

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FINDIK ZURUFUNDAN AKTİF KARBON ELDESİ  
VE BAZI AĞIR METAL İYONLARININ  
ADSORPSİYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Oktay TEKİR**

**Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Mustafa İMAMOĞLU**

**Haziran 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FINDIK ZURUFUNDAN AKTİF KARBON ELDESİ  
VE BAZI AĞIR METAL İYONLARININ  
ADSORPSİYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Oktay TEKİR**

**Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA**

**Bu tez 08 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Y.Doç.Dr.Mustafa İMAMOĞLU Prof.Dr.Ali Osman AYDIN Y.Doç.Dr. Fatih KARADAĞLI**  
**Jüri Başkanı Üye Üye**

## TEŞEKKÜR

Çalışmamı dikkatle yöneten, çalışmam boyunca gerekli her türlü kaynağı temin eden hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa İMAMOĞLU' na sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmam esnasında yaşadığım sorunları bilgi ve birikimleriyle çözmemi sağlayan Sayın Prof. Dr. Ali Osman AYDIN, Doç. Dr. Murat TEKER, Doç. Dr. Ahmet ALP ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KARACA' ya teşekkür ederim.

Çalışmamın teorik ve deneysel kısmında yardım aldığım Kimya Bölümü Öğretim Üyelerine ve Araştırma Görevlilerine teşekkür ederim

Haziran 2006  
Oktay TEKİR

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ADSORPSİYON.....	3
2.1. Adsorplayıcı Katılar ve Özellikleri .....	5
2.2. Adsorpsiyon İzotermi.....	6
2.2.1. Freundlich adsorpsiyon izotermi.....	9
2.2.2. Langmuir adsorpsiyon izotermi.....	10
2.2.3. Brunauer-Emmett-Teller (BET) adsorpsiyon izotermi.....	11
2.2.4. Gibbs adsorpsiyon izotermi.....	12
2.2.5. Temkin izotermi.....	13
2.2.6. Fowler izotermi.....	13
2.2.7. Hardins- Jura izotermi.....	13
2.2.8. Polonyi izotermi.....	14
2.2.9. Dubinin-Radushkevich-Kagener izotermi.....	15
2.2.10. Kiselev izotermi.....	17
2.3. Çözeltilerde Adsorpsiyon.....	18

2.3.1. Çözeltiden adsorpsiyona etki eden faktörler.....	19
2.4. Adsorpsiyonun kullanımı.....	20
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>AKTİF KARBON.....</b>	<b>22</b>
3.1. Aktif Karbon Üretimi.....	25
3.2. Fındık Zurufu.....	25
3.3. Aktif Karbon Üretimi ve Adsorpsiyonla İlgili Yapılan Çalışmalar...	27
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>BAKIR VE KURŞUN.....</b>	<b>31</b>
4.1. Bakır.....	31
4.1.1. Bakırın elde edilişi.....	32
4.1.2. Bakırın uygulama alanları.....	33
4.1.3. Bakırın toksik etkileri.....	34
4.2. Kurşun.....	34
4.2.1. Kurşunun elde edilişi.....	36
4.2.2. Kurşunun uygulama alanları.....	36
4.2.3. Kurşunun toksik etkileri.....	37
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>MATERYAL VE METOD.....</b>	<b>38</b>
5.1. Kullanılan Cihaz ve Malzemeler.....	38
5.1.1. Atomik absorpsiyon spektrometresi.....	38
5.1.2. Çalkalayıcı.....	38
5.1.3. pH-Metre.....	38
5.1.4. Hassas terazi.....	38
5.1.5. Etüv.....	39
5.1.6. Fırın.....	39
5.1.7. Paslanmaz çelik kap.....	39
5.1.8. Kullanılan kimyasallar.....	39
5.2. Fındık Zurufundan Aktif Karbon Eldesi ve Karakterizasyonu .....	40
5.3. Çözeltilerden Bakır (II) ve Kurşun (II) iyonlarının adsorpsiyonu.....	40

5.4. Standart Cu(II) ve Pb(II) İyonları Çözeltileri.....	41
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR .....	43
6.1. Fındık Zurufundan Elde Edilen Aktif Karbonun Karakterizasyonu..	43
6.2. Çözeltilerden Bakır (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Adsorpsiyonu....	44
6.2.1. Bakır(II) ve kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna pH değişiminin etkisi.....	44
6.2.2. Bakır (II) ve Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna doz değişimi etkisi.....	47
6.2.3. Bakır (II) ve kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna karıştırma süresinin etkisi.....	49
6.2.4. Bakır (II) ve Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu etkisi.....	51
6.3. Deneysel Verilerin Langmuir ve Freundlich İzotermlerine Uygulanması.....	53
6.3.1. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonun Langmuir izoterm eşitliğine uygulanması.....	53
6.3.2. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonun Langmuir izoterm eşitliğine uygulanması.....	54
6.3.3. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonun Freundlich izoterm eşitliğine uygulanması.....	55
6.3.4. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonun Freundlich izoterm eşitliğine uygulanması.....	56
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

B	: Adsorplayıcıya bağlı bir sabit
$\beta$	: Adsorplanan maddeye bağlı bir sabit
C	: Konsantrasyon
$C_0$	: Çözeltinin başlangıç konsantrasyonu, ppm
$C_s$	: Çözeltinin dengeye ulaştığı konsantrasyon, ppm
c	: Verilen herhangi bir sıcaklıktaki sabit
D	: Sıcaklığa bağlı bir sabit
$\varepsilon$	: Adsorpsiyon potansiyeli
$E^0$	: Elektrot potansiyeli, volt
$E_1$	: Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı
$E_T$	: Gazın sıvılaşma ısısı, Kj/mol
K	: Adsorbe olan maddenin bağlanma enerjisi ile ilgili olan Langmuir izotermine ait sabit, L/mg
$k_B$	: Boltzman sabiti
k	: Freundlich izotermine konsantrasyona bağlı sabit
kg	: kilogram
L	: Avogadro sabiti
m	: Adsorban miktarı, g
n	: Freundlich izotermine konsantrasyona bağlı sabit
p	: Denge basıncı
P	: Gazın kısmi basıncı, atm
pH	: Çözeltideki hidrojen iyonu molar derişiminin eksi logaritması
$P_0$	: Adsorplanmış cismin doymuş buhar basıncı
R	: İdeal gaz sabiti, $8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
$r^2$	: Regresyon katsayısı
T	: Sıcaklık, K

$t_k$	: Karıştırma süresi
$V$	: Adsorplanmış olan gazın standart koşullara göre hesaplanmış Hacmi, L
$V_{ads}$	: Gazın adsorplanan hacmi, L
$V_k$	: Karıştırma hızı, rpm
$V_m$	: Yüzey unimoleküler tabaka tarafından kaplandığında adsorplanmış gaz hacminin standart koşullardaki değeri
$V_s$	: Adsorplayıcı sıvının molar hacmi
$v_{mi}$	: Özgül mikrogözenek hacmi
$x$	: Freundlich ve Langmuir denkleminde adsorplanan iyon miktarı, mg
$X_m$	: Adsorbe olan maddenin maksimum miktarıyla ilgili olan Langmuir izotermine ait sabit, mg/g
$\frac{d\gamma}{dc}$	: Çözelti konsantrasyonu ile yüzey geriliminin artış hızı, J.L/mol.m <sup>2</sup>
$\Delta G^\circ$	: Gibbs serbest enerji değişimi, KJmol <sup>-1</sup>
$\Delta H^\circ$	: Adsorpsiyonun entalpi değişimi, KJmol <sup>-1</sup>
$\Delta S^\circ$	: Adsorpsiyonun entropi değişimi, Jmol/K
$\gamma$	: Ara yüzey gerilimi, Nm <sup>-1</sup>
$\delta$	: Limit sıvı sınır katman kalınlığı, cm
$\Gamma$	: Birim yüzeyde adsorbat miktarı, mol/m <sup>2</sup>
$\theta$	: Örtülü yüzey kesri
$\sigma$	: Deney sıcaklığındaki yüzey gerilimini
$A^\circ$	: Angström
AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
$^\circ C$	: Santigrad derece
cm	: Santimetre
cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
dk	: Dakika
FZAK	: Fındık zurufundan elde edilen aktif karbon
g	: Gram
(g)	: Gaz
J	: Joule
K	: Kelvin



(k)	: Katı
kg	: Kilogram
kj	: Kilojoule
L	: Litre
m	: Metre
m <sup>2</sup>	: Metrekare
mA	: Miliamper
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
$\mu$ m	: Mikrometre
$\mu$ ohm	: Mikroohm
N	: Newton
nm	: Nanometre
Ort.Abs	: Ortalama absorbans değeri
ppm	: Miligram / Kilogram
s	: Saniye
(s)	: Sıvı
%	: Yüzde

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon izotermi.....	5
Şekil 2.2. Adsorpsiyon izotermi.....	7
Şekil 2.3. Freundlich izoterminin grafik değerlendirmesi.....	10
Şekil 2.4. Polonyi karakteristik eğrisi.....	15
Şekil 2.5. Dubinin-Radushkevich-Kaganer denkleminin grafiği.....	16
Şekil 5.1. Paslanmaz çelik kap.....	39
Şekil 5.2. Cu (II) konsantrasyonu ile Ort. Abs. değerlerinin değişim eğrisi	41
Şekil 5.3. Pb (II) konsantrasyonu ile Ort. Abs. değerlerinin değişim eğrisi	42
Şekil 6.1. Aktif karbonun gözenek boyutu dağılımı.....	44
Şekil 6.2. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu – pH değişimi eğrisi.....	45
Şekil 6.3. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonu – pH değişimi eğrisi.....	46
Şekil 6.4. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu – doz değişimi eğrisi.....	47
Şekil 6.5. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonu – doz değişimi eğrisi.....	48
Şekil 6.6. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu – karıştırma süresi eğrisi.....	49
Şekil 6.7. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonu – karıştırma süresi eğrisi.....	50
Şekil 6.8. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu – başlangıç konsantrasyonu eğrisi.....	51
Şekil 6.9. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonu – başlangıç konsantrasyonu eğrisi.....	52
Şekil 6.10. Bakır (II) adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi grafiği.....	53
Şekil 6.11. Kurşun (II) adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi grafiği.....	54
Şekil 6.12. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna ait 291 K sıcaklıktaki Freundlich izoterm grafiği.....	56
Şekil 6.13. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna ait 291 K sıcaklıktaki Freundlich izoterm grafiği.....	57

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Gözenek özelliklerine göre aktif karbonlar.....	23
Tablo 3.2. Hammadde türüne göre aktif karbon özellikleri .....	24
Tablo 3.3. Fındık zurufunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	26
Tablo 3.4. Türkiye' nin yıllık fındık rekoltesi.....	27
Tablo 4.1. Bakırın genel özellikleri .....	31
Tablo 4.2. Kurşunun genel özellikleri .....	35
Tablo 5.1. Alevli atomik absorpsiyon spektrometresinde elementlerin ölçüm koşulları.....	38
Tablo 5.2. Bakır(II) konsantrasyonlarının okunan Ortalama Absorbans Değerleri.....	41
Tablo 5.3. Kurşun (II) konsantrasyonlarının okunan Ortalama Abs değerleri.....	42
Tablo 6.1. Fındık zurufundan elde edilen aktif karbonun elek analizi sonuçları.....	43
Tablo 6.2. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna pH değişiminin etkisi.....	45
Tablo 6.3. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna pH değişiminin etkisi.....	46
Tablo 6.4. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna doz etkisi.....	47
Tablo 6.5. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna doz etkisi.....	48
Tablo 6.6. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna karıştırma süresi etkisi.....	49
Tablo 6.7. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna karıştırma süresi etkisi.....	50
Tablo 6.8. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu etkisi.....	51
Tablo 6.9. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu etkisi.....	52
Tablo 6.10. Bakır (II) adsorpsiyonu için Langmuir eşitliği değerleri.....	53
Tablo 6.11. Kurşun (II) adsorpsiyonu için Langmuir eşitliği değerleri.....	54

Tablo 6.12. Bakır (II) ve Kurşun (II) iyonları için Langmuir sabitleri ve regresyon katsayıları.....	55
Tablo 6.13. Bakır (II) adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri .....	55
Tablo 6.14. Kurşun (II) adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri...	57
Tablo 6.15. Bakır (II), Kurşun (II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri ve regresyon katsayıları.....	58

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, aktif karbon, fındık zurufu, ağır metaller.

Fındık zurufundan  $ZnCl_2$  aktivasyonu ile  $700\text{ }^{\circ}C$  azot atmosferinde aktif karbon hazırlandı. Elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı  $1092\text{ m}^2/g$  olarak belirlendi. Hazırlanan aktif karbon kullanılarak  $Cu(II)$  ve  $Pb(II)$  iyonlarının sulu çözeltilerinden adsorpsiyonla uzaklaştırılmasına pH, aktif karbon miktarı, temas yüzeyi ve konsantrasyonun etkisi araştırılarak optimum adsorpsiyon koşulları belirlendi.

Adsorpsiyon verileri Freundlich ve Langmuir izotermine uygulanarak her iki izoterme ait sabitler hesaplandı.

# **PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM THE HAZELNUT HUSK AND ADSORPTION OF SOME HEAVY METAL IONS**

## **SUMMARY**

Key words: Adsorption, activated carbon, hazelnut husk, heavy metal

Activated carbon was prepared in nitrogen atmosphere at 700<sup>0</sup>C by ZnCl<sub>2</sub> activation from hazelnut husk BET surface area of activated carbon obtained was determined as 1092 m<sup>2</sup>/g.

The prepared activated carbon was used for removal of Cu (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by adsorption. The optimum condition has been determined by investigating the effect of pH, amount of activated carbon, contact time and concentration.

The adsorption data were applied to Freundlich and Langmuir isotherms and the constants belong to both isotherms were calculated.

## **BÖLÜM 1 . GİRİŞ**

Düzensiz ve hızlı sanayileşmenin yanında nüfustaki artış çevre kirliliğini beraberinde getirmektedir. Çevre kirliliğinin en önemli kısmını sanayi atıkları oluşturmaktadır.

Çevreyi kirleten maddeler hava su ve toprağa bırakılmaktadır. Topraktaki ve havadaki kirleticilerin yıkanarak suya geçmesi de su kirliliğinin önemini artırmaktadır. Sulardaki kirleticilerden en önemlilerinden biri olan ağır metaller bitkilere ve hayvanlara geçmektedir. İnsanların besin olarak hem bitkisel hem de hayvansal ürünleri kullanması sonucu çevreye atılan ağır metallerin insan vücudunda birikmesine neden olmaktadır.

Dünyanın %70 i sudur. Bunun % 97 si deniz suyu, % 2 si kutuplarda buzul halinde bulunmaktadır. Tüm dünya için içilebilir su miktarı % 1 dir [1]. İçilebilir su kaynaklarının azlığı, kirlenmenin canlılık için önemli bir tehlike haline gelmesine neden olmaktadır.

Suyun orijinine, türüne, temizlendikten sonra kullanım amacına ve yöresel kaynaklarına göre kirli suların kirliliğinin giderilmesinde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Çözünmüş ağır metal derişimleri 100 ppm den daha düşük olan atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması geleneksel fiziksel ve kimyasal işlemlerle (çökelme, iyon değiştirme, elektrokimyasal arıtma, buharlaştırma yolu ile geri kazanma vb.) çok verimli olmadığı gibi aynı zamanda çok pahalıdır. Bu nedenle adsorpsiyon yöntemi daha ekonomiktir. Adsorban olarak başta aktif karbon olmak üzere çeşitli polimerler alüminyum oksit, doğal ve yapay zeolitler, uçucu kül, bitki atıkları gibi maddeler kullanılmaktadır [2].

Atık suların arıtılmasında kullanılan adsorbanların pahalı olması, işletmelerin atık suların arıtılmasına hassasiyet göstermesine mani olmaktadır. Bundan dolayı

arıtmada kullanılan maddelerin ucuz ve kolay elde edilebilir olması çevreye olan duyarlılığı artıracaktır.

Ülkemizin önemli tarım ürünlerinden birisi de fındıktır. Fındık hasadı sonunda atık olarak elde edilen fındık zurufu herhangi bir amaçla değerlendirilmemekte, genellikle yakılarak yok edilmektedir. Bu çalışmada bitkisel bir atık madde olan fındık zurufundan aktif karbon yapıldı ve sulardaki ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması araştırıldı. Bunun için Cu(II) ve Pb(II) iyonları içeren sulu çözeltilerden farklı şartlarda adsorpsiyon yeteneği incelenmiş ve optimum adsorpsiyon şartları tespit edildi.



## BÖLÜM 2. ADSORPSİYON

Gaz veya sıvı fazında ya da herhangi bir çözültide bulunan çözülmüş maddelere ait molekül, atom veya iyonların bir maddenin yüzeyinde tutunması olayına adsorpsiyon adı verilir [3]. Katının yüzeyine tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına da desorpsiyon denir [4].

Adsorplanan maddeye adsorbat, ona destek olan alttaki katıya da adsorban adı verilir [5].

Adsorpsiyonun büyüklüğü sıcaklığa, adsorplanan maddenin tabiatına, bulunduğu ortamdaki konsantrasyonuna (adsorplanan gaz ise basıncına), adsorbe eden maddenin (adsorbanın) tabiatına ve yüzey genişliğine bağlıdır. Adsorpsiyonda özellikle adsorbanın yüzey genişliği çok önemlidir. Bunun için katı haldeki adsorbanın mümkün olduğu kadar yüzeyini genişletmek amacıyla katı taneciklerin boyutu küçültülür [3].

Sabit sıcaklık ve sabit basınçta kendiliğinden olduğundan dolayı adsorpsiyon sırasındaki serbest entalpi değişimi yani adsorpsiyon serbest entalpisi  $\Delta G$  daima eksi işaretlidir. Diğer taraftan, gaz ya da sıvı ortamında daha düzensiz olan tanecikler katı yüzeyinde tutunarak daha düzenli hale geldiğinden dolayı adsorpsiyon entropisi  $\Delta S$  değeride daima eksi işaretlidir

$$\Delta H = \Delta G + T \Delta S \quad (2.1)$$

Eşitliği uyarınca adsorpsiyon entalpisi  $\Delta H$  daima eksi işaretlidir yani ekzotermiktir. Adsorpsiyon ısısı katı yüzeyindeki doymamış kuvvetlerle adsorplanan tanecikler arasındaki etkileşmelerden doğmaktadır [4].

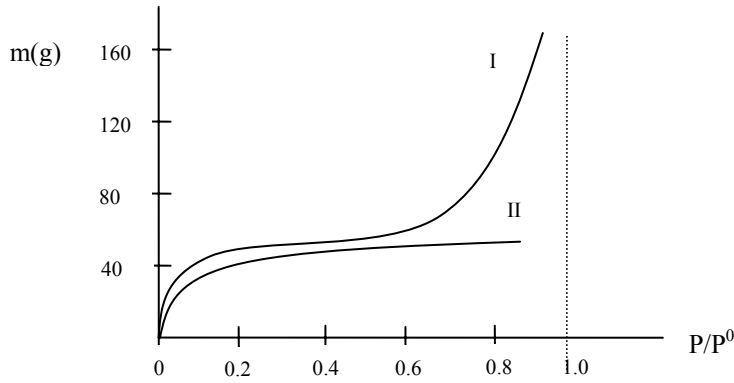
Adsorpsiyon ısısının ekzotermik yani ısı salan tepkime olmasından dolayı adsorpsiyon sıcaklıkla ters orantılıdır. Bunun sonucu sıcaklığın artması adsorpsiyon miktarını önemli ölçüde azaltır.

Moleküller ve atomlar yüzeylere iki yolla tutunabilirler. Fiziksel adsorpsiyonun kısaltılmışı anlamındaki fizisorpsiyonda, adsorbat ile adsorban arasında bir Van der Waals etkileşimleri vardır. Yüzey boyunca çarpıp zıplayan bir molekül sonunda enerjisini giderek kaybederek yüzeye bağlanır. Fizisorpsiyon entalpisi  $20 \text{ kJ mol}^{-1}$  civarındadır. Kimyasal adsorpsiyonun kısaltılmışı olarak kullanılan kemisorpsiyon da, moleküller veya atomlar genellikle bir kovalent bağ oluşumuyla yüzeye tutunurlar. Kemisorpsiyon entalpisi  $200 \text{ kJmol}^{-1}$  civarındadır [5].

Kimyasal adsorpsiyon yalnızca bir tabakalı yani monomoleküler olabildiği halde, fiziksel adsorpsiyon bir tabakalı ya da çok tabakalı yani multimoleküler olabilir. Diğer taraftan çoğu fiziksel adsorpsiyonlar tersinir olarak yürütülebildiği halde kimyasal adsorpsiyonlar tersinmezdir [4].

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon infrared spektrumları ile de incelenebilir. Spektrumun dalga boyunda herhangi bir değişiklik yoksa kimyasal bir değişme olmamıştır yani adsorpsiyon fizikseldir. Farklı dalga boylarında yeni pikler elde edilmişse bu yeni kimyasal bağların meydana geldiğini gösterir. Bu durumda adsorpsiyon kimyasaldır.

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki fark adsorpsiyon izotermiyle açık şekilde görülebilir. 77 K de  $\text{N}_2$  un silika jel üzerinde adsorpsiyonu fiziksel adsorpsiyona, Oksijenin 150 K de aktif kömür üzerinde adsorpsiyonu kimyasal adsorpsiyona tipik birer örnektir. Şekil 2.1 de bu adsorpsiyonlara ait izotermier görülmektedir [3].



Şekil 2.1. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon izotermi. I nolu izoterm fiziksel bir adsorpsiyon örneği olan  $N_2$  un 77 K de silika jel üzerindeki adsorpsiyonu, II nolu izoterm ise bir kimyasal adsorpsiyon örneği olan  $O_2$  nin 150 K de kömür üzerindeki adsorpsiyonunu göstermektedir.

## 2.1. Adsorplayıcı Katılar ve Özellikleri

Metaller ve plastikler de dâhil olmak üzere bir kristal yapıya sahip olsun ya da olmasın tüm katılar az veya çok adsorplama gücüne sahiptirler. Adsorplama gücü yüksek olan bazı doğal katıları kömürler, killer, zeolitler ve çeşitli metal filizleri şeklinde, yapay katıları ise aktif kömürler, moleküler elekler ( yapay zeolitler ), silika jeller, metal oksitleri, katalizörler ve bazı özel seramikler şeklinde sıralayabiliriz [4].

Adsorplama gücü yüksek olan katılar deniz süngerini andıran bir gözenekli yapıya sahiptir. Katıların içinde ve görünen yüzeyinde bulunan boşluk, oyuk, kanal ve çatlaklara genel olarak gözenek adı verilir. Doğadaki gözeneklerin boyutu bir mağara ile bir atom büyüklüğü arasında değişmektedir. Genişliği 2 nm den küçük olanlara mikro gözenek, 2nm ile 50 nm arasında olanlara mezo gözenek, 50 nm den büyük olanlara ise makro gözenek adı verilmiştir. Katının bir gramında bulunan toplam gözeneklerin hacmine özgül gözenek hacmi bu gözeneklerin sahip olduğu duvarların toplam yüzeyine ise özgül yüzey alanı denir. Gözenekler küçüldükçe duvar sayısı artacağından özgül yüzey alanı da artacaktır. Bir başka ifadeyle, özgül yüzey alanının büyüklüğü özgül gözenek hacminin büyüklüğünden çok, gözeneklerin büyüklüğüne bağlıdır. Gözeneklerin büyüklük dağılımına adsorplayıcının gözenek boyut dağılımı denir. Bir katının adsorplama gücü bu katının doğası yanında özgül yüzey alanı, özgül gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımına bağlı olarak değişmektedir [4].

Mikro- ve mezo gözenekler kimyasal işlem ve yüksek sıcaklıktan etkilendiği halde, makro gözenekler yüksek basınçtan etkilenmektedir. Yeterince yüksek sıcaklık uygulandığında partiküller birbirleriyle kaynayarak sinterleşmesinden dolayı önce mikro gözenekler sonra da mezo gözenekler ortadan kaldırılabilir. Benzer şekilde, yeterince yüksek basınç uygulandığında daha çok partiküller arasındaki boşluklardan kaynaklanan makro gözenekler mezo- ya da mikrogözenek boyutuna küçültülerek ortadan kaldırılabilir. Asit ve bazlarla işlenerek bir katı içindeki mikro- ve mezo gözeneklerin sayısı ve dolayısıyla özgül yüzey alanı artırılabilir [4].

Makro gözeneklerin adsorplama gücü çok azdır. Makro gözeneklerin duvarlarının yüzeylerinden kaynaklanan alan, mikro- ve mezo gözeneklerden kaynaklanan alan yanında ihmal edilebilecek kadar azdır. Genişliği 50 nm 'den daha büyük olan makro gözeneklerin hacmi, içlerine zorla doldurulan civanın hacmine eşit olarak alınır [4].

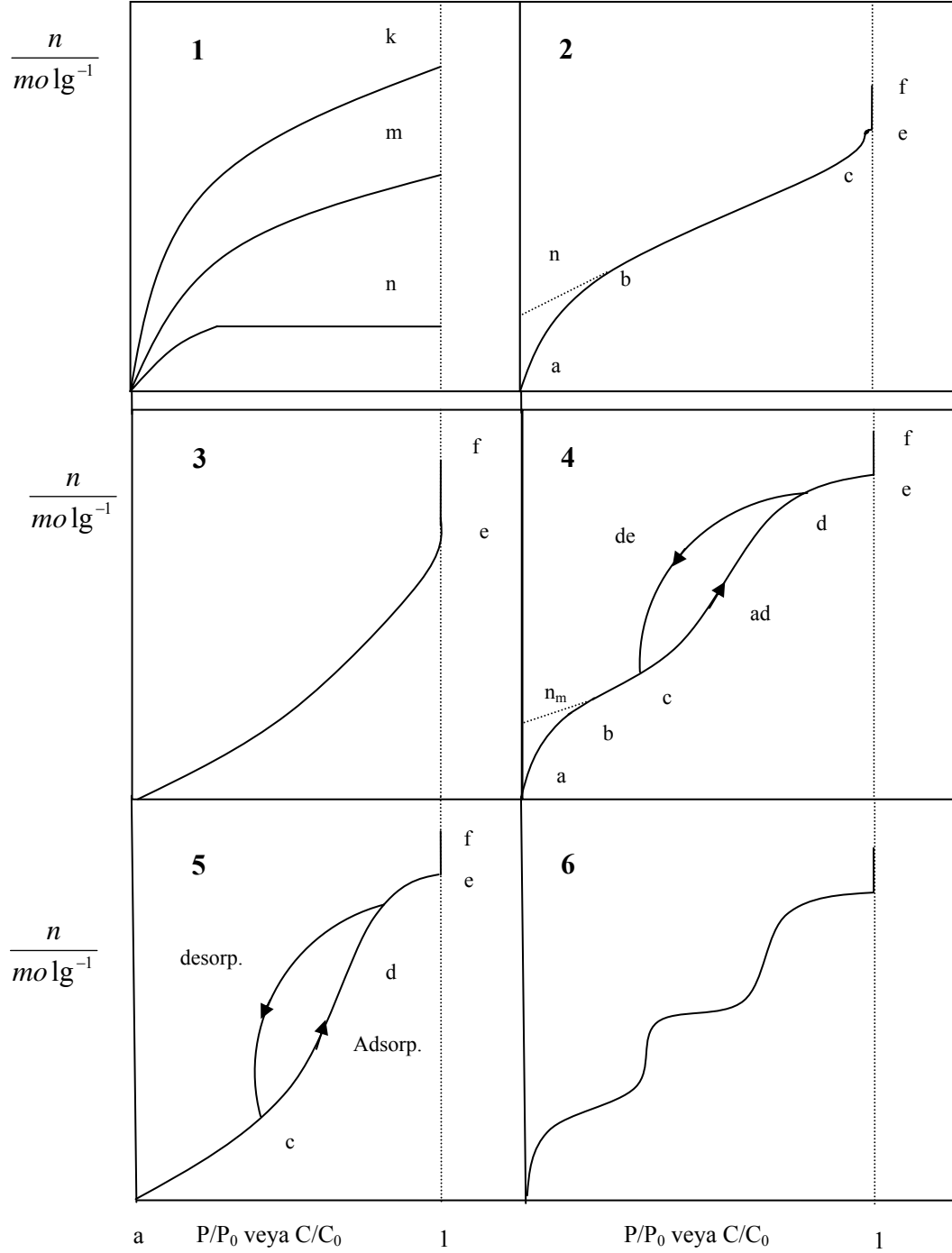
Adsorbanların yüzey alanları 100 m<sup>2</sup>/g ile 3000 m<sup>2</sup>/g arasında olabilir. Normal yüzey alanları yaklaşık 300 m<sup>2</sup>/g – 1200 m<sup>2</sup>/g arasındadır [6].

Adsorban yıpranmaya karşı direnç ve dayanıklılık gibi mekanik özellikleri olmalıdır. Bunun yanında adsorblanan molekülleri adsorpsiyon alanına hızlı bir şekilde transfer edecek kinetik özellikleri olmalıdır. Pek çok uygulamada adsorban kullandıktan sonra rejenere edilmektedir. Bu yüzden rejenarasyon işleminde aktif karbonun mekanik ve adsorplayıcı özelliklerine zarar vermeden yapılması arzu edilir. Ham maddelerin ve adsorban üretim yöntemlerinin nihai olarak pahalı olmaması gerekir. Çünkü alternatif ayırma prosesleri ile rekabet edebilmelidir [6].

## 2.2. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorplayıcı ve adsorplanan yanında sıcaklık da sabit tutulduğunda gaz fazından adsorpsiyon yalnızca basınca, çözeltilen adsorpsiyon ise yalnızca derişime bağlıdır. Bu durumda adsorplanan madde miktarının basınçla ya da derişimle değişimini veren çizgilere adsorpsiyon izotermi denir.

Deneysel olarak belirlenen adsorpsiyon izotermi Şekil 2.2 de şematik olarak çizilen 6 tip izoterm eğrisinden birine daha çok benzemektedir. Daha çok buhar fazından adsorpsiyon için çizilen bu izotermilerin bazıları çözeltilerden adsorpsiyon için de geçerlidir.



Şekil 2.2. Adsorpsiyon izotermi tipinin 6 karakteristik tipi [4].

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 çözeltinin derişimini yani çözünürlüğü göstermektedir. Aynı izotermeler  $P/P_0$  yerine  $P$  denge basıncı ve  $C/C_0$  yerine  $C$  denge derişimi alınarak çizilebilir.

Şekildeki  $P/P_0 = 1$  ya da  $C/C_0$  değerlerinde adsorplanan madde yığın olarak ayrıldığından izoterm eğrileri dikey olarak yükselmeye başlamaktadır. Bu dikey yükselme noktasına gelindiğinde adsorpsiyon tamamlanmış demektir.

I. İzoterm monomoleküler yani tek tabakalı olan kimyasal adsorpsiyon izotermi gösterir. Mikro gözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi  $k$  eğrisine, makro gözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi ise  $n$  eğrisine yakındır. Çözeltilerden adsorpsiyon izotermeleri  $k$ ,  $n$  ve  $m$  eğrilerinden birine yakın olarak ortaya çıkmaktadır.

II. İzoterm birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermeleri gösterir. İzotermin  $ab$  parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon,  $bc$  parçası boyunca ise çok tabakalı adsorpsiyon ve kılcal yoğunlaşma tamamlanmaktadır. İzotermin  $b$  noktasından sonraki doğrusal kısmın uzantısından  $n_m$  tek tabaka kapasitesi yaklaşık olarak okunabilir. Doygunluk noktasına gelindiğinden dolayı  $ef$  boyunca adsorplanan madde sıvı ya da katı olarak yığın halde ayrılır.

III. İzoterm birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermeleri gösterir.

IV. İzoterm birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermeleri gösterir. Şekilde görüldüğü gibi adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermelerinin farklı yollar izlemesine adsorpsiyon histerезisi denir. İzotermin  $ab$  parçası boyunca tek tabakalı adsorpsiyon,  $bc$  parçası boyunca çok tabakalı adsorpsiyon  $cd$  parçası boyunca ise kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Genellikle mikro- ve mezo gözenek içeren katılardaki adsorpsiyon izotermeleri bu tipe uymaktadır.

V. İzoterm birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi gösterir. İzoterm ac parçası boyunca yüzey tek tabakalı ya da çok tabakalı olarak kaplandıktan sonra cd boyunca kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Adsorplama gücü düşük mezo gözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzer.

VI. İzoterm mikro gözenekler yanında farklı boyutlarda mezo gözenek grupları içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi gösterir [4].

### 2.2.1. Freundlich adsorpsiyon izotermi

Adsorplanan gazın miktarı, gazın basıncı ile artmaktadır ve bunun ifadesi

$$\frac{x}{m} = k.P^n \quad (2.2)$$

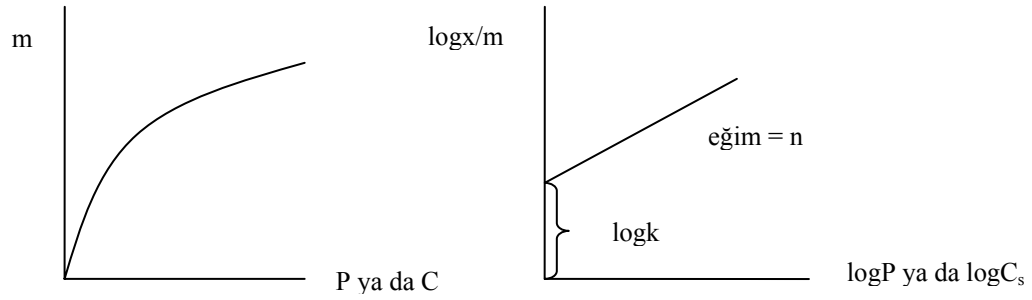
Eşitliği ile verilir. Burada  $x$ ,  $m$  gram adsorban tarafından adsorplanan adsorbat miktarı,  $P$  adsorplanan gazın kısmi,  $k$  ve  $n$  Langmuir sabitleridir.  $k$  ve  $n$  i bulmak için 2.1 denkleminin logaritması alınır ve

$$\log \frac{x}{m} = \log k + n \log P \quad (2.3)$$

Elde edilir.  $\log \frac{x}{m}$  ile  $\log P$  arasında grafik çizilir ve bir doğru elde edilir. Doğrunun eğimi  $n$  e, ordinatı kestiği nokta ise  $\log k$  ya eşittir.

Freundlich adsorpsiyon izotermi I.tip izotermi açıklar fakat adsorplanan maddenin bir limite erişmesi olayını açıklayamaz.

Freundlich izotermi, basınç yerine konsantrasyon alınarak çözeltilerden adsorpsiyona uygulanabilmektedir [2].



Şekil 2.3. Freundlich izoterminin grafik değerlendirmesi [3].

### 2.2.2. Langmuir adsorpsiyon izotermi

Langmuir'in gazların katı yüzeyinde adsorpsiyonu ile teorik yaklaşım aşağıdaki kabullere dayanır.

- Katı yüzeyi belli sayıda adsorpsiyon merkezi ihtiva eder.
- Her bir adsorpsiyon merkezine bir molekül tutunabilir.
- Adsorpsiyon ısısı bütün adsorpsiyon merkezleri için aynıdır.
- Farklı merkezlere bağlanmış moleküller arasında hiçbir etkileşme yoktur [3].

Langmuir denkleminde adsorplanan madde ile adsorplanmış madde molekülleri arasında dinamik bir denge oluşur. Langmuir denklemi;

$$\frac{P}{x/m} = \frac{1}{KX_m} + \left(\frac{1}{X_m}\right)P \quad (2.4)$$

Eşitliği ile verilir. Buradaki

P : dengede iken gazın basıncı

x/m : m gram adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı

X<sub>m</sub> : adsorbe olan maddenin maksimum miktarı ile ilgili sabit

K : adsorbe olan maddenin bağlanma enerjisi ile ilgili olan sabit



K ve  $X_m$  sabitlerini bulmak için  $\frac{P}{x/m}$  ile P arasında grafik çizilir ve bir doğru elde edilir. Doğrunun eğimi  $\frac{1}{X_m}$  'ye, ordinatı kestiği nokta  $\frac{1}{KX_m}$  'ye eşittir. Langmuir I. ve II. izotermi açıklar. Langmuir denklemi çözümlere uygulandığında olumlu sonuçlar vermektedir. Çözümlere uygulanması halinde langmuir denklemi

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{KX_m} + \left( \frac{1}{X_m} \right) \cdot C \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır [2].

### 2.2.3. Brunauer-Emmett-Teller (BET) adsorpsiyon izotermi

Langmuir adsorpsiyon izotermi için verilen kabullerden de anlaşılacağı gibi bu izoterm tek tabaka adsorpsiyonu için verilmiştir. Yüksek basınçlarda monomoleküler yerine multimoleküler tabakaların oluştuğu gözlenmiş ve bu durum Brunauer, Emmett ve Teller tarafından geliştirilerek çok tabaka adsorpsiyonuna uygulanmış ve B.E.T izotermi olarak bilinen

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m \cdot c} + \frac{(c-1) \cdot P}{V_m \cdot c \cdot P_0} \quad (2.6)$$

Bağıntısı ile verilir. Burada

$V$  : P basıncında ve T sıcaklığında adsorplanmış gazın standart koşullara göre hesaplanmış hacmi

$P_0$  : T sıcaklığında adsorplanmış gazın doymuş buhar basıncı

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

$c$  : Verilen her hangi bir sıcaklıkta bir sabit olup adsorplama gücünün bir ölçüsüdür.

$$c = \exp [ (q_1 - q_L) / RT ] \quad (2.7)$$

olarak verilmektedir. Buradaki  $q_1$  birinci tabakanın adsorpsiyon ısısını,  $q_L$  adsorplanan maddenin yoğunlaşma ısısını,  $q_1 - q_L = q$  net adsorpsiyon ısısını göstermektedir.

$P / P_0$  ile  $P / V( P_0 - P )$  arasında grafik çizilirse bir doğru elde edilir. Doğrunun eğimi  $(c-1) / V_m.c$  'ye, ordinatı kestiği nokta  $1 / V_m.c$ 'ye eşittir. Bu iki eşitlikten  $V_m$ ,  $V_m$  den de spesifik yüzey alanı bulunur.

BET izotermi II. ve III. tip izotermi açıklar [2,4].

#### 2.2.4. Gibbs adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyonla yüzey gerilimi arasındaki doğru bağlantı ilk önce 1878 yılında J.W.Gibbs tarafından elde edilmiştir. Gibbs denklemi kimyasal potansiyelden yararlanılarak bulunmuştur ve seyreltik çözeltilerde

$$\Gamma = - \frac{C}{RT} \frac{d\gamma}{dC} \quad (2.8)$$

Bağıntısıyla verilir. Burada

$\Gamma$  : Birim yüzeyde adsorbat miktarı (Adsorbat fazlalığı) ( $\text{mol. m}^{-2}$ )

$C$  : Konsantrasyon ( $\text{mol.L}^{-1}$ )

$R$  : Gaz sabiti ( $\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$T$  : Mutlak sıcaklık (K)

$\frac{d\gamma}{dC}$  : Çözelti konsantrasyonu ile çözeltinin yüzey geriliminin artış hızı ( $\text{J.L.mol}^{-1}.\text{m}^{-2}$ )

Bu denkleme göre  $\frac{d\gamma}{dC}$  nin konsantrasyonun artması ile ara yüzey gerilimi değişerek

sağ taraf negatif olur ve  $\Gamma$  pozitif olur [2].

### 2.2.5. Temkin izotermi

Temkin eşitliği

$$\theta = \frac{n}{n_m} = a \cdot \ln bp, \quad (0,2 < \theta < 0,8) \quad (2.9)$$

şeklinde verilmiştir. Buradaki a ve b birer sabiti p ise denge basıncını göstermektedir. Basınç yerine derişim alınarak aynı denklem çözümlenerek adsorpsiyon için de kullanılabilir [4].

### 2.2.6. Fowler izotermi

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonlar için türetilen bu eşitlik

$$bp = \frac{\theta}{1-\theta} \exp\left(\frac{2 \cdot \theta \cdot w}{k_B \cdot T}\right) \quad (2.10)$$

şeklinde verilmektedir. Buradaki p denge basıncını,  $\theta$  örtülü yüzey kesrini,  $k_B$  Boltzmann sabitini, T sıcaklığı, b bir sabiti, w ise adsorplanan madde molekülleri arasındaki etkileşimlere bağlı bir niceliği göstermektedir [4].

### 2.2.7. Harkins- Jura izotermi

Termodinamik yoldan türetilen bu eşitlik grafiği bir doğru vermek ve hacim 1 atm ile 273,15 K deki değer olmak üzere

$$\lg\left(\frac{p}{p^o}\right) = B - C / v^2 \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Denklemdaki B ve C sabitleri sırayla bu eşitliğe göre çizilen doğrunun kayma ve eğiminden bulunmaktadır. Azot adsorpsiyonu için

$$\frac{A}{m^2 g^{-1}} = 4,06 C^{1/2} \quad (2.12)$$

eşitliğinden özgül yüzey alanına ulaşılabilir [4].

### 2.2.8. Polonyi izotermi

Polonyi, adsorplanan fazın sıvı özelliğinde olduğunu ve bu sıvının buhar basıncının aynı sıcaklıktaki yığın sıvının buhar basıncına eşit olduğunu ileri sürmüştür. Basıncı  $p$  denge basıncına eşit olan buhar fazından basıncı  $p^0$  olan adsorplanmış faza bir mol maddenin tersinir olarak aktarımı sırasındaki serbest entalpi değişimine eşit olan maksimum iş Polonyi tarafından adsorpsiyon potansiyeli olarak tanımlanmış

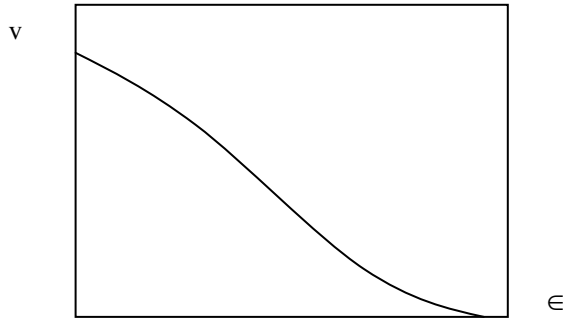
$$\varepsilon = \Delta G = RT \ln (p^0 / p) \quad (2.13)$$

şeklinde gösterilmiştir. Basınçlar yerine derişimler alınarak aynı eşitlik çözümlenerek adsorpsiyon için de kullanılabilir. Adsorplanan ve adsorplayıcı değişmedikçe Polonyi potansiyeli sıcaklıkla değişmemektedir.

Adsorplanan madde miktarı  $n/\text{mol } g^{-1}$  olarak alındığında sıvı olduğu varsayılan adsorplanmış fazın hacmi

$$\frac{v}{cm^3 g^{-1}} = nV_s \quad (2.14)$$

eşitliğinden bulunur. Bu hacim de sıcaklıkla değişmemektedir. Adsorpsiyon izotermi kullanılarak son iki bağıntıdan bulunan niceliklerle çizilen  $\varepsilon - v$  grafiğine Polonyi karakteristik eğrisi denir. Adsorplayıcı ve adsorplanan değişmedikçe  $\varepsilon$  ve  $v$  sıcaklıkla değişmeyeceğinden karakteristik eğri de sıcaklıkla değişmez [4].



Şekil 2.4 Polonyi karakteristik eğrisi [4].

### 2.2.9. Dubinin-Radushkevich-Kagener izotermi

Dubinin ve Radushkevich Şekil 2.4 deki Polonyi karakteristik eğrisini mikro gözenek hacimlerinin adsorpsiyon potansiyeline göre değişimini veren bir Gaus dağılımı olduğunu ileri sürmüşler ve bu eğrinin denklemini

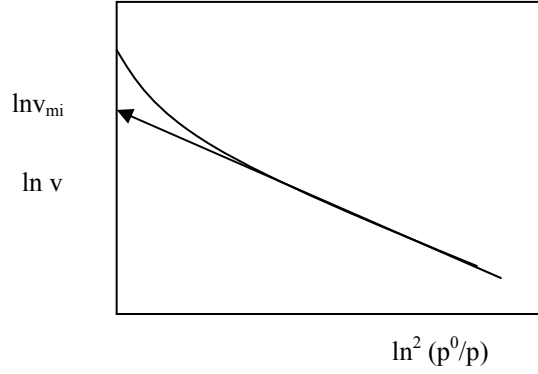
$$v = v_{mi} \exp(-k \epsilon^2 / \beta^2) = v_{mi} \exp [(-k / \beta^2) R^2 T^2 \ln^2 (p^0/p)] \quad (2.15)$$

şeklinde yazmışlardır. Bu denklemin logaritması alındıktan sonra bazı basitleştirmeler yapılarak pratikte çok kullanılan sırayla aşağıdaki eşitliklere geçilmiştir.

$$\ln v = \ln v_{mi} - (B / \beta^2) T^2 \ln^2 (p^0/p) \quad (2.16)$$

$$\ln v = \ln v_{mi} - D \ln^2 (p^0/p) \quad (2.17)$$

Buradaki  $B = kR^2$  adsorplayıcıya bağlı bir sabiti,  $\beta$  adsorplanan maddeye bağlı bir sabiti,  $D = (B / \beta^2) T^2$  adsorplayıcı ve adsorplanan yanında sıcaklığa da bağlı bir sabiti,  $v_{mi}$  ise özgül mikro gözenek hacmini göstermektedir. Son bağıntının grafiği Şekil 2.5 de çizilmiştir. Bu eğrinin doğrusal kısmının uzantısından  $\ln v_{mi}$  değeri okunmakta ve  $v_{mi}$  özgül mikro gözenek hacmine geçilmektedir.



Şekil 2.5. Dubinin-Radushkevich-Kaganer denkleminin grafiği [4].

Adsorplama gücü çok yüksek olan küçük gözenekler için adsorpsiyon potansiyeli çok büyüktür. Bu nedenle, mikro gözenekler küçükten büyüğe doğru sırayla dolmaktadır. Yüzey adsorpsiyonundan çok gözeneklerin küçükten büyüğe doğru sırayla dolduğu düşünülerek türetilen ve mikro gözeneklerin hacim dağılımını veren bu modele hacim dolm kuramı da denilmektedir. Basınçlar yerine derişimler alınarak son eşitlik çözümlenerek adsorpsiyon için de kullanılmaktadır.

Dolan mikro gözeneklerin içindeki adsorplanan madde miktarının ancak gözenek yüzeylerinin tek tabaka ile kaplanmasına yetecek kadar olduğunu belirleyen Kaganer tek tabaka kapasitesinin mikro gözenekleri dolduran adsorplanan madde miktarına eşit alınabileceğine göstermiştir. Buna göre  $V_s$  adsorplayıcı sıvısının molar hacmi olmak üzere

$$n_m = v_{mi} / V_s \quad (2.18)$$

eşitliğinden tek tabaka kapasitesine geçilebilmektedir. Bu nicelik

$$A = (v_m / 22400) L a_m = n_m L a_m \quad (2.19)$$

eşitliğinde kullanılarak mikro gözenekli katıların özgül yüzey alanı bulunmaktadır. Formüldeki  $a_m$  bir molekülün kapladığı alanı,  $L$  avogadro sabitini göstermektedir [4].

### 2.2.10. Kiselev izotermi

En küçük mezo gözenek içinden itibaren kılcal yoğunlaşma başlamadan önce tüm mezo gözeneklerin yüzeyleri çok tabakalı olarak kaplanmaktadır. Sahip olduğu duvarların yüzeyleri çıplak olan gözeneklere por (pore), çok tabakalı olarak kaplanmış olan gözeneklere ise kor (core) adı verilmektedir. Katının bir gramı içinde bulunan porların duvar yüzeylerinden kaynaklanan özgül yüzey alanı  $A$ , korların duvar yüzeylerinden kaynaklanan özgül yüzey alanı ise  $A_k$  ile gösterilmiştir. Adsorpsiyon tabakası ile kaplanan gözeneklerin duvar yüzeylerinin alanı azaldığından dolayı  $A_k$  değeri  $A$  değerinden biraz daha küçük olacaktır.

Kılcal yoğunlaşma başladığında adsorpsiyon filmi ile buhar arasındaki ara yüz bozulmaya başlamakta ve kılcal yoğunlaşma sonlandığında tümüyle ortadan kalkmaktadır. Kılcal yoğunlaşma sırasında ortadan kalkan  $A_k$  alanı adsorpsiyon izoterminin kılcal yoğunlaşma bölgesinden yararlanılarak bulunabilmektedir.

Sabit sıcaklık ve sabit basınçta buhar basıncı  $p^0$  olan yığın sıvıdan buhar basıncı  $p$  olan kılcal sıvıya  $dn$  mol madde aktarımı için iki farklı şekilde yazılan serbest entalpi değişimi birbirine eşitlendikten sonra ele geçen diferensiyel denkleminin belirli integrali alınarak Kiselev denklemi aşağıdaki gibi bulunur.

$$dg = dn R T \ln ( p/p^0 ) = \sigma dA_k \quad (2.21)$$

$$A_k = \frac{RT}{\sigma} \int_{n_k}^n \ln \left( \frac{p}{p^0} \right) dn \quad (2.22)$$

Kılcal yoğunlaşma başladığında  $A_k$  değerinde olan özgül kor yüzeyi, kılcal yoğunlaşma tamamlandığında ortadan kalkmakta yani sıfır olmaktadır. Kiselev denklemindeki  $\sigma$  sıvının deney sıcaklığındaki yüzey gerilimini,  $n_k$  korların oluşması için adsorplanması gereken maddenin molar miktarını,  $n$  ise mezo gözenekler tümüyle dolana dek katıda tutunan maddenin toplam molar miktarını göstermektedir. Bu denklemdeki belirli integral grafiksel yoldan bulunur. Bu amaçla adsorpsiyon eğrisinden yararlanılarak  $\ln (p/p^0) - n$  grafiği çizildikten sonra  $n_k$  ve  $n$  sınırları arasında kalan eğrinin altındaki alan bulunur [4].

### 2.3. Çözeltilerde Adsorpsiyon

Bir çözeltide çözünmüş maddenin adsorpsiyonu yüzey gerilimindeki değişiklikten ve elektrostatik kuvvetlerden ileri gelir. Yüzey gerilimindeki değişiklikten ileri gelen adsorpsiyonda yüzey gerilimini azaltan cisimlerin sınır yüzeyindeki konsantrasyonu sıvı içindekinden daha fazladır. Bu durumda adsorpsiyon olur.

Yüzey gerilimini artıran cisimlerin sınır yüzeyindeki konsantrasyonu sıvı içindekinden daha azdır. Bu durumda desorpsiyon olur.

Yüzey gerilimindeki değişiklikten ileri gelen adsorpsiyonda şu özellikler görülür.

a) Adsorbanın birim kütlesi tarafından adsorplanan madde miktarı çözünmüş maddenin derişimine bağlıdır. Adsorban doyduğunda adsorpsiyon durur.

b) Adsorpsiyon iki yönlüdür. Ancak adsorpsiyon sonucunda bir kimyasal olay gerçekleşirse olay tek yöne iner. Örneğin kömürün adsorpladığı yumurta albumini pıhtılaşır ve sadece çözeltinin seyreltilmesiyle geri alınamaz.

c) Adsorpsiyon izotermi olarak gaz adsorpsiyonunkine benzer şekilde bağıntılar kullanılabilir. Ancak kullanılan bu bağıntılarda gazın kısmi basıncı yerine çözünmüş maddenin derişimi yer alır. Buna göre

$$\frac{x}{m} = y = kC^n \quad (2.22)$$

$$\log \frac{x}{m} = \log k + n \log C \quad (2.23)$$

$$\frac{C}{y} = \frac{1}{a} + \left( \frac{b}{a} \right) C \quad (2.24)$$

Bağıntıları yazılabilir.

4) Bir cisim yüksek yüzey gerilimli bir çözücüde düşük yüzey gerilimli bir çözücüye oranla daha şiddetli adsorplanır. Örnek pikrik asit, kömür tarafından sulu çözeltide alkol çözeltisine oranla daha şiddetle adsorplanır. Buna göre adsorplanmış olan



pikrik asiti adsorbandan almak için kömürü alkolle yıkamak gerekir. Bu şekilde adsorplanmış bir maddenin alınmasına elüsyon adı verilir.

5) Adsorplanmış bir cisim kendisine oranla daha şiddetle adsorplanan başka bir cisim tarafından adsorban yüzeyinden alınabilir. Bu elüsyon için başka bir yoldur. Örneğin B<sub>1</sub> vitaminini doğal kaynaklardan ayırmak için vitamin, asit çözeltisinden kil tarafından adsorplanmıştır. Sonra kil bir kinin sülfat çözeltisinde süspansiyon haline getirilmiştir. Kinin sülfat şiddetle adsorplandığından vitaminin elüsyonuna sebep olmuştur.

Elektrostatik kuvvetlerden ileri gelen adsorpsiyonda eğer farklı kimyasal yapıda iki faz birbiri ile temasta bulunursa bu iki faz arasında bir elektriksel potansiyel farkı meydana gelir. Bu fark ara yüzeyin bir tarafını pozitif diğer tarafını negatif yükleyerek yük ayırması oluşturur. Eğer fazın birisi katı diğeri bir elektrolit çözeltide ise birçok yapıda çift tabaka oluşabilir. Katı yüzeyin pozitif yüklendiğini varsayarsak elektrolit çözelti negatif yüke sahip olur.

Çözelti içinde iyonlarla katı yüzey arasındaki çekim kuvveti çift tabakanın özel şekilde yapısını tayin eder. Eğer negatif iyonlar pozitif katı üzerine özel bir şekilde adsorbe olmamışsa çift tabaka tamamıyla difüzenir. Eğer negatif iyonların hafif bir özel adsorpsiyonu varsa bir miktar negatif iyon yaklaşık bir molekül çapı uzaklığında yerleşir.

Sonuç olarak birçok katı su ile temas ettiğinde bir elektriksel yük kazanılır. Örneğin su-silis temasında silis (-), su (+) olarak yüklenir. Böylece yüzeydeki bu elektriksel yük suda bulunan zıt işaretli iyonları adsoplar. Örneğin kırmızı renkli FeCl<sub>3</sub> çözeltisine bir miktar silis tozu ilave edilip karıştırılır ve süzülürse çözeltinin renksizleştiği görülür. Burada Fe<sup>3+</sup> iyonları adsorplanmış olur [2,7].

### **2.3.1. Çözeltiden adsorpsiyona etki eden faktörler**

Çözeltinin birim hacmindeki adsorban miktarının artmasıyla adsorplanan madde miktarı artmaktadır.

Toz halindeki bir katı adsorban ile çözeltiden adsorpsiyonda, adsorplanan madde miktarı çözeltilinin pH' ına, sıcaklığına, çözeltilinin birim hacmindeki adsorbanın miktarına, karıştırma süresine ve çözeltilinin konsantrasyonuna bağlıdır.

Çözeltilinin pH'sının artmasıyla adsorblanan madde miktarı genel olarak artmakla beraber bazı durumlarda ise azalmaktadır. Bunun nedeni çözeltideki adsorbat iyonlarının ve adsorban yüzeyinin atomlarının ya da moleküllerinin pH değişmesi sonucu oluşan yeni iyonlarla etkileşmesidir. Burada adsorbat iyonları kompleks iyonlara dönüşmektedir ve adsorban yüzeyi yeni oluşan iyonlarla etkileşerek yeni iyonları tercih etmesi sonucu adsorpsiyonun düşmesine neden olmaktadır.

Sıcaklığın etkisi, adsorpsiyonun ekzotermik ve endotermik olmasına bağlıdır. Adsorpsiyon ekzotermik olduğunda sıcaklığın artması adsorplanan madde miktarını azaltır. Adsorpsiyon endotermik olduğunda sıcaklığın artmasıyla adsorplanan madde miktarını artırır. Sıcaklığın artmasıyla adsorplanan madde miktarının artması adsorplanan türün çözünmemesine, gözenek yapısındaki değişmelere, adsorbatın partiküller arası difüzyon hızının artmasına bağlıdır.

Çözeltilinin konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan madde miktarı hızla artar, ancak adsorbanın yüzeyinin adsorbat molekülleriyle doymasından sonra konsantrasyon artması adsorpsiyonu yavaş artırır.

Karıştırma adsorbat ile adsorbanın temas etmesini sağlar. Belli bir karıştırma sonunda adsorplanan madde ile çözücüdeki madde arasında denge kurulur. Karıştırmaya devam etmekle adsorpsiyon artmaz. Adsorpsiyon dengesinin kurulması adsorbatın ve adsorbanın türüne bağlıdır [2].

#### **2.4. Adsorpsiyonun kullanımı**

Adsorblanan maddeler adsorbanın türüne göre farklı şiddetlerde adsorblanırlar, bazen bir katı bir madde için çok iyi bir adsorban olduğu halde bir başka madde için iyi bir adsorban olmayabilir. Bu da bazı katı maddelerin seçimli adsorpsiyon özelliği olduğunu gösterir. Adsorpsiyonun seçimli olması birçok konuda uygulama alanı

bulmuştur. Örnek olarak kimyada önemli analiz yöntemlerinden biri olan kromatografi seçimli adsorpsiyon özelliğine dayanır ve birçok organik ve anorganik maddenin birbirinden ayrılması ve saflaştırılmasında kullanılır [3].

Adsorpsiyon atık suların arıtılmasında kullanılan önemli yöntemlerden bir tanesidir. Özellikle ağır metal derişimleri 100 ppm den daha düşük olan atık sulardan ağır metallerin giderilmesi geleneksel fiziksel, kimyasal işlemlerle (çökelme, iyon değiştirme, elektrokimyasal arıtma, buharlaştırma yolu ile geri kazanma vb.) çok verimli olmadığı gibi aynı zamanda çok pahalıdır. Bu nedenle adsorpsiyon yöntemi daha ekonomiktir [2].

Birçok çözeltilerin (örneğin şeker çözeltilerinin) renklerinin giderilmesinde aktif kömür en iyi adsorbandır. Kum filtreleri ile suların arıtılması, kumun sudaki bakterileri ve suda bulunan yabancı maddeleri adsorplamasına dayanır.

Katı-gaz, Katı-sıvı adsorpsiyonu gibi sıvı gaz, sıvı-sıvı adsorpsiyonları da önemlidir. Sıvı-gaz sınırında adsorpsiyon, köpüğün oluşumu ve stabilizasyonu bakımından önemlidir. Köpük, bir gaz veya bir buharın sıvıdaki çözeltilisidir. Köpük; sabunun köpürmesi, köpüklü tip söndürme aletleri, krema gibi bazı yiyecek maddelerinin hazırlanmasında çok önemlidir. Bazı cisimlerin ilavesiyle kararlı köpükler elde edilir. Örneğin krema için yumurta akı, köpüklü tip söndürme aletlerinde hâsıl edilen karbondioksit ve su köpüğü için saponin bir stabilizatördür. Bu cisimler gaz-sıvı yüzeyinde adsorplanırlar ve sıvı yüzeyinde gaz kabarcıklarının sıkıca tutulmasını sağlarlar [8].

Bir kullanım alanı da genellikle polar moleküllerden oluşan zehirli gazların adsorban olarak aktif kömürün kullanıldığı gaz maskeleri ile tutulmasıdır. Aktif kömür zehirli gazları havaya göre seçimli olarak adsorbe eder. Gaz maskelerinde kullanılmasının sebebi budur [3].

### **BÖLÜM 3. AKTİF KARBON**

Aktif karbon yüzey alanı son derece genişletilmiş olan bir amorf karbon zinciridir. 1 gram karbonun yüzey alanı yaklaşık olarak 300–2000 m<sup>2</sup> arasında olabilmektedir. Bu kadar az miktar katı maddenin yüzey alanındaki genişliğin sebebi gözenekli bir yapının teşekkül etmesidir [9].

Aktif karbon adsorpsiyonun şart olduğu bütün endüstri dallarında geniş olarak kullanılmaktadır. Mesela şeker, bitkisel yağ ve organik çözücüler sanayinde koku ve tad gidermek için kullanıldığı gibi, içme suyu tasfiyesinde de aktif karbona kullanılması gereken bir madde olarak bakılmaktadır. Hava temizliği, solvent geri kazanma, organik kompleksleri fraksiyonlama gibi diğer alanda da hemen daima karbondan istifade edildiği bilinmektedir [11].

Günümüzde adsorpsiyon özelliğinden istifade ederek, aktif karbonun yüzeyi üzerinde altın ve gümüş gibi soy metallerin konsantrasyonu arttırmak, böylece eser miktardaki elementleri çözeltilerinden geri kazanmak bile mümkündür [9].

Buhar adsorplayabilen aktif karbonlar, belirli zehirli gazları adsorplayabilme özelliklerinden dolayı ilk olarak askeri gaz maskelerinde kullanılmışlardır. Ancak günümüzde hem askeri hem de endüstriyel gaz maskelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tip aktif karbonların çok önemli bir uygulama alanı da endüstriyel proseslerdeki buharın geri kazanılmasıdır. Bu buharın geri kazanılmasıyla her yıl milyonlarca ton çözücü elde edilmektedir. Aktif karbon birçok organik çözücü buharını 313 K de adsorplar ve 393 K veya daha yüksek sıcaklıkta geri verir [7].

Aktif karbonlar gelişigüzel istiflenmiş basit mikro kristaller içerir. Gözenek özelliklerine göre üç temel aktif karbon vardır. Bu aktif karbonlar Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. Gözenek özelliklerine göre aktif karbonlar [6].

	Mikro gözenek	Mezo gözenek	Makro gözenek
Çap (nm)	< 2	2–50	>50
Gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0,15–0,5	0,02–0,1	0,2–0,5
Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	100–1000	10–100	0,5–2
Partikül yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	0,6–0,9	0,6–0,9	0,6–0,9

Aktif karbonların yüzeyi aslında polar değildir ama yüzey oksitlenmesi bazı küçük polar yapıların oluşmasına neden olabilir. Yüzey oksitlenmesi yaklaşık 300 °C sıcaklıkta hava ortamında ya da nitrik asit veya hidrojen peroksit ile kimyasal muamele sonucu meydana gelebilir.

Bazı hidrofilik karaktere sahip aktif karbonlar polar moleküllerin adsorpsiyonunda kullanma avantajı sağlarken, organik bileşiklerin adsorpsiyonunda güçlükler çıkarır. Bununla birlikte genellikle aktif karbonlar hidrofobik ve organofiliktir. Bu yüzden düşük polariteye sahip organik bileşiklerin adsorpsiyonunda kullanılabilir.

Polar olmayan yüzeye sahip aktif karbonların ana uygulama alanlarından biride havadan yüksek saflıkta azot üretme işlemidir [6].

Aktif karbon üretiminde, akla gelen bütün karbonlu materyaller kullanılabilir. Mesela kan, et, kemik gibi maddelerden aktif karbon üretilebildiği gibi odun, mısır koçanı, alg, kahve tanesi, meyve çekirdekleri, fındıkkaşuğu v.s. gibi birçok nebati maddelerden de üretim mümkün olmaktadır. Bu arada linyit, çeşitli kömürler, katran, zift, asfalt, petrol kaynakları gibi birçok maddelerde geniş olarak kullanılmaktadır. Ancak üretimde tercih edilecek olan hammadde türü, her şeyden önce üretimin gerçekleştirildiği memleketin hammadde kaynaklarına göre değişmektedir. Ayrıca

ekonomik açıdan bakıldığında, bazı aktif karbon cinslerini belirli maddelerden üretmek daha ekonomik olmaktadır [9].

Hammadde türünün aktif karbon gözenek dağılımında ve yüzey alanında büyük etkisi olmaktadır. Tablo 3.2 farklı hammaddelerden üretilen aktif karbonun özelliklerini göstermektedir [10].

Tablo 3.2. Hammadde türüne göre aktif karbon özellikleri [10].

Hammadde	Yoğunluk (kg/ l)	Aktif karbon yapısı	Uygulama alanları
Yumuşak ağaç	0,4–0,5	Yumuşak, gözenek hacmi büyük	Sıvı faz adsorpsiyonu
Ceviz kabuğu	1,4	Sert, mikro gözenek hacmi büyük	Buhar faz adsorpsiyonu
Sert kömür	1,5–1,8	Sert, gözenek hacmi büyük	Gaz-buhar adsorpsiyonu
Linyit	1,0–1,35	Sert, gözenek hacmi küçük	Atık su arıtma

Aktif karbonlar, yüksek oranda mikro gözenek içeren maddelerdir. Çok fazla gözeneklilik, aktif karbona istisnai adsorptif özellikler sağlayan geniş yüzey alanı oluşturur. Piyasadaki ticari aktif karbonlar granüler, toz ve pellet formunda bulunurlar. Bu formların boyutları ve kullanıldığı yerler aşağıda verilmiştir:

Granüler Aktif Karbon (GAC): 0,2–5 mm aralığındaki boyutlardaki düzensiz şekillerdeki partiküllerdir. Sıvı ve gaz fazı uygulamalarında kullanılır.

Toz Aktif Karbon (PAC): Baskın olarak 0,18 mm (US. 45 mesh) den küçük boyutlardaki öğütülmüş karbonlardır. Başlıca sıvı faz uygulamalarda ve baca gazı arıtımında kullanılır.

Pellet Aktif Karbon (Pellet AC): Basınçla sıkıştırılmış ve 0,8–5 mm çapında silindirik yapıdadır. Düşük basınç sağlamasında, yüksek mekanik dayanıklılığında ve düşük toz içeriğinden dolayı başlıca gaz fazı uygulamalarında kullanılır [11].

### 3.1. Aktif Karbon Üretimi

Aktif karbon üretiminde gaz aktivasyonu ve kimyasal aktivasyon olmak üzere iki tip yöntem vardır.

Gaz aktivasyon yönteminden önce aktif karbon yapılacak madde havasız ortamda 400–500 °C de karbonize edilir. Bu esnada uçucu maddeler gider ve küçük gözenekler oluşur. Bu işlemde sonra su buharı, CO<sub>2</sub> veya benzer gazlarla 800-1000°C de aktifleştirme yapılır [6].

Su buharı ile yapılan aktifleştirmede karbon atomlarının bir kısmı gazlaşmayla gider



Sonuç olarak yüzeydeki karbonlar gazlaşıp giderken bazıları ise reaksiyona girmeden kalır. Böylece çok gözenekli bir yapı oluşmuş olur. Aktivasyon adım adım mikro gözenekleri mezo gözeneklere genişletir [11].

Kimyasal aktifleştirme yönteminde H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> kullanılarak aktif karbon ham materyalden direk aktifleşmiş olarak üretilir [6,9]. Aktivasyon kimyasal aktif karbon üretilecek materyal ile (örneğin talaş) karıştırılır, sonra inert atmosferde genelde 500°C de karbonize edilir. Aktivasyon kimyasal talaştaki selüloz yapısını açar, karbonlaşmada kimyasal madde kömüre destek olur ve yapının küçülmesine izin vermez. Böylece aktifleştirici madde ile doldurulmuş gözenekli yapı oluşur. Aktifleştirici maddenin kalıntıları karbonun destile suyla yıkanması ile giderilir [11]. Kimyasal aktivasyonla elde edilen aktif karbonların gözenekleri buhar aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonlardan daha büyüktür [6].

### 3.2. Fındık Zurufu

Fındık zurufu fındikkabuğunun etrafını saran yeşil kısımdır. Yaygın bir kullanım alanı yoktur, ancak zuruf kompostosu halinde gübre olarak fındık bahçelerinde

kullanılabilmesi için bazı çalışmalar yapılmıştır [12]. Bunun haricinde kullanılmadan atılmaktadır.

Türkiye’de üretilen fındık zurufu miktarını hesaplamak için fındık ağacından alınan zuruflu fındık önce havada 5 gün kurutuldu. Sonra laboratuara getirilen zuruflu fındıklar zuruflarından çıkarıldı ve zuruf ile kabuklu fındıklar, 105°C de 3 saat kurutularak tartıldı. Tartım sonucunda 598,02 gram kabuklu fındığın 166,6 gram zuruf taşıdığı tespit edildi. Tablo 3.4 den de görüldüğü gibi Türkiye’nin ortalama kabuklu fındık üretimi 500 bin ton civarı olduğuna göre açığa çıkan fındık zurufu miktarı yaklaşık 150 bin tondur.

Fındık zurufunun araştırılan bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.3 de verilmiştir [14].

Tablo 3.3. Fındık zurufunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [14].

Özellikler	Ortalama değerler
Doygunluk (%)	330,50
Nem (%)	23,10
pH	7,09
CaCO <sub>3</sub> (%)	0,00
Organik madde (%)	93,65
C (%)	40,35
N (%)	1,26
P (%)	0,08
K (%)	2,75
Ca (%)	0,61
Mg (%)	0,16
Fe (ppm)	254
Mn (ppm)	200
Zn (ppm)	22
Cu (ppm)	12



Türkiye dünyanın en büyük fındık üreticisidir. Türkiye’de 2000 yılından sonra üretilen fındık rekoltesi Tablo 3.4 de verilmiştir [13].

Tablo 3.4. Türkiye’ nin yıllık fındık rekoltesi(\*Tahmini) [13].

Yıllar	Kabuklu Fındık üretimi (ton)
2001	705.000
2002	620.000
2003	512.000
2004	360.000
2005	483.000*

### 3.3. Aktif Karbon Üretimi ve Adsorpsiyonla İlgili Yapılan Çalışmalar

Yalçın ve Arol tarafından yapılan çalışmada fındikkabuğu, şeftali ve kayısı çekirdeğinden azot atmosferinde karbonizasyon yapılmış, elde edilen aktif karbon su buharı ile aktifleştirilmiştir. Üretilen aktif karbon altın siyanür kompleksinin adsorpsiyonunda kullanılmıştır [15].

Tsai ve arkadaşları tarafından şeker kamışı posası  $ZnCl_2$  ile doyurularak azot atmosferinde karbonizasyon işlemine tâbi tutulmuştur. Doyurma  $75^{\circ}C$  sıcaklıkta 1,5–2 saat süre ile yapılmıştır.  $ZnCl_2$ ’ün posaya kütlece oranı 25–125 arasındadır. Karbonizasyon  $500^{\circ}C$  de yapılmıştır. Elde edilen mikro gözenekli karbonun BET yüzey alanı  $905\ m^2/g$  ve gözenek hacmi  $0,44\ cm^3/g$  olarak elde edilmiştir. Hazırlanan aktif karbon asit boyar maddelerinin adsorpsiyonunda hazırlanmıştır [16].

Khalkhali ve Omidvari tarafından yapılan çalışmada fındikkabuğundan  $500^{\circ}C$  deki karbonizasyonu takiben 2,5 saat süre ile  $800^{\circ}C$  de buhar aktivasyonu yapılmış, elde edilen aktif karbon havasız ortamda yavaşça soğutulmuş ve öğütülerek deneyden önce elenmiştir. Çalışmalarda toz aktif karbon kullanılarak Hg (II) iyonunun adsorpsiyonu incelenmiştir [17].

Yavuz ve Aydın tarafından yapılan çalışmada fındikkabuğu öğütülmüş ve elenmiştir. 250g alınarak 110g  $ZnCl_2$ , 110g su ile karıştırılmış, bir gece bekletilmiş  $350^{\circ}C$ ' de kalsine edilmiştir. Hazırlanan aktif karbon boyar madde adsorpsiyonun incelenmesinde kullanılmıştır [18].

Youssef ve arkadaşları tarafından kayısı çekirdeğinden  $H_3PO_4$  veya  $ZnCl_2$  aktivasyonu ile aktif karbon hazırlanmıştır. Kayısı çekirdeği önce öğütülmüş sonra aktive edici kimyasal ile 72 saat muamele edilmiştir. Fosforik asit konsantrasyonu kütlece % 25 – 75 arasındadır.  $ZnCl_2$ 'ün kayısı çekirdeğine kütlece oranı ise 0,5, 1 ve 2 şeklindedir. Çinko klorür kayısı çekirdeği karışımına koyulan su miktarı ıslanmayı sağlayacak en az miktardadır. Bu işlemlerden sonra kayısı çekirdekleri süzölmüş ve 343 K de sabit tartıma kadar kurutulmuştur. Bundan sonra fosforik asit ile muamele edilmiş çekirdekler  $400$  ve  $600^{\circ}C$  de,  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş çekirdekler ise  $600$  ve  $700^{\circ}C$  de havasız ortamda karbonize edilmiştir. Fosforik asit ile üretilen aktif karbonlar saf su ile pH'ı 6 olana kadar yıkanmıştır.  $ZnCl_2$  ile aktive edilmiş ürünler önce %10 HCl ile sonra klorür gelmeye kadar destile su ile yıkanmıştır [19].

Boonamnuayvitaya ve arkadaşları tarafından kahve kalıntılarında aktif karbon hazırlanmıştır. Bu amaçla kahve kalıntıları destile su ile yıkanmış ve  $110^{\circ}C$  de 24 saat süre ile kurutulmuştur. Birinci kısmı  $ZnCl_2$ 'ün kahve kalıntısına oranı 3/1 olacak şekilde bir miktar su katılarak hazırlanmıştır. Bu karışım  $110^{\circ}C$  de 12 saat süre ile kurutulmuştur. Kahve kalıntılarının ikinci kısmına herhangi bir işlem yapılmamıştır. Kahve kalıntısının her iki kısmına şu işlemlerden biri yapılmıştır.

- a) Paslanmaz tüpte azot atmosferinde piroliz
- b) Azot atmosferinde pirolizi takiben  $CO_2$  aktivasyonu
- c) Azot atmosferinde pirolizi takiben su buharı aktivasyonu

Sıcaklık artışı  $10^{\circ}C/dk$ , piroliz sıcaklığı  $600^{\circ}C$  ve piroliz süresi 4 saattir.  $ZnCl_2$  ile doyurulmuş aktif karbonlar 0,1 M HCl ve sıcak deiyonize su ile yıkanmıştır. Elde edilen aktif karbonlar  $110^{\circ}C$  de 12 saat kurutulmuştur.  $CO_2$  aktivasyonu ile hazırlanan aktif karbon en yüksek yüzey alanına ( $914 m^2/g$ ) sahiptir. Hazırlanan aktif karbon ile formaldehitin adsorpsiyonu incelenmiştir [20].

Aygün ve arkadaşları tarafından badem, ceviz, fındıkkabukları ve kayısı çekirdeği 1–1,25 mm çapında öğütülmüş ve 110°C de 24 saat kurutulmuşlardır. Granül atık materyaller  $ZnCl_2$ 'ün kütlece %39' luk çözeltisiyle karıştırılmış ve bu karışım 103°C de 6 ile 24 saat arasında değişen sürelerde kurutulmuş ve 750, 800 ve 850°C sıcaklıklarda 2 saat süre ile azot atmosferinde aktive edilmişlerdir. Ürün 1,2 M'lık HCl çözeltisiyle ve sıcak su ile yıkandıktan sonra 110°C de 24 saat kurutulmuştur. Elde edilen aktif karbonda fenol ile metilen mavisi adsorpsiyonu incelenmiştir [21].

Tsai ve arkadaşları tarafından şeker kamışı posasından  $ZnCl_2$  aktivasyonu ile aktif karbon hazırlanmış, asit oranı 10 boyar maddesi adsorpsiyonu 20 ve 40°C de incelenmiştir [22].

Tsai ve arkadaşları tarafından mısır koçanından  $ZnCl_2$  aktivasyonu ile aktif karbon hazırlanmıştır. Aktif karbonun özelliklerini, piroliz sıcaklığı,  $ZnCl_2$ 'un mısır koçanına kütlece oranı gibi faktörlerin etkisi araştırılmıştır [23].

Hu ve Srinivasan tarafından Hindistan cevizi kabuğu ve palmye tohumlarından kimyasal aktifleştirici olarak  $ZnCl_2$ , fiziksel aktifleştirici olarak  $CO_2$  'in beraber kullanılması ile mezo gözenekli aktif karbon elde etmişlerdir. İlk önce bitkisel materyaller 1–2 mL arası öğütülmüş  $ZnCl_2$ 'ün hammaddeye kütlece oranı 0,25 ile 3 olacak şekilde karıştırılmıştır. Karışım 110°C bir gece bekletildikten sonra 800°C de piroliz edilmiştir. Sıcaklık artışı 10°C/dk dır. Sıcaklık 800°C sıcaklığa ulaşana kadar azot atmosferinde, 800°C sıcaklığa ulaştıktan sonra  $CO_2$  atmosferinde çalışılmıştır. Elde edilen ürün HCl ve sıcak destile su ile yıkandıktan sonra 110°C de kurutulmuştur [24].

Hu ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise Hindistan cevizi kabuklarından ve palmye tohumlarından  $ZnCl_2$  kimyasal aktivasyon metodu ile oldukça gözenekli aktif karbonlar hazırlanmıştır. Bu yöntem ile mikro ya da mezo gözenekli aktif karbonlar hazırlanabilir. Palmye tohumlarından hazırlanan aktif karbonun mezo gözenek içeriği %94 tür [25].

Konya tarafından yapılan çalışmada findıkkabuğundan aktif karbon hazırlanmıştır. Havada kurutulmuş findıkkabuğu öğütülmüş ve elde edilen fraksiyonlar 0,5–2 mm arasında beşe ayrılmıştır. 100g findıkkabuğu derişik sülfürik asit ile doyurulmuş, doyurulma işleminden sonra 200°C de 24 saat süre ile aktive edilmiştir. Elde edilen aktif karbon destile su ile asit kalmayınca kadar yıkanmıştır. Sonra %1 lik NaHCO<sub>3</sub> çözeltisi ile kalıntı asitleri gidermek için muamele edilmiştir. Bu işlemden sonra yıkama sularının pH değeri 4,76 olana kadar destile su ile yıkanmış ve 105°C de kurutulmuştur. Ürün 0,9–1,8 mm arası öğütüldükten sonra alınarak çalışmalarda kullanılmıştır. Elde edilen aktif karbonun yüzey alanı 441 m<sup>2</sup>/g dır [26].

Budinova ve arkadaşları kayısı çekirdeği, Hindistan cevizi kabuğu ve linyit kömüründen aktif karbon hazırlayarak Pb, Cu ve Cd iyonlarının sulu çözeltilerinden adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Aktif karbonların hazırlanması su buharı pirolizi ile yapılmıştır. Çalışmada kurşun pH 4,5 dan sonra, bakır ise pH 4 den sonra adsorpsiyonun maksimum olduğu bulunmuştur. Yalnızca bakırın linyit kömüründen yapılan adsorpsiyonunda pH 6' ya kadar sürekli bir artış vardır. Çalışma pH 1 ile 5,5 arasında yapılmıştır [27].

Aydın ve Tez tarafından yapılan çalışmada fındık ve ceviz kabuğundan aktif karbon yapılmıştır. 1,5 mm delikten geçen öğütülmüş kabukların 250 gramına 110g ZnCl<sub>2</sub> 100 mL su eklenip bir gece beklenilmiştir. Sonra karışım 350°C de kalsine edilmiştir. Elde edilen ürün yıkanıp kurutulmuştur [28].

## BÖLÜM 4. BAKIR VE KURŞUN

### 4.1. Bakır

Periyodik tablonun I B grubunda yer alan, kırmızımsı renkte, ısıyı ve elektriği çok iyi ileten, çok sert olmadığı için kolayca levha ve tel haline getirilebilen bir metaldir [29,30]. Bakırın genel özellikleri Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Bakırın genel özellikleri [2,30].

Atom Numarası	29
Atom Yarıçapı ( $\text{Å}^0$ )	1,17
İyon Yarıçapı ( $\text{Å}^0$ )	Cu <sup>1+</sup> : 0,96 Cu <sup>2+</sup> : 0,69
Elektronegatiflik	1,9
Erime Noktası ( $^0\text{C}$ )	1083
Kaynama Noktası ( $^0\text{C}$ )	2595
Yoğunluğu ( $20^0\text{C}$ de) ( $\text{g} / \text{cm}^3$ )	8,92
Yükseltgenme Basamağı	+1 , +2
Birinci İyonlaşma Enerjisi (kj/mol)	745
İkinci İyonlaşma Enerjisi (kj/mol)	1958
Üçüncü İyonlaşma Enerjisi (kj/mol)	3354
Elektrik iletkenliği ( $\mu \cdot \text{ohm}^{-1}$ )	0,593
Elektron Dağılımı	(Ar) $3d^{10} 4s^1$
İzotopları	63 (%69,09) 65(%30,91)

Doğal bakır yeryüzünün birçok yerinde bazaltlı lavların temel bileşeni olduğu gibi, bakır bileşiklerinden indirgenmiş metal halinde de bulunabilir.

Bakır, havanın ve deniz suyunun etkilerine karşı dayanıklıdır ama uzun süre açık havada kaldığında üstünde yeşil renkli ince bir koruyucu bakır karbonat katmanı oluşturur.

Organizmanın sindirim sırasında demirin ve C vitamininin (askorbik asit) yükseltgenmesi ve emilimi için gerekli bir elementtir. Ayrıca kanın oksijen taşıyıcı bileşeni olan hemoglobinin oluşumunda katalizör görevi vardır. Bağırsakların enzim etkinliğiyle yakından ilgili olan bakır, kan plazmasıyla vücut dokularına taşınır.

Sıcakkanlı hayvanlarda kan proteini hemoglobinde bulunan demirin üstlendiği dokulara oksijen taşıma görevini soğukkanlı yumuşakçalar ile kabuklularda kan proteini olan hemosiyaninin bileşimindeki bakır yerine getirir. İnsanlarda da eser element halinde bulunan bakır, hemoglobin oluşumunda katalizör rolü oynar [30].

Su kaynaklarının sınıflarına bağlı kalite kriterlerine göre bakır I.Sınıf suda 20  $\mu$  g Cu /L, II. Sınıf suda 50  $\mu$  g Cu /L, III. Sınıf suda 200  $\mu$  g Cu /L, IV. Sınıf suda >200  $\mu$  g Cu /L olmalıdır. Deniz suyunda olması gereken kriter 0,01 mg Cu / L dir [31].

#### 4.1.1. Bakırın elde edilişi

Bakır, sülfürik asit liçi, demir III sülfat liçi, amonyak liçi, kostik soda liçi gibi yöntemlerle çözelti haline getirilip, daha sonra çöktürülerek elde edilir. Genellikle aşağıdaki çöktürme işlemleri kullanılır.

Demir ile çöktürme; Çoğunlukla çalışma ortamı asidik alınır. Demir bakıra göre daha çok elektropozitif olduğu için demir bakıra elektron vererek metalik bakırı açığa çıkarır.



Gazlar ile çöktürme; Bakır sülfat çözeltisinden oda sıcaklığında SO<sub>2</sub> gazı geçirilirse



Reaksiyonları gereğince metalik bakır açığa çıkar. Bunun yanında yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta H<sub>2</sub> gazı çözeltilerden geçirilerek metalik bakır elde edilebilir.



Solvent ekstraksiyonu; Solvent ekstraksiyonunda metal iyonlarını ihtiva eden çözelti suda çok çözünen bir organik çözücü ile muamele edilerek istenilen metal solvent fazına geçer. Bu amaçla liç çözeltilerinde bakırı selektif olarak ayırabilen organik reaktifler hazırlanır.

Elektrolitik metot; Bakır içeren berrak çözeltilerden bakır iyon halinde bulunduğu için çözünmeyen anot (Grafit, platin vb.) kullanılmaktadır. Katotta



Reaksiyonu gerçekleşir ve metalik bakır elde edilir [32].

#### 4.1.2. Bakırın uygulama alanları

Dünyada üretilen bakırın önemli bir bölümü elektrik sanayisinde kullanılır, geri kalan bölümü de diğer metallerle karıştırılarak alaşım haline getirilir. Bakırın günlük hayatımızda kullandığımız birçok bileşiği vardır.

Cu<sub>2</sub>O; Çürümeyi önleyici boyalara, camlara, porselen sırlarına, seramiklere kırmızı renk vermek ve tarım zararlısı mantarları yok etmek için kullanılır. CuCl; Birçok organik tepkimelerde katalizör görevi vardır. Ayrıca petrol ürünlerinde renk ve kükürt giderici, selülozda nitrat giderici, sabun, katı yağ ve sıvı yağlarda yoğunlaştırıcı olarak kullanılır. CuS; Güneş pilleri, fosforlu boyalar, elektrotlar ve bazı katı yağlayıcıların üretiminde kullanılır. CuO; Camların, porselen sırlarının ve

yapay mücevherlerin yapımında mavi-yeşil tonlarında renk verici, ayrıca petrol gazlarında kükürt giderici ve yükseltgeme katalizörü olarak kullanılır.  $\text{CuCl}_2$ ; Hidrokarbonların klorlanması katalizör olarak kullanılır. Ayrıca kereste ve ağaç eşyayı korumak için, kumaşların boyanmasında, mikrop öldürücü, yem katkı maddesi ve seramiklere renk verici olarak kullanılır.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; Tarımda böcek öldürücü, mikrop öldürücü, yem ve toprak katkı maddesi olarak kullanılır. Ayrıca bazı bakır bileşiklerinin hazırlanmasında hammadde, analitik kimyada ayraç, pillerde ve elektrolitik kaplama banyolarında elektrolit, tıpta deri üstünden uygulanan mantar öldürücü, bakteri öldürücü ve doku büzücü olarak kullanılır [30].

#### 4.1.3. Bakırın toksik etkileri

Bakırın küçük miktarları insan sağlığına zararlı değildir. Çünkü bakırın fazlası böbrekler tarafından atılır. Ergin bir insanda 100–150 mg kadar bulunur. Besinler yardımıyla günde ortalama 3,7 mg bakır özümlemeyle girer.

Vücutta aşırı miktarda biriken bakır karaciğerde tahribat yapar, gözlerde ise görüş sahasında bozukluklara neden olur. Karaciğer sirozu ile kan hastalıkları da kronik bakır zehirlenmelerinin sonucudur.

Bakırın sulara fazla bulunması özellikle bakteri, deniz yosunları (ya da algler), balıklar ve mantarlar için zehirlidir [2].

#### 4.2. Kurşun

Periyodik sistemin IV A Grubunda yer alan kurşun; yumuşak dövülebilir, mavimsi gri renkte düşük sıcaklıklarda eriyebilen, çok ağır bir metaldir.

Kimyasal etkenlere karşı iyi bir direnç gösterir. Havada bazik bir karbonat katmanının oluşumu nedeniyle kararır, ama bozulma yüzeysel olarak kalır. Arı sudan etkilenmez. Kurşun tuzlarının çoğu suda çözünmez. Çözünebilen başlıca tuzları oldukça zehirli olan kurşun nitrat ile kurşun asetatıdır [33].



Kurşun ve kurşun bileşikleri zehirli bir etkiye sahip olduğundan kapalı kaplarda tutulmalı ve etiketli bir şekilde saklanmalıdır [34].

Su kaynaklarının sınıflarına bağlı kalite kriterlerine göre kurşun I.Sınıf suda  $10 \mu\text{g Pb/L}$ , II. Sınıf suda  $20 \mu\text{g Pb/L}$ , III. Sınıf suda  $50 \mu\text{g Pb/L}$ , IV. Sınıf suda  $>50 \mu\text{g Pb/L}$  olmalıdır. Deniz suyunda olması gereken kriter  $0,1 \text{ mg Pb/L}$  dir [31].

Kurşunun genel özellikleri Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2 Kurşunun genel özellikleri [34,35].

Atom Numarası	82
Atom Yarıçapı ( $\text{Å}$ )	1,75
İyon Yarıçapı ( $\text{Å}$ )	$\text{Pb}^{2+}$ : 1,32
	$\text{Pb}^{4+}$ : 0,84
Elektronegatiflik	1,8
Erime Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )	327
Kaynama Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )	1725
Yoğunluğu ( $20^{\circ}\text{C}$ de) ( $\text{g/cm}^3$ )	11,34
Yükseltgenme Basamağı	+2 , +4
Birinci İyonlaşma Enerjisi (kj/mol)	171
İkinci İyonlaşma Enerjisi (kj/mol)	346
Üçüncü İyonlaşma Enerjisi (kj/mol)	736
Elektrik iletkenliği ( $\mu \cdot \text{ohm}^{-1}$ )	0,046
İzotopları	204 (% 14)
	206 (% 25,2)
	207 (% 21,7)
	208 (% 51,7)

#### 4.2.1. Kurşunun elde edilişi

Kurşunun metal olarak elde edilmesi üç aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada cevher kavrulur. Kavurmanın amacı, hem cevherde bulunan kükürdü gidermek, hem de cevherin yanı sıra indirgenme aşamasında zorunlu olarak katılmış özel eriticileri de içeren yükü topaklaştırmaktır. Kavurma işleminde hava üflenerek aşağıdaki işlemler başlatılır.



Bu işlemlerle kükürt  $\text{SO}_2$  biçiminde uzaklaştırılır. İkinci evrede su ceketli bir fırında indirgen bir eritme uygulanır. Kavrulan toprak burada kokla işleme sokulur, böylece kurşun oksit indirgenirken gangin erimesi sağlanır. Yoğunluğu büyük olduğundan sıvı kurşun dipte toplanır ve ayrılır. Üçüncü aşamada arıtma yapılır, ham kurşun diğer maddelerden ayrılır. Diğer maddelerin giderilmesi iki işlemle yapılır.

1. Betts ' in elektrolitik Yöntemi: Arı olmayan ve anot olarak dökülen kurşun, fluorosilikatlı bir ortamda elektroliz edilir. Katotda %99,995 lik arılıktaki yumuşak kurşun ayrılırken katışık maddelerin tümü anot çamurunda derişikleşir.

2. Isıl Yöntem: Isıl yöntem üç aşamada gerçekleşir. a) Arsenik kalay ve antimon yükseltgenme yoluyla uzaklaştırılır. b) Altın ve gümüş, çinko yardımıyla geri kazanılır. c) Bizmut, kalsiyum ve magnezyum yardımıyla uzaklaştırılır. Isıl yöntemle %99,99 arılıktaki yumuşak kurşun elde edilir [33].

#### 4.2.2. Kurşunun uygulama alanları

Kurşun kolayca biçimlendirilebildiğinden ve paslanmaya karşı dayanıklı olduğundan elektrik kablolarının dış kaplamalarının yapımında kullanılır. Günümüzde kurşun

matbaa harflerinin, tüfek mermilerinin ve av tüfeği saçmalarının yapımında kullanılır.

Dünyada üretilen kurşunun yaklaşık üçte biri, elektrik pillerindeki ve akümülatörlerdeki levhaların üretiminde tüketilir. Yakıt olarak kurşun katılmış benzin kullanan motorlar daha sarsıntısız çalışır. Kurşun radyoaktif maddelerin çıkardığı ışınları geçirmez. Bu nedenle nükleer santrallerdeki reaktörler kurşun levhalardan yapılmış kalkanlarla perdelenir.

Çeşitli böcek ilaçları da kurşun bileşiklerinden hazırlanır. Bazı silahların ilk ateşlemeyi sağlayan fünye sistemlerinde de güçlü bir patlayıcı olan kurşun azotür bileşiği kullanılır [35].

#### **4.2.3. Kurşunun toksik etkileri**

Kurşun solunum yoluyla kana geçerek canlının kurşundan zehirlenmesine neden olmaktadır. Bunun yanında kurşunun suda çözünen bileşiklerinin deniz canlılarına çok zehirli olduğu kabul edilmekle birlikte, suda çözünmeyen ince dağılmış kurşun sülfürün balıkları iki ay içinde öldürdüğü tespit edilmiştir.

Kurşunun en önemli toksik etkileri; anemi, nörolojik fonksiyon bozuklukları, böbrek rahatsızlıkları, kadınlarda ölü doğumlar, düşükler ve kısırlıktır. Kurşun zehirlenmesinin en önemli belirtileri kansızlık, şiddetli bağırsak krampları, sinirlerde felç, çok susama, boğaz kuruması, sürekli madeni tat doyumunu, soğu ter, iştahsızlık ve halsizliktir [33,34].

Normal durumda kanda litrede 200–300  $\mu\text{g}$  ı aşmaması gereken kurşun miktarı zehirlenme halinde 500–800  $\mu\text{g}$  a yükselir. Tedavi için kusturucu ilaçlar, midenin yıkanması, kelatlayıcı maddelerle (kalsiyumlu EDTA) birlikte sodyum sülfat yada magnezyum sülfat kullanılır [33].

## **BÖLÜM 5. MATERYAL VE METOD**

### **5.1. Kullanılan Cihaz ve Malzemeler**

#### **5.1.1. Atomik absorpsiyon spektrometresi**

Elementlerin analizlerinde Shimadzu marka AA-6701F model alevli AAS cihazı kullanıldı. Yakıt olarak hava-asetilen karışımı kullanılan alevli atomik absorpsiyon spektrometresinde elementlerin ölçüm koşulları Tablo 5.1 de gösterildi.

Tablo 5.1. Alevli atomik absorpsiyon spektrometresinde elementlerin ölçüm koşulları

Element	Dalga Boyu (nm)	Slit Aralığı (nm)	Lamba Akımı (mA)	Asetilen Akış Hızı (L / dak.)
Pb	217,0	0,5	12	2
Cu	324,8	0,5	6	1,8

#### **5.1.2. Çalkalayıcı**

Nüve marka SL 350 model olan çalkalayıcı 50–250 devir/dakika arasındaki hızlarda çalkalama özelliğine sahip bir cihazdır. Seri No: 01–494.

#### **5.1.3. pH-Metre**

Hanna marka 213 model olan dijital göstergeli pH-metre Gümüş-Gümüş klorür cam elektrotlu bir cihazdır. Ölçüm hassasiyeti  $\pm 0.01$  pH değerindedir.

#### **5.1.4. Hassas terazi**

Ohaus marka AS 200 model hassas terazi  $\pm 0,1$  mg hassasiyetinde ölçüm yapar.

### 5.1.5. Etüv

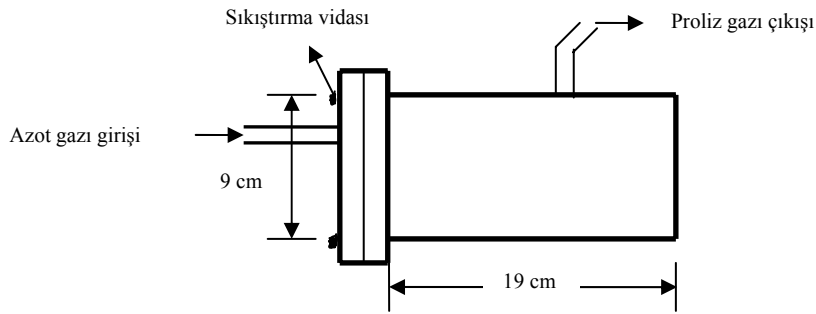
Nüve marka FN 400 model olup TS6073'e uygun bir cihazdır ve 523 K' e kadar ısıtma yapabilmektedir.

### 5.1.6. Fırın

Nüve marka dijital sıcaklık göstergeli olan fırın 1173 K' e kadar ısıtılabilen cihazdır.

### 5.1.7. Paslanmaz çelik kap

Termal karbonizasyon işlemi Şekil 5.1 de görülen paslanmaz çelikten yapılmış kap kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Paslanmaz çelik kap

### 5.1.8. Kullanılan kimyasallar

Çalışmada kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup Merck markadır.

Adsorpsiyon deneylerindeki  $Pb^{+2}$  çözeltisi  $Pb(NO_3)_2$ 'den ve  $Cu^{+2}$  çözeltisi ise  $CuSO_4$ 'den gerekli miktarlar alınarak 1000 ppm stok çözeltiler hazırlandı. Çalışma çözeltileri stok çözeltinin seyreltilmesiyle günlük olarak hazırlandı.

## 5.2. Fındık Zurufundan Aktif Karbon Eldesi ve Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan fındık zurufları Karasu ilçesinin Ardıçbeli köyünden fındık hasadı sırasında alındı. Aktif karbon hazırlamak için fındık zurufunu çinko klorür ile aktive ettikten sonra azot atmosferinde piroliz edildi.

Fındık zurufları destile ile yıkandıktan sonra 105 °C'de 4 saat kurutuldu. Sonra havanda öğütüldü. 40 g öğütülmüş fındık zurufu ile 20 g çinko klorürün sulu çözeltisi karıştırıldı ve 24 saat bekletilerek, fındık zurufunun ıslanması sağlandı. Çözeltinin fazlası aktarılarak, fındık zurufundan ayrıldı ve 24 saat 105 °C'de etüvde nemi giderildi. Fındık zurufu çelikten yapılmış kapalı bir kap içinde ve azot atmosferinde 700 °C 4 saat kavruldu. Çıkan aktif karbonun üzerindeki çinko klorürü uzaklaştırmak için 3M hidroklorik asit ile kaynatıldı. Bu işlem iki kere tekrar edildi. Süzüldükten sonra önce destile, sonra deiyonize suyla bütün klorürler uzaklaşmaya kadar yıkandı. Bu işlemden sonra 105 °C'de etüvde 2 saat kurutuldu. Elde edilen aktif karbon miktarından üretim verimi hesaplandı.

Elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı ve gözenek çapı dağılımı belirlendi. Yüzey alanının belirlenmesi için 100°C sıcaklıkta 5 saat süre ile degaz yapıldıktan sonra 77 K de azot adsorpsiyonu ile BET yüzey alanı hesaplandı. Ayrıca azot adsorpsiyonu verilerinden gözenek boyutu dağılımı bulundu.

Türkiye'de fındık üretiminden ortaya çıkan fındık zurufu miktarını tespit etmek amacıyla 2 kg zuruflu fındık alınarak kurutuldu. Kabuklu fındık ve zuruf miktarı tartılarak belirlendi.

## 5.3. Çözeltilerden Bakır (II) ve Kurşun (II) iyonlarının adsorpsiyonu

Hazırlanan aktif karbon ile sulu çözeltilerinden  $Cu^{+2}$  ve  $Pb^{+2}$  iyonlarının beç tekniği ile adsorpsiyonları incelendi. Ağır metal iyonlarının adsorpsiyonuna etki eden pH değişimi, doz değişimi karıştırma süresi, konsantrasyon gibi faktörler incelenerek optimum adsorpsiyon şartları belirlendi.

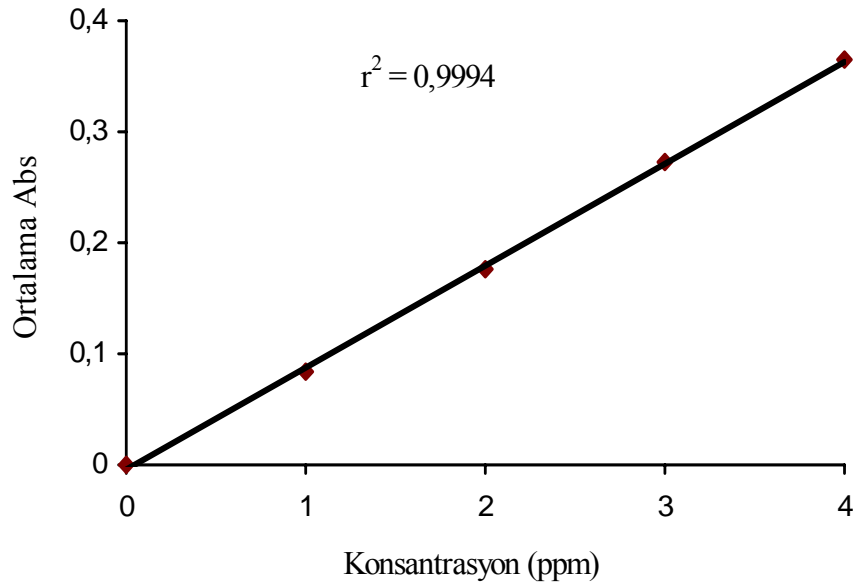
Konsantrasyon ile ilgili deneysel çalışmaların sonuçları Langmuir ve Freundlich izotermi eşitliklerine uygulanarak izoterm sabitleri hesaplandı.

#### 5.4. Standart Cu(II) ve Pb(II) İyonları Çözeltileri

Standart Cu (II) iyonu çözeltisi 1, 2, 3 ve 4 ppm olacak şekilde stok çözeltilerden, çalışma çözeltisiyle birlikte hazırlandı. AAS de ölçümleri yapıldı. ve kalibrasyon eğrisi alındı. Standart bakır(II) iyonu çözeltilerinin AAS verileri Tablo 5.2' de verildi. Kalibrasyon eğrisi şekil 5.2' de gösterildi.

Tablo 5.2. Bakır(II) konsantrasyonlarının okunan Ortalama Absorbans değerleri

Konsantrasyon (ppm)	Ortalama Absorbans
1	0,0838
2	0,1762
3	0,2725
4	0,3650

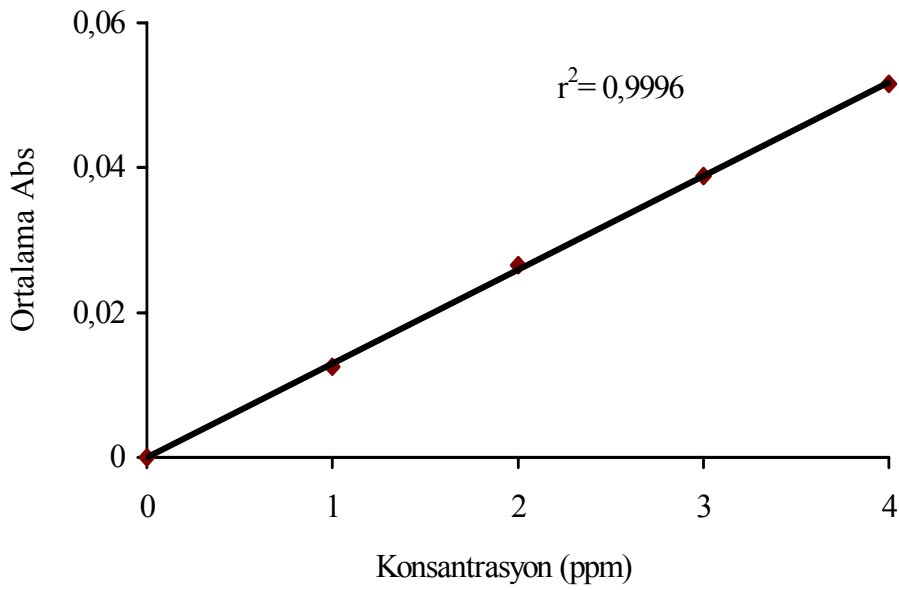


Şekil 5.2. Bakır(II) konsantrasyonu ile Ortalama Absorbans değerlerinin değişim eğrisi

Standart Pb (II) iyonu çözeltisi 1, 2, 3 ve 4 ppm olacak şekilde stok çözülden, çalışma çözeltisiyle birlikte hazırlandı. AAS ile ölçümleri yapıldı. ve kalibrasyon eğrisi alındı. Standart Pb (II) iyonu çözeltilerinin AAS verileri Tablo 5.3' de verildi. Kalibrasyon eğrisi Şekil 5.3' de gösterildi.

Tablo 5.3. Kurşun (II) konsantrasyonlarının okunan Ortalama Abs değerleri

Konsantrasyon (ppm)	Ortalama Abs.
1	0,0125
2	0,0265
3	0,0388
4	0,0516



Şekil 5.3. Pb (II) konsantrasyonu ile Ortalama Abs değerlerinin değişim eğrisi



## BÖLÜM 6. SONUÇLAR

### 6.1. Fındık Zurufundan Elde Edilen Aktif Karbonun Karakterizasyonu

İki kg zuruflu fındıktan 435,78 g zuruf ve 1564,22 g kabuklu fındık elde edildi. Bu sonuca göre kabuklu fındığın 1 tonuna karşılık 278,59 kilogram zuruf elde edileceği hesaplandı.

Fındık zurufundan elde edilen aktif karbon 40 gram fındık zurufunda 15 gramdır. Buna göre %37,5 verimle aktif karbon elde edildi.

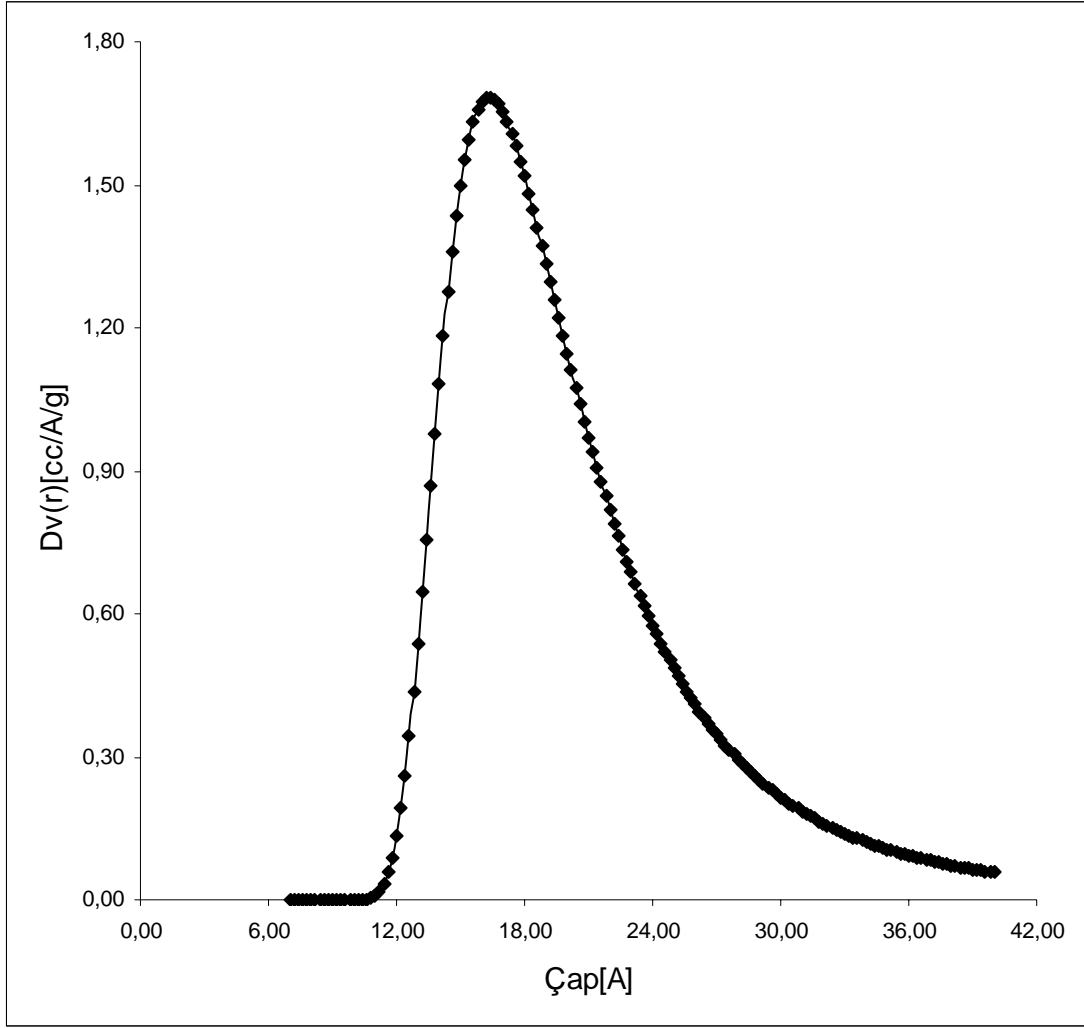
Elde edilen aktif karbon değişik tanecik boyutlarındadır. Aktif karbonun tanecik boyutuna göre dağılımı Tablo 6.1’ de verildi.

Tablo 6.1. Fındık zurufundan elde edilen aktif karbonun elek analizi sonuçları

Tanecik boyutu ( $\mu$ m)	Kütlece % dağılım
+1000	67,86
—1000 + 710	7,84
—700 + 500	11,17
—500 + 355	6,74
—355 + 250	3,58
—250 + 150	1,75
—150 + 90	0,39
—90	0,68

Hazırlanan aktif karbonun BET yüzey alanı  $1092 \text{ m}^2/\text{g}$  ve ortalama gözenek çapı  $16,4 \text{ \AA}$  olarak bulundu.

Gözenek boyutu dağılımı sonuçları Şekil 6.1' de verilmiştir.



Şekil 6.1. Aktif karbonun gözenek boyutu dağılımı

## 6.2. Çözeltilerden Bakır (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Adsorpsiyonu

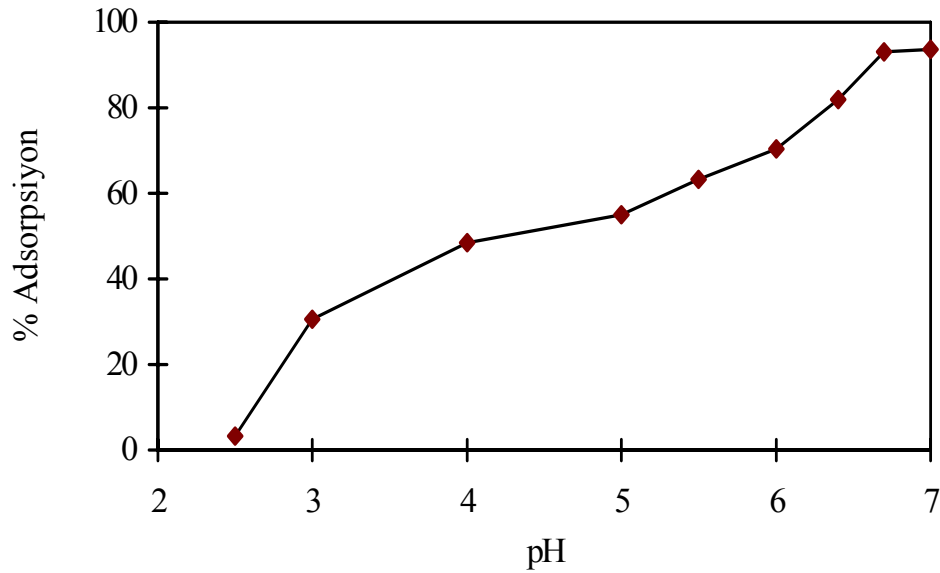
### 6.2.1. Bakır(II) ve kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna pH değişiminin etkisi

Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna pH değişiminin etkisini incelemek üzere pH'sı 2,5, 3, 4, 5, 5,5, 6, 6,4, 6,7 ve 7 olmak üzere 30 ppm'lik bakır(II) iyonu çözeltisi

hazırlandı. Doz 0,3 FZAK / 25 mL çözelti alınarak 200 rpm karıştırma hızında 291 K da 60 dakika süreyle karıştırarak çalışıldı. Deney çalışması sonunda alınan numune çözeltileri AAS ile analiz edildi. Deney verileri Tablo 6.2' de verildi. pH ile % adsorpsiyon değişimi Şekil 6.2' de gösterildi.

Tablo 6.2. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna pH değişiminin etkisi

pH	C <sub>s</sub> (ppm)	% Adsorpsiyon	Çalışma Şartları
2,5	29,00	3,33	Doz = 0,3g FZAK/25 mL çöz. C <sub>o</sub> = 30 ppm T <sub>k</sub> = 60 dk V <sub>k</sub> = 200 rpm T = 291 K
3	20,80	30,67	
4	15,45	48,50	
5	13,50	55,00	
5,5	11,00	63,33	
6	8,90	70,33	
6,4	5,40	82,00	
6,7	2,05	93,17	
7	1,90	93,67	

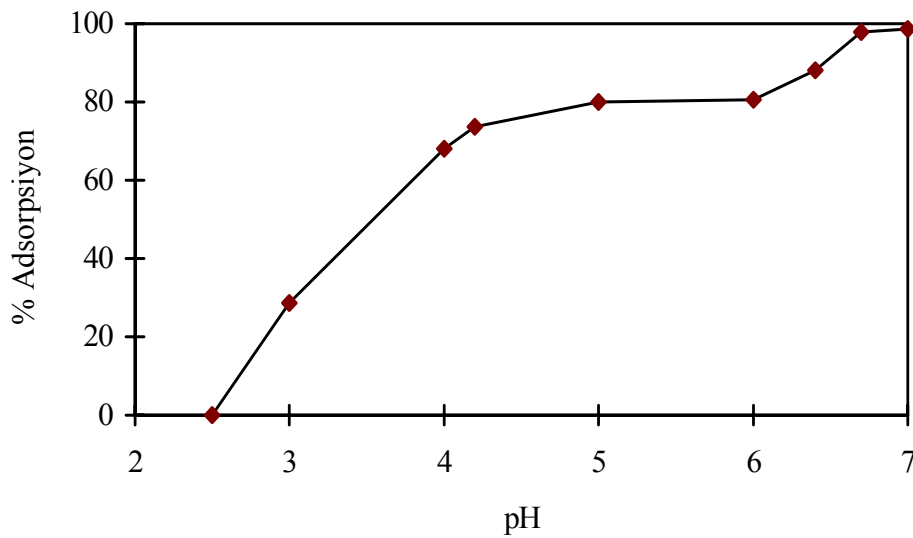


Şekil 6.2. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu – pH değişimi eğrisi

Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna pH etkisini incelemek için pH'sı 2,5, 3, 4, 4,2, 5, 6, 6,4, 6,7 ve 7 olmak üzere 30 ppm'lik Kurşun (II) iyonu çözeltisi hazırlandı. 0,3 g FZAK / 25 mL çözelti alınarak 200 rpm karıştırma hızında 291 K de 60 dakika süreyle karıştırılarak çalışıldı. Deney çalışması sonunda alınan numune çözeltileri AAS ile analiz edildi. Deney verileri Tablo 6.3' de verildi. pH ile % adsorpsiyon değişimi Şekil 6.3' de gösterildi.

Tablo 6.3. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna pH değişiminin etkisi

pH	C <sub>s</sub> (ppm)	% Adsorpsiyon	Çalışma Şartları
2,5	30,00	0	Doz = 0,3g FZAK/25 mL çöz. C <sub>o</sub> = 30 ppm T <sub>k</sub> = 60 dk V <sub>k</sub> = 200 rpm T = 291 K
3	21,40	28,67	
4	9,60	68,00	
4,2	7,90	73,67	
5	6,01	79,97	
6	5,80	80,67	
6,4	3,60	88,00	
6,7	0,62	97,93	
7	0,41	98,63	



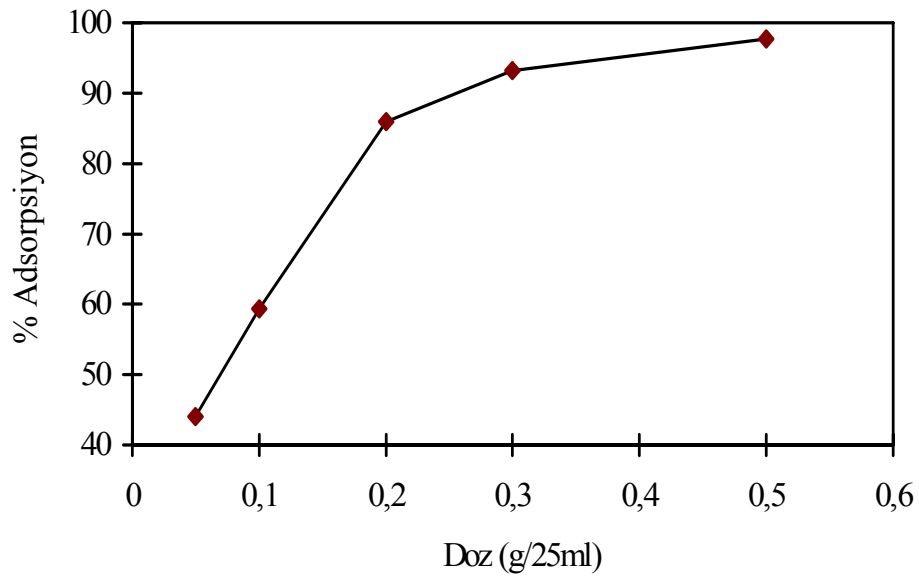
Şekil 6.3. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonu – pH değişimi eğrisi

### 6.2.2. Bakır (II) ve Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna doz değişimi etkisi

Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna doz değişiminin etkisini incelemek üzere derişimi 30 ppm ve pH'sı 6,7 olan Cu (II) iyonu çalışma çözeltisi hazırlandı. FZAK dozu 25 ml çözelti başına 0,05, 0,1, 0,2, 0,3 ve 0,5 g olacak şekilde 60 dakika karıştırılarak 291 K da 200 rpm karıştırma hızında çalışıldı. Deney sonunda alınan numuneler AAS ile analiz edildi. Sonuçlar Tablo 6.4' de verildi ve şekil 6.4' de % adsorpsiyon, doz değişimi gösterildi.

Tablo 6.4. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna doz etkisi

Doz g FZAK / 25 mL öz.	C <sub>s</sub> (ppm)	% Adsorpsiyon	alışma şartları
0,05	16,8	44,00	pH = 6,7 C <sub>o</sub> = 30 ppm T <sub>k</sub> = 60 dk V <sub>k</sub> = 200 rpm T = 291 K
0,1	12,2	59,33	
0,2	4,20	86,00	
0,3	2,05	93,17	
0,5	0,69	97,70	

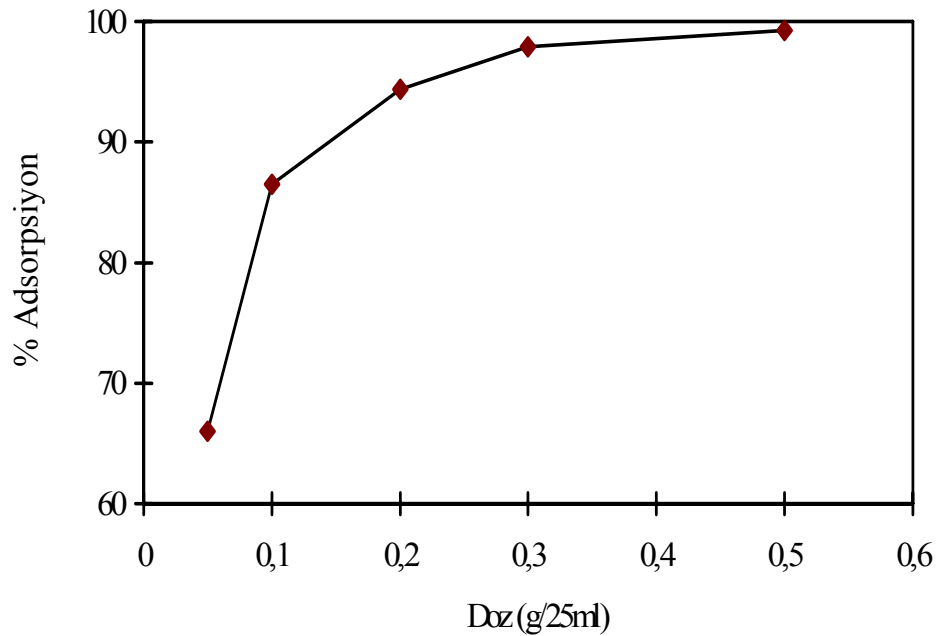


şekil 6.4. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu – doz değişimi eğrisi

Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna doz etkisi değişimini incelemek için 30 ppm'lik pH'sı 6,7 olan kurşun (II) iyonu çalışma çözeltisi hazırlandı. Aktif karbon dozu 25 ml çözelti başına sırasıyla 0,05, 0,1, 0,2, 0,3 ve 0,5 g olacak şekilde 60 dakika karıştırılarak 291 K da 200 rpm karıştırma hızında çalışıldı. Deney sonunda alınan numuneler AAS ile analiz edildi. Sonuçlar Tablo 6.5' de verildi ve Şekil 6.5'de % adsorpsiyon, doz değişimi gösterildi.

Tablo 6.5. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna doz etkisi

Doz g FZAK / 25 mL çöz.	$C_s$ (ppm)	% Adsorpsiyon	Çalışma Şartları
0,05	10,20	66,00	pH = 6,7 $C_o = 30$ ppm $T_k = 60$ dk $V_k = 200$ rpm $T = 291$ K
0,1	4,05	86,50	
0,2	1,69	94,37	
0,3	0,62	97,93	
0,5	0,22	99,27	



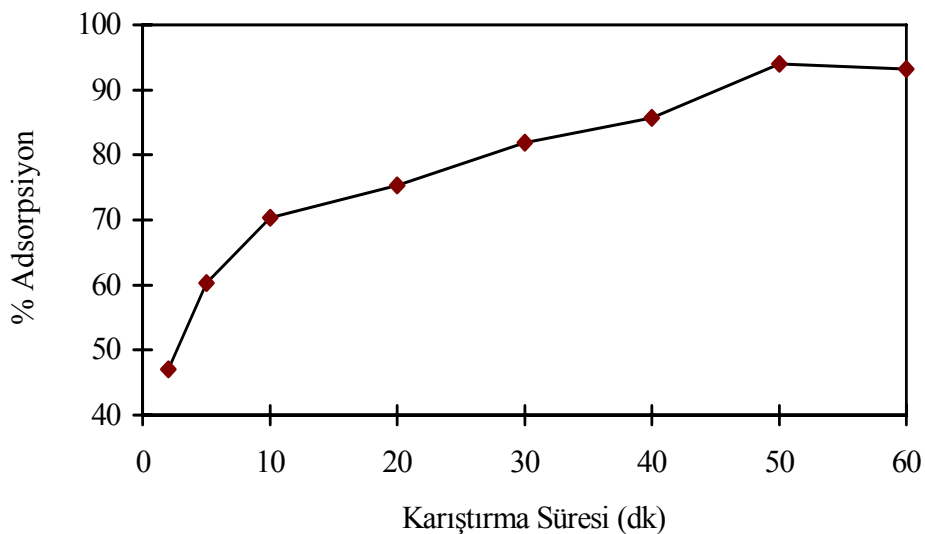
Şekil 6.5. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonu – doz değişimi eğrisi

### 6.2.3. Bakır (II) ve kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna karıştırma süresinin etkisi

Bakır (II) iyonunun adsorpsiyonuna karıştırma süresinin değişiminin etkisinin incelenmesinde 30 ppm'lik bakır (II) iyonu çalışma çözeltileri 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakikalık karıştırma sürelerinde doz 0,3 g FZAK/25 ml çözelti ve karıştırma hızı 200 rpm olacak şekilde pH 6,7' de çalışıldı. Alınan numuneler AAS ile analiz edildi. Sonuçlar Tablo 6.6 ve şekil 6.6' da gösterildi.

Tablo 6.6. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna karıştırma süresi etkisi

Karıştırma Süresi (dk)	C <sub>s</sub> (ppm)	% Adsorpsiyon	Çalışma Şartları
2	15,90	47,00	pH = 6,7 C <sub>o</sub> = 30 ppm Doz = 0,3g FZAK/25 ml çöz. V <sub>k</sub> = 200 rpm T = 291 K
5	11,90	60,33	
10	8,90	70,33	
20	7,40	75,33	
30	5,44	81,87	
40	4,29	85,70	
50	1,80	94,00	
60	2,05	93,17	

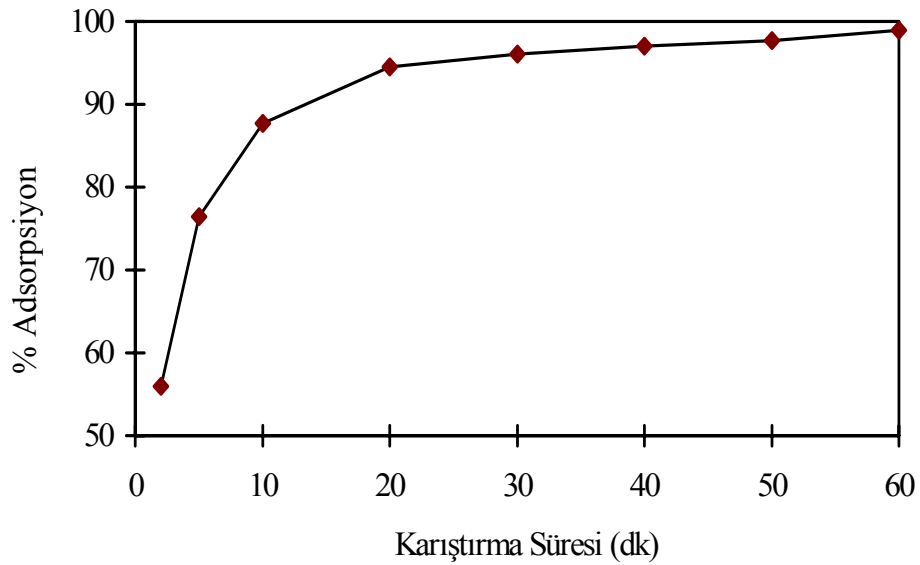


Şekil 6.6. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu – karıştırma süresi eğrisi

Kurşun (II) adsorpsiyonuna karıştırma süresinin etkisi, kurşun (II) çalışma çözeltileri 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakikalık karıştırma sürelerinde doz 0,3g FZAK / 25 ml çözelti ve karıştırma hızı 200 rpm olacak şekilde pH 6,7 de çalışılarak incelendi. Verilen sürelerde alınan numuneler AAS ile analiz edildi. Sonuçlar Tablo 6.7' de verildi ve Şekil 6.7' de % adsorpsiyon, karıştırma süresi değişimi gösterildi.

Tablo 6.7. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna karıştırma süresi etkisi

Karıştırma Süresi (dk)	C <sub>s</sub> (ppm)	% Adsorpsiyon	Çalışma Şartları
2	13,20	56,00	pH = 6,7 C <sub>o</sub> = 30 ppm Doz = 0,3g FZAK/25 ml çöz. V <sub>k</sub> = 200 rpm T = 291 K
5	7,06	76,47	
10	3,69	87,70	
20	1,65	94,50	
30	1,17	96,10	
40	0,90	97,00	
50	0,70	97,67	
60	0,62	97,93	



Şekil 6.7 Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonu – karıştırma süresi eğrisi

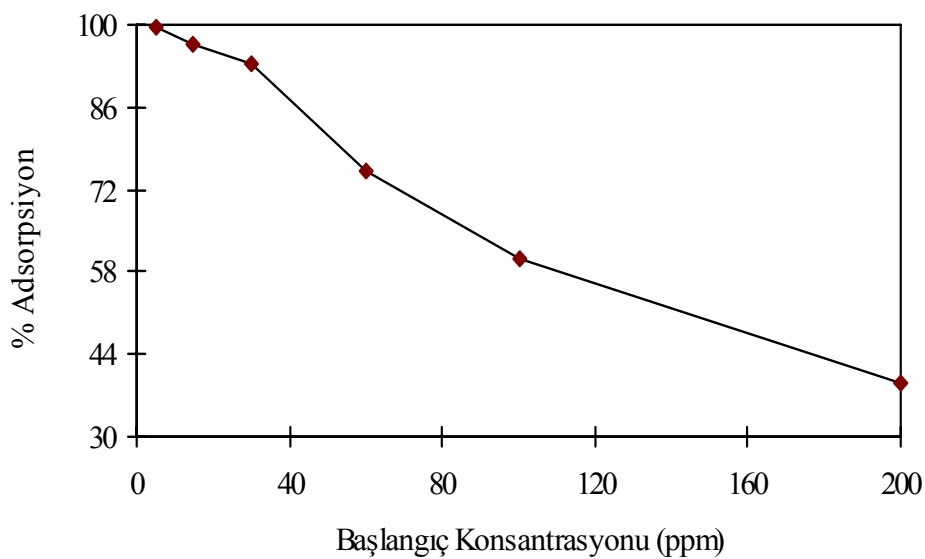


#### 6.2.4. Cu (II) ve Pb (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu etkisi

Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna konsantrasyon etkisinin incelenmesinde pH 6,7 olacak şekilde bakır (II) iyonu konsantrasyonları 5, 15, 30, 60, 100 ve 200 olan çözeltiler hazırlandı. 0,3g FZAK/25 ml çözelti dozunda 200 rpm karıştırma hızında 291 K sıcaklıkta 60 dk süreyle karıştırılarak çalışıldı. Numuneler AAS ile analiz edildi. Sonuçlar Tablo 6.8' de verildi ve Şekil 6.8' de % adsorpsiyon, başlangıç konsantrasyonu değişimi gösterildi.

Tablo 6.8. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu etkisi

$C_0$ (ppm)	$C_s$ (ppm)	% Adsorpsiyon	Çalışma Şartları
5	0,02	99,60	pH = 6,7 $T_k = 60$ dk Doz = 0,3g FZAK/25 ml çöz. $V_k = 200$ rpm $T = 291$ K
15	0,49	96,73	
30	2,05	93,17	
60	15,03	74,95	
100	39,90	60,10	
200	121,80	39,10	

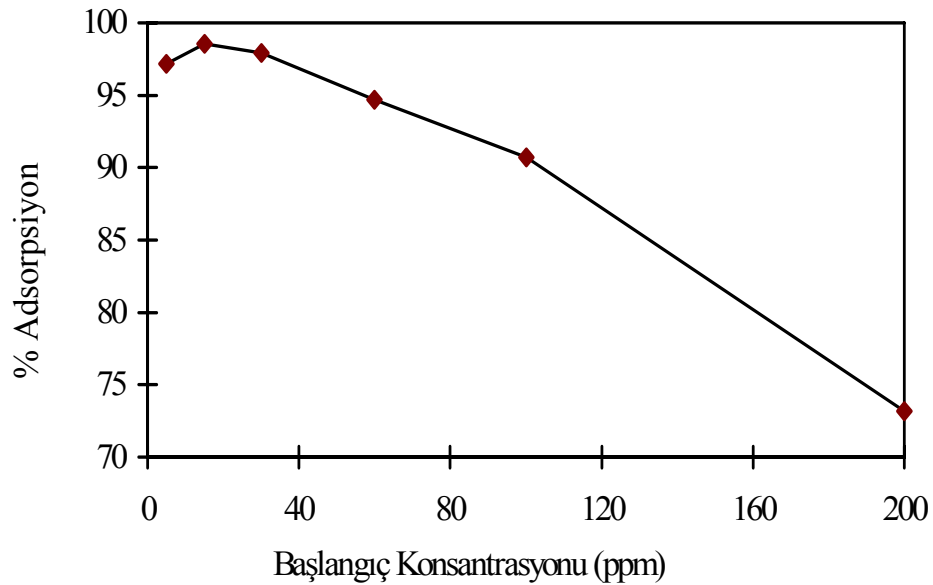


Şekil 6.8. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu – başlangıç konsantrasyonu eğrisi

Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna konsantrasyon etkisinin incelenmesinde pH 6,7 olacak şekilde Kurşun (II) iyonu konsantrasyonları 5, 15, 30, 60, 100 ve 200 olan çözeltiler hazırlandı. 0,3g FZAK/25 ml çözelti dozunda 200 rpm karıştırma hızında 291 K sıcaklıkta 60 dakika süreyle karıştırılarak çalışıldı. Numuneler AAS ile analiz edildi. Sonuçlar Tablo 6.9' da verildi ve Şekil 6.9' da % adsorpsiyon, başlangıç konsantrasyonu değişimi gösterildi.

Tablo 6.9. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonu etkisi

$C_o$ (ppm)	$C_s$ (ppm)	% Adsorpsiyon	Çalışma Şartları
5	0,14	97,20	pH = 6,7 $T_k = 60$ dk Doz = 0,3g FZAK/25 ml çöz. $V_k = 200$ rpm $T = 291$ K
15	0,22	98,53	
30	0,62	97,93	
60	3,17	94,72	
100	9,30	90,70	
200	53,6	73,20	



Şekil 6.9. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonu – başlangıç konsantrasyonu eğrisi

### 6.3. Deneysel Verilerin Langmuir ve Freundlich İzotermlerine Uygulanması

#### 6.3.1. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonunun Langmuir izoterm eşitliğine uygulanması

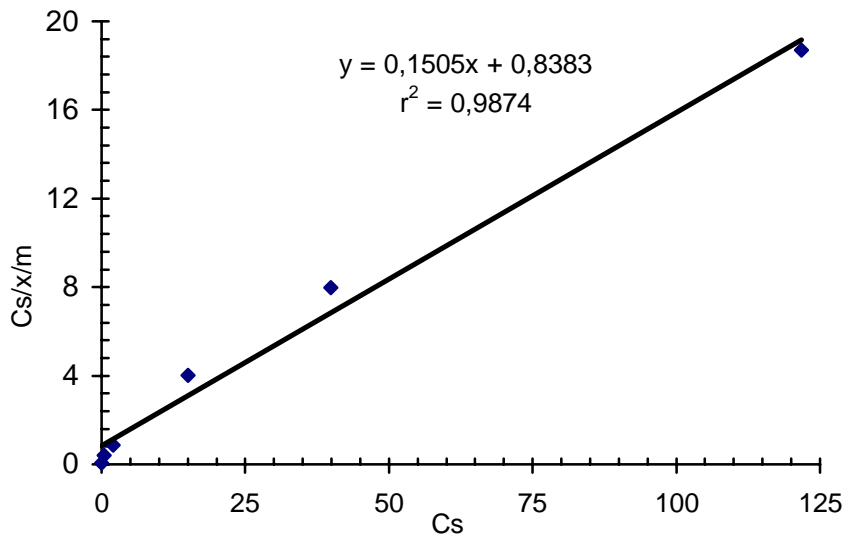
Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Tablo 6.8' deki sonuçlar Langmuir eşitliğine

$$\left( \frac{C_s}{x/m} = \frac{1}{KX_m} + \frac{C_s}{X_m} \right)$$

uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı ve Tablo 6.10' da gösterildi. Bakır (II) adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm grafiği Şekil 6.10' da verildi

Tablo 6.10. Bakır (II) adsorpsiyonu için Langmuir eşitliği değerleri

$C_0$ (ppm)	$C_s$ (ppm)	$x/m$ (mg/g)	$\frac{C_s}{x/m}$
5	0,02	0,415	0,048
15	0,49	1,209	0,410
30	2,05	2,329	0,880
60	15,3	3,750	4,008
100	39,9	5,008	7,970
200	121,8	6,520	18,68



Şekil 6.10. Bakır (II) adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi grafiği

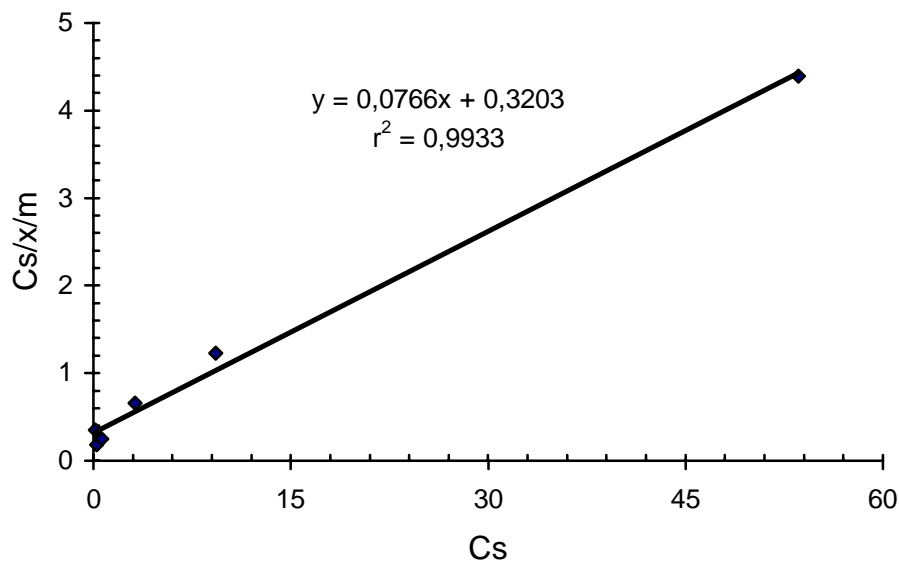
Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterminden Langmuir sabitleri hesaplandı. Bu sabitler Tablo 6.12' de verildi.

### 6.3.2. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonunun Langmuir izoterm eşitliğine uygulanması

Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Tablo 6.9 daki sonuçlar Langmuir eşitliğine uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı ve Tablo 6.11 de gösterildi. Kurşun (II) adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm grafiği Şekil 6.11 de verildi.

Tablo 6.11. Kurşun (II) adsorpsiyonu için Langmuir eşitliği değerleri

$C_0$ (ppm)	$C_s$ (ppm)	$x/m$ (mg/g)	$\frac{C_s}{x/m}$
5	0,14	0,405	0,35
15	0,22	1,231	0,18
30	0,62	2,445	0,25
60	3,17	4,736	0,66
100	9,30	7,558	1,23
200	53,6	12,20	4,39



Şekil 6.11. Kurşun (II) adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi grafiği

Kurşun (II) iyonu için Langmuir sabitleri Cu (II) iyonu adsorpsiyonunda olduğu gibi hesaplandı ve Tablo 6.12' de verildi.

Tablo 6.12. Bakır (II) ve Kurşun (II) iyonları için Langmuir sabitleri ve regresyon katsayıları

Hesaplanan Değerler	Bakır (II)	Kurşun (II)
$X_m$ (mg/g)	6,645	13,05
K (L/mg)	0,179	0,255
$r^2$	0,9874	0,9933

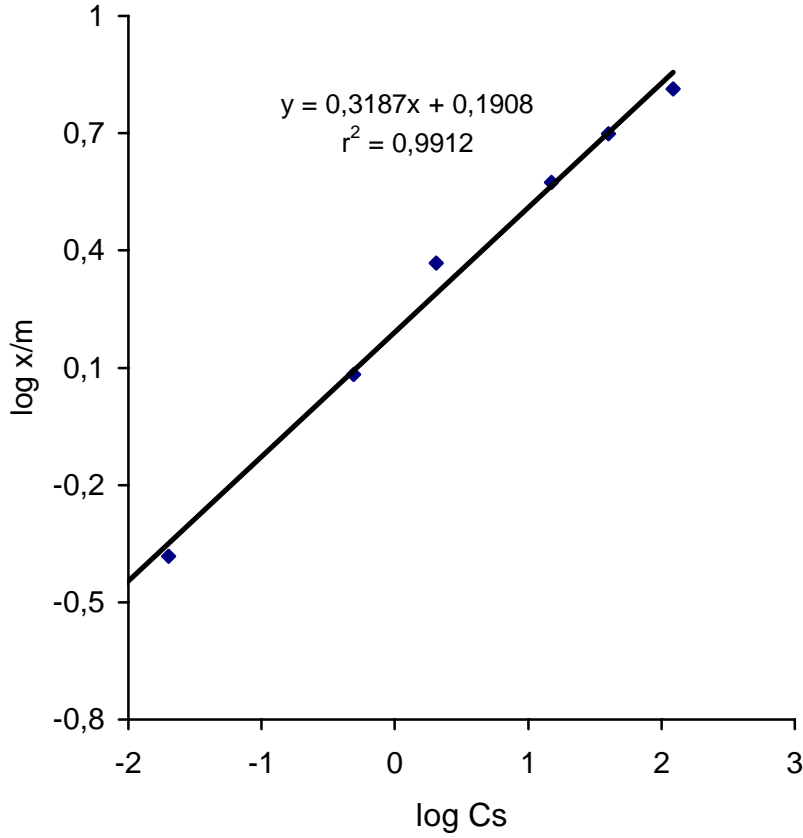
### 6.3.3. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonun Freundlich izoterm eşitliğine uygulanması

Tablo 6.8 deki sonuçlar Freundlich eşitliğine ( $\log x/m = \log k + n \log C_s$ ) uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı sonuçlar Tablo 6.13' de gösterildi.

Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna ait 291 K sıcaklıktaki Freundlich izoterm grafiği Şekil 6.12' de gösterildi.

Tablo 6.13. Bakır (II) adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri

$C_0$ (ppm)	$C_s$ (ppm)	$x/m$ (mg/g)	$\log C_s$	$\log x/m$
5	0,02	0,415	-1,699	-0,382
15	0,49	1,209	-0,310	0,082
30	2,05	2,329	0,312	0,367
60	15,03	3,750	1,177	0,574
100	39,9	5,008	1,601	0,699
200	121,8	6,520	2,086	0,814



Şekil 6.12. Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna ait 291 K sıcaklıktaki Freundlich izoterm grafiği

Bakır (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm sabitleri Tablo 6.15 de verildi.

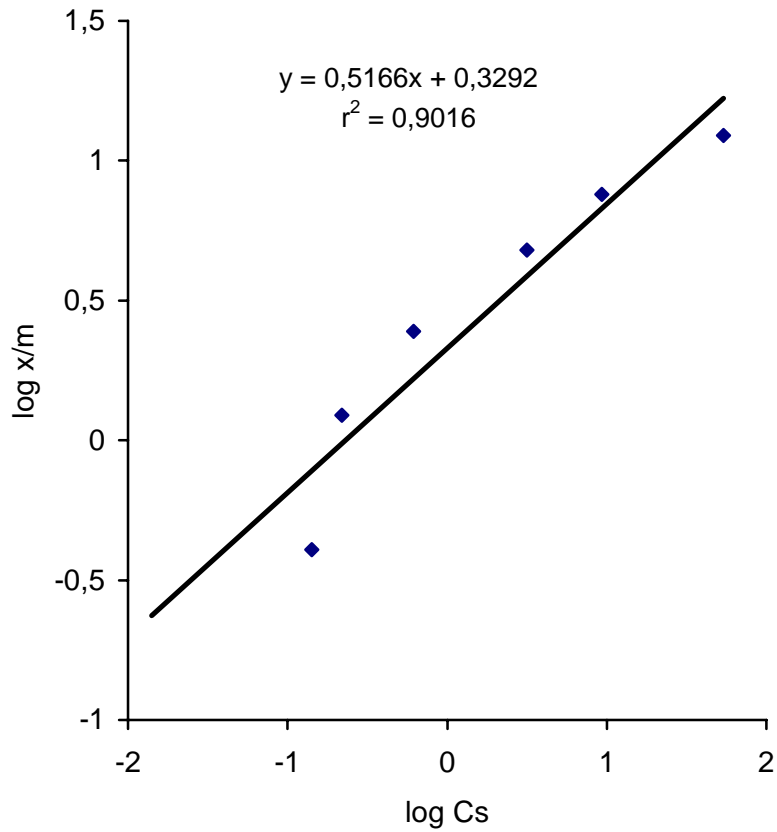
#### 6.3.4. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonun Freundlich izoterm eşitliğine uygulanması

Tablo 6.9 daki sonuçlar Freundlich eşitliğine ( $\log x/m = \log k + n \log C_s$ ) uygulanarak gerekli hesaplamalar yapıldı sonuçlar Tablo 6.14' de gösterildi.

Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna ait 291 K sıcaklıktaki Freundlich izoterm grafiği Şekil 6.13' de gösterildi.

Tablo 6.14. Kurşun (II) adsorpsiyonu için Freundlich eşitliği değerleri

$C_0$ (ppm)	$C_s$ (ppm)	$x/m$ (mg/g)	Log $C_s$	Log $x/m$
5	0,14	0,405	-0,854	-0,393
15	0,22	1,231	-0,658	0,090
30	0,62	2,445	-0,208	0,388
60	3,17	4,736	0,501	0,675
100	9,30	7,558	0,968	0,878
200	53,6	12,2	1,729	1,086



Şekil 6.13. Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna ait 291 K sıcaklıktaki Freundlich izoterm grafiği

Kurşun (II) iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm sabitleri Tablo 6.15' de verildi.

Tablo 6.15. Bakır (II), Kurşun (II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri ve regresyon katsayıları

Adsorbat	n	K	$r^2$
Bakır	0,3187	1,5517	0,9912
Kurşun	0,5166	2,1340	0,9016



## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı 1092 m<sup>2</sup>/g olarak bulundu. Ayrıca elek analizi sonuçları incelendiğinde aktif karbonun taneciklerinin %90' ı 0,5 mm den büyük olduğu görülmektedir. Buna göre hazırlanan aktif karbon granül halindedir.

Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonunda pH değişiminin sonuçları incelendiğinde pH artışıyla % adsorpsiyonun arttığı ve pH 7 de maksimuma ulaştığı görülmektedir. Bundan dolayı Cu<sup>+2</sup> iyonu adsorpsiyonu için optimum pH' ın 6,7-7 olduğuna karar verildi.

Cu<sup>+2</sup> iyonu adsorpsiyonuna karıştırma süresinin etkisi sonuçları incelendiğinde karıştırma süresinin artmasıyla % adsorpsiyonun arttığı ve 50-60 dakikada maksimuma ulaştığı görüldüğünden optimum karıştırma süresi olarak 50-60 dakika seçildi.

Doz miktarının bakır iyonlarının adsorpsiyonunda etkili olduğu, doz miktarının artmasıyla adsorpsiyon miktarının arttığı sonuçlardan görülmektedir. Fakat doz miktarının 0,3 g ile 0,5 g alınması arasında çok fark olmadığı, dolayısıyla optimum doz miktarının çözeltinin 25 mL si başına 0,3 g alınmasının uygun olduğuna karar verildi.

Değişik konsantrasyonlardaki bakır iyonlarının optimum şartlarda adsorpsiyonu sonuçları incelendiğinde konsantrasyon arttıkça % adsorpsiyonun azaldığı, ancak adsorplanan bakır iyonlarının arttığı görülmektedir. 30 ppm lik bir çözelti göz önüne alındığında optimum şartlarda Cu<sup>+2</sup> iyonlarının %93,17 sinin adsorplandığı bulunmuştur.

Pb<sup>+2</sup> adsorpsiyonunda pH etkisi sonuçları incelendiğinde pH artışı ile adsorpsiyonun arttığı görülmektedir. pH 6,7’ de Pb(II) iyonlarının %97,93’ ü adsorplanırken pH 7’de ise %98,63’ ü adsorplanmıştır. Optimum pH olarak 6,7 seçilmiştir.

Pb (II) iyonlarının adsorpsiyonuna aktif karbon ile temas süresinin etkili olduğu, temas süresinin artmasıyla % adsorpsiyonun arttığı tespit edildi. Optimum temas süresi 40–60 dakika olarak bulundu.

Pb (II) iyonlarının adsorpsiyonunda doz miktarı arttıkça adsorplanan miktar artmaktadır. Şekil 6.4 incelendiğinde 25 mL çözeltide 0,3 g aktif karbon miktarına kadar hızlı bir artış olmakta, 0,3 gramdan 0,5 grama kadar büyük bir değişim olmadığı görülmektedir. Bundan dolayı 25 mL çözelti başına 0,3 g aktif karbon miktarı optimum doz olarak belirlendi.

Elde edilen optimum şartlarda 25 mL hacminde ve değişik konsantrasyonlardaki Pb (II) iyonlarının adsorpsiyonu çalışılmış, sonuçlar incelendiğinde 100 ppm lik bir çözeltideki Pb<sup>+2</sup> nin %90,70 lik kısmının adsorplandığı bulundu. Bu sonuçlar findikkabuğundan yapılan aktif karbonun Pb (II) iyonları için iyi bir adsorban olduğunu ortaya koymaktadır.

Bakır (II) ve Kurşun (II) iyonlarına ait adsorpsiyon verileri Langmuir ve Freundlich izotermine uygulanarak izotermilerin sabitleri hesaplandı. Cu(II) iyonu adsorpsiyonu her iki izoterme, Pb(II) iyonu adsorpsiyonu ise Langmuir izotermine daha iyi uyduğu bulundu.

Türkiye’nin yaklaşık fındık üretimi 500 bin tondur. Buradan elde edilen zuruf miktarı ise yaklaşık 150 bin tondur. Üretilen bu fındık zurufu genelde kullanılmadan atılmaktadır. Oldukça fazla miktarda olan bu atığın ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada fındık zurufundan aktif karbon üretildi ve üretim veriminin %37,5 olduğu bulundu. Bu sonuçlara göre fındık zurufu adsorban üretimi için iyi bir bitkisel atıktır. Çalışmada maliyet hesabı yapılmamıştır. Bu bir başka çalışmada araştırma konusu olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] [http://www.tema.org.tr/tr/cevre\\_kutuphanesi/su\\_kaynaklari/pdf/Suyun\\_Onemi\\_Ekolojik\\_Sorunlar.pdf](http://www.tema.org.tr/tr/cevre_kutuphanesi/su_kaynaklari/pdf/Suyun_Onemi_Ekolojik_Sorunlar.pdf), 05.05.2006.
- [2] İMAMOĞLU, M., “Pirinç Kabuğundan Yapılmış Aktif Karbon Üzerinde Cu(II) ve Cd(II) İyonlarının Sulu Çözeltilerinden Adsorpsiyonla Uzaklaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Ün., SAKARYA, 1996.
- [3] YILDIZ, S., “Fizikokimya”, 1. Baskı, Bizim Büro Basımevi, KONYA, 1995.
- [4] SARIKAYA, Y., “Fizikokimya”, 5. Baskı, Baran Ofset, ANKARA, 2004.
- [5] ATKINS, P. W., “Physical Chemistry”, 1. Baskı, Bilim Yayıncılık, ANKARA, 2001.
- [6] CRITTENDEN, B., THOMAS, W.J., “Adsorption Technology & Design”, 1. Baskı, Butterworth-Heineman yayınevi, OXFORD, 1998.
- [7] TUNA, M., “Batı Karadeniz Yöresi Fındık Kabuklarının Aktif Karbon Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniv., SAKARYA, 1996.
- [8] AY, Z., “Bentonit Üzerine Boyarmaddelerin Adsorpsiyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Ün., SAKARYA, 2002.
- [9] GÜLENSOY, H., ŞENGİL, A., “Aktif Karbon ve Üretimi”, Sakarya Devlet Mühendis ve Mimarlık Akademisi Dergisi, Sayı:MMA-11, 77-90, SAKARYA, 1981.
- [10] ACI, F., “Şeker Pancarı Melasından Aktif Kömür Eldesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Ün., SAKARYA, 2003
- [11] KÜÇÜKGÜL, E.Y., “Ticari Aktif Karbon Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi”, DEÜ Mühendislik Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, İZMİR, Ekim 2004.

- [12] ÖZENÇ, N., “Fındık Zurufu ve Diğer Organik Materyallerin Fındık Tarımı Yapılan Toprakların Özellikleri ve Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri”, Doktora Tezi, Ankara Ün., ANKARA, 2004.
- [13] <http://www.fiskobirlik.org.tr/tburetim.html>, 04.05.2006.
- [14] ÖZENÇ, N., ÇALIŞKAN, N., KOÇ, N., KAYA, A., ŞENSES, T., “Fındık Zurufundan Kompost Elde Edilmesi Bunun Verim ve Kaliteye Etkileri” Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Fındık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Proje No: TAGEM/IY/96/05/01/0004, GİRESUN, 1999.
- [15] YALÇIN, M., AROL, A.I., “Gold Cyanide Adsorption Characteristics of Activated Carbon of Non-coconut Shell Origin”, Hydrometallurgy 63, 201-206, 2002.
- [16] TSAI, W.T., CHANG, C.Y., “Characterization of Activated Carbons Prepared from Sugarcane Bagasse by  $ZnCl_2$  Activation”, J. Environ. Sci. Health, B36(3), 365–378, 2001.
- [17] KHALKHALI, R.A., OMIDVARI, R., “Adsorption of Mercuric Ion from Aqueous Solutions Using Activated Carbon”, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 14, No.2, 185–188, 2005.
- [18] YAVUZ, Ö., AYDIN, A.H., “The Removal of Acid Dye from Aqueous Solution by Different Adsorbents”, Fresenius Environmental Bulletin, Vol.11, No.7, 2002.
- [19] YOUSSEF, A.M., RADWAN, N.R.E., “Textural Properties of Activated Carbons from Apricot Stones”, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 252, 143–151, 2005.
- [20] BOONAMNUAYVITAYA, V., SEA-UNG, S., “Preparation of Activated Carbons from Coffee Residue for the Adsorption of Formaldehyde”, Separation and Purification Technology 42, 159-168, 2005.
- [21] AYGÜN, A, YENISOY-KARAKAŞ, S., DUMAN, I., “Production of Granular Activated Carbon from Fruit Stones and Nutshells and Evaluation of Their Physical, Chemical and Adsorption Properties”, Microporous and Mesoporous Materials 66, 189-195, 2005.

- [22] TSAI, B.W.T., CHANG, C.Y., “Adsorption of Acid Dye onto Activated Carbons Prepared from Agricultural Waste Bagasse by  $ZnCl_2$  Activation”, *Chemosphere* 45, 51-58, 2002.
- [23] TSAI, W.T., CHANG, C.Y., LEE, S.L., “A Low Cost Adsorbent from Agricultural Waste Corn Cob by Zinc Chloride Activation”, *Bioresource Technology* 64, 211-217, 1998.
- [24] HU, Z., SRINIVASAN, M.P., “Mesoporous High Surface Area Activated Carbon”, *Microporous and Mesoporous Materials* 43, 267-275, 2001.
- [25] HU, Z., SRINIVASAN, M.P., NI, Y., “Novel Activation Process for Preparing Highly Microporous and Mesoporous Activated Carbons”, *Carbon* 39, 877-886, 2001.
- [26] KOBYA, M., “Adsorption, Kinetic and Equilibrium Studies of Cr(VI) by Hazelnut Shell Activated Carbon”, *Adsorption Science & Technology* Vol. 22, No.1, 2004.
- [27] BUDINOVA, T.K., GERGOVA, K.M., “Removal of Metal Ions from Aqueous Solution by Activated Carbons Obtained from Different Raw Materials”, *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 60, 177–182, 1994.
- [28] AYDIN, A.H., TEZ, Z., “Ceviz ve Fındık Kabuğundan Hazırlanan Aktif Karbonların Adsorpsiyon Kapasitelerinin ve Muhtemel Kullanım Alanlarının Ticari Bazı Aktif Karbonlarla Kıyaslamalı Olarak Belirlenmesi”, *Doğa-Türk Kimya Dergisi* 16, 51-58, 1992.
- [29] KILIÇLIOĞLU, S., ARAZ, N., DEVRİM, H., “Meydan Larousse”, *Meydan yayınevi*, Cilt 2, pp. 79–81, İSTANBUL, 1969.
- [30] BÜYÜM, N., “Ana Britannica”, Baskı: Hürriyet ofset, Cilt 4, pp. 165–166, İSTANBUL, 1993.
- [31] T.C. Resmi Gazete, Sayı: 25999, 20 Kasım 2005.
- [32] AYDIN, A.O., Liç Prosesleri Ders Notları, SAKARYA, 1998.

- [33] ADNAN, B., “Büyük Larousse”, Milliyet Gazetecilik A.Ş., Cilt 14, pp. 7176–7179, İSTANBUL, 1986.
- [34] TOSUN, L., “Adsorpsiyon Yöntemi ile Sulu Çözeltilerden Pb(II), Zn(II) ve Cr(VI) İyonlarının Uzaklaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, SAKARYA, 1996.
- [35] SOMERVILLE, J., “Temel Britannica”, Baskı: Hürriyet ofset, Cilt 11, pp. 107-109, İSTANBUL, 1993.

## ÖZGEÇMİŞ

Oktay Tekir 1975 yılında Giresun-Bulancak' ta doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini Sakarya-Akyazı' da yaptı. 1992 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği Bölümünü 1997 yılında bitirdi. 1997 den 2002 yılına kadar özel sektörde idarecilik ve öğretmenlik yaptı. 2002 yılından itibaren Sakarya Milli Eğitim' de öğretmen olarak çalışmaktadır. 2004 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.