yüksek pH değerlerinde adsorpsiyon çalışması yapılmamıştır. Cd (II) ve Co (II) iyonları adsorpsiyonu için en uygun pH değeri 5,5 olarak belirlendi.

Cd (II) ve Co (II) adsorpsiyonunda SAMFZ dozu 50 mg/L derişimde ve 50 mL çözelti için 0,05 g olarak belirlendi. Diğer çalışmalar bu doz miktarında gerçekleştirildi. Ancak SAMFZ üzerine Co (II) iyonlarının adsorpsiyonun Cd (II) iyonlarına göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi adsorban yüzeyi ve Co (II) iyonlarının tabiatına bağlıdır [39].

Karıştırma süresi SAMFZ'nun adsorban yüzeyi ile Cd (II) ve Co (II) iyonlarının temasında adsorpsiyon dengesine erişme süresi olarak tanımlanabilir [40, 41]. Cd (II) ve Co (II) iyonları adsorpsiyonunu için dengeye erişme süresi, sırasıyla 60 ve 150 dakikadır. Fakat çalışmalarda her iki iyonun adsorpsiyonu için 60 dak. karıştırma süresi kullanılmıştır.

SAMFZ yüzeyine adsorplanmış Cd (II) ve Co (II) iyonlarının desorpsiyonu farklı HCl konsantrasyonlarında incelenmiştir [42]. Cd (II) iyonlarının desorpsiyonu için

0,1 M HCl konsantrasyonunun % 100 desorpsiyona izin verdiği görülmüştür. Co (II) iyonlarının desorpsiyonu için ise 1 M HCl çözeltisinin gerekli olduğu belirlendi.

Cd (II) ve Co (II) iyonlarının SAMFZ yüzeyine adsorpsiyonuna rejenere etmeden tekrar yükleme etkisi incelenmiş ve her tekrarda adsorplanan ağır metal konsantrasyonunun azaldığı görüldü. Bunun sebebi adsorbanın yüzeyinde metallerin tutunabileceği bölge sayısının azalmasıdır [43].

Cd (II) ve Co (II) iyonları adsorpsiyonuna alkali metaller olan Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının etkisini incelenmiş ve alkali metal konsantrasyonu arttıkça SAMFZ üzerine adsorplanan ağır metal miktarının azaldığı görüldü. Bunun sebebi alkali metallerin adsorpsiyon prosesine girişim yapmalarıdır [44].

Cd (II) ve Co (II) iyonları adsorpsiyonuna sıcaklık ve konsantrasyon etkisi incelenerek bu çalışmalara ait sonuçlar adsorban kapasitesi, adsorpsiyon termodinamik değerlerinin hesaplanmasında kullanıldı. Yapılan çalışmalar sonucunda sıcaklık arttıkça Cd (II) ve Co (II) iyonlarının SAMFZ üzerine adsorpsiyonunun arttığı gözlemlendi. Bu sonuçla paralel olarak hesaplanan entalpi değerleri pozitif değerler almıştır. Gibbs serbest enerji değerlerinin negatif olması adsorpsiyon prosesinin kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir [45].

Cd (II) ve Co (II) iyonları adsorpsiyon hızı farklı karıştırma sürelerinde incelendi. Karıştırma süresine ait sonuçlar kinetik modellere uygulanmış ve her iki metalin adsorpsiyon sürecinin yalancı 2. mertebe modeline göre yürüdüğü görüldü [39].

Cd (II) iyonları için 298 K deki Langmuir izoterm sabiti Co (II) iyonları için de Freundlich izoterm sabitleri kullanılarak tek kademeli adsorpsiyon sistemi dizayn edildi ve istenen ağır metal gidermesini yapabilmek için gerekli olan adsorban miktarı grafikler halinde verildi.

KAYNAKLAR

- [1] OZDES, D., GUNDOGDU, A., KEMER, B., Removal of Pb(II) ions from aqueous solution by a waste mud from copper mine industry: Equilibrium, kinetic and thermodynamic study, *Journal of Hazardous Materials*, 166, 2-3, pp. 1480-1487, 2009.
- [2] DOGAN, M., TURKYILMAZ A., ALKAN M., Adsorption of copper (II) ions onto sepiolite and electrokinetic properties, *Desalination*, 238, 1-3, pp. 257-270, 2009.
- [3] TS 266, Sular-İnsani tüketim amaçlı sular, Türk Standartları Enstitüsü, Türkiye, 2005.
- [4] AL-ANBER, Z.A., MATOUQ, Batch adsorption of cadmium ions from aqueous solution by means of olive cake, MAD., *Journal of Hazardous Materials*, 151, 1, pp. 194-201, 2008.
- [5] SINHA, S., PANDEY, K., MOHAN, D., et al., Removal of fluoride from aqueous solutions by Eichhornia crassipes biomass and its carbonized form, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42, 26, pp. 6911-6918, 2003.
- [6] TEKER, M., SALTABAS, O., IMAMOGLU, M., Adsorption of cobalt by activated carbon from the rice hulls, *Journal of Environmental Science and Health Part A-Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control*, 32, 8, pp. 2077-2086, 1997.
- [7] BOUGUERRA, W., MARZOUK I., HAMROUNI B., Equilibrium and Kinetic Studies of Adsorption of Boron on Activated Alumina, *Water Environment Research*, 81, 12, pp. 2455-2459, 2009.
- [8] LEVINE, N., *Physical Chemistry*, Beacon Graphics Corporation, pp. 427-431, Ingapore, 1995.
- [9] SARIKAYA, Y., *Fizikokimya kitabı*, Gazi Kitabevi, sf. 633-651, İstanbul, 2000.
- [10] BARROW, G. M., *Physical Chemistry, Intercontinental Photocomposition*, pp. 345-355, United States of America, 1996.
- [11] ATKINS, P. W., *Fizikokimya*, Bilim Yayıncılık, sf 857-866, Ankara, 2005.

- [12] IMAMOGLU, M., ACI, F., NEBIOGLU, M., ARSLAN, M. and et.al., Preparation of activated carbon from sugar beet molasses and adsorption of methylene blue, *Fresenius Environmental Bulletin*, 17, 8A, pp. 997-1001, 2008.
- [13] BANSAL, R. C., GOYAL M., *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis CRC Press, pp. 100-111, Singapore, 2005.
- [14] DOUGLAS, M.R., *Principles of adsorption and adsorption processes*, A-Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, USA, 1984.
- [15] CASTELLAN, W. G., *Physical Chemistry*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, pp. 361-369, California, 1983.
- [16] LAGERGREN S., Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, 24, 4, pp. 1-39, 1898.
- [17] HO Y. S., MCKAY G., Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochemistry*, 34, pp. 451-465, 1999.
- [18] SOLENER M, TUNALI S, OZCAN A.S, et al. Adsorption characteristics of lead(II) ions onto the clay/poly(methoxyethyl)acrylamide (PMEA) composite from aqueous solutions, *Desalination*, 223, 1-3, pp. 308-322, 2008.
- [19] ALKAN, M., KALAY, B., DOĞAN, M., DEMİRBAŞ, Ö., Removal of copper ions from aqueous solutions by kaolinite and batch design, *Journal of Hazardous Materials*, 153, 1-2, pp. 867-876, 2008.
- [20] ALKAN, M., DEMİRBAŞ, Ö., DOĞAN, M., Removal of acid yellow 49 from aqueous solution by adsorption, *Fresen. Env. Bull.*, 13, 11a, pp. 1112-1121, 2004.
- [21] XIN, H.A., GAO N.Y., MANG Q.L., Thermodynamics and kinetics of cadmium adsorption onto oxidized granular activated carbon, *Journal of Environmental Sciences-China*, 19, 11, pp. 1287-1292, 2007.
- [22] MOHAN, D., SINGH K.P., Single- and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse - an agricultural waste, *Water Research*, 36, 9, pp. 2304-2318, 2002.
- [23] TAJAR, A.F., KAGHAZCHI T., SOLEIMANI M., Adsorption of cadmium from aqueous solutions on sulfurized activated carbon prepared from nut shells, *Journal of Hazardous Materials*, 165, 1-3, pp. 1159-1164, 2009.
- [24] SEMERJIAN, L., Equilibrium and kinetics of cadmium adsorption from aqueous solutions using untreated *Pinus halepensis* sawdust, *Journal of Hazardous Materials*, 173, pp. 236-242, 2009.

- [25] ALEMAYEHU, E., LENNARTZ B., Virgin volcanic rocks: Kinetics and equilibrium studies for the adsorption of cadmium from water, *Journal of Hazardous Materials*, 169, 1-3, pp. 395-401, 2009.
- [26] AGRAWAL, A., SAHU, K.K., Kinetic and isotherm studies of cadmium adsorption on manganese nodule residue, *Journal of Hazardous Materials*, 137,2, pp. 915-924, 2006.
- [27] KARA, M., YUZER, H., SABAH, E., Adsorption of cobalt from aqueous solutions onto sepiolite, *Water Research*, 37, 1, pp. 224-232, 2003.
- [28] MARLOHAR, D.M., NOELINE, B.F., ANIRUDHAN, T., S., Adsorption performance of Al-pillared bentonite clay for the removal of cobalt(II) from aqueous phase, *Applied Clay Science*, 31, 3-4, pp. 194-206, 2006.
- [29] KRISHNAN, K.A., ANIRUDHAN, T.S., Kinetic and equilibrium modelling of cobalt(II) adsorption onto bagasse pith based sulphurised activated carbon, *Chemical Engineering Journal*, 137, 2, pp. 257-264, 2008.
- [30] COSKUN, R., SOYKAN, C., SACAK, M., Adsorption of copper(II), nickel(II) and cobalt(II) ions from aqueous solution by methacrylic acid/acrylamide monomer mixture grafted poly(ethylene terephthalate) fiber, *Separation and Purification Technology*, 49, 2, pp. 107-114, 2006.
- [31] GUO, Y.P., ROCKSTRAW, D.A. Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation, *Microporous and Mesoporous Materials*, 100, 1-3, 2-19,2007.
- [32] BUDINOVA, T., EKINCI, E., YARDIM, F., et. al., Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation, *Fuel Processing Technology*, 87, 10, pp. 899-905 ,2006
- [33] GIRGIS, B.S., SMITH. E., LOUIS, M.M., et. al., Pilot production of activated carbon from cotton stalks using H₃PO₄, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 86, 1, pp. 180-184, 2009.
- [34] GUO, Y.P., ROCKSTRAW, D.A., Physical and chemical properties of carbons synthesized from xylan, cellulose, and Kraft lignin by H₃PO₄ activation, *Carbon*, 44, 8, pp. 1464-1475, 2006.
- [35] PRAHAS, D., KARTIKA, Y., INDRASWATI, N., et. al., Activated carbon from jackfruit peel waste by H₃PO₄ chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization, *Chemical Engineering Journal*, 140, 1-3, pp. 32-42, 2008.
- [36] TERZYK, A. P., The influence of activated carbon surface chemical composition on the adsorption of acetaminophen (paracetamol) in vitro Part II. TG, FTIR, and XPS analysis of carbons and the temperature dependence of adsorption kinetics at the neutral pH, *Colloids and Surfaces*,

A-Physicochemical and Engineering Aspects, 177, 1, pp. 23-45, 2001.

- [37] BAKLAYA, N., CESUR, H., Adsorption of cadmium from aqueous solution by phosphogypsum, *Chemical Engineering Journal*, 140, pp 247–254, 2008.
- [38] DUMAN, O., AYRANCI, E., Attachment of benzo-crown ethers onto activated carbon cloth to enhance the removal of chromium, cobalt and nickel ions from aqueous solutions by adsorption, *Journal of Hazardous Materials*, 176, pp.1-3, 231-238, 2010.
- [39] GUERRA, D., L., AIROLDI, C., Anchored thiol smectite clay—kinetic and thermodynamic studies of divalent copper and cobalt adsorption, *Journal of Solid State Chemistry*, 181, 9, pp. 2507-2515, 2008.
- [40] TEKER, M., IMAMOGLU, M., BOCEK, N., Adsorption of Some Textile Dyes On Activated Carbon Prepared From Rice Hulls, *Fresenius Environmental Bulletin*, 18, 5, pp. 709-714, 2009.
- [41] PARAB, H., JOSHI, S., SHENOY, N., et al., Determination of kinetic and equilibrium parameters of the batch adsorption of Co(II), Cr(III) and Ni(II) onto coir pith, *Process Biochemistry*, 41, 3, pp. 609-615, 2006.
- [42] WANG, K., J., XING, B., S., Adsorption and desorption of cadmium by goethite pretreated with phosphate, *Chemosphere*, 48, 7, pp. 665-670, 2002.
- [43] SENTURK, H.B., OZDES, D., GUNDOGDU, A., et al., Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto organomodified Tirebolu bentonite: Equilibrium, kinetic and thermodynamic study, *Journal of Hazardous Materials*, 172, 1, pp. 353-362, 2009.
- [44] LI, Y., YUE, Q.,Y, GAO, B., Y, et al., Adsorption thermodynamic and kinetic studies of dissolved chromium onto humic acids, *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces*, 65, 1, pp. 25-29, 2008.
- [45] AKAR, T., TOSUN, I., KAYNAK, Z., et al., An attractive agro-industrial by-product in environmental cleanup: Dye biosorption potential of untreated olive pomace, *Journal of Hazardous Materials*, 166, 2-3, pp. 1217-1225, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Hülya Yıldız, 07.11.1986 da Adapazarı'nda doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2003 yılında H. Zehra Akkoç Kız Lisesi Fen Bilimleri Bölümünden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Balıkesir Üniversitesi Kimya bölümünü 2008 yılında bitirdi. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Aynı zamanda Çatalköprü Şehit Ahmet Çondul İlköğretim Okulunda Fen ve Teknoloji Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.