

**BİYOKÜTLEDEN AKTİF KARBON  
HAZIRLANMASI VE AĞIR METAL  
UZAKLAŞTIRILMASI AMACIYLA KULLANIMI**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA**

**Ayşe ZENGİN**

**BİYOKÜTLEDEN AKTİF KARBON HAZIRLANMASI VE AĞIR METAL  
UZAKLAŞTIRILMASI AMACIYLA KULLANIMI**

**Ayşe ZENGİN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Nisan 2012**

Ayşe ZENGİN tarafından hazırlanan “BİYOKÜTLEDEN AKTİF KARBON HAZIRLANMASI VE AĞIR METAL UZAKLAŞTIRILMASI AMACIYLA KULLANIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selhan KARAGÖZ

Tez Danışmanı, Kimya Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/ 04/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç.Dr. Selhan KARAGÖZ

Üye : Doç.Dr. Mustafa ER

Üye : Yrd.Doç.Dr. Nurettin ELTUĞRAL



...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ayşe ZENGİN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BİYOKÜTLEDEN AKTİF KARBON HAZIRLANMASI VE AĞIR METAL UZAKLAŞTIRILMASI AMACIYLA KULLANIMI**

**Ayşe ZENGİN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalında**

**Tez Danışmanı:  
Doç.Dr.Selhan KARAGÖZ  
Nisan 2012, 74 Sayfa**

Tezin amacı, atık suntalam odun talaşından, sodyum hidroksit kullanılarak kimyasal aktivasyon ile 600 ve 800°C’de aktif karbonlar elde etmektir. Karbonizasyon sıcaklığı ve kullanılan kimyasal derişiminin aktif karbonların kimyasal yüzey özelliklerine etkisi incelenmiştir. Hem kimyasal derişim hem de karbonizasyon sıcaklığı aktif karbonların karakteristiklerine etki etmiştir. En yüksek yüzey alanı 600°C’de ağırlıkça %50 oranında sodyum hidroksit kullanılmasıyla elde edilmiştir. 800°C’de, sodyum hidroksit derişiminin artmasıyla aktif karbonların yüzey alanlarında artış meydana gelmiştir. Ağırlıkça %25 ve %100 sodyum hidroksit derişimlerinin uygulandığı deneylerde karbonizasyon sıcaklığının artmasıyla aktif karbonların yüzey alanlarında artış olmuştur. Ancak ağırlıkça %50 oranında sodyum hidroksit kullanılması ile karbonizasyon sıcaklığının artmasıyla aktif karbonların yüzey alanlarında azalma olmuştur. Elde edilen aktif karbonların dış yüzeyleri şekilsiz ve heterojen yapılara sahiptir. Elde edilen aktif karbonlardan en yüksek Q

değerine sahip olan aktif karbona sulu çözeltilerden Pb(II), Cd(II) ve Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonu gerçekleştirilmiştir. Ortam pH'nın ve ortamdaki ağır metal iyonları derişimlerinin ağır metal iyonlarının adsorpsiyonuna etkisi incelenmiştir. Hem pH'ın hem de ağır metal iyonları derişimlerinin ağır metal iyonlarının adsorpsiyonuna etkisi olmuştur. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi için en uygun pH değeri 6.0 olarak bulunmuştur. Pb(II), Cd(II) ve Cu(II) için maksimum adsorpsiyon değerleri sırasıyla 16,44 mg/g, 17,03 mg/g, ve 2,17 mg/g olarak belirlenmiştir. Ağır metal iyonlarının adsorpsiyon davranışları Langmuir ve Freundlich izotermleri kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Langmuir izotermiyle uyum göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Biyokütle, aktif karbon, piroliz, ağır metal uzaklaştırma.

**Bilim kodu** : 201.1.004

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **PREPARATION OF ACTIVATED CARBON FROM BIOMASS AND ITS USE FOR HEAVY METAL REMOVAL**

**Ayşe ZENGİN**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Chemistry**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Selhan KARAGÖZ**

**April 2012, 74 pages**

The main purpose of the thesis is to obtain activated carbons from the pyrolysis of the waste melamine coated chipboard at 600 and 800 °C by chemical activation with NaOH. The effect of carbonization temperature and concentration of chemical reagent on the chemical-surface properties of the activated carbons was investigated. Both the concentration of activating reagent and the carbonization temperature affected characteristics of the activated carbons. The highest surface area was obtained at 600 °C with a 50wt.% concentration of sodium hydroxide. At 800 °C, the surface area of the activated carbons was increased by increasing the concentration of sodium hydroxide. For 25 and 100wt.% concentrations of sodium hydroxide, increasing the carbonization temperature produced an increase in surface area of the activated carbons. However, at the concentration of 50wt.% sodium hydroxide, as the carbonization temperature was increased, the surface area of the carbon decreased. The external surfaces of the activated carbons showed amorphous

and heterogeneous structures. The activated carbon, which has the highest Q value was used in order to remove Pb(II), Cd(II) and Cu(II) ions from aqueous solutions. The effect of pH and heavy metal ion concentration on the adsorption of heavy metal ions onto the activated carbons were investigated. Both pH and heavy metal ion concentration affected adsorption of heavy metal ions onto the activated carbons. The optimum pH value was found as 6.0 for the maximum adsorption capability. The maximum adsorption capacities of the prepared activated carbons were 16,44 mg/g for Pb(II), 17,03 mg/g for Cd(II) and 2,17 mg/g for Cu(II), respectively. Behaviors of the heavy metal ions have been investigated with the use of both the Langmuir and Freundlich isotherms. The results were well fitted to the Langmuir isotherm.

**Key Words** : Biomass, activated carbon, pyrolysis, heavy metal removal.

**Science Code** : 201.1.004



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Sayın Danışmanım Doç. Dr. Selhan KARAGÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin oluşmasında büyük katkıları olan Hacettepe Üniversitesi öğretim üyelerinden değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. F. Sema BEKTAŞ'a, Sayın Doç. Dr. Çiğdem ARPA ŞAHİN'e, Anadolu Üniversitesi öğretim üyelerinden değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Turgay TAY'a ve Sayın Doç. Dr. Murat ERDEM'e teşekkürlerimi sunar; değerli arkadaşlarım Araştırma Görevlisi Mehmet K. AKALIN, Araştırma Görevlisi Kubilay TEKİN ve Koray ALPER'e her türlü yardımları için teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL .....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	2
KURAMSAL TEMELLER .....	2
2.1. BİYOKÜTLE VE BİYOKÜTLE KAYNAKLARI .....	2
2.2. BİYOKÜTLENİN YAPISI.....	4
2.2.1. Selüloz.....	5
2.2.2. Hemiselüloz.....	5
2.2.3. Lignin .....	6
2.3. BİYOKÜTLE DÖNÜŞÜM TEKNOLOJİLERİ.....	8
2.3.1 Yakma .....	9
2.3.2. Piroliz .....	9
2.4. ODUN KAYNAKLI KOMPOZİT MALZEMELER.....	10
2.5. AKTİF KARBON .....	12
2.6. AKTİF KARBON KAYNAKLARI .....	13
2.7. AKTİF KARBONUN ÖZELLİKLERİ .....	15
2.7.1. Aktif Karbonun Gözenekli Yapısı.....	15
2.7.2. Aktif Karbon Yüzeyindeki Kimyasal Gruplar .....	15

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.7.2.1. Aktif karbon yüzeyindeki oksijen içeren fonksiyonel gruplar.....	16
2.7.2.2. Aktif karbon yüzeyindeki hidrojen içeren fonksiyonel gruplar.....	17
2.7.2.3. Aktif karbon yüzeyindeki azot içeren fonksiyonel gruplar .....	17
2.8. AKTİF KARBON ÜRETİMİ .....	17
2.8.1. Fiziksel Aktifleştirme .....	18
2.8.2. Kimyasal Aktifleştirme .....	21
2.9. AKTİF KARBONUN UYGULAMA ALANLARI.....	29
2.9.1. Aktif Karbonun Gaz Faz Uygulamaları .....	29
2.9.2. Aktif Karbonun Sıvı Faz Uygulamaları .....	30
2.10. AKTİF KARBONA AĞIR METAL ADSORPSİYONU.....	30
2.10.1. Ağır Metaller .....	30
2.10.2. Ağır Metallerle Kirlenmiş Atık Suların Temizlenmesi.....	31
2.10.3. Adsorpsiyon.....	31
2.10.4. Adsorpsiyon Modelleri.....	33
2.10.4.1. Langmuir Adsorpsiyon Modeli .....	33
2.10.4.2. Freundlich Adsorpsiyon Modeli .....	34
2.10.5. Ağır Metallerin Tayinleri .....	35
2.10.6. Atomik Adsorpsiyon Spektroskopisi .....	36
BÖLÜM 3 .....	37
DENEYSEL YÖNTEM .....	37
3.1. HAMMADDE.....	37
3.2. HAMMADDEYE VE AKTİF KARBONLARA YAPILAN ANALİZLER .....	37
3.2.1. Uçucu Madde Tayini .....	37
3.2.2. Nem Tayini.....	38
3.2.3. Kül Tayini.....	38
3.3. KİMYASAL AKTİVASYON VE PİROLİZ YÖNTEMİ .....	39
3.4. AĞIR METAL İYONLARININ ADSORPSİYONU.....	40
BÖLÜM 4 .....	42
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	42

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1. AKTİF KARBONLARIN KARAKTERİSTİKLERİ .....	42
4.2. AĞIR METAL İYONU ADSORPSİYONU .....	47
4.2.1. Ortam Ph'ının Etkisi .....	47
4.2.2. Adsorpsiyon Hızı .....	48
4.2.3. Başlangıç Derişiminin Etkisi .....	49
4.2.4. Adsorpsiyon İzotermleri .....	51
BÖLÜM 5 .....	58
SONUÇLAR VE YORUM.....	58
KAYNAKLAR .....	60
ÖZGEÇMİŞ .....	74

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Elde edilebilen biyokütle enerjisi kaynakları.....	3
Şekil 2.2. Biyokütle bileşenleri .....	4
Şekil 2.3. Selülozun yapısı .....	5
Şekil 2.4. Hemiselülozun yapıtaşları.....	6
Şekil 2.5. Yumuşak odunda bulunan hemiselülozun (glukamon) şematik yapısı.....	6
Şekil 2.6. Ligninin monomer yapıları .....	7
Şekil 2.7. Yumuşak odun ligninin yapısı .....	8
Şekil 2.8. Kimyasal aktivasyon için genel bir akım şeması .....	23
Şekil 3.1. Piroliz sistemi.....	40
Şekil 4.1. Aktif karbonların SEM görüntüleri.....	46
Şekil 4.2. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna pH'nın etkisi .....	48
Şekil 4.3. Ağır metal iyonu adsorpsiyonunun süre ile değişimi.....	49
Şekil 4.4. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna derişimin etkisi.....	50
Şekil 4.5. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna derişimin etkisi.....	50
Şekil 4.6. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna derişimin etkisi.....	51
Şekil 4.7. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi .....	52
Şekil 4.8. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi .....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Biyokütle kaynakları .....	3
Çizelge 2.2. Bazı biyokütlelerin içeriğindeki lignin, selüloz ve hemiselüloz miktarları.....	4
Çizelge 2.3. Aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılan yenilenebilir kaynaklardan bazıları .....	14
Çizelge 2.4. Aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılan fosil kökenli kaynaklardan bazıları .....	14
Çizelge 2.5. Biyokütleden aktif karbon üretildiği çalışmalardaki aktif karbonların BET yüzey alanları .....	29
Çizelge 4.1. Sodyum hidroksitle kimyasal aktivasyon yapılmış atık odun talaşından elde edilen aktif karbonların verimleri.....	43
Çizelge 4.2. Sodyum hidroksit ile kimyasal aktivasyonu yapılmış atık odun talaşından elde edilen aktif karbonların kısmi ve nihai analiz sonuçları.....	45
Çizelge 4.3. Sodyum hidroksitle kimyasal aktivasyon yapılmış atık odun talaşının pirolizi sonucu elde edilen aktif karbonların karakteristikleri .....	45
Çizelge 4.4. Aktif karbonların adsorpsiyon izoterm sabitleri.....	55
Çizelge 4.5. Literatürde çeşitli biyokütle kaynaklarından elde edilen aktif karbonlarla ilgili ağır metal adsorpsiyon değerleri .....	56

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

NaOH	: Sodyum hidroksit
H <sub>2</sub>	: Hidrojen
CO	: Karbon monoksit
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	: Hidrojen peroksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon dioksit
H <sub>2</sub> O	: Su
CH <sub>4</sub>	: Metan
KOH	: Potasyum hidroksit
ZnCl <sub>2</sub>	: Çinko klorür
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	: Fosforik asit
Pb(II)	: Kurşun (II) iyonu
Cd(II)	: Kadmiyum (II) iyonu
Cu(II)	: Bakır (II) iyonu
%ağ.	: Ağırlıkça yüzde

## **KISALTMALAR**

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
ICP	: İndüktif olarak Çiftleşmiş Plazma Spektroskopisi
AES	: Atomik Emisyon Spektroskopisi
ASTM	: American Society for Testing and Materials
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin ilerlemesiyle sanayi üretimi gelişmiş ve insanların hayatını kolaylaştıran ürünlerin çeşidi ve sayısı artmıştır. Ancak bununla birlikte bu ürünlerin üretimi sırasında meydana gelen organik ya da inorganik yapıdaki zararlı atıkların çevreye verdiği zarar da giderek artmıştır. Çevreye verilen bu zararlı atıkların yok edilmesi ya da ayrıştırılması için de çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu atıkların ayrıştırılmasında ve uzaklaştırılmasında çok kullanılan yöntemlerden biri de gözenekli yapısından dolayı yüksek yüzey alanına sahip aktif karbonlar kullanmaktır.

Çevreye ve insanlara çok zararlı olan organik atıkların, ağır metallerin uzaklaştırılmasında aktif karbonların kullanımı sanayide özellikle de atık suların arıtılmasında çok etkin bir yöntem olarak görülmektedir. Aktif karbonların üretiminde kömür, biyokütle gibi çok çeşitli hammaddeler kullanılmakla birlikte, bu çeşit hammaddeler besin olarak veya ısınma amaçlı olarak da kullanılabilirdiği için ekonomik değeri daha az olan atık biyokütleden aktif karbon üretimi daha avantajlı bir yöntem olarak görülmektedir. Aktif karbon üretiminde atık biyokütle kullanılması besin olarak veya başka kullanım amacıyla işlenen biyokütle prosesinden oluşan atıkların değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca hammadde olarak prosesin atığı olan biyokütle kullanılması da ekonomik açıdan çok daha avantajlıdır.

Bu sebeplerden dolayı atık biyokütleden aktif karbon üretimi konusundaki çalışmaların sayısı giderek artmaktadır ve literatüre sunulan her bir aktif karbon üretim yöntemi bu konudaki gelişmeleri destekleyecektir.

## BÖLÜM 2

### KURAMSAL TEMELLER

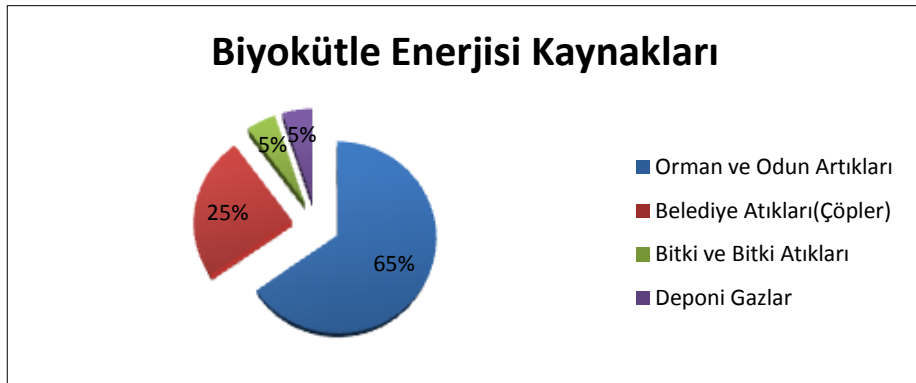
#### 2.1. BİYOKÜTLE VE BİYOKÜTLE KAYNAKLARI

Biyokütle; sürdürülebilirlik, kolay bulunabilirlik ve çevre üzerinde zararlı bir etkisi olmama gibi önemli avantajlara sahip olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır [1]. Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'ının ormanlardaki ağaç gövdeleri, dallar, yapraklar ile yaşayan hayvanlar ve mikroorganizmalardan oluştuğu tahmin edilmektedir [2]. Biyokütleyle örnek olarak, ağaçları, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkileri, otları, yosunları, meyve ve sebze atıklarını, hayvan dışıklarını, gübre ve sanayi atıklarını saymak mümkündür [1]. Çizelge 2.1' de mevcut biyokütle kaynakları işlenmemiş ve atık olmak üzere iki grupta verilmiştir.

Biyokütleden elde edilen enerjiye ise biyokütle enerjisi denilmektedir [2]. Biyokütle enerjisi, güneş enerjisinin bitkiler tarafından dönüştürülmüş şekli olarak tanımlanabilir. Başka bir ifade ile biyokütle için "organik karbon" tanımı da yapılabilir [3]. Biyokütle enerjisini klasik ve modern anlamda olmak üzere iki grupta ele almak mümkündür. Birincisi; ormanlardan elde edilen yakacak odun, bitki ve hayvan atıklarından oluşur. İkincisi yani modern biyokütle enerjisi ise; ağaç endüstrisi atıkları, bitkisel atıklar, kentsel atıklar ve tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır [2]. Şekil 2.1' de halen daha elde edilmekte olan biyokütle enerjisi kaynakları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Biyokütle kaynakları [4].

<b>İşlenmemiş</b>	Karasal biyokütle	Orman tabanlı biyokütle, çayırlar, enerji ekinleri, işlenmiş ekinler
	Su kaynaklı biyokütle	Su yosunları, su bitkileri
<b>Atık</b>	Kentsel atıklar	Kentsel katı atıklar, kanalizasyon atıkları, çöp gazları
	Tarımsal katı atıklar	Çiftlik hayvanları ve gübreler, tarımsal ekin atıkları
	Ormansal atıklar	Kabuklar, yapraklar, yer atıkları
	Endüstriyel atıklar	İşlenmiş odun, talaş, atık sıvı ve katı yağlar



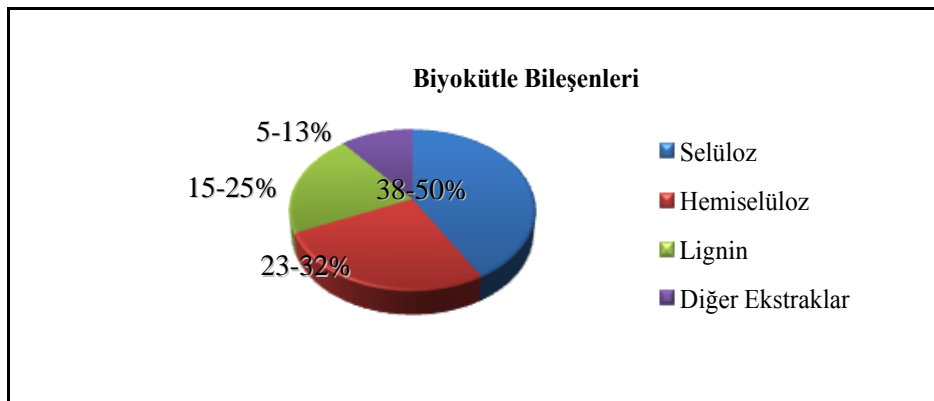
Şekil 2.1. Elde edilebilen biyokütle enerjisi kaynakları [2].

## 2.2. BİYOKÜTLENİN YAPISI

Biyokütlenin yapısında karbohidratlar, yağlar, proteinler gibi çok çeşitli organik maddeler bulunur. Biyokütlenin çeşidine bağlı olarak içerdiği bileşenler değişse de genel olarak,  $(C_6H_{10}O_5)_n$  kapalı formülüne sahip bir polisakkarit olan selüloz, selüloz gibi şeker birimlerinden oluşan bir polisakkarit olan hemiselüloz ve fenilpropanın aromatik polimerlerinden meydana gelen karmaşık yapıda bir bileşik olan lignin biyokütlenin yapısında en çok rastlanan bileşenlerdir [5]. Biyokütle bileşenleri Şekil 2.2' de verilmiştir [6]. Çizelge 2.2'de ise bazı biyokütlelerin içeriğindeki lignin, selüloz ve hemiselüloz miktarları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı biyokütlelerin içeriğindeki lignin, selüloz ve hemiselüloz miktarları (%ağ.) [7].

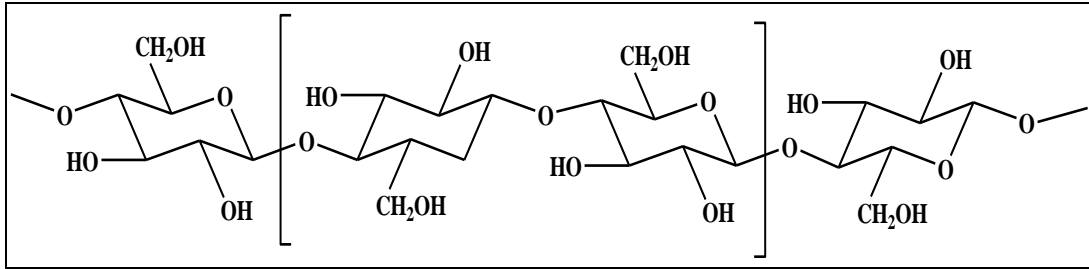
Tür	Selüloz	Hemiselüloz	Lignin
Buğday samanı	28.8	39.1	18.6
Yonca posası	15.6	51.1	23.4
Mısır koçanı	52.0	32.0	15.0
Mısır Sapı	51.2	30.7	14.4
Tütün sapı	42.4	28.2	27.0
Zeytin kabuğu	24.0	23.6	48.4
Fındık kabuğu	25.9	28.9	45.2
Fındık iç kabuğu	29.6	15.7	53.0
Ladin odunu	50.8	21.2	27.5



Şekil 2.2. Biyokütle bileşenleri [6].

### 2.2.1. Selüloz

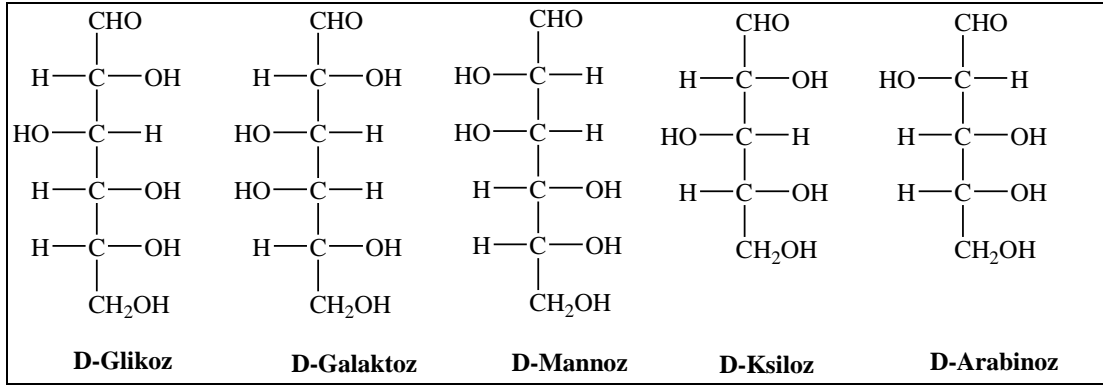
Selüloz, bitkilerin yapısal maddesi olup, bitkilerin hücre duvarlarında bulunur; 180° lik açılarla binlerce D-glukoz birimlerinin  $\beta$ -(1-4) şeklinde bağlanmalarıyla oluşan selüloz zincirleridir [8]. Selüloz,  $(C_6H_{10}O_5)_n$  şeklinde kapalı formüle sahip, uzun zincirli polimer yapıda olan, D-glukozun düzenli bir şekilde birbirine bağlanıp tekrarlanmasıyla oluşan suda çözünmeyen bir polisakkarittir. Selüloz, nişastayla aynı kimyasal yapıda olmasına rağmen bu glukoz yapılarının birbirlerine bağlanma şekillerinden dolayı nişastadan farklı özellik gösterir. Selüloz molekülleri mikrofibril adı verilen uzun silindirik demetler halindedir. Bu mikrofibriller içinde lineer moleküller hidrojen bağlarıyla birbirine bağlı durumdadır. Doğada en bol bulunan polisakkarit olan selüloz mikrofibriller halinde oluşur ve hücre duvarının yük taşıma özelliğine sahip olmasındaki en önemli bileşendir. Selülozun yan kısımlarındaki zincirler hidrofilik olup hidrojen bağı yapabilirken, alt ve üst kısmındaki zincirler hidrofobik özelliğe sahiptir [9-12]. Şekil 2.3' de selülozun yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Selülozun yapısı [13].

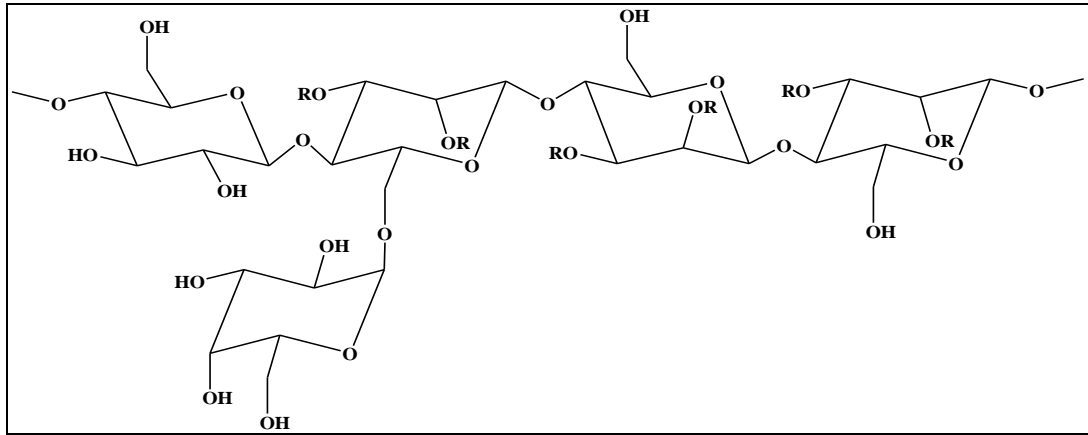
### 2.2.2. Hemiselüloz

Hemiselüloz bitkilerin yapısında, bitki türüne göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak %25-%30 oranında bulunur. Amorf yapıda heteropolisakkarit olup, hücre duvarındaki en karmaşık yapıdaki bileşenlerden biri olan hemiselüloz, selülozdan farklı olarak daha küçük ve dallanmış polimer yapıdadır. Selülozla hidrojen bağları oluşturan hemiselüloz, ligninle kovalent bağ, asetil birimleriyle ise ester bağları meydana getirir. Ayrıca hemiselüloz farklı oranlarda D-ksiloz, D-glikoz, D-mannoz, D-arabinoz gibi çok çeşitli ve selülozdan daha fazla şeker birimleri içermektedir [12, 14]. Şekil 2.4' de Hemiselülozun yapıtaşları gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Hemiselülozun yapıtaşları [13].

Yumuşak odun ve sert odun hemiselülozları bünyelerinde buldukları yapıtaşlarına göre farklılık gösterirler. Yumuşak odunda başlıca hemiselülozlar galaktoglukamon, glukamon (Şekil 2.5) ve arabinoglukuronoksilan yapılarıdır. Sert odunda ise başlıca hemiselülozlar ksilan yapılarıdır. Ayrıca glukamon yapıları da bulunur [15].

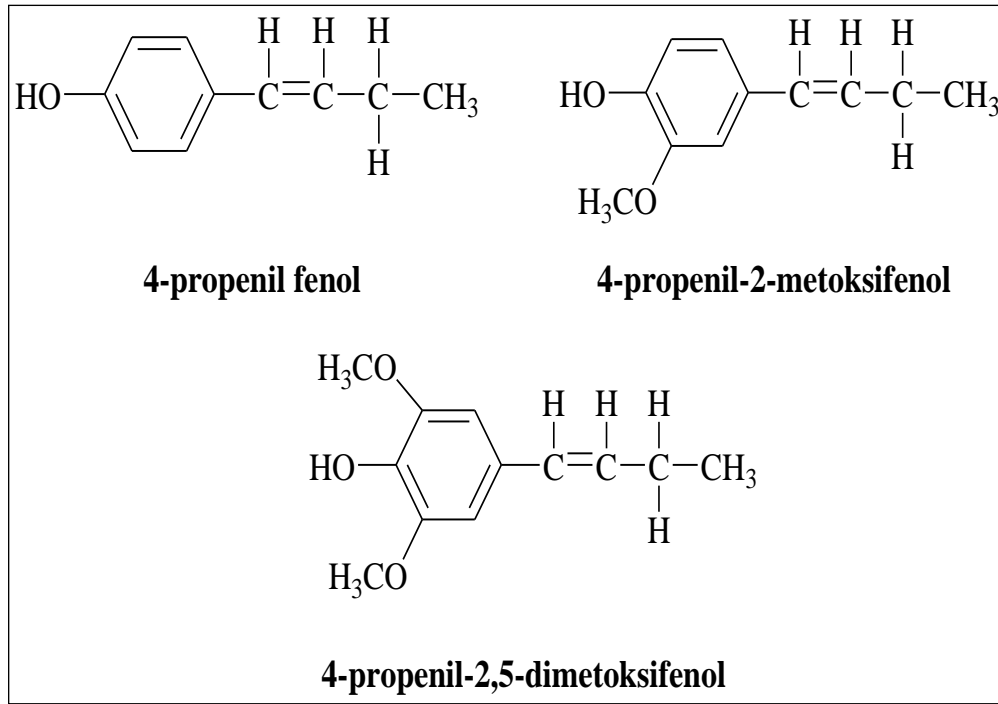


Şekil 2.5. Yumuşak odunda bulunan hemiselülozun (glukamon) yapısı [15].

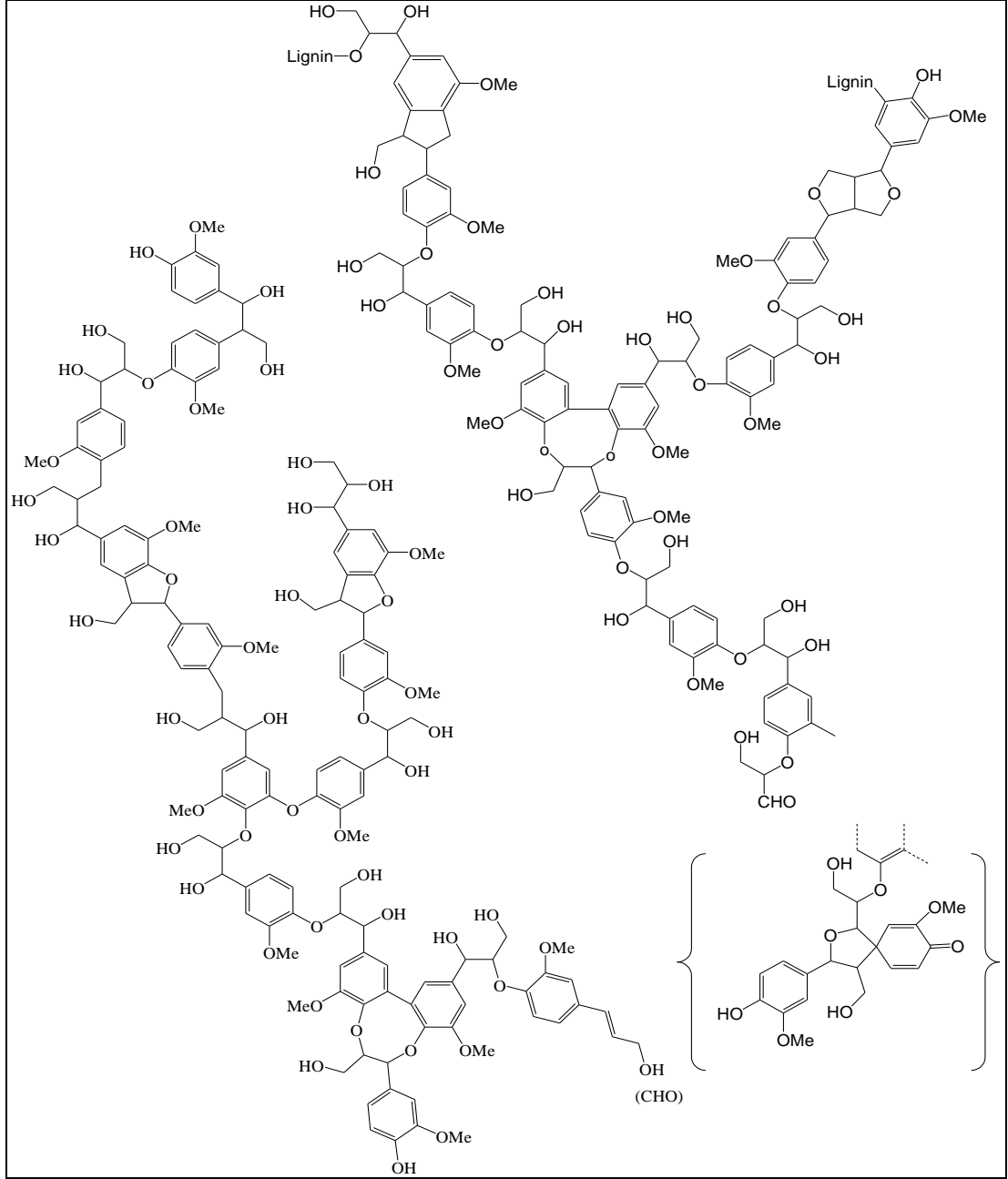
### 2.2.3. Lignin

Polisakkaritlerden farklı olarak daha karmaşık dallanmış yapıda bir bileşik olan lignin, temel olarak fenilpropanın aromatik polimerlerinden meydana gelir. En geniş kapsamıyla lignin, fenilpropanoid monomerler olan koniferil, sinapil ve p-komaril alkolün polimerizasyonu ile meydana gelen amorf yapıdaki bir maddedir. Hidrofobik

doğası ve düşük oranda hidrolizlenebilen bağlara sahip olması lignini kuvvetli ve mekanik etkilere karşı dayanıklı bir bileşen yapmaktadır. Bitkiler lignini diğer hücrel alaşımlara kuvvet kazandırmak, sıvı akışını düzenlemek, mikroorganizmaların saldırılarına karşı korunmak, bir antioksidan olarak davranmasını sağlamak ve enerji depolamak amacıyla kullanmaktadırlar. Ligninler, monomer birimlerinin yapısına göre yumuşak odun ligninleri, sert odun ligninleri ve çim ligninleri olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir. Lignin sert odunların yapısında %18-25 oranında, yumuşak odunların yapısında ise %25-35 oranında bulunmaktadır [12, 13]. Şekil 2.6’da ligninin monomer yapıları ve Şekil 2.7’ de yumuşak odun lignininin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Ligninin monomer yapıları [5].



Şekil 2.7. Yumuşak odun ligninin yapısı [16].

### 2.3. BİYOKÜTLE DÖNÜŞÜM TEKNOLOJİLERİ

İki ana başlıkta incelenebilen biyokütle dönüşüm teknolojilerinde, biyokütlenin enzimler ve mikroorganizmalarla parçalanması işlemleri biyokimyasal dönüşüm teknolojileri olarak adlandırılırken, biyokütlenin farklı yöntemlerle ısı etkisiyle parçalanması işlemi termokimyasal dönüşüm teknolojileri olarak adlandırılır [5, 17].



### 2.3.1. Yakma

Termokimyasal dönüşüm teknolojilerinden yakma adı verilen biyokütlenin oksijen veya havayla birlikte ısının da etkisiyle parçalandığı işlemde, biyokütlenin yapısında genel olarak kükürdün bulunmayışı ve genelde azotlu bileşiklerin de az miktarda olması nedeniyle  $NO_x$ ,  $SO_x$  gibi zararlı gazların çok az miktarda oluşması büyük bir avantajdır [11]. Bu işlem ısınma amaçlı, elektrik enerjisi üretimi veya çeşitli endüstrilerde ısı enerjisi üretmek amacıyla kullanılır [18].

Biyokütlerdeki karbonu ısı etkisiyle uzaklaştırıp, hidrojen ekleyerek yüksek yüksek (H/C) oranına sahip gaz yakıt veya sentez gazı elde edilmesi işlemine gazlaştırma adı verilir. Elde edilen gaz ürün içeriğindeki  $CO$ ,  $H_2$ ,  $C_xH_y$  gibi yanmayan gazların yüzdesi, gazın kaloriferik kalitesini belirler [5].

### 2.3.2. Piroliz

Maddenin ısı etkisiyle, argon, azot, helyum gibi inert gazlar kullanılarak oksijensiz ortam sağlanarak bozundurulması işlemine piroliz adı verilir. Biyokütle ısı etkisiyle bozunmaya başladığında ilk olarak biyokütleden birincil ürünler ayrılır. Birincil ürünler arasında yoğunlaşabilen gazlar da vardır ve bu gazların tekrar tepkimeye girmeleri sonucunda parçalanmaya devam ederler. Bu işlemler sonucunda çar adı verilen katı ürün, düşük molekül ağırlığına sahip yoğunlaşmayan gazlardan oluşan gaz ürün ve biyoyağ, biyoyakıt, pirolitik sıvı, tar gibi isimlerle adlandırılabilen sıvı ürün meydana gelir. Elde edilen bu ürünlerin verimleri, özellikleri ve içeriği biyokütlenin türü, piroliz sıcaklığı, piroliz süresi gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişir. Elde edilen katı ürünün çoğunluğu karbondan oluşmakta, sıvı üründe ise fenolik bileşiklerden poliaromatik hidrokarbonlara kadar birçok bileşen bulunabilmektedir. Gaz üründe ise düşük molekül ağırlıklı yoğunlaşmayan bileşikler bulunmaktadır [19].

Biyokütlenin yapısındaki bileşenlerin bozunmasıyla farklı bileşikler oluşacağından, elde edilen ürünlerin bileşimine en önemli etki kullanılan biyokütle çeşidiyle olmaktadır. Biyokütle yapısında bulunan bileşenlerin bozunma sıcaklıkları da

birbirinden farklı olacağından piroliz sıcaklığı da hangi bileşenlerin bozunacağına etki ettiğinden piroliz işleminde önemli bir parametredir [4].

Isıtma hızı ve piroliz süresine bağlı olarak piroliz genel olarak hızlı ve yavaş piroliz olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Hızlı piroliz yüksek ısıtma hızında ve kısa bekleme süresinde gerçekleştirilirken, bunun tersi olarak yavaş piroliz düşük ısıtma hızında ve uzun bekleme süresinde gerçekleştirilir. Piroliz işlemini gerçekleştirirken çeşitli parametreleri değiştirmek amacıyla sabit veya hareketli yataklı piroliz, akışkan yataklı piroliz, devridaim akışkan yataklı piroliz, ergime pirolizi ve vakum pirolizi gibi çok çeşitli piroliz reaktörleri tasarlanmıştır. Sabit yatak piroliz cihazında piroliz için gerekli ısı reaktöre dışarıdan ya da içeriden sağlanabilir. Bazı sistemlerde reaktör içerisindeki hacim artışı engellemenin amacıyla inert bir gaz geçişi sağlanır. Akışkan yataklı sistemde ufak parçacıklar halindeki biyokütle reaktörün alt kısmından sıcak bir inert gazla ısı verilir ve oluşan ürünler siklonlar yardımıyla birbirinden ayrılıp toplanır. Ergime pirolizinde biyokütle sıcak reaktör duvarına bir basınçla bastırılır ve bu sayede sıcak reaktör duvarında sıvı ürün meydana gelir. Vakum piroliz sistemlerinde reaktöre üstten verilen biyokütle, sıcaklığı giderek artan levhalardan geçerek bozunur [5].

## **2.4. ODUN KAYNAKLI KOMPOZİT MALZEMELER**

Geleneksel odun kompozit malzemeler odunun fiziksel yapısına göre beş ana kategoriye ayrılır:

- ✓ Kontrplak
- ✓ Yönlendirilmiş lif levha
- ✓ Suntalam
- ✓ Elyaf levhası
- ✓ Selülozik odunlifi levha

Odun tabanlı kompozitler lignoselülozik fiberleri bir arada tutan, sıcakta sertleşen veya ısı kürü yapılan reçineler ya da yapıştırıcılar kullanılarak yapılırlar. Genel

olarak kullanılan reçine-yapıştırıcı sistemleri fenol-formaldehit, üre-formaldehit, melamin-formaldehit ve izosiyanat olmak üzere dört çeşittir.

*Fenol- formaldehit (PF):* Dış cephe kaplamalar gibi belirli bir dayanıklılığa sahip olması gereken maddelerin üretiminde kullanılan reçinelerdir. Bu tür reçinelerin üretimi üre-formaldehit reçinelere göre daha uzun presleme süresi ve sıcaklığı gerektiğinden yüksek enerji harcanır ve üretimi uzun sürmektedir.

*Üre-formaldehit (UF):* Bu tür reçineler boyutsal düzenlilik ve yüzey düzgünlüğü gerektiren malzemelerin üretiminde kullanılır. Fenol-formaldehit reçinelerinden daha ekonomik olup, kompozit odun ürünlerinde kullanımı çok yaygın olan bu reçineler daha çok iç cephe için tasarlanmış malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca üre-formaldehit reçineler açık renkte olduklarından dekoratif ürünlerin üretiminde kullanımı da uygundur.

*Melamin-formaldehit (MF):* Dekoratif laminatlar ve kuşe kâğıtlar için kullanılan bu reçineler fenol-formaldehit reçinelerden çok daha pahalıdır.

*İzosiyanat:* Genel olarak kompozit odun ürünlerinin üretiminde özellikle de yönlendirilmiş lif levha üretiminde kullanılır.

Bu yapıştırıcıların hangisinin kullanılacağı ürün için uygunluğa, bağlanma süresindeki nem içeriğine, mekanik özellikleri ve dayanıklılığına göre seçilir [20].

Bu reçineler dışında kompozit ürünlerin üretiminde birçok katkı maddesi de kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinden en çok kullanılanı suyun ürüne nüfuz etmesini engelleme özelliğine sahip ciladır. Özellikle cila emülsiyonları sunta ve odunlifi levhaya uygulandığında suya karşı mükemmel dayanıklılık göstermektedir.

Suntalam odun kompoziti pirinç çeltiği, tahıl ürünlerinin sapları gibi çok çeşitli tarımsal atıklar kullanılarak üretilmektedir. Dekoratif ürünlerin çekirdek kısmını oluşturmak üzere kullanılan suntalamın üzeri dekoratif amaçla diğer malzemelerle kaplanarak mobilya üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Genel olarak üre-

formaldehit reçinelerle kullanılan suntalam kompozit, daha yüksek nem direncine sahip olması için fenol-formaldehit ve melamin-formaldehit reçinelerle de kullanılabilir [20].

## 2.5. AKTİF KARBON

Karbon,  $1s^2 2s^2 2p^2$  elektron konfigürasyonuna sahip bir elementtir. Elmasların ve alifatik bileşiklerin temeli olan  $sp^3$  karbon atomları tetrahedral yapıda birbirlerine bağlanır. Grafitik ve aromatik yapıların temeli olan  $sp^2$  orbitalleri ise  $120^\circ$ 'lik bir düzlem yönündedir ve p orbitalindeki dördüncü elektron komşu atomlarla  $\pi$  bağı oluşturmak üzere serbest haldedir. Alkinlerin temeli olan  $sp$  hibritleşmesinde ise karbon düz bir çizgide uzanan iki orbitale sahiptir ve p-orbitallerindeki eşleşmemiş spinli iki elektron  $\pi$  bağları yapmak için uygun haldedir. Karbonun en bilinen yapıları kübik elmas, hegzagonal grafit ve fulleren olsa da doğadaki çoğu karbon malzemeler daha düzensiz yapıya sahiptir. Altı adet karbon halkası grafit yapısını birim hücresidir. Grafen tabakası adı verilen düzlemdeki her bir karbon atomu üç tane komşu karbona bağlıdır ve paralel komşu düzlemler arasında zayıf Van der Waals kuvvetleri bulunmaktadır. Kristalografik düzenlerine bakıldığında karbonlar grafitik ve grafitik olmayan karbonlar olmak üzere sınıflandırılır. Grafitik olmayan karbonlar ise atmosfer basıncında ve ısı etkisinde grafitik karbonlara dönüşebilen grafitleşebilen karbonlar (koklar) ve grafitleşemeyen karbonlar (çarlar) olmak üzere iki sınıfa ayrılır ve bu malzemeler aktif karbonların ana öncül maddeleridir [21].

Az miktarda hidrojen ya da daha fazla oksijen içeren grafitleşmemiş karbonların düşük sıcaklıklarda ısıtılması gözenekli kütleler oluşturan çapraz bağlı kristalitlerden oluşmuş kuvvetli sistemler meydana getirirken, grafitleşmiş karbonlardaki kristalitler karbonizasyonun ilk aşamalarında kısmen hareketli olduğundan çapraz bağlar daha zayıftır [22].

Aktif karbon, gözenekli yapıda, yüzey alanı çok yüksek olan amorf maddelere denir. Suların arıtımı, çözelti gerikazanımı, çeşitli gazların ayrılması ve saflaştırılması, ilaçların saflaştırılması gibi alanlarda kullanılabilen bir maddedir [23, 24]. Birleşmiş altıgen tabakalardan oluşmuş saf grafit kristalinin yapısı, aktif karbonun temel

yapısına çok benzemektedir ancak safsızlıklardan ve aktivasyondan dolayı aktif karbonların yapısı daha düzensiz olmaktadır [25].

Aktif karbon yapısında yüksek yüzey alanına sahip olmasına neden olan gözenekler bulunması, mekanik olarak kuvvetli olması gibi özelliklerinden dolayı yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptir ve organik kirleticilerin uzaklaştırılması için çok uygundur [26]. Aktif karbonların yüzey alanı ne kadar fazla olursa adsorpsiyon yapabilme kapasiteleri de o kadar artmakta, gözenek hacmi de adsorplanabilecek uygun moleküler boyuttaki malzemelerin miktarını belirlemektedir. Hem gözenek hacminin hem de yüzey alanının adsorpsiyon kapasitesine etkisi vardır ve endüstride kullanılan aktif karbonların yüzey alanı genellikle  $600-1200 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  arasındadır [27].

## **2.6. AKTİF KARBON KAYNAKLARI**

Aktif karbon, karbonca zengin birçok organik malzemedan elde edilebilir. Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddede aranacak özellikler; yüksek karbon ve düşük kül içeriği, yüksek yoğunluk, yeterli uçucu maddeye sahip, ucuz, kolay bulunabilirlik olarak sıralanabilir [24, 27]. Ancak bu özelliklerin hepsini bir arada bulunduran hammadde bulmak kolay değildir.

Aktif Karbon üretiminde kullanılan hammaddeler fosil kaynaklar ve yenilenebilir kaynaklar olmak üzere iki ana başlıkta toplanabilir. Fosil kaynak olarak geçmişte yaygın olarak kömürden ticari aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Ancak hem fosil kaynakların sonlu, hem de kullanımlarıyla çevre ve hava kirliliğine yol açmaları nedeniyle yenilebilir kaynaklardan aktif karbon üretimi giderek önem kazanmaktadır. Lignoselülozik maddeler düşük kül ve kısmen yüksek uçucu maddeye sahiptirler. Bu nedenle özellikle son yıllarda aktif karbon üretimi ile ilgili yapılan çalışmalarda lignoselülozik kökenli yenilenebilir kaynakların kullanımı önem kazanmış ve bu yönde yapılan çalışmaların sayısı giderek artmıştır. Çizelge 2.3' de aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılan yenilenebilir kaynaklar, Çizelge 2.4' de aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılan fosil kaynaklardan bazıları verilmiştir.

Çizelge 2.3. Aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılan yenilenebilir kaynaklardan bazıları.

<b>Lignoselülozik Kökenli Yenilenebilir Kaynaklar</b>	Şeker kamışı küspesi [28-31].
	Mısır ve mısır koçanı [32-35].
	Odun [36-42].
	Lignin [43-46].
	Mantar tozu Atığı [47].
	Doğal elyaf tekstil atığı [48].
	Tütün artığı [49, 50].
	Buğday tanesi [51].
	Soya ve Ayçiçek yağı küspesi [52, 53].
	Pirinç kabuğu [29, 54, 55].
	Hindistan cevizi kabuğu [56-60].
	Fındık kabuğu [45, 61-63].
	Palmiye kabuğu [58, 64-66].
	Nar çekirdeği [67].
Zeytin çekirdeği [68-71].	

Çizelge 2.4. Aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılan fosil kökenli kaynaklardan bazıları.

<b>Fosil Kökenli Kaynaklar</b>	Kömür [72,73].
	Kömür katranı [74].
	Atık Araba Lastiği [75-81].
	Kömür katranı ve polietilen tereftalat karışımı [82].
	Linyit [83].
	Petrol Koku [84, 85].
	Atık Polivinil Klorür, Polietilen Tereftalat ve Araba Lastiği [86].
	Poliviniliden Florür (PVDF) [87].
	Polivinil alkol (PVA) [88].
	Poli(p-fenilbenzo-bis-oksazol)(PBO) [89].
	Yitriyum asetil asetonat içeren vinilden klorür kopolimer [90, 91].

## **2.7. AKTİF KARBONUN ÖZELLİKLERİ**

Aktif karbon yüzeyindeki çeşitli gruplar ve yapısındaki gözenek boyutlarına göre farklı özelliklere sahiptir.

### **2.7.1. Aktif Karbonun Gözenekli Yapısı**

Aktif karbonun karakteristiğini ne kadar yüzey alanına sahip olduğu, adsorpsiyon yapabilme kapasitesi ve aktif karbondaki gözeneklerin boyutları belirler. Genel olarak aktif karbonların gözenekleri çaplarının genişliğine bağlı olarak gözenekleri üç sınıfta incelenir [92]:

- ✓ Mikro-gözenekler
- ✓ Mezo-gözenekler
- ✓ Makro-gözenekler

Orta boyut olarak sınıflandırılan mezo-gözeneklerin çapları 2 nm ile 50 nm arasında kabul edilir. Orta boyuttaki gözeneklerden daha büyük olan ve çapı 50 nm' den fazla gözenekler makro-gözenek, en küçük boyuttaki gözenekler olan ve çapı 2 nm' den düşük gözenekler de mikro-gözenek olarak adlandırılır [93]. Makro-gözenekler genel olarak adsorplanan moleküllerin mezo-gözeneklere taşınmasını sağlayan yol görevi görürler. Aktif karbonun dış yüzeyinin oluşmasında en çok paya sahip olan mikro-gözenekler toplam gözenek hacminin oluşmasında da etkilidir. Çoğu gaz ürünün adsorplanması mikro-gözeneklerde gerçekleşmektedir [94]. Karakteristiği belirleyen diğer bir özellik olan toplam yüzey alanı, azot gazının aktif karbona adsorpsiyonunu ölçen BET (Brunauer, Emmett, and Teller) yüzey alanı ölçümüyle belirlenir [95].

### **2.7.2. Aktif Karbon Yüzeyindeki Kimyasal Gruplar**

Aktif karbonun adsorplama özellikleri, sadece gözenek yapısı ile değil aynı zamanda yüzey kimyasıyla da belirlenir. Aktif karbon yapısında kimyasal bağlı elementler ve kül bulunur. Kimyasal bağlı elementler (hidrojen, oksijen, vb.) başlangıç malzemesinden türemekte ve tamamlanmamış karbonizasyon sonucunda aktif

karbonun yapısında kalmakta ya da aktivasyon sırasında yüzeye kimyasal bağlarla tutulmaktadır. Organik olmayan ve inorganik bileşenleri temsil eden kül ise aktif karbonun yapısında %5 civarında bulunmaktadır. Aktif karbonların yapısındaki fonksiyonel gruplar aktivasyon metodu ve kullanılan hammaddenin çeşidine göre oluşmaktadır [22].

### **2.7.2.1. Aktif Karbon Yüzeyindeki Oksijen İçeren Fonksiyonel Gruplar**

Aktif karbonların katalitik ve adsorplama özelliklerine en büyük etkisi olan oksijen içerikli fonksiyonel gruplar, yüzeydeki diğer gruplardan bağıl olarak daha fazladır. Aktif karbonun yüzeyinde bulunan karboksilik, lakton ve fenolik karakterli hidroksil grupları Brønsted tipi asit baz reaksiyonlarının zayıf asidik grupları olarak tanımlanır. Bunun yanında aktif karbon yüzeyinde pirin, kromen, kinon gibi daha bazik gruplar da bulunmaktadır. Bazik karaktere sahip kromen benzeri yapılar hidroklorik asit kullanılarak nötralleştirilebilmektedir. Grafen tabakasında kinon gruplarının bulunmasının da sulu çözeltilerden proton bağlanmasında etkisi olduğu belirtilmektedir. Yüzeyde bazik karakterli oksijen içeren gruplar bulunmasının yanında karbon yüzeyindeki bazik karakterin bir diğer nedeni de grafen tabakalarında oluşan  $\pi$  bazikliğidir. Zayıf da olsa bu baziklik, sulu çözeltilerin proton bağlanmasında etkili olup, Lewis bazı olarak da çalışabilir. Oksijen düşük sıcaklıklarda karbon yüzeyine fiziksel adsorpsiyonla, yüksek sıcaklıklarda ise kimyasal adsorpsiyonla bağlanmaktadır. Bunun yanında karbonla tepkimeye girdikten sonra oksijen moleküllerinin parçalanmasıyla oksijen atomları meydana gelir ve oksijen yüzey gruplarını oluşturur. Karbon oksijen kompleksleri ozon ve azotmonoksit gibi oksitleyici reaktiflerin ya da nitrik asit ve  $H_2O_2$  gibi oksitleyici çözeltilerin karbon ile reaksiyonu sonucu oluşurlar. CO oluşumu kinon, karbonil gibi oksijen içeren yüzey gruplarına bağılyken,  $CO_2$  oluşumu karboksilik gruplara, bazı anhidrit ve lakton gruplarına ve OH grubu içeren az asidik gruplara bağılıdır. Özellikle  $475^\circ C$ 'nin üzerinde CO oluşumunun, daha bazik ve kararlı oksijen gruplarının desorpsiyonundan kaynaklandığına inanılmaktadır [21].



### **2.7.2.2. Aktif Karbon Yüzeyindeki Hidrojen İçeren Fonksiyonel Gruplar**

Malzemeler aktivasyona uğramadan önce altıgen düzlemlerinin atomlarına bağlı düz zincir ve halkalı hidrokarbonlar şeklinde hidrojen içermektedirler. Bu hidrojenin çoğu 950°C' ye kadar olan aktivasyon sıcaklıklarında uzaklaştırılırsa da bir miktar hidrojen daha yüksek sıcaklıklara erişilmediği sürece kalabilmektedir. Aromatik ve alifatik yapıda bulunan hidrojen okijenden daha kuvvetli bir şekilde bağ yapmaktadır. Aromatik hidrojen aromatik düzlemlerin dışındaki karbon atomlarına kovalent bağla bağlı olduğu düşünülmektedir. Alifatik hidrojenin ise aromatik halkaların dışına bağlı alifatik zincirler ve alisiklik halkalar halinde bulunduğu düşünülmektedir [22].

### **2.7.2.3. Aktif Karbon Yüzeyindeki Azot İçeren Fonksiyonel Gruplar**

Karbon matriksiyle azot arasındaki birleşme sonucunda oluşan fonksiyonlu grupların bazik karakteri nedeniyle azot içeren aktif karbonun adsorpsiyon ve katalitik özelliklerine etkisi vardır. Hidrojen sülfür uzaklaştırılmasında kullanılan en etkin endüstriyel aktif karbonlar üre kullanılarak düşük sıcaklıkta azot modifikasyonu ile üretilmiştir. Azot modifikasyonunda sıcaklığın artırılmasıyla birlikte azotun karbon matriksiyle daha fazla etkileştiği ve daha kararlı bazik işlevsellik sağladığı bulunmuştur [21].

## **2.8. AKTİF KARBON ÜRETİMİ**

Aktif karbon üretim yöntemleri fiziksel ve kimyasal aktifleştirme olarak sınıflandırılabilir. Her iki yöntemde de karbonizasyon da adı verilen piroliz işlemi gerçekleştirilir. Ancak aralarındaki bir fark da kimyasal aktifleştirmede önce aktifleştirme sonra piroliz işlemi yapılırken, fiziksel aktifleştirme yönteminde önce piroliz daha sonra fiziksel aktivasyon yapılmaktadır [96]. Kimyasal aktivasyon yöntemi daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmesi, ürün veriminin genel olarak daha yüksek olması ve daha fazla gözenekli yapı elde edilebilmesinden dolayı fiziksel aktivasyona göre daha avantajlı bir yöntemdir [97].

### 2.8.1. Fiziksel Aktifleştirme

Fiziksel aktifleştirmede, ilk olarak oksijensiz ortamda madde karbona dönüştürülür. Karbonizasyon da adı verilen bu işlem yaklaşık olarak 400-1000°C arasında gerçekleştirildikten sonra su buharı, karbondioksit, su buharı-karbondioksit karışımı kullanılarak 600-900°C arasındaki sıcaklıklarda aktivasyon işlemi gerçekleştirilir [49]. Karbonizasyon işleminde karbonların kendi aralarında gelişigüzel bir biçimde bağ oluşturması sonucu karbon tabakaları arasında, aktif karbonların geniş yüzey alanına sahip olmasını sağlayan oyuklar, çatlaklar ve boşluklar meydana gelir. Piroliz işlemindeki oksijensiz ortam azot, argon, helyum gibi inert gazlarla sağlanır; ve genel olarak piroliz ürün verimlerine etki eden piroliz süresi, piroliz sıcaklığı ve hammaddenin türü gibi etmenler de elde edilen karbon verimine etki eden parametreler arasındadır. Bunun gibi etmenler yanında aktivasyonda kullanılan kimyasal yapısı ve derişimi de aktif karbonların karakteristiğine etki eder [96].

Fiziksel aktivasyondaki karbonizasyonun ana amacı hammaddedeki uçucuların uzaklaştırılması olup, karbonizasyon sonucunda üründeki karbon içeriği %80'e kadar çıkabilmektedir. Lignoselülozik malzemelerin karbonizasyonu yaklaşık 170°C'de başlayıp 600°C civarlarında son bulmaktadır. Aktif kömür üretiminde oluşan karbonların bozunma ürünleriyle etkileşiminin azaltılmak istenmesi nedeniyle piroliz işleminin çabuk yapılması tercih edilir. Düşük karbonizasyon sıcaklıklarında, oluşan tarların yüzeydeki gözeneklerde kalması muhtemel olduğundan, bu karbonlaştırılmış üründeki tarların bir inert gaz akışında ısıtılmayla, uygun bir çözücü kullanılmasıyla ya da bir kimyasal reaksiyon yardımıyla temizlenmesi gerekmektedir [22].

Kullanılan hammaddenin pirolizi sonucunda oluşan karbonlar su buharı, karbon dioksit, her ikisinin karışımı ya da hava ile muamele edilir. Bunun sonucunda en basit şekliyle karbon atomlarıyla aşağıdaki endotermik tepkimeleri gerçekleştirirler [98].



Buhar aktivasyonu kullanılan sistemlerde iki tepkime daha mümkündür. Bu aktivasyonda yüksek sıcaklıklarda ekzotermik bir tepkime olan su-gaz dönüşüm reaksiyonu katalizlenebilmektedir:



Ya da yine ekzotermik bir tepkime olan metanlaşma tepkimesinin gerçekleşmesi de olasıdır:



Bu tepkimeler ekzotermiktir fakat heterojen su-gaz dönüşüm reaksiyonu baskındır ve toplam proses endotermiktir [21].

Fiziksel aktivasyonda demir, mangan, alüminyum, alkali ve toprak alkali bileşiklerini katalizör olarak kullanıldığında farklı gözenek yapılarının oluşmasına yardımcı olur. Demir nitrat kullanımı mezo-gözenek ve makro-gözenekleri artırırken, potasyum ve sodyumun hidroksitleri veya karbonatları gibi alkali bileşikler mikro-gözenek oluşumunu, geçiş metalleri ve toprak alkali metalleri mezo-gözenek oluşumuna neden olmaktadır [21].

Buhar ve karbondioksitin karbonla tepkimelerinin endotermiktir ve kolay kontrol edilebilmektedir. Oksijenin karbonla tepkimesi karbondioksitten yaklaşık yüz kat daha hızlıdır. Karbonun oksijenle tepkimesi ekzotermik olduğundan sıcaklığın kontrolü zor olmaktadır. Yapısında potasyum bulunduran malzemelerle oksijen kullanılırsa aktivasyon sağlanmadan kontrolsüz bir şekilde yanma da gerçekleşir; çünkü zaten hızlı gerçekleşen oksijenin karbonla olan tepkimesi, potasyum tuzlarıyla çok daha fazla artmaktadır. Buhar ya da karbondioksit ayrı ayrı ya da birlikte kullanıldığı zaman karbonun gözenekli yapısındaki karbon atomlarını alarak gözeneklerin açılmasına neden olur. Bu işlem sayesinde yüzey alanında artış meydana gelir. Düşük sıcaklıklarda duvar gözeneklerinden karbonların uzaklaştırılması gözeneklerin genişlemesine neden olsa da yüksek sıcaklıklarda tepkime difüzyon kontrollü olmakta ve karbon parçacığının dışında gerçekleşmektedir [22, 95, 98, 99].

Literatürde çeşitli biyokütle kaynaklarından fiziksel aktivasyonla aktif karbon üretimini içeren çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Kauçuk tohumu kabuğunun buhar ile fiziksel aktivasyon yapılmasıyla aktif karbon elde edilen çalışmada, bir saatlik sürede,  $6 \text{ kg.sa}^{-1}$  buhar akış hızında, 820, 850 ve  $880^{\circ}\text{C}$ 'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda aktivasyon sıcaklığının artmasıyla elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanlarında ve toplam gözenek hacimlerinde artış olmuştur. Bu deneylerden elde edilen BET yüzey alanı değerleri  $878\text{-}948 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  arasında bulunmuştur [100].

Atık gazete kağıtlarının ve atık gazete kağıtlarının işlenmesiyle elde edilen iki çeşit kağıt türünün aktif karbon elde edilmesinde kullanıldığı çalışmanın bir bölümünde tek basamaklı ve iki basamaklı metotla fiziksel aktivasyon gerçekleştirilerek aktif karbon üretilmiştir. Tek basamaklı fiziksel aktivasyonda örnekler buharla direk olarak yüksek sıcaklıklarda ( $850, 900^{\circ}\text{C}$ ) çeşitli kalma sürelerinde etkileştirilmiş, iki basamaklı fiziksel aktivasyonda ise örnekler  $600^{\circ}\text{C}$ 'de iki saat süreyle azot geçişinde karbonizasyon yapıldıktan sonra  $850$  ve  $900^{\circ}\text{C}$ 'de aktive edilmiştir. Aynı koşullarda tek basamaklı ve iki basamaklı fiziksel aktivasyondan elde edilen aktif karbonların yüzey alanları birbirine yakın olmakla birlikte tek basamaklı aktivasyondan elde edilen aktif karbonların yüzey alanları daha fazla olmuştur [101].

Badem kabuklarının  $\text{CO}_2$  kullanılarak fiziksel aktivasyonun yapıldığı çalışmada,  $800^{\circ}\text{C}$  sıcaklığın  $700^{\circ}\text{C}$ 'den  $\text{CO}_2$  aktivasyonunda daha yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak  $700^{\circ}\text{C}$ 'deki deneylerde BET yüzey alanları  $364\text{-}745 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  arasında ve mikro-gözenek hacimleri  $0.17\text{-}0.36 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$  arasında olurken;  $800^{\circ}\text{C}$ 'deki deneylerde BET yüzey alanları  $548\text{-}1138 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  arasında ve mikro-gözenek hacimleri  $0.24\text{-}0.49 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$  arasında olmuştur [102].

Çeşitli tarımsal atıklardan fiziksel aktivasyonla aktif karbon üretilmiş ve bu aktif karbonların yüzey alanlarına hammadde çeşidinin, fiziksel aktivasyonda kullanılan madde türünün, aktivasyon sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Fiziksel aktivasyonda  $\text{CO}_2$  ve su buharının etkisi incelenmiştir.  $300\text{-}800^{\circ}\text{C}$  arasındaki aktivasyon sıcaklıklarında gerçekleştirilen deney sonuçlarından hammadde çeşidine, kullanılan

aktivasyon maddesine, hammaddenin yapısındaki uçucu madde miktarına ve aktivasyon sıcaklığına göre aktif karbonların yüzey alanlarının değiştiği rapor edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında Avustralya fındık kabuğu buhar ile aktivasyon yapıldığında ve mısır koçanı ise CO<sub>2</sub> ile aktive edildiğinde mikro-gözenekli yapıda aktif karbon elde edilmiştir. Mezo-gözenekli yapıda aktif karbon elde edilmesi için ise talaş uçucu küllerinin CO<sub>2</sub> ile aktivasyonu yapılması uygun olduğu rapor edilmiştir. [103].

Atık zeytin küspelerinin buhar ile fiziksel aktivasyonu ile karbon üretilen çalışmada elde edilen karbonların BET yüzey alanlarının 514-1271 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, mikro-gözenek hacminin 0.225-0.377 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> ve toplam gözenek hacminin 0.217-0.557 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> arasında değiştiği belirtilmiştir [104].

*Quercus agrifolia* odununun karbonizasyonunun ardından CO<sub>2</sub> ile fiziksel aktivasyonunun yapıldığı ve 800-880°C aktivasyon sıcaklıklarında yapılan çalışma sonucunda elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanlarının 400-1200 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> arasında olduğu rapor edilmiştir [105].

Zeytin ağacı odunundan aktif karbonun üretildiği çalışmada, 600°C'de karbonizasyon yapıldıktan sonra, 400°C'de fiziksel aktivasyon işlemi hava ile farklı aktivasyon sürelerinde (0.5-3 saat) gerçekleştirilmiştir. 0.5-1 saat süreli aktivasyonlardan elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanları, 2-3 saat süreli aktivasyonlardan elde edilen aktif karbonlardan daha az olmuştur [106].

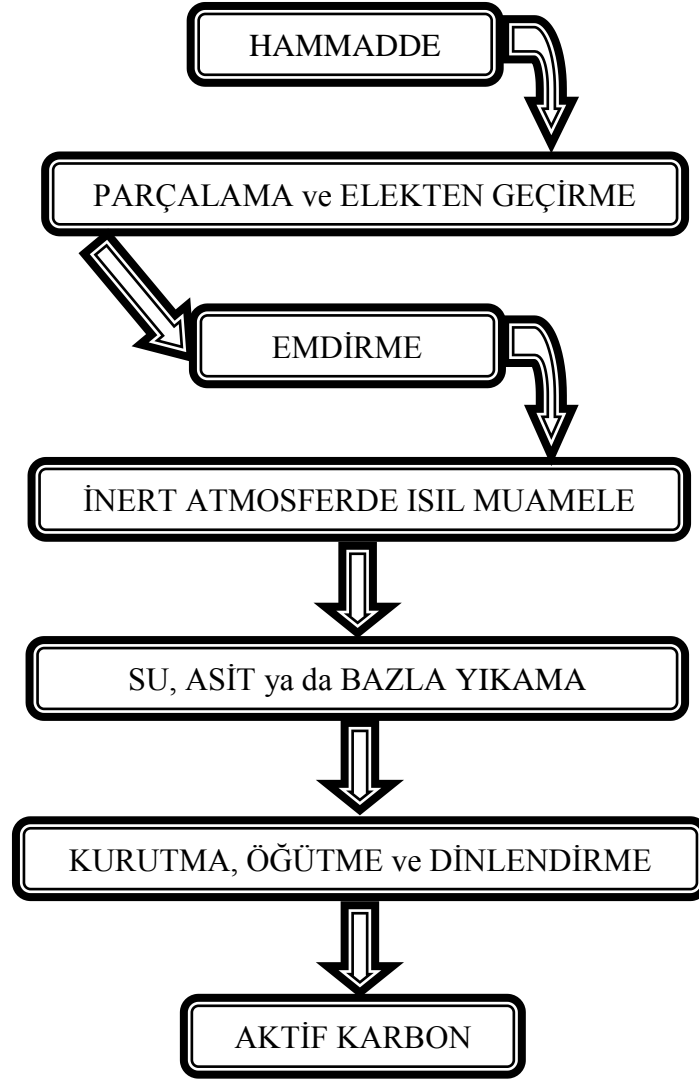
### **2.8.2. Kimyasal Aktifleştirme**

Fiziksel aktivasyondan farklı olarak karbonizasyondan önce bir kimyasal ile aktivasyonun gerçekleştirildiği kimyasal aktifleştirme yöntemi, genel olarak yapısında çok az miktarda inorganik maddeler dışında yaklaşık olarak ağırlıkça %48 C, %6 H, %45 O bulunan lignoselülozik malzemeler için kullanılır. Karbon verimine lignoselülozik malzemeden O ve H'in uzaklaştırılması etki ettiğinden, dehidrate özelliğe ya da oksitleyici özelliğe sahip, potasyum karbonat, fosforik asit, çinko klorür ya da alkali hidroksitlerden potasyum hidroksit, sodyum hidroksit gibi bir

kimyasal bileşik malzemeye emdirilerek kimyasal aktivasyon gerçekleştirilir. Emdirme işlemi gerçekleştirildikten sonra karbonizasyon işlemi gerçekleştirilir ve elde edilen ürün yıkanarak aktif karbondaki gözeneklerin açılması sağlanır. Kimyasal aktivasyonda kullanılan bileşiğin yapısının yanında kimyasalın derişimi de aktif karbonun karakteristiğine etki eder. Ayrıca kimyasal aktivasyon işlemi yalnızca elde edilen karbon verimine etki etmemekte, bunun yanında malzemenin ısı bozunmasına ve gözeneklerin oluşumuna da büyük etkisi olmaktadır [49, 62, 98] .

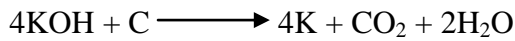
Kimyasal aktivasyonda aktifleştirmede kullanılan kimyasal piroliz prosesine etki ederek tar oluşumunu en aza indirirken karbon verimini de arttırmaktadır. Fiziksel aktivasyondan daha düşük sıcaklıkta gerçekleşen bu işlemde küçük boyutlarda kristalitler yani mikro-gözenekler oluşur. Bu yöntemde aktif karbonların üretiminde başlıca selüloz içeren malzeme kullanılır. Selülozdaki yönlendirilmiş molekül zincirleri farklı kuvvetlere sahip bağlarla birbirlerine bağlıdır. Aktivasyon kimyasalının selülozla etkileşimine bakıldığında, kimyasalın elektrolitik hareketi sonucunda selülozun yapısında şişme meydana gelir. Bu olay sonucunda dikey eksenindeki sıralanmış moleküllerin düzenlerinde değişiklik olmazken, yan bağlar selüloz dağılana kadar parçalanır. Eşzamanlı olarak hidrolitik veya oksidatif reaksiyonlar da meydana gelerek makromoleküllerin depolimerizasyonu sağlanır. Bu işlemler sonucunda aktivasyon kimyasalıyla doymuş, depolimerize olmuş homojen yapıda plastik bir yapı meydana gelir [22].

Kimyasal aktivasyonda kullanılan kimyasal derişiminin ürün miktarına oranı da oluşan gözenek hacmi oluşumunda önemli bir etkendir. Düşük derecelerdeki emdirmelerde, emdirme miktarındaki küçük bir artış, toplam gözenek hacmini ve daha küçük gözeneklerin hacmini artırır. Emdirme miktarı daha fazla arttıldıkça, daha geniş gözeneklerin oluşumu artarken küçük gözeneklerin hacminde azalma olur [107]. Kimyasal aktivasyon için genel bir akım şeması Şekil 2.8' de verilmiştir.



Şekil 2.8. Kimyasal aktivasyon için genel bir akım şeması [21].

Kimyasal aktivasyonda potasyum hidroksit kullanıldığında  $3000\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 'den daha fazla bir yüzey alanı elde edilebilmiştir. KOH kimyasal aktivasyonundaki gözenek oluşumu çinko klorür ve dihidrojen fosfat kullanılan aktivasyondakinden farklıdır. KOH aşağıdaki reaksiyona göre önce metalik potasyuma indirgenir.



Daha sonra metalik potasyum önce grafen tabakaların arasına yerleşerek bu tabakaları genişleten daha sonra da sıcaklığın artmasıyla hızlı bir şekilde buradan uzaklaşarak mikro-gözeneklilik sağlar. Ancak kullanılan kimyasalın geri

dönüşümünün zor ve pahalı olması gibi nedenlerden dolayı bu prosesin endüstriye uygulanması zordur [21].

Literatürde kimyasal aktivasyonda en çok tercih edilen asidik ( $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ ) ve bazik (KOH, NaOH) aktifleştiriciler kullanılarak aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiş çalışmalar aşağıda verilmiştir.

#### *ZnCl<sub>2</sub> Aktivasyonu*

Sulardan Pb(II) iyonlarının uzaklaştırılması amacıyla deniz iğdesi çekirdeklerinin kimyasal aktivasyonu yapılarak elde edilen aktif karbonların adsorpsiyon kapasiteleri incelenmiştir. Kimyasal aktivasyonun ağırlıkça %50 oranında  $ZnCl_2$  kullanılarak gerçekleştirildiği deneyden elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı  $829 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  olmuştur.  $ZnCl_2$  aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların Pb(II) iyonlarını maksimum adsorplama kapasitesi  $25.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  olarak bulunmuştur [108].

Kiraz çekirdeklerinin  $ZnCl_2$  ile aktivasyonunun yapıldığı çalışmada karbonizasyon sıcaklığının ve emdirme oranının elde edilen aktif karbonların karakteristiklerine etkisi incelenmiştir.  $ZnCl_2$ :kiraz çekirdekleri emdirme oranları 1:1, 2:1, 3:1 ve 4:1 oranlarında incelenmiş ve 4:1 oranında emdirme yapılan deneyde BET yüzey alanı  $1971 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  olmuştur. Emdirme oranının gözenek oluşumuna çok fazla etkisi olduğu bulunmuş ve emdirme oranı arttıkça BET yüzey alanında, mikro-gözenek ve mezo-gözenek hacminde artış olmuştur [109].

Metan adsorpsiyonu için  $ZnCl_2$  aktivasyonu yapılmış palmye ağacı kabuklarından aktif karbon elde edilen çalışmada da  $ZnCl_2$  emdirme miktarı artışı sonucunda yüzey alanlarında ve gözenek hacminde artış olduğu ancak metan adsorpsiyonunun fazla bir artış göstermediği rapor edilmiştir [65].

Mısır koçanı ile yapılan çalışmada  $ZnCl_2$  emdirme oranının ve piroliz sıcaklığının aktif karbonların fiziksel yapısına etkisi incelenmiştir.  $400-800^\circ\text{C}$ 'lerdeki piroliz sıcaklıklarında yapılan deneylerde sıcaklık artışıyla BET yüzey alanında ve toplam gözenek hacminde bir artış meydana gelmemiş ancak her piroliz sıcaklığında



emdirme oranı arttığında BET yüzey alanında artış olduğu belirlenmiştir. En yüksek BET yüzey alanı  $1410 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  olarak ve toplam gözenek hacmi  $0.70 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$  olarak bulunmuştur [32].

Zeytin çekirdekleriyle yapılan bir başka çalışmada,  $\text{ZnCl}_2$  emdirme oranının ve hammadde parçacık boyutunun aktif karbon karakteristiğine etki ettiği gözlenmiştir. Ağırlıkça %10, %20 ve %30 emdirme oranlarında  $650^\circ\text{C}$  karbonizasyon sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde en yüksek yüzey alanı ( $790 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) parçacık boyutunun  $350\mu\text{m}$ 'den büyük olduğu ve %20 emdirme oranının uygulandığı deneyden elde edilmiştir [70].

#### *H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Aktivasyonu*

Pamuk bitkisinin sapından  $\text{H}_3\text{PO}_4$  aktivasyonu ile aktif karbon elde edildiği çalışmada  $500\text{-}800^\circ\text{C}$ 'deki sıcaklıklarda ve farklı emdirme oranlarında deneyler yapılmıştır. Özellikle yüksek aktivasyon sıcaklıklarında emdirme oranının artmasıyla mezo-gözenek oluşumunun arttığı belirtilmiştir. Deneyler sonucunda BET yüzey alanları  $330\text{-}1720 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  arasında olup, en yüksek yüzey alanı  $500^\circ\text{C}$ 'de 1.5:1 emdirme oranı kullanılan deneyden elde edilmiştir [110].

Fındık kabuklarının  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile kimyasal olarak ve  $\text{CO}_2$  ile fiziksel olarak aktive edildiği çalışmada kimyasal aktivasyonla elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanlarının fiziksel aktivasyonla elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanlarından daha yüksek olduğu belirtilmiştir [61].

*Arundo donax* bambusu kullanılarak kimyasal aktivasyonla  $400\text{-}550^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda, farklı  $\text{H}_3\text{PO}_4$  emdirme oranları (1.5:1, 2:1, 2.5:1) kullanılarak aktif karbon elde edilmiştir. 1.5:1 ve 2:1 emdirme oranıyla  $400$  ve  $500^\circ\text{C}$ 'deki sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerde  $1100 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  civarında yüzey alanı ve yüksek gözenek hacmi elde edilmiştir. Aynı emdirme oranlarında ve  $500^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde gerçekleştirilen deneyler ile 2.5:1 emdirme oranında  $500^\circ\text{C}$ 'de gerçekleştirilen deneyde ise gözenek oluşumunun azaldığı rapor edilmiştir. En yüksek yüzey alanı ( $1151 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) 1.5:1 emdirme oranında ve  $500^\circ\text{C}$ 'de elde edilirken, en yüksek toplam

gözenek hacmi (  $1.22 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ ) yine  $500^\circ\text{C}$ 'de 2:1 emdirme oranıyla gerçekleştirilen deneyden elde edilmiştir [111].

Aktivasyon kimyasal derişiminin aktif karbonların karakteristiğine etkisinin incelendiği bir başka çalışmada zeytin çekirdeklerine farklı oranlarda  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile kimyasal aktivasyon (ađ. %60, %70, %80) yapılarak  $500^\circ\text{C}$  sıcaklıkta deneyler gerçekleştirilmiştir. En yüksek BET yüzey alanı ( $1218 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) ve en yüksek toplam gözenek hacmi ( $0.6 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ ) ađ.%80  $\text{H}_3\text{PO}_4$  kullanılan deneyden elde edilmiştir. Ayrıca  $\text{H}_3\text{PO}_4$  derişimi arttıkça aktif karbonların yüzey alanında ve toplam gözenek hacminde artış meydana gelmiştir [112].

Yer fıstığı kabuklarının  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile kimyasal aktivasyonunun yapıldığı ve  $300\text{-}900^\circ\text{C}$  karbonizasyon sıcaklıklarında gerçekleştirilen çalışmada farklı emdirme oranlarında  $\text{H}_3\text{PO}_4$  aktivasyonundan elde edilen karbonların da BET yüzey alanları  $240\text{-}1177 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  olarak rapor edilmiştir [113].

Enginar yapraklarından farklı emdirme oranlarında (ađ.%100, %200, %300)  $\text{H}_3\text{PO}_4$  aktivasyonu ile  $500^\circ\text{C}$ 'de aktif karbon elde edilmiş olan çalışmada, düşük emdirme oranında (ađ.%100) genel olarak mikro-gözenekli yapıda aktif karbonlar oluşurken, daha yüksek emdirme oranlarında yüzey alanı  $2038 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 'a ve toplam gözenek hacmi  $2.47 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 'e ulaşan mikro-gözenek ve mezo-gözenekli yapıda aktif karbonlar elde edilmiştir [114].

Kimyasal aktivasyon yöntemiyle amerikan cevizi kabuğundan aktif karbon elde edilen çalışmada,  $400^\circ\text{C}$ 'de farklı emdirme oranlarında (0.5-2.5) gerçekleştirilen deneylerden, en yüksek yüzey alanı ( $861 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) ve en yüksek mikro-gözenek hacmini ( $0.289 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ ) 1.5:1 oranında  $\text{H}_3\text{PO}_4$  aktivasyonu ile yapılan deneyden elde edilen aktif karbonlarda görülmüştür. 1.5:1 oranında  $300\text{-}500^\circ\text{C}$ 'deki sıcaklıklarda yapılan deneylerde ise en yüksek yüzey alanı ( $1130 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) ve en fazla mikro-gözenek hacmi ( $0.34 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ )  $500^\circ\text{C}$ 'de elde edilmiştir [115].

### *KOH Aktivasyonu*

Pamuk bitkisinin sapından kimyasal aktivasyonla mikrodalga kullanarak aktif karbon üretilmiştir. Kimyasal aktivasyon için KOH kullanıldığında mikro-gözenek oluşumunda artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca aktivasyonda KOH kullanılan deneyden elde edilen aktif karbonun yüzey alanının ( $729.33\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ) ve mikro-gözenek hacminin ( $0.26\text{ cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ ), potasyum karbonat aktivasyonu yapılarak elde edilen aktif karbonlardan fazla olduğu belirtilmiştir [116].

Mikrodalga kullanılarak pirinç çeltiğinden kimyasal aktivasyonla aktif karbon elde edilen çalışmada ise KOH kullanılarak kimyasal aktivasyon yapılan deneylerden elde edilen aktif karbonların yüzey alanı ( $752\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ) ve toplam gözenek hacmi ( $0.64\text{ cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ ), potasyum karbonat kullanılan deneyden elde edilen aktif karbonun yüzey alanından ( $1165\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ) ve toplam gözenek hacminden ( $0.78\text{ cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ ) düşük olmuştur [117].

Kimyasal aktivasyonla palmye ağacı çekirdeğinden aktif karbon elde edilmiş ve aktif karbonların  $\text{SO}_2$  ve  $\text{NH}_3$  adsorplama kapasiteleri incelenmiştir. Benzer BET yüzey alanlarına ve mikro-gözenek hacimlerine sahip olmalarına rağmen, KOH ile kimyasal aktivasyondan elde edilen aktif karbonların,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile aktivasyondan elde edilen aktif karbonlardan daha fazla  $\text{SO}_2$  ve daha az  $\text{NH}_3$  adsorplama kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Bu da aktif karbonların adsorplama kapasitesine yüzey kimyasının da etki ettiğini göstermektedir [118].

Şişe mantarı atığından KOH ile kimyasal aktivasyon yapılarak elde edilen aktif karbonların yüzey alanına emdirme oranının etkisinin incelendiği çalışmada  $800^\circ\text{C}$  sıcaklıkta gerçekleştirilen deneylerde en yüksek BET yüzey alanı ( $1336\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ) ağırlıkça aktivasyon işleminde KOH:şişe mantarı oranının 1:1 olduğu deneyden elde edilmiştir. Deneylerde bu emdirme oranına kadar artış gösteren yüzey alanı, emdirme oranının daha fazla artırılmasıyla düşüş göstermiştir [119].

Kiraz çekirdeklerinin KOH ile kimyasal aktivasyonunda sabit bir emdirme oranında (3:1-KOH:kiraz çekirdekleri) aktivasyon uygulanmış ve  $400\text{-}900^\circ\text{C}$  sıcaklık

aralıklarında deneyler yapılarak karbonizasyon sıcaklığının aktif karbonların karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Karbonizasyon sıcaklığı arttıkça aktif karbonların BET yüzey alanlarında ve mikro-gözenek hacimlerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek BET yüzey alanı ( $1624 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) ve en yüksek mikro-gözenek hacmi ( $0.69 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ )  $900^\circ\text{C}$ 'de gerçekleştirilen deneyden elde edilmiştir [109].

#### *NaOH Aktivasyonu*

Literatürde sodyum hidroksitle kimyasal aktivasyonun gerçekleştirildiği fazla çalışma bulunmamakla birlikte, erik çekirdeğinden [120], yenidoğya çekirdeğinden [121] ve hindistan cevizi kabuğundan [122] elde edilen çarlara NaOH ile kimyasal aktivasyon yapılan çalışmalarda genel olarak NaOH:çar emdirme oranının artmasıyla birlikte elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanlarında artış olduğu rapor edilmiştir.

Biyotküleden aktif karbon elde edilen bazı çalışmalardaki elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanları Çizelge 2.5' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Biyokütleden aktif karbon üretildiği çalışmalardaki aktif karbonların BET yüzey alanları

Biyokütle Çeşidi	Aktivasyon Sıcaklığı	Aktivasyon Türü	BET Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	Referanslar
Hindistan cevizi Kabuğu	Tek basamaklı 800°C/2h	KOH	1186-2451	[123]
Durian Ağacı Kabuğu	400-650°C/1h	KOH	467-992	[124]
Soya Yağı Küşesi	600-800°C/1h	KOH K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	600.05-618.54 643.54-1352.86	[53]
Zeytin Çekirdekleri	600-800°C/1h	ZnCl <sub>2</sub> KOH	545-683 614-1203	[125]
Palmiye Kabukları	500°C/2h	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1135	[126]
Kestane Ağacı Kerestesi	300-600°C/4h	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	21-783	[127]
Palmiye Kabukları	700 °C /2h	KOH	1148	[128]
Pirinç Kabukları	250-450°C	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	31-1295	[129]

## 2.9. AKTİF KARBONUN UYGULAMA ALANLARI

### 2.9.1. Aktif Karbonun Gaz Faz Uygulamaları

Birim hacim başına yüksek adsorplama sağlayan gözenekli yapısından ve esnek yüzey kimyasından dolayı gaz faz uygulamalarda aktif karbonlar sıkça kullanılır. Nem varlığında yüksek gaz adsorpsiyonu kapasitesine sahip olması, düşük basınç ve yüksek sıcaklıklarda yüksek desorpsiyon kapasitesine sahip olması da gaz

adsorpsiyonunda aktif karbon kullanmanın avantajları arasındadır. Adsorpsiyon-desorpsiyon çevrimi ile aseton, pentan, metilen klorür gibi çözücülerin saflaştırılmasıyla boya ve polimer üretim endüstrilerinde aktif karbonlar kullanılır. Aktif karbonlar kullanılarak birim kütle başına diğer yakıtlardan daha yüksek enerji depolayan metanın daha düşük basınçlarda depolanabilmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca asidik ve bazik bileşiklere karşı dayanıklılığı olması, yüksek oranda gözenekliliğe sahip olması, yüksek sıcaklıklarda kararlı olması gibi nedenlerden dolayı aktif karbonlar katalizör desteği ve katalizör olarak da kullanılabilir. Paladyum, platin ve demir gibi birçok endüstriyel katalizörde destek maddeleri olarak aktif karbon kullanılması da bunu göstermektedir [21].

### **2.9.2. Aktif Karbonun Sıvı Faz Uygulamaları**

Sıvı faz uygulamalarında kullanılan aktif karbonların çoğu, geniş gözeneklerin çözülmüş haldeki büyük moleküllerin adsorpsiyonuna uygun olması nedeniyle mezo-gözenekli ve makro-gözenekli yapıdadır. Sulardan kötü tat ve koku veren doğal organik bileşiklerin ve suların klorlanmasıyla oluşan sentetik organik maddelerin uzaklaştırılması amacıyla aktif karbonlar kullanılmaktadır. Makro-gözenekler sayesinde bakterilerin uzaklaştırılmasında gözenek hacmi rol oynarken, fenol gibi polar bileşiklerin uzaklaştırılmasında aktif karbonun yüzey kimyası etkindir. Ayrıca aktif karbonlar madenlerden elde edilen altının geri kazanımında ve şeker üretiminde şekerin renksizleştirildiği son basamakta kullanılmaktadır [21].

## **2.10. AKTİF KARBONA AĞIR METAL ADSORPSİYONU**

### **2.10.1. Ağır Metaller**

Yoğunluğu 6 g/mL den büyük olan metallere ağır metaller denir. Ancak bunların içinde az da olsa metal olmayanlar da vardır [130]. Metallerin biyolojik süreçlerde önemli rolleri olmasına rağmen derişimlerinin belirli bir düzeyin üzerine çıkması toksik semptomların ortaya çıkmasına neden olur. Ağır metallerin canlılar için toksik olmalarının nedeni iyon veya bileşik halinde suda çözünür olmaları ve canlı organizma tarafından kolayca absorplanmalarıdır. Metallerin toksik etkileri her

metalin özelliğine göre değişmektedir. Genelde, ağır metaller organik bileşiklerle kompleks oluşturarak toksik etki yaratırlar. Bu metaller organizma tarafından absorplandıktan sonra proteinler, enzimler ve nükleik asitler gibi hayati hücresel birimlere bağlanarak bunların fonksiyonlarını engelleyebilirler [131]. İnsanlarda, bu metallerin çok küçük miktarları bile ciddi fizyolojik etkilere ve sağlık problemlerine neden olabilir. Metallerle ligand oluşumu sağlayan gruplar O, S ve N içerir. Hemen hemen tüm metaller belirli bir miktarın üzerinde alındıklarında toksik etki yaratırlar. Hatta metallerin büyük bir kısmı düşük derişimlerde bile toksik etki yarattıkları için sağlık ve çevre açısından çok önemlidirler. Bu metaller Arsenik(As), Kurşun(Pb), Cıva(Hg), Demir(Fe), Kadmiyum(Cd), Krom(Cr), Kobalt(Co), Nikel(Ni), Berilyum(Be), Bakır(Cu) ve Mangan(Mn)' dır [132].

### **2.10.2. Ağır Metallerle Kirlenmiş Atık Suların Temizlenmesi**

Çevre sularında bulunan ağır metallerin birçok yaşam türü için tehlike oluşturması uzaklaştırılmalarını zorunlu kılmaktadır. Kirlenmiş suların tekrar kullanılabilir hale getirilmesi fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri gerektirir. Bu amaç için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar destilasyon, gaz-değişirme, koagulasyon, sedimentasyon, filtrasyon, adsorpsiyon, iyon-değişirme ve dezenfeksiyondur [133]. Adsorpsiyon, kolay uygulanabilmesi, düşük maliyeti ve zengin adsorban çeşitliliği nedeniyle genellikle tercih edilir [134]. Aktif karbon, modifiye edilmiş polimer, ağaç talaşı, selüloz, çitosan, şelatlaştırılmış reçine vb. adsorbanlar atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanılmıştır. Özellikle yüksek yüzey alanları nedeniyle aktif karbonlar ağır metallerin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için kullanılan en önemli yaklaşımlardan biridir [135-138].

### **2.10.3. Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon, çözülmüş haldeki belirli bir bileşenin katı faz yüzeyine tutunması temeline dayanır. Adsorplanan maddeye adsorbat, ona destek olan alttaki katıya da adsorban veya substrat adı verilir. Adsorpsiyonun tersi desorpsiyondur [139].

Adsorpsiyon, bir çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemde önem taşımaktadır. Adsorpsiyon işlemi, atıksulardaki organik ve kimyasal kirleticilerin uygun bir katı yüzey üzerine tutularak uzaklaştırılması işleminde sıklıkla kullanılır.

Adsorplayan maddenin yüzeyi ile bu yüzeye adsorplanan madde arasındaki etkileşime göre üç tür adsorpsiyon tanımlanmaktadır:

*Fiziksel adsorpsiyon;* katı yüzey ile adsorplanan madde arasındaki çekim gücünden meydana gelmektedir. Zayıf van der Waals kuvvetleri etkindir. Adsorpsiyon çok tabakalı olarak meydana gelmektedir ve tersinirdir. Bir tanecik fiziksel olarak adsorplandığında salınan enerji, yoğunlaşma entalpisisiyle aynı mertebededir [139].

*Kimyasal adsorpsiyon;* adsorplanan madde ile katı yüzeydeki fonksiyonel grupların kimyasal etkileşimi ile meydana gelir. Tek tabakalıdır ve tersinir değildir. Adsorplanma sırasında açığa çıkan ısı reaksiyon ısısından daha büyüktür.

*İyonik adsorpsiyon;* elektrostatik çekim kuvvetleri ile iyonların yüzeydeki yüklü bölgelere tutunması şeklinde gerçekleşir. Elektrik yükü fazla olan iyonlar ve küçük çaplı iyonlar yüzeye daha iyi tutunur. Bir adsorpsiyon olayını sadece tek bir adsorpsiyon çeşidi ile açıklamak zordur. Üçü birlikte ya da ardı ardına görülebilir.

Adsorpsiyonu etkileyen bazı faktörler:

- ✓ Hidronyum ve hidroksit iyonları da adsorbe olduklarından, diğer iyonların adsorpsiyonu çözelti pH'ına bağlıdır.
- ✓ Adsorpsiyon işlemi genellikle ısı veren bir tepkimedir. Bu nedenle azalan sıcaklık ile adsorpsiyon büyüklüğü artar. Sıcaklıkla adsorpsiyon miktarı değişir.
- ✓ Adsorpsiyon, adsorplanan maddenin yapısına bağlıdır.
- ✓ Adsorpsiyon bir yüzeye tutunma işlemi olduğundan, adsorpsiyonun büyüklüğü yüzey alanı ile orantılıdır. Adsorplayıcının yüzey alanının büyük, partikül boyutunun küçük, ve gözenekli yapıda olması adsorpsiyonu artırır.



Bir madde bir çözücüde bulunduğu durumda daha az adsorbe olur. Çünkü çok bileşenli durumunda diğer maddelerle rekabete girecektir [140, 141]. Bazı katı maddeler adsorpsiyon yeteneğine sahiptir. Adsorplama gücü yüksek olan doğal maddeler kömürler, killer, zeolitler ve çeşitli metal filizleridir. Yapay maddeler ise aktif kömürler, moleküler elekler, silikajeller ve özel polimerlerdir [142].

#### **2.10.4. Adsorpsiyon Modelleri**

Adsorpsiyon modelleri mekaniksel ve fenomenolojik olmak üzere iki ana sınıfta incelenebilir. Mekaniksel modeller adsorban yüzeyindeki kararlılık sabitleri hesabı temeline dayalı iyon değişim ve yüzey kompleks oluşum ile hidrofobik model olmak üzere üçe ayrılır. Fenomenolojik model ise, dengede, sıvı veya gaz fazda çözünen madde derişimi ile sabit sıcaklıkta katı faz üzerindeki ilişkisinin adsorpsiyon izoterm eşitlikleriyle ifade edilmesi temeline dayanır. Tek bileşenli ve çok bileşenli sistemlerde gaz faz adsorpsiyonu için, sıvı faz adsorpsiyon sistemlerine de uygulanabilen, çok sayıda fenomenolojik model geliştirilmiştir. Bunlar arasında Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermi, katı faz üzerine sıvı veya gazın adsorpsiyonunda kullanılan en yaygın modellerdir [143].

##### **2.10.4.1. Langmuir Adsorpsiyon Modeli**

Langmuir eşitliği, adsorban yüzeyinde belirli ve enerjik olarak eşdeğer sayıda adsorpsiyon bölgelerinin olduğu ve bu bölgelerin her birine bir ideal gaz molekülünün adsorplanabildiği varsayımına dayalı kinetik çalışmalardan türetilmiştir. Adsorplanmış molekülün adsorpsiyon bölgeleri yüzeyinde tutunmasını sağlayan bağlar kimyasal ya da fiziksel bağlar olabilir. Bu nedenle Langmuir izotermi tek tabakalı olmakta ve yüzeyin de homojen bir yapıda olduğunu belirtmektedir [144].

Langmuir adsorpsiyon izotermi Eşitlik 2.1 ile tanımlanır.

$$Q = Q_{\max} \cdot b \cdot C_{\text{eq}} / (1 + b C_{\text{eq}}) \quad (2.1)$$

Q: Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$C_{eq}$ : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin derişimi (mg/L)

b: Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)

$Q_{max}$ : Tek tabakalı adsorban kapasitesi (mg/g)

Langmuir modeli doğrusal forma dönüştürüldüğünde:

$$C_{eq}/Q = 1/(Q_{max} \cdot b) + C_{eq} / Q_{max} \quad (2.2)$$

denklemini elde edilir.  $C_{eq}$ ,  $(C_{eq}/Q)$ 'ya karşılık bir grafiğe geçirildiğinde;  $(1/Q_{max})$  olarak eğim;  $1/(Q_{max} \cdot b)$  olarak da y eksenini kesim noktası elde edilir. Buradan da b ve  $Q_{max}$  değerleri elde edilir [145].

#### 2.10.4.2. Freundlich Adsorpsiyon Modeli

Enerji bakımından heterojen katı yüzeylere gazların fiziksel adsorpsiyonu üzerine çalışmalar sonucunda Freundlich eşitliği türetilmiştir. Mikro-gözenekli katılar farklı boyut ve şekillerde karmaşık gözenekli yapılarından dolayı heterojen yüzeylere sahiptirler. Tüm adsorpsiyon izotermelerinin matematiksel formları adsorbant yüzeyindeki heterojenliği karakterize eden ve enerji dağılım fonksiyonlarının şekline bağlıdır. Genel olarak Freundlich izotermi, organik bileşiklerin aktif karbona adsorpsiyonunu Langmuir izoterminden daha iyi tanımlamaktadır. Freundlich izotermi, adsorbant yüzeyinin heterojen olması, bölge enerjilerinin üssel olarak artması ve aynı enerjiye sahip tüm bölgeler için Langmuir izotermine uygulanabilmesi varsayımlarıyla Langmuir izoterminden elde edilebilir [144].

Deneysel eşitlik aşağıdaki şekildedir; [146, 147]:

$$Q_{eq} = K_F \cdot C_{eq}^{1/n} \quad (2.3)$$

$Q_{eq}$ : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$C_{eq}$ : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin derişimi (mg/L)

$K_F$ : Freundlich adsorpsiyon katsayısı

n: Karakteristik Freundlich izoterm katsayısı

Denklemin doğrusallaştırılmış formu aşağıdaki şekildedir.

$$\ln Q_{eq} = \ln K_F + (1/n) \cdot \ln C_{eq} \quad (2.4)$$

$\ln Q_{eq}$ 'nin  $\ln C_{eq}$ 'ye karşı grafiğinin düz bir doğru vermesi gerekir. Adsorpsiyon sabitleri kesim noktası ve eğimden hesaplanabilir.  $K_F$  ve  $n$  çeşitli çevresel faktörlere bağlı olarak değişen deneysel sabitlerdir. Grafikten elde edilen doğrunun y eksenini kesim noktası  $\ln K_F$ 'yi; eğimi ise  $1/n$ 'i verir.  $K_F$  ve  $1/n$  sırasıyla adsorpsiyon kapasitesini ve adsorpsiyon şiddetini gösteren Freundlich sabitleridir.  $1/n$  heterojenite faktörü olarak adlandırılır ve 0-1 aralığında değerler alır. Yüzey ne kadar heterojense,  $1/n$  değeri o kadar sıfıra yakın olur.

$1 < n < 10$  : Adsorpsiyon için en uygun durumdur.

$n > 10$  : Tersinmez adsorpsiyon meydana gelir.

$n < 1$  : Adsorpsiyonun elverişsiz olduğu durumdur.

Freundlich denkleminde  $K_F$  sabiti, Langmuir denklemindeki  $Q_{max}$  sabitiyle eşdeğer olmasına karşılık,  $Q_{max}$  sabitinden farklı olarak adsorpsiyon kapasitesinin bağlı ölçüsünü verir ve bağ kuvvetlerini de tahmin eder.  $n$  sabiti adsorpsiyon şablonlarını belirtir ve  $n$  değerine göre adsorpsiyonun uygun olup olmadığı belirlenir.

### 2.10.5 Ağır Metallerin Tayinleri

Ağır metallerin tayininde genel olarak alevli atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) metodu kullanılır. Bu metotla genel olarak 0,1 – 10 mg/L konsantrasyondaki metaller tayin edilir. Ancak metal konsantrasyonu daha düşük örneğin  $\mu\text{g/L}$  mertebesinde olursa, elektrotermal veya grafit fırın AAS metodu kullanılır. Hidrürleme metoduyla da bazı metalleri tayin etmek mümkün olur. Bunlar Arsenik(As), Antimon(Sb) ve Cıva(Hg)'dir. Bu elementler sodyum borhidrürle ( $\text{NaBH}_4$ ) uçucu hidrürleri ( $\text{AsH}_3$  gibi) haline getirilir ve meydana gelen hidrürler AAS metoduyla tayin edilir. Benzer tayinler indüktif olarak çiftleşmiş plazma ve atomik emisyon spektroskopisiyle (ICP, AES) veya x-ışınları florometrisiyle de yapılabilir [148].

### **2.10.6. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi**

Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS), ışığın gaz halindeki atomlar tarafından absorpsiyonunun ölçümüne dayanır. Işığı absorplayan atomlar, temel enerji düzeyinden kararsız uyarılmış enerji düzeylerine geçerler ve absorpsiyon miktarı, temel düzeydeki atom sayısına bağlıdır.

İlke olarak diğer absorpsiyon spektrometrelerine benzeyen atomik absorpsiyon spektrofotometrelerinin en önemli bileşenleri, analiz elementinin absorplayacağı ışımaya yayan ışın kaynağı, örnek çözeltisinin atomik buhar haline getirildiği atomlaştırıcı, çalışılan dalgaboyunun diğer dalgaboylarından ayrıldığı monokromatör ve ışın şiddetinin ölçüldüğü dedektördür [149].

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL YÖNTEM

#### 3.1. HAMMADDE

Deneyleerde kullanılan suntalam odun talaşı atık olarak Karabük Üniversitesi Mobilya ve Dekorasyon Bölümü araştırma laboratuvarlarından tedarik edilmiştir. Odun talaşının kimyasal bileşimi ağırlıkça %44.70 karbon, %5.32 hidrojen, %2.32 azot, %0.17 kükürt ve %47.49 oksijenden oluşmaktadır. Odun talaşının kül içeriği %1.90 olup, kullanılan talaşın parçacık boyutu ortalama 1mm'dir. Odun talaşı tozdan ve safsızlıklardan arındırılmak amacıyla önce sıcak suda daha sonra da soğuk suda birkaç kez yıkanmıştır ve  $105\pm 2$  °C' de etüvde kurutulmuştur.

#### 3.2. HAMMADDEYE VE AKTİF KARBONLARA YAPILAN ANALİZLER

##### 3.2.1. Uçucu Madde Tayini

Hammadde için ASTM E-872 standardına göre gerçekleştirilen tayine göre 1 gramlık numune önce kurutulmuştur. Kapalı bir şekilde, sabit tartıma getirilmiş porselen krozeye konularak, 7 dakika boyunca 950°C'deki fırında bekletilmiştir. Ardından kroze, desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır. Sabit bir değere ulaşılan kadar bu işlemler tekrarlanarak uçucu madde miktarı bulunmuştur.

Elde edilen aktif karbonlar için ASTM D-3175-07 standardına göre gerçekleştirilen tayine göre 1 gramlık numune önce kurutulmuştur. Sabit tartıma getirilmiş porselen krozeye konularak, 7 dakika boyunca 950°C'deki fırında bekletilmiştir. Ardından kroze, desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır.

Kullanılan denklem aşağıdaki gibidir:

$$\text{Uçucu madde \%} = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \times 100 \quad (3.1)$$

$N_1$ : Alınan örnek ağırlığı (g),  $N_2$ : Deneyden sonraki ürün ağırlığı (g)

### 3.2.2. Nem Tayini

Hammadde için ve elde edilen aktif karbonlar için bir saat camına, örnekten 1 gram alınarak, 105°C'deki etüvde sabit tartıma gelene kadar, yaklaşık bir saat süreyle bekletilmesi ile nem tayini yapılmıştır. Yüzde nem içeriği aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Nem \%} = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \times 100 \quad (3.2)$$

$N_1$ : Alınan örnek ağırlığı (g)  $N_2$ : Etüvde kurutulduktan sonraki ürün ağırlığı (g)

### 3.2.3. Kül Tayini

Hammadde için ASTM D-1102 standardına göre yapılan kül tayininde, 2 g örnek alınarak etüvde kurutulduktan sonra, sabit tartıma getirilmiş porselen krozeyle konularak kül fırınında sıcaklık yavaş yavaş 600°C'ye çıkarılıp tüm karbon tamamen yanana kadar bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Fırından alınan krozeler desikatörde soğutulduktan sonra tartılarak kül miktarı hesaplanmıştır.

Elde edilen aktif karbonlar için ASTM D-3174-04 standardına göre yapılan kül tayininde, 1 g örnek alınarak etüvde kurutulduktan sonra, sabit tartıma getirilmiş porselen krozeyle konularak kül fırınında bir saat boyunca 500°C'de tutulduktan sonra sıcaklık 750°C'ye çıkarılıp karbon tamamen yanana kadar bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Fırından alınan krozeler desikatörde soğutulduktan sonra tartılarak kül miktarı hesaplanmıştır.

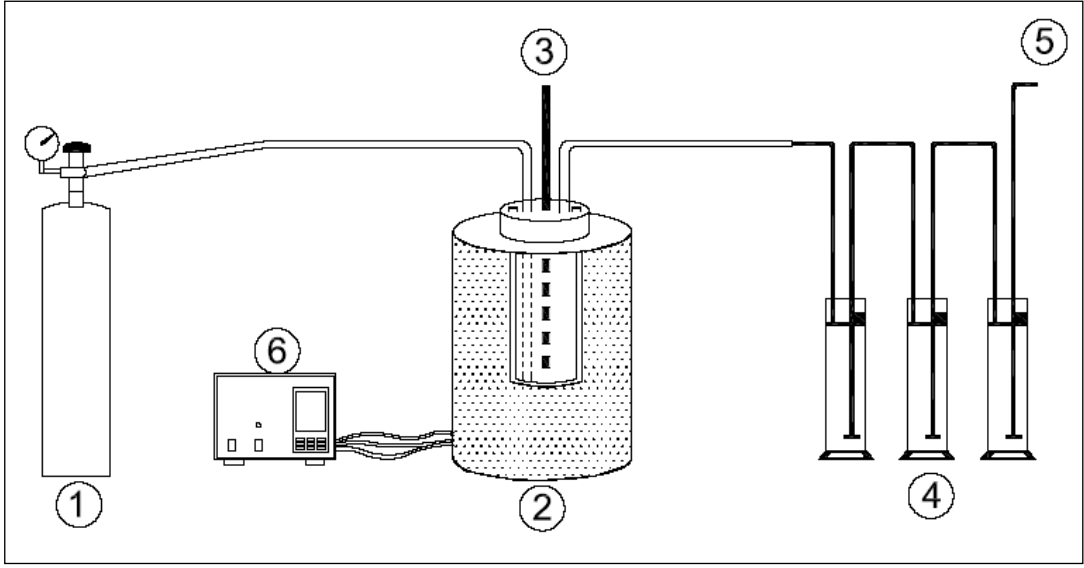
$$\text{Kül \%} = \frac{N_2}{N_1} \times 100 \quad (3.3)$$

$N_1$ : Alınan örnek ağırlığı (g),  $N_2$ : Kül ağırlığı (g)

### 3.3. KİMYASAL AKTİVASYON VE PİROLİZ YÖNTEMİ

Odun talaşının kimyasal aktivasyonu sodyum hidroksit ile gerçekleştirilmiş olup, 40 gram kimyasal reaktif 24 saat süreyle odun talaşıyla karıştırılmıştır. Sodyum hidroksit çözeltileri odun talaşıyla ağırlıkça 0.25:1, 0.50:1 ve 1:1 oranlarında emdirilmiştir. Daha sonra örnek 103°C'deki etüvde kurutulmuştur. Piroliz deneyleri azot atmosferinde, 600 ve 800°C'de bir saatlik kalma süresinde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle içerideki havayı uzaklaştırmak amacıyla 30 dakika boyunca reaktörden azot geçirilmiş, deney süresince ve soğutma esnasında da azot akışı devam etmiştir. Kullanılan reaktör sabit yataklı paslanmaz çelikten olup, 6 cm çapında ve 2 cm yüksekliktedir. Piroliz sistemi Şekil 3.1' de gösterilmiştir.

Piroliz edilecek emdirilmiş örnek reaktöre yerleştirildikten sonra dakikada 5°C ısıtma hızıyla piroliz sıcaklığına getirilmiş ve bir saat bu sıcaklıkta tutulmuştur. Reaktör azot geçişi devam ederek soğuduktan sonra karbonlar reaktörden alınmıştır. Daha sonra karbonların içerisinde bulunabilecek safsızlık ve külün uzaklaştırılması amacıyla hidroklorik asitle geri soğutucu da kullanılarak kaynatılmıştır. Ardından önce sıcak saf su ile, sonra da soğuk saf su ile içerisindeki klorür iyonları gözlenmeyene kadar yıkanmıştır. Yıkanan örnekler 24 saat süreyle 103±2 °C'de kurutulmuştur.



Şekil 3.1. Piroliz sistemi (1- Azot tüpü 2- Piroliz fırını ve reaktörü 3- Termoçift 4- Ürün toplama şişeleri 5- Gaz çıkışı 6- Piroliz fırını sıcaklık kontrol cihazı) [5].

Elde edilen aktif karbonların yüzey alanı azot adsorpsiyonuyla (77K) belirlenmiş, mikro-gözenek hacmi t-plot metodu kullanılarak bulunmuştur. Ayrıca aktif karbonlara SEM (Scanning Electron Microscope) analizi de yapılmıştır. Aktif karbonların içeriğindeki karbon, azot, hidrojen ve oksijen miktarlarını belirlemek için ASTM D5291 standardına göre elementel analiz de yapılmıştır.

### 3.4. AĞIR METAL İYONLARININ ADSORPSİYONU

Pb(II), Cd(II) ve Cu(II) iyonlarının sulu çözeltiden adsorpsiyonu kesikli sistem deney düzeneğinde çalışılmıştır. Ağır metal iyonlarını içeren çözeltilerin 25 mL'si aktif karbon ile manyetik karıştırıcıda karıştırılmış, üstteki faz santrifüjlenip alınarak Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde metal içeriğine bakılmıştır (AAnalyst 800, Perkin-Elmer, ABD). Metal iyonlarının aktif karbona adsorpsiyonunda pH, zaman ve başlangıç konsantrasyonu etkisi incelenmiştir. Birim karbon ağırlığı başına adsorplanan ağır metal iyonu miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$Q = [ (C_0 - C) \cdot V ] / m \quad (3.4)$$

Eşitlikte Q gram karbon başına adsorplanan ağır metal iyonlarının miktarını (mg/g);  $C_0$  ve C başlangıç çözeltisinde ve adsorpsiyon sonrası çözeltideki ağır metal



iyonlarının derişimlerini (mg/L); V adsorpsiyon çözeltilisinin hacmini (L) ve m kullanılan karbonların ağırlığını (g) göstermektedir.

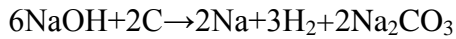
En büyük Q değerini elde etmek için 600°C 25%, 600°C 50%, 600°C 100%, 800°C 25%, 800°C 50%, 800°C 100% gibi farklı tiplerde aktif karbonlar denenmiştir. Q değerine göre “800°C 50%” olan aktif karbon seçilmiştir. Çalışmalarda 0.025 g aktif karbon kullanılmıştır. Genelde yüksek yüzey alanına sahip adsorbentlerin adsorpsiyon kapasiteleri de yüksektir [27]. Ancak adsorpsiyon kapasitesini toplam gözenek hacmi, ortalama gözenek çapı yüzeydeki fonksiyonel grupların pozisyonu gibi özellikler de etkiler.

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. AKTİF KARBONLARIN KARAKTERİSTİKLERİ

Çizelge 4.1’ de atık suntalam odun talaşından aktif karbon elde edilmesindeki verimlere farklı derişimlerde sodyum hidroksit aktivasyonun ve piroliz sıcaklığının etkisi görülmektedir. En yüksek aktif karbon verimi ağırlıkça %21 oranında bulunmuştur. Aynı emdirme oranlarında sıcaklığın artması ile aktif karbon verimlerinin azaldığı görülmektedir. Hem kimyasal derişiminin hem de karbonizasyon sıcaklığının aktif karbon verimine etkisi olduğu görülmüştür. Yüksek kimyasal derişimi ve yüksek sıcaklık düşük miktarda aktif karbon oluşumuna neden olmuştur. Bunun sebebinin NaOH ile karbonların etkileşimindeki artış olabileceği düşünülmektedir. Sodyum hidroksitin karbonizasyon işlemi esnasında metalik sodyuma indirgendiği varsayılmaktadır [122, 150].



Fierro ve arkadaşları, Kraft lignininden NaOH ve KOH aktivasyonlarıyla farklı karbonizasyon sıcaklıklarında katif karbon üretmişlerdir [151] Hem yüksek kimyasal derişimlerinin hem de yüksek karbonizasyon sıcaklıklarının aktif karbon verimini düşürdüğü gözlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda da yüksek sıcaklıkların düşük miktarda aktif karbon oluşumuna neden olduğu belirtilmiştir [53, 121, 151].

Çizelge 4.1. Sodyum hidroksitle kimyasal aktivasyon yapılmış atık odun talaşından elde edilen aktif karbonların verimleri.

<b>Piroliz sıcaklığı (°C)</b>	<b>Kimyasal derişimi (%ağ.)</b>	<b>Aktif karbon verimi (%ağ.)</b>
600	25	21.00
800	25	20.83
600	50	18.00
800	50	15.30
600	100	16.33
800	100	10.00

Çizelge 4.2' de ise sodyum hidroksitle kimyasal aktivasyon yapılmış atık suntalam odun talaşından elde edilen aktif karbonların kısmi ve nihai analiz sonuçları verilmiştir. Hem sıcaklığın hem de sodyum hidroksit derişiminin artmasıyla aktif karbonların kül içeriğinde azalma olmuştur. Kül miktarı en fazla (ağırlıkça %16.90) 600°C'de ağırlıkça %25 oranında sodyum hidroksit kullanılan deneyde, en düşük (ağırlıkça % 5,05) 800°C'de %100 oranında sodyum hidroksit aktivasyonu gerçekleştirilen deneyde olmuştur. Aktivasyonda kullanılan kimyasal derişimi ve karbonizasyon sıcaklığı aktif karbon karakteristiğine de etki etmiştir. Sıcaklık ve kimyasal aktifleştiricinin derişimi arttıkça bu aktif karbonların kül içeriğinde azalma gözlenmiştir. Ahşap yonga levhalardan fiziksel aktivasyon yöntemiyle aktif karbonların hazırlandığı çalışmada aktif karbonların kül içeriğinin piroliz sıcaklığının 400°C'den 1000°C'ye artışıyla azaldığı rapor edilmiştir [152]. Çalışmadaki [152] proses koşullarıyla tezde gerçekleştirilen koşullar farklı olsa da aktif karbonların kül içeriğindeki değişimin benzer olduğu görülmektedir. Ancak aktif karbonların içerdiği uçucu madde miktarı sıcaklık artışında bile çok fazla değişmemiştir. En düşük uçucu madde miktarı ağırlıkça %100 oranında sodyum hidroksit kullanılan 800°C'deki deneyde olmuştur. Elementel analiz sonuçları incelendiğinde karbon miktarı en fazla %100 bindirme oranı ile 800°C'de, en düşük ise %50 sodyum hidroksit bindirme oranıyla 800°C'de olmuştur.

Aktif karbonların karakteristikleri Çizelge 4.3' de verilmiştir. En yüksek yüzey alanı ( $133.42\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ) ile 600°C'de ağırlıkça %50 oranında sodyum hidroksit derişiminin meydana gelmiştir. 800°C'de mezo-gözenek hacmi sodyum hidroksit derişimiyle

birlikte artmıştır. Ancak mezo-gözenek hacmi 600°C'de ağırlıkça %50 oranında sodyum hidroksit bindirmesi oranına kadar artmış; bindirme oranı %100'e çıkarıldığında mezo-gözenek hacminde azalma olmuştur. 800°C'de, hidroksit derişiminin artmasıyla aktif karbonların yüzey alanı artmıştır. NaOH aktivasyonu ile 450°C'de çıradan aktif karbonun üretildiği çalışmada da NaOH derişiminin artmasıyla aktif karbonların BET yüzey alanlarının arttığı tespit edilmiştir [153]. Ancak 600°C'deki sıcaklıkta yapılan deneylerde NaOH derişiminin artmasıyla aktif karbonların yüzey alanlarında artış meydana gelmemiştir. En yüksek yüzey alanı 600°C'de ağırlıkça %50 oranında NaOH kullanılan deneyden elde edilmiştir. Ağırlıkça %25 ve %100 oranlarında sodyum hidroksit kullanılan deneylerde karbonizasyon sıcaklığındaki artış aktif karbonların yüzey alanlarının fazla olmasına neden olmuştur. Ancak bunun aksine ağırlıkça %50 oranında sodyum hidroksit kullanılan deneyde karbonizasyon sıcaklığı arttığında aktif karbonların yüzey alanlarında azalma meydana gelmiştir.

Taşkömürüne NaOH kullanarak kimyasal aktivasyon yapılan çalışmada karbonizasyon sıcaklığındaki artışın aktif karbonların yüzey alanında artışa neden olduğu rapor edilmiştir [154]. Kullanılan hammadde ve proses koşullarındaki farklılıklardan dolayı kimyasal derişimi ve karbonizasyon sıcaklığına bağlı olan aktif karbonların yüzey alanlarındaki eğiliminin yapılan diğer çalışmalardan [153, 154] farklı olduğu düşünülmektedir. Aktif karbonların yapısının ve yüzey kimyasının proses koşullarına da bağlı olduğu bilinmektedir. Hem sıcaklığın hem de sodyum hidroksit derişiminin artmasıyla aktif karbonların sıfır yük noktasının pH'ında artış meydana gelmiştir. En yüksek sıfır yük noktası pH'ı 800°C'de ağırlıkça %100 oranında sodyum hidroksit derişimi kullanılan deneyden elde edilmiş olup, 9.12 olarak bulunmuştur.

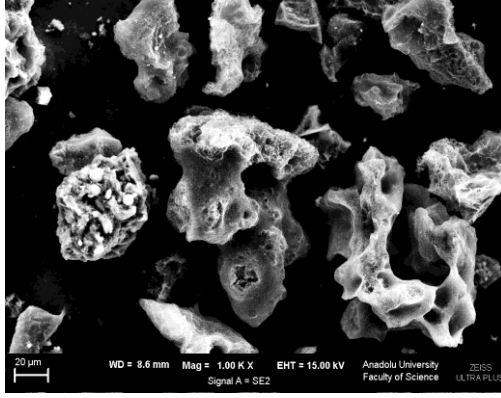
Çizelge 4.2. Sodyum hidroksit ile kimyasal aktivasyonu yapılmış atık suntalam odun talaşından elde edilen aktif karbonların kısmi ve nihai analiz sonuçları

Aktivasyon sıcaklığı (°C)	Kimyasal derişimi (%ağ.)	Kısmî analiz			Nihai analiz			
		Uçucu Madde	Sabit karbon <sup>a</sup> (%ağ.)	Kül (%ağ.)	Karbon (%ağ.)	Hidrojen (%ağ.)	Azot (%ağ.)	Oksijen (%ağ.)
600	25	22.75	60.35	16.90	77.16	2.15	0.93	19.76
800	25	22.92	65.56	11.52	66.74	1.46	0.35	31.45
600	50	22.79	68.35	8.86	77.10	2.23	0.60	20.07
800	50	22.50	69.54	7.96	64.61	1.44	0.43	33.52
600	100	19.74	74.92	5.34	71.71	1.97	0.31	26.01
800	100	18.14	76.81	5.05	77.92	1.17	0.32	20.59

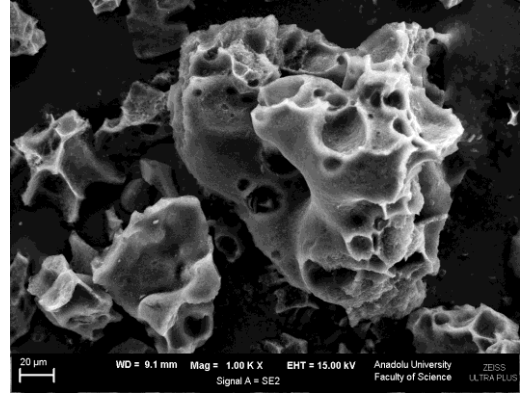
<sup>a</sup> Farktan

Çizelge 4.3. Sodyum hidroksitle kimyasal aktivasyon yapılmış atık suntalam odun talaşının pirolizi sonucu elde edilen aktif karbonların karakteristikleri

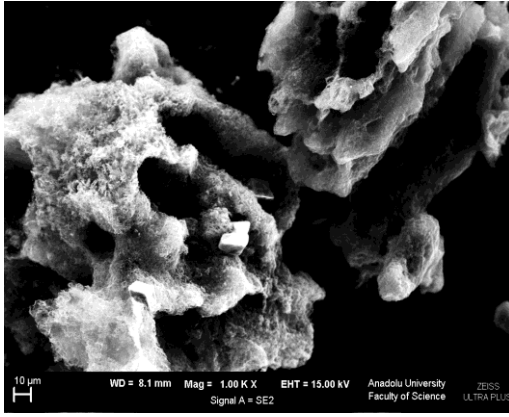
Aktivasyon sıcaklığı (°C)	Kimyasal derişimi (%ağ.)	Özgül yüzey alanı (m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	Mikro-gözenek alanı (m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	Mikro-gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> )	Mezo-gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> )	Toplam gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> )	Ortalama gözenek çapı (A°)	Sıfır yük noktası (pH <sub>pzc</sub> )
600	25	9.8	1.06	0.0043	0.0187	0.023	95.05	5.99
600	50	133.42	84.34	0.04	0.22	0.260	45.21	6.25
600	100	107.45	53.85	0.001	0.027	0.028	10.60	6.32
800	25	45.28	-	-	0.017	0.017	7.46	6.34
800	50	79.29	47.64	0.023	0.019	0.042	10.55	7.13
800	100	130.27	44.48	0.022	0.043	0.065	10.00	9.12



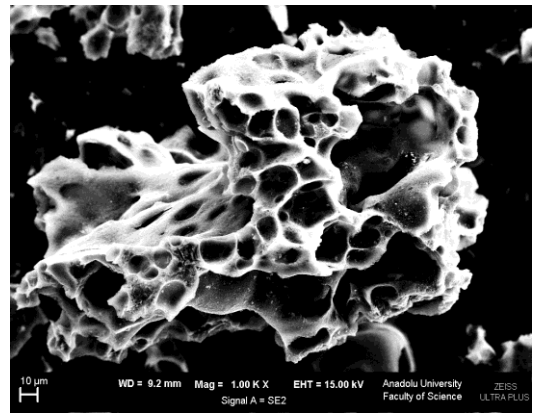
(a)



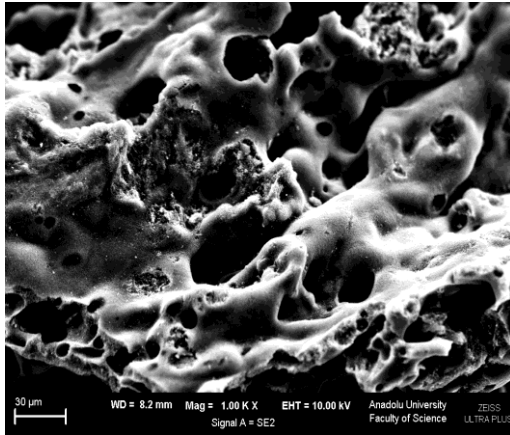
(b)



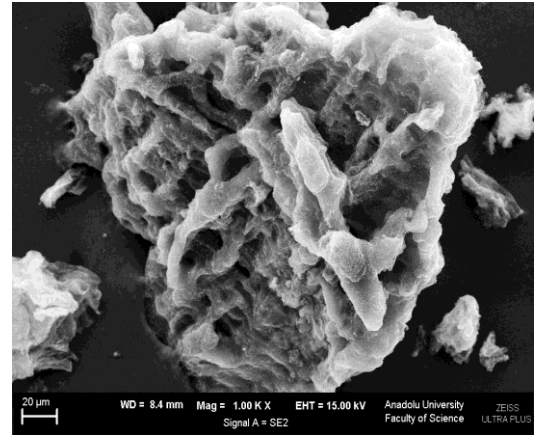
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.1. Aktif karbonların SEM görüntüleri a) 600°C-25%ağ. b) 600°C-50%ağ. c) 600°C-100%ağ. d) 800 °C-25%ağ. e) 800 °C-50%ağ. f) 800 °C-100%ağ.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) tekniği kullanılarak, odun talaşından elde edilen aktif karbonların yüzey topografyası Şekil 4.1' de gösterilmiştir.

Aktif karbonların dış yüzeyleri şekilsiz ve heterojen yapılar gösteren farklı boyutlarda düzensiz oyuklara sahiptir. Oyukların önceden boşlukları işgal eden reaktiflerin karbonizasyon sırasında buharlaşmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir [26, 155].

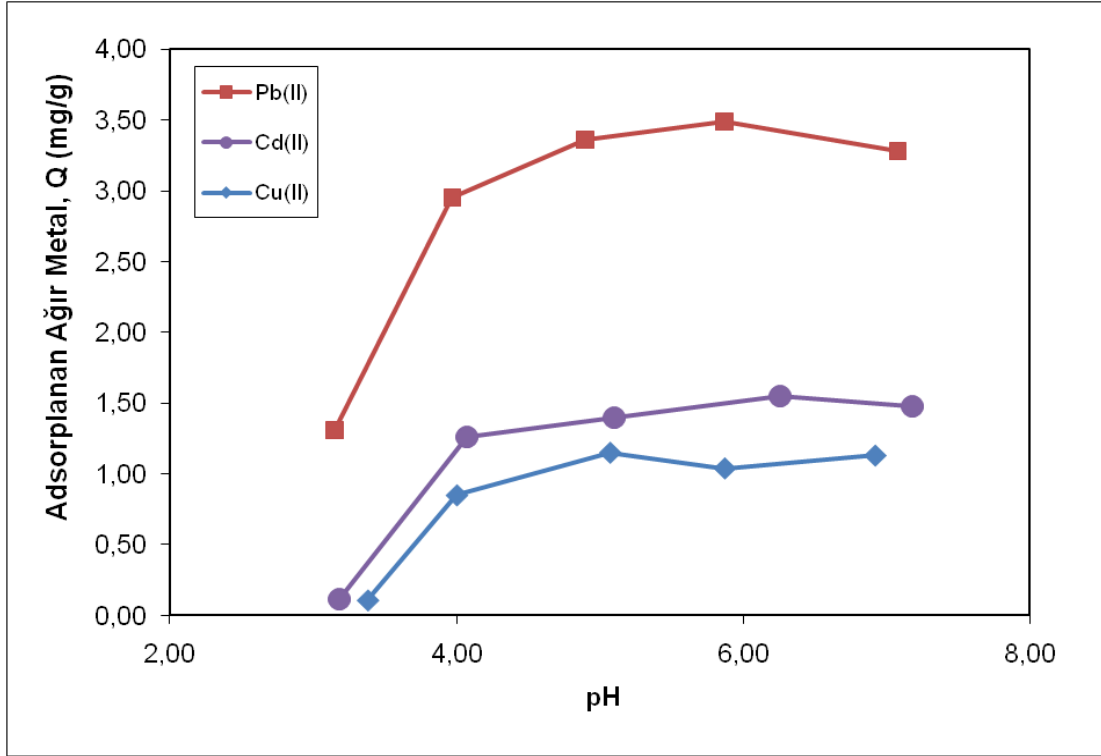
## **4.2. AĞIR METAL İYONU ADSORPSİYONU**

### **4.2.1. Ortam pH'ının Etkisi**

Metal iyonlarının hidrolizi ve çökmesi hem pH'a hem de ilgilenilen metal iyonunun derişimine bağlıdır. Metal iyonlarının çökmesi yaklaşık pH 7.0'de önemli bir hale gelir. Teorik ve deneysel çökme eğrileri bu pH'ın üstünde ayrıca ortamdaki metal iyonlarının derişimine bağlı olarak çökmenin başlayacağını gösterir [156].

Çalışmamızda metal iyonlarının aktif karbona adsorpsiyonuna pH'ın etkisini saptamak için kesikli sistemdeki adsorpsiyon çalışmaları pH = ~3.0 - ~7.0 aralığında yapılmıştır. Metal iyonlarının başlangıç derişimi Cu(II) için 2.5 ppm, Cd(II) için 2.5 ppm ve Pb(II) için 5 ppm'dir.

Deney sonuçları Şekil 4.2' de verilmiştir. Sonuçlardan, pH'ın metal iyonlarının adsorpsiyonuna önemli derecede etki ettiği söylenebilir. Aktif karbonlarda pH < 4.0'de metal iyonlarına karşı düşük Q değerlerine sahipken pH = 5.0 - 6.0 aralığında Q değerleri artmıştır. Maksimum adsorpsiyon için en uygun pH değeri 6.0 olarak belirlenmiştir.

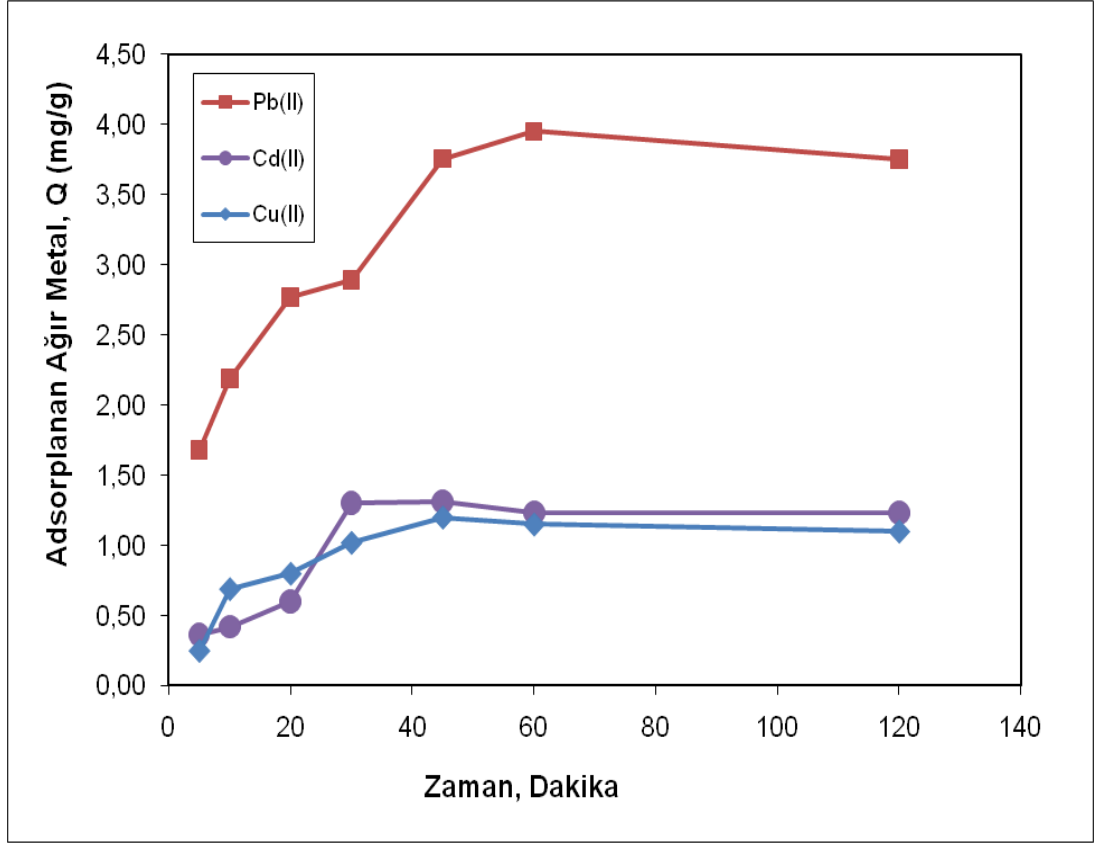


Şekil 4.2. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna pH'nın etkisi. Ağır metal derişimi: Cu(II) 2.5 ppm, Cd(II) 2.5 ppm, Pb(II) 5 ppm; sıcaklık: 25°C.

#### 4.2.2. Adsorpsiyon Hızı

Adsorpsiyonun dengeye ulaşma zamanı tamamen kinetik kontrollü bir işlemdir. Şekil 4.3.'de aktif karbonlara adsorplanan ağır metal iyonlarının adsorpsiyon hızları görülmektedir. Deney koşulları şekil alt yazısı olarak verilmiştir. Sonuçlardan ağır metal iyonlarının adsorpsiyon zaman eğrilerinin 45-60 dakika arasında dengeye ulaştığı söylenebilir.





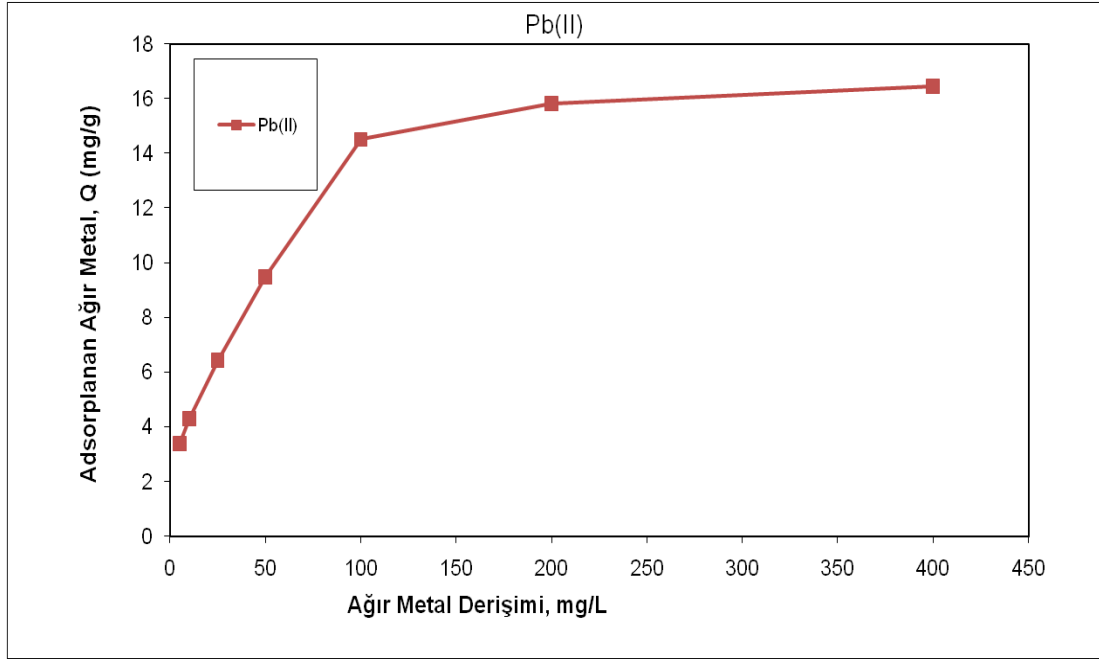
Şekil 4.3. Ağır metal iyonu adsorpsiyonunun süre ile değişimi. pH: 6.0; Ağır metal derişimi: Cu(II) 2.5 ppm, Cd(II) 2.5 ppm, Pb(II) 5 ppm; sıcaklık: 25°C.

Ağır metal iyonlarının adsorpsiyon işlemlerinde adsorpsiyon hızını etkileyen çeşitli etkenler vardır. Bunlar; karıştırma hızı, adsorbent miktarı ve adsorbentın yapısal özellikleri (boyut, gözeneklilik, yüzey alanı vb.), metal iyonlarının özellikleri, metal iyonlarının başlangıç derişimi, pH, sıcaklık, metalin adsorbent yapısındaki atomlara ilgisi, metal iyonunun şelat oluşturabileceği aktif merkezlerin sayısı ve ilgilenilen metal iyonu ile yarışan diğer iyonların varlığıdır [130].

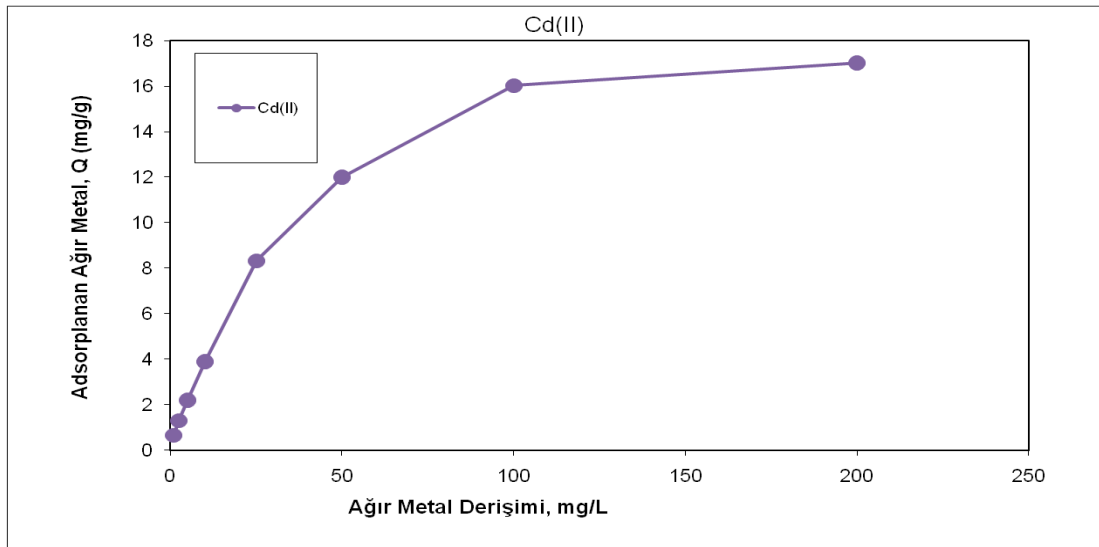
#### 4.2.3. Başlangıç Derişiminin Etkisi

Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6 sırasıyla Pb(II), Cd(II) ve Cu(II) iyonları için ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunun, ortamdaki ağır metal iyonu derişimi ile değişimini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi, çözeltideki metal iyonlarının derişiminin artmasıyla, adsorplanan metal iyonu miktarı önce hızla artmakta daha sonra metal iyonlarının bağlanabileceği bölgelerin dolmasıyla sabit kalmaktadır. Pb(II), Cd(II) ve

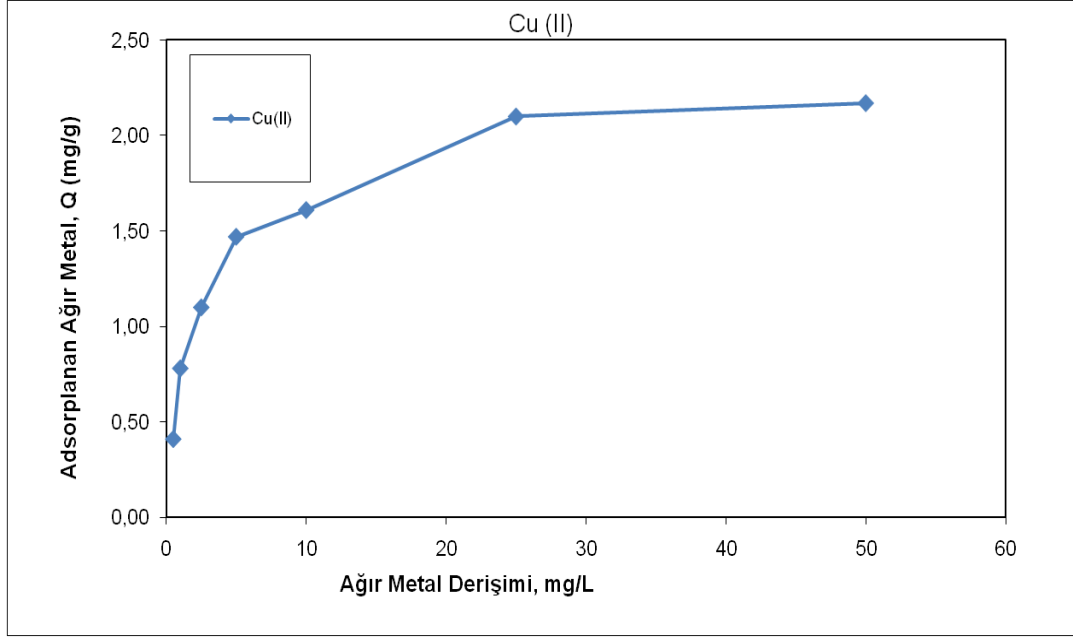
Cu(II) için maksimum adsorpsiyon değerleri sırasıyla 16,44 mg/g, 17,03 mg/g, ve 2,17 mg/g olarak belirlenmiştir. Ağır metal iyonu adsorpsiyon kapasiteleri sıralaması kütle bazında Cd(II) > Pb(II) > Cu(II) şeklindedir.



Şekil 4.4. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna derişimin etkisi. pH: 6,0; sıcaklık: 25°C.



Şekil 4.5. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna derişimin etkisi. pH: 6,0; sıcaklık: 25°C.



Şekil 4.6. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna derişimin etkisi. pH: 6,0; sıcaklık: 25°C.

#### 4.2.4. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi denge halinde çözültideki iyonların derişimi ile katı faza adsorplanan iyonların miktarı arasındaki bağıntıyı gösteren matematiksel ifadelerdir [146, 157]. Adsorpsiyon, adsorbent yüzeyinde biriken madde derişimi ve çözültide kalan madde derişimi arasında denge oluşuncaya kadar devam eder. En genel kullanım gören izotermi Langmuir ve Freunlich denklemleridir.

Langmuir adsorpsiyon modeli moleküllerin belirli sayıda, her biri yalnızca tek molekül bağlayabilen bölgelere bağlandığını varsayar. Bu noktaların enerji bakımından da eşdeğer olduğu ve komşu bölgelerle adsorplanan moleküller arasında etkileşim olmadığı varsayılır. Langmuir adsorpsiyon izotermi Eşitlik 2.1 ile tanımlanır. Denge verilerinin eşitliğe uygulanmasıyla doğrusal bir grafik elde edilmesi, aşağıdaki eşitlikle tanımlanan Langmuir modelinin bu sistemlere uygulanabileceğini göstermektedir:

$$Q = Q_{\max} \cdot b \cdot C_{\text{eq}} / (1 + b C_{\text{eq}}) \quad (2.1)$$

Q: Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$C_{eq}$ : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin derişimi (mg/L)

b: Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)

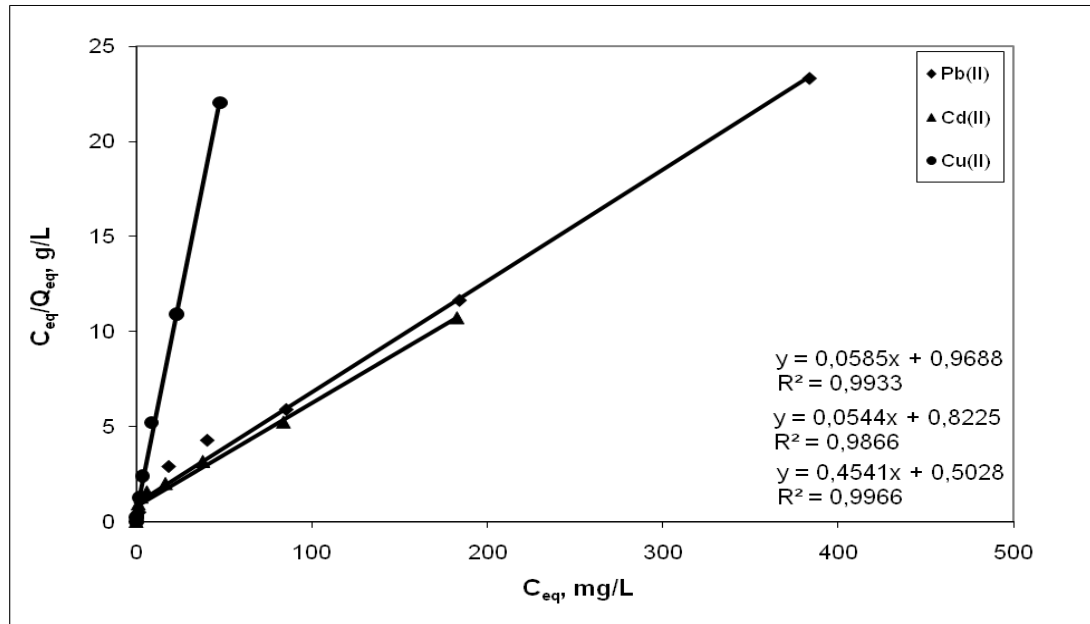
$Q_{max}$ : Tek tabakalı adsorban kapasitesi (mg/g)

Langmuir modeli doğrusal forma dönüştürüldüğünde:

$$C_{eq}/Q = 1/(Q_{max} \cdot b) + C_{eq} / Q_{max} \quad (2.2)$$

denklemin elde edilir.  $C_{eq}$ ,  $(C_{eq}/Q)$ 'ya karşılık bir grafiğe geçirildiğinde;  $(1/Q_{max})$  olarak eğim;  $1/(Q_{max} \cdot b)$  olarak da y eksenini kesim noktası elde edilir. Buradan da b ve  $Q_{max}$  değerleri elde edilir [145].

Aktif karbonların ağır metal adsorpsiyon verilerine Langmuir izoterm denklemin uygulanmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi. pH: 6,0; sıcaklık: 25°C.

Aktif karbonların maksimum adsorpsiyon kapasiteleri ( $Q_{max}$ ) deneysel verilerden Pb(II) için 16,44 mg/g, Cd(II) için 17,03 mg/g ve Cu(II) için 2,17 mg/g olarak

bulunmuştur. Teorik adsorpsiyon kapasiteleri ise Pb(II) için 17,09 mg/g, Cd(II) için 18,38 mg/g ve Cu(II) için 2,20 mg/g olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ise; Pb(II) için 0,9933, Cd(II) için 0,9866 ve Cu(II) için 0,9966'dır. Korelasyon katsayılarına göz önüne alındığında Langmuir adsorpsiyon izoterminin bu sisteme uygun olduğunu görülmektedir. Ayrıca, teorik adsorpsiyon kapasitelerinin deneysel adsorpsiyon kapasitelerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Freundlich modeli adsorpsiyon dengesini tanımlayan eşitliklerden biridir. Bu modelde adsorpsiyon enerjisinin komşu bağlanma bölgelerinin dolu olup olmadığına bağlı olarak değiştiği varsayılır. Deneysel eşitlik aşağıdaki şekildedir; [146, 147]

$$Q_{eq} = K_F \cdot C_{eq}^{1/n} \quad (2.3)$$

$Q_{eq}$ : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$C_{eq}$ : Adsorpsiyon sonrası çözeltilde kalan maddenin derişimi (mg/L)

$K_F$ : Freundlich adsorpsiyon katsayısı

n: Karakteristik Freundlich izoterm katsayısı

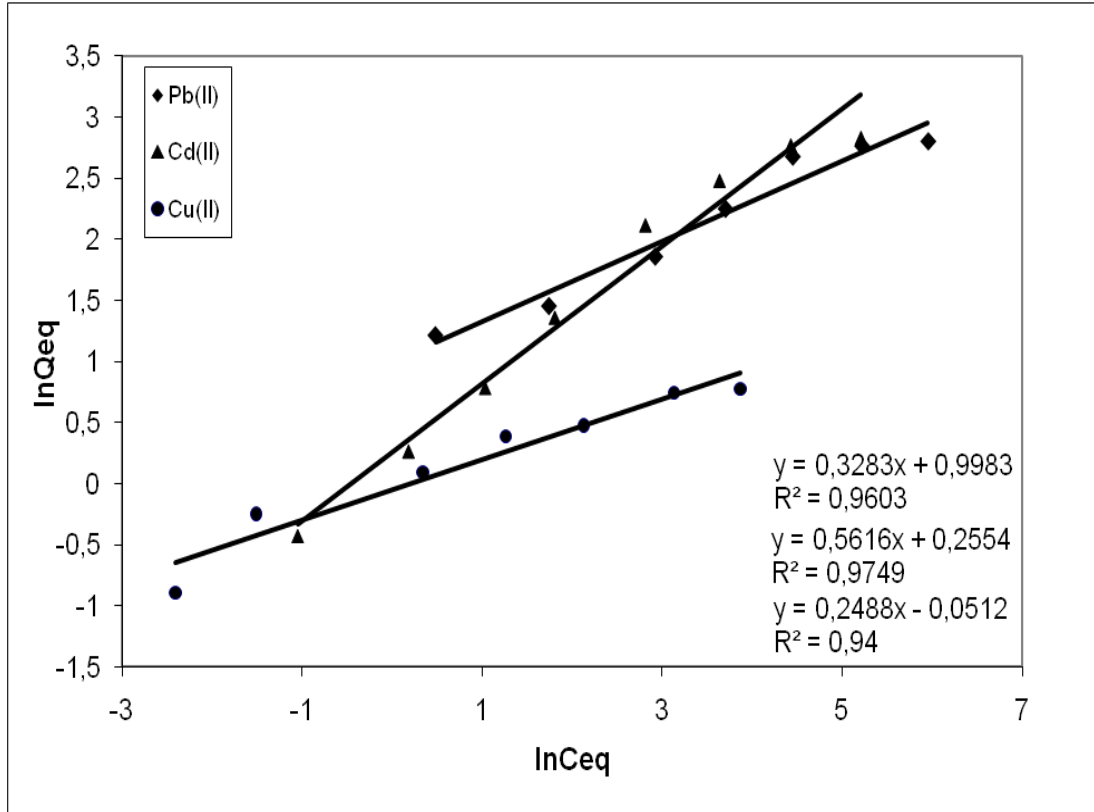
Denklemin doğrusallaştırılmış formu:

$$\ln Q_{eq} = \ln K_F + (1/n) \cdot \ln C_{eq} \quad (2.4)$$

şeklindedir.

$\ln Q_{eq}$ 'nin  $\ln C_{eq}$ 'ye karşı grafiğinin düz bir doğru vermesi gerekir. Adsorpsiyon sabitleri kesim noktası ve eğimden hesaplanabilir.  $K_f$  ve n çeşitli çevresel faktörlere bağlı olarak değişen deneysel sabitlerdir. Grafikten elde edilen doğrunun y eksenini kesim noktası  $\ln K_F$ 'yi; eğimi ise  $1/n$ 'i verir.  $K_F$  ve  $1/n$  sırasıyla adsorpsiyon kapasitesini ve adsorpsiyon şiddetini gösteren Freundlich sabitleridir.  $1/n$  heterojenite faktörü olarak adlandırılır ve 0-1 aralığında değerler alır. Yüzey ne kadar heterojense,  $1/n$  değeri o kadar sıfıra yakın olur.

Şekil 4.8’ de Deneysel verilerin Freundlich izoterminine uygunluğuna da bakılmıştır. Grafiğin doğrusal çıkması Freundlich adsorpsiyon izoterminin uygulanabilirliğini gösterir. Şekilden görüldüğü gibi; korelasyon katsayı değerleri Langmuir izotermlerine göre daha düşüktür. Hesaplanan  $K_F$  değerleri Pb(II) için 2,714, Cd(II) için 1,214 ve Cu(II) için 0,950’dir.  $1/n$  katsayı değerleri ise sırasıyla Pb(II) için 0,3283, Cd(II) için 0,5616 ve Cu(II) için 0,2488’dir.



Şekil 4.8. Ağır metal iyonu adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermleri. pH: 6,0; sıcaklık: 25°C. izotermleri.

Langmuir ve Freundlich izotermleri için hesaplanan değerler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Aktif karbonların adsorpsiyon izoterm sabitleri.

Metal iyonu	Langmuir sabitleri			Freundlich sabitleri			
	$Q_{den.}$ (mg/g)	$Q_{max}$ (mg/g)	$b$ (L/mg)	$R^2$	$K_F$	$1/n$	$R^2$
Pb(II)	16,44	17,09	0,060	0,9933	2,714	0,3283	0,9603
Cd(II)	17,03	18,38	0,066	0,9866	1,290	0,5616	0,9749
Cu(II)	2,17	2,20	0.904	0,9966	0,950	0,2488	0,9400

Çalışmamızda metal iyonlarının aktif karbona adsorpsiyonuna pH'ın etkisini saptamak için kesikli sistemdeki adsorpsiyon çalışmaları pH = ~3.0 - ~7.0 aralığında yapılmıştır. Sonuçlardan, pH'ın metal iyonlarının adsorpsiyonuna önemli derecede etki ettiği söylenebilir. Aktif karbonlarda pH < 4.0'de metal iyonlarına karşı düşük Q değerlerine sahipken pH = 5.0 - 6.0 aralığında Q değerleri artmıştır. Maksimum adsorpsiyon için en uygun pH değeri 6.0 olarak belirlenmiştir.

Aktif karbonlara ağır metal iyonlarının adsorpsiyon hızları incelendiğinde 45-60 dakika arasında dengeye ulaştığı söylenebilir.

Ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunun, ortamdaki ağır metal iyonu derişimi ile değişimini incelendiğinde, çözeltideki metal iyonlarının derişiminin artmasıyla, adsorplanan metal iyonu miktarı önce hızla artmakta daha sonra metal iyonlarının bağlanabileceği bölgelerin dolmasıyla sabit kalmaktadır.

Pb(II), Cd(II) ve Cu(II) için maksimum adsorpsiyon değerleri sırasıyla 16,44 mg/g, 17,03 mg/g, ve 2,17 mg/g olarak belirlenmiştir. Ağır metal iyonu adsorpsiyon kapasiteleri sıralaması kütle bazında Cd(II) > Pb(II) > Cu(II) şeklindedir.

Literatürde yapılan değişik biyokütle kaynaklarından elde edilen aktif karbonlarla ilgili ağır metal adsorpsiyon değerleriyle (Çizelge 4.5.) kıyaslandığında, bu

çalışmadaki adsorpsiyon değerlerinin bazı çalışmalardan daha yüksek bazılardan ise daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Literatürde çeşitli biyokütle kaynaklarından elde edilen aktif karbonlarla ilgili ağır metal adsorpsiyon değerleri

Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Biyokütle Çeşidi	Literatür	Maksimum adsorbsiyon kapasitesi (mg/g)		
		Pb(II)	Cd(II)	Cu(II)
Deniz iğdesi çekirdeği	[108]	51.81		
Kayısı çekirdeği	[158]	21.38		
Su Bitkisi	[159]	16.61		
Kayısı Çekirdeği	[160]	22.85	33.57	24.21
Atık Bitki Kabuğu	[161]	21.80	15.70	19.50
Kauçuk odunu	[162]			5.73
Zeytin çekirdeği	[71]		1.18	
Şeker kamışı	[163]	8.50		
<b>Atık odun esaslı kompozit</b>	<b>Bu çalışma</b>	<b>16.44</b>	<b>17.03</b>	<b>2.17</b>

Aktif karbonların ağır metal adsorpsiyon verilerine Langmuir izoterm denklemi uygulanmıştır ve elde edilen sonuçlardan Langmuir adsorpsiyon izoterminin bu sisteme uygun olduğunu görülmüştür. Karbonların maksimum adsorpsiyon kapasiteleri deneysel olarak Pb(II) için 16,44 mg/g, Cd(II) için 17,03 mg/g ve Cu(II) için 2,17 mg/g olarak bulunmuştur. Teorik adsorpsiyon kapasiteleri ise Pb(II) için 17,09 mg/g, Cd(II) için 18,38 mg/g ve Cu(II) için 2,20 mg/g olarak bulunmuştur. Ayrıca, teorik adsorpsiyon kapasitelerinin deneysel adsorpsiyon kapasitelerine çok yakın olduğu görülmektedir.



Deneysel verilerin Freundlich izotermine uygunluğuna da bakılmıştır. Elde edilen korelasyon katsayı değerleri Langmuir izotermine göre daha düşüktür. Hesaplanan  $K_F$  değerleri Pb(II) için 2,714, Cd(II) için 1,214 ve Cu(II) için 0,950'dir.  $1/n$  katsayı değerleri ise sırasıyla Pb(II) için 0,3283, Cd(II) için 0,5616 ve Cu(II) için 0,2488'dir.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE YORUM

Bu tezin birinci kısmında yapılan deneylerde, atık suntalam odun talaşından, sodyum hidroksit kullanılarak kimyasal aktivasyon ile 600 ve 800°C piroliz sıcaklıklarında aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Piroliz sıcaklığının ve kimyasal aktivasyonda kullanılan sodyum hidroksitin farklı emdirme oranlarının elde edilen aktif karbonların verimlerine ve karakteristiklerine etkisi incelenmiştir.

Hem kimyasal derişimi hem de karbonizasyon sıcaklığı aktif karbon verimine etki etmiştir. 600°C piroliz sıcaklığında elde edilen aktif karbonların verimleri 800°C’de elde edilen aktif karbonların verimlerinden daha yüksektir. Aynı piroliz sıcaklığında farklı emdirme oranlarındaki deneylere bakıldığında, kimyasal aktivasyonda kullanılan sodyum hidroksit derişimi arttıkça elde edilen aktif karbonların veriminde azalma olmuştur. Yüksek kimyasal derişimi ve yüksek sıcaklık sonucunda düşük miktarda aktif karbon oluşmasına sodyum hidroksit ile karbonların etkileşimindeki artışın neden olabileceği düşünülmektedir.

Aktivasyonda kullanılan kimyasal derişimi ve karbonizasyon sıcaklığı elde edilen aktif karbonların karakteristiğine de etki etmiştir. Aktif karbonların karakteristikleri incelendiğinde, sodyum hidroksit derişiminin artmasıyla aktif karbonların kül içeriğinde azalma olduğu, uçucu madde miktarının ise piroliz sıcaklığı artışında bile çok fazla değişmediği görülmüştür. Elementel analiz sonuçları incelendiğinde en yüksek karbon miktarı 800°C’de en yüksek bindirme oranıyla (ağ. %100) kimyasal aktivasyon yapılan deneyde olmuştur. 800°C karbonizasyon sıcaklığında sodyum hidroksit derişiminin artmasıyla aktif karbonların yüzey alanlarında artış olurken, 600°C’de NaOH derişiminin artmasıyla aktif karbonların yüzey alanlarında artış meydana gelmemiştir.

İkinci kısımda elde edilen aktif karbonlardan Q değerine göre en yüksek olan aktif karbona ağır metal iyonu adsorpsiyonu gerçekleştirilmiştir. Ortam pH'ının ve ortamdaki ağır metal iyonu başlangıç derişiminin adsorpsiyona etkisi incelenmiştir.

Kesikli sistemde gerçekleştirilen adsorpsiyon deney sonuçlarına göre pH, metal iyonlarının adsorpsiyonuna önemli derece etki etmiştir. pH = ~3.0 - ~7.0 aralığında gerçekleştirilen adsorpsiyon deneyleri sonucunda maksimum adsorpsiyon için en uygun pH değeri 6.0 olmuştur. Ortamdaki ağır metal iyonu derişimi de ağır metal iyonlarının adsorpsiyonuna etki etmiştir. Çözeltideki metal iyonları derişiminin artmasıyla, adsorplanan metal iyonu miktarı önce hızla artmış sonra metal iyonlarının bağlanabileceği bölgelerin dolmasıyla sabit kalmıştır. Ağır metal iyonu adsorpsiyon kapasiteleri sıralaması kütle bazında Cd(II) > Pb(II) > Cu(II) şeklinde olmuştur. Aktif karbonların ağır metal adsorpsiyon verilerine Freundlich ve Langmuir izoterm denklemleri uygulanmıştır. Freundlich izoterm korelasyon katsayı değerleri Langmuir izotermine göre daha düşük olmuştur. Elde edilen sonuçlardan Langmuir adsorpsiyon izotermine bu sisteme uygun olduğunu görülmüştür.

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda atık suntalam odun talaşının kimyasal aktivasyon ile aktif karbon elde edilebileceği ve elde edilen bu aktif karbonların atık sular gibi ağır metal iyonları içeren kaynaklardan ağır metallerin adsorpsiyonu için kullanılabilceği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. Topal, M. ve Arslan, E. I., “Biyokütle enerjisi ve Türkiye”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 241-248 (2008).
2. Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y. and Kurt, R., “Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi”, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (19): 63-75 (2011).
3. Akova, İ., “Biyokütle enerjisi”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 153-175 (2008).
4. Basu, P., “Biomass Gasification and Pyrolysis”, *Elsevier Inc.*, Oxford, 29-120 (2010).
5. Akalın, M. K. , “Tütün artığının katalitik pirolizi” , Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2-27 (2011).
6. McMillan, J. D., “Biotechnological routes to biomass conversion”, *DOE/NASULGC Biomass&Solar Energy Workshops*, National Renewable Energy Laboratory, USA, 1-120 (2004).
7. Demircioğlu, G., “Lignoselülozik materyallerin termal parçalanma mekanizmaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1998).
8. Tüzün, C., “Karbonhidratların yapıları”, Biyokimya, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 28-30 (2002).
9. Huber, G. W., Iborra, S. and Corma, A., “Synthesis of transportation fuels from biomass: Chemistry, catalysts and engineering”, *Chemical Reviews*, 106 (9): 4044-4098 (2006).
10. Gómez Díaz, C. J., “Understanding biomass pyrolysis kinetics: Improved modeling based on comprehensive thermokinetic analysis”, Ph.D. Thesis, *Universitat Politècnica de Catalunya*, Barcelona, 3-4 (2006).
11. Yokoyama, S. and Matsumura, Y., “The Asian Biomass Handbook”, *The Japan Institute of Energy*, Japan, 21-115 (2008).
12. Sun, R.C., “Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels”, *Elsevier*, Oxford, 9-137 (2010).

13. Rowell, R. M., Pettersen, R., Han, J. S., Rowell, J. S. and Tshabalala, M. A., "Cell wall chemistry", Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, *Taylor&Francis Group*, Boca Raton, 9-40 (2005).
14. Vigouroux, R. Z., "Pyrolysis of biomass, rapid pyrolysis at high temperature, slow pyrolysis for active carbon preparation", Ph.D. Thesis, *Royal Institute of Technology, Department of Chemical Engineering and Technology*, Stockholm, 4-10 (2001).
15. Laine, C., "Structures of hemicelluloses and pectins in wood and pulp", Ph.D. Thesis, *The Department of Chemical Technology, Helsinki University of Technology*, Espoo, Finland, 11-23 (2005).
16. Brunow, G., Kilpeläinen, I., Sipilä, J., Syrjänen, K., Karhunen, P., Setälä, H. and Rummakko, "Oxidative coupling of phenols and the biosynthesis of lignin. In lignin and lignan biosynthesis", *American Chemical Society Symposium Series 697*, Washington D.C., USA, 131-147 (1998).
17. Bridgwater, A. V., "Biomass Fast Pyrolysis", *Thermal Science*, 8 (2): 21-49 (2004).
18. Klass, D. L., "Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals", *Academic Press*, San Diego California, 199-209, 225-226 (1998).
19. Di Blasi, C., "Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis", *Progress in Energy and Combustion Science*, 34 (1): 47-90 (2008).
20. Youngquist, J. A., "Wood-based composites and panel products", Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, *Forest Products Laboratory*, Madison USA, 1-31 (1999).
21. Azargohar, R., "Production of activated carbon and its catalytic application for oxidation of hydrogen sulphide", Ph.D. Thesis, *The Department of Chemical Engineering, University of Saskatchewan*, Canada, 244 (2009).
22. Yağşi, N. U., "Production and characterization of activated carbon from apricot stones", Master Thesis, *The Department of Chemical Engineering, Middle East Technical University*, Ankara, 114 (2004).
23. Bansal, R. C. and Goyal, M., "Activated Carbon Adsorption" *Taylor&Francis Group*, Florida 1-60 (2007).
24. Adinata, D. , Wan Daud , W. M. A. and Aroua, M. K., "Preparation and characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>", *Bioresource Technology* , 98 (1): 145-149 (2007).
25. Birbas, D., "Preparation of activated carbon: forest residues activated with phosphoric acid and zinc sulfate", Master Thesis, *Royal Institute of Technology, Stockholm*, 8-45 (2011).

26. Mohanty, K., Das, D. and Biswas, M.N., “Adsorption of phenol from aqueous solutions using activated carbons prepared from *Tectona grandis* sawdust by ZnCl<sub>2</sub> activation”, *Chemical Engineering Journal*, 115 (1-2): 121-131 (2005).
27. Jabit, N.B., “The production and characterization of activated carbon using local agricultural waste through chemical activation process”, Master Thesis, *The Department of Material and Mineral Engineering, Universiti Sains Malaysia*, Malaysia, 2-24 (2007).
28. Anoop Krishnan, K. and Anirudhan, T. S., “Uptake of heavy metals in batch systems by sulfurized steam activated carbon prepared from sugarcane bagasse pith”, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41 (20): 5085–5093 (2002).
29. Kalderis, D., Koutoulakis, D., Paraskeva, P., Diamadopoulos, E., Ota, E., Olivares del Valle, J. and Fernández-Pereira, C., “Adsorption of polluting substances on activated carbons prepared from rice husk and sugarcane bagasse”, *Chemical Engineering Journal*, 144 (1): 42-50 (2008).
30. Cronje, K. J., Chetty, K., Carsky, M., Sahu, J. N. and Meikap, B. C., “Optimization of chromium(VI) sorption potential using developed activated carbon from sugarcane bagasse with chemical activation by zinc chloride”, *Desalination*, 275 (1-3): 276-284 (2011).
31. Anoop Krishnan, K., Sreejalekshmi, K. G. and Baiju, R. S., “Nickel(II) adsorption onto biomass based activated carbon obtained from sugarcane bagasse pith”, *Bioresource Technology*, 102 (22): 10239-10247 (2011).
32. Tsai, W. T., Chang, C. Y. and Lee, S. L., “Preparation and characterization of activated carbons from corn cob”, *Carbon*, 35 (8): 1198-1200 (1997).
33. Tsai, W. T., Chang, C. Y., Wang, S. Y., Chang, C. F., Chien, S. F. and Sun, H. F., “Cleaner production of carbon adsorbents by utilizing agricultural waste corn cob”, *Resources, Conservation and Recycling*, 32 (1): 43-53 (2001).
34. Preethi, S., Sivasamy, A., Sivanesan, S., Ramamurthi, V. and Swaminathan, G., “Removal of safranin basic dye from aqueous solutions by adsorption onto corncob activated carbon”, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45 (22): 7627-7632 (2006).
35. Bagheri, N. and Abedi, J., “Adsorption of methane on corn cobs based activated carbon”, *Chemical Engineering Research and Design*, 89 (10): 2038-2043 (2011).
36. Salame, I. I. and Bandoz, T. J., “Comparison of the surface features of two wood-based activated carbons”, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 39 (2): 301-306 (2000).

37. Benaddi, H., Bandosz, T. J., Jagiello, J., Schwarz, J. A., Rouzaud, J. N., Legras, D. and Béguin, F., "Surface functionality and porosity of activated carbons obtained from chemical activation of wood", *Carbon*, 38 (5): 669-674 (2000).
38. Wu, F.-C. and Tseng, R.-L., "Preparation of highly porous carbon from fir wood by KOH etching and CO<sub>2</sub> gasification for adsorption of dyes and phenols from water", *Journal of Colloid and Interface Science*, 294 (1): 21-30 (2006).
39. Yorgun, S., Vural, N. and Demiral, H., "Preparation of high-surface area activated carbons from Paulownia wood by ZnCl<sub>2</sub> activation", *Microporous and Mesoporous Materials*, 122 (1-3): 189-194 (2009).
40. Sahu, J. N., Acharya, J. and Meikap, B. C., "Optimization of production conditions for activated carbons from Tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology", *Bioresource Technology*, 101 (6): 1974-1982 (2010).
41. Bashkova, S. and Bandosz, T. J., "The effects of urea modification and heat treatment on the process of NO<sub>2</sub> removal by wood-based activated carbon", *Journal of Colloid and Interface Science*, 333 (1): 97-103 (2009).
42. Wacha, A., Varga, Z., Vainio, U., Hoell, A. and Bóta, A., "Small-angle X-ray scattering experiments and computer simulations to characterise anisotropy of activated carbons prepared from wood", *Carbon*, 49 (12): 3958-3971 (2011).
43. Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. and Rodríguez, J. J., "Preparation and characterization of activated carbons from eucalyptus kraft lignin", *Carbon*, 31 (1): 87-95 (1993).
44. Hayashi, J., Kazehaya, A., Muroyama, K. and Watkinson, A. P., "Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation", *Carbon*, 38 (13): 1873-1878 (2000).
45. Baklanova, O. N., Plaksin, G. V., Drozdov, V. A., Duplyakin, V. K., Chesnokov, N. V. and Kuznetsov, B. N., "Preparation of microporous sorbents from cedar nutshells and hydrolytic lignin", *Carbon*, 41 (9): 1793-1800 (2003).
46. Cotoruelo, L. M., Marqués, M. D., Rodríguez-Mirasol, J., Rodríguez, J. J. and Cordero, T., "Lignin-based activated carbons for adsorption of sodium dodecylbenzene sulfonate: Equilibrium and kinetic studies", *Journal of Colloid and Interface Science*, 332 (1): 39-45 (2009).
47. Cardoso, B., Mestre, A. S., Carvalho, A. P. and Pires, J., "Activated carbon derived from cork powder waste by KOH activation: Preparation, characterization, and VOCs adsorption", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 47 (16): 5841-5846 (2008).

48. Williams, P. T. and Reed, A. R., "High grade activated carbon matting derived from the chemical activation and pyrolysis of natural fibre textile waste", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71 (2): 971-986 (2004).
49. Li, W., Zhang, L., Peng, J., Li, N. and Zhu, X., "Preparation of high surface area activated carbons from tobacco stems with  $K_2CO_3$  activation using microwave radiation", *Industrial Crops and Products*, 27 (3): 341-347 (2008).
50. Kılıç, M., Apaydın-Varol, E. and Pütün, A. E., "Adsorptive removal of phenol from aqueous solutions on activated carbon prepared from tobacco residues: Equilibrium, kinetics and thermodynamics", *Journal of Hazardous Materials*, 189 (1-2): 397-403 (2011).
51. Ettlign, B. V., Adams, M. F. and Schecter, D. J., "Granular-activated carbon from whole wheat", *Industrial and Engineering Chemistry Product Research and Development*, 11 (4): 461-463 (1972).
52. Karagöz, S., Tay, T., Uçar, S. and Erdem, M., "Activated carbons from waste biomass by sulfuric acid activation and their use on methylene blue adsorption", *Bioresource Technology*, 99 (14): 6214-6222 (2008).
53. Tay, T., Uçar, S. and Karagöz, S., "Preparation and characterization of activated carbon from waste biomass", *Journal of Hazardous Materials*, 165 (1-3): 481-485 (2009).
54. Usmani, T. H., Ahmad, T. W. and Yousufzai, A. H. K., "Preparation and liquid-phase characterization of granular activated-carbon from rice husk", *Bioresource Technology*, 48 (1): 31-35 (1994).
55. Awwad, N. S., Gad, H. M. H., Ahmad, M. I. and Aly, H. F., "Sorption of lanthanum and erbium from aqueous solution by activated carbon prepared from rice husk", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 81 (2): 593-599 (2010).
56. Qiao, W., Korai, Y., Mochida, I., Hori, Y. and Maeda, T., "Preparation of an activated carbon artifact: oxidative modification of coconut shell-based carbon to improve the strength", *Carbon*, 40 (3): 351-358(2002).
57. Su, W., Zhou, L. and Zhou, Y., "Preparation of microporous activated carbon from coconut shells without activating agents", *Carbon*, 41 (4): 861-863 (2003).
58. Daud, W. M. A. W. and Ali, W. S. W., "Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell", *Bioresource Technology*, 93 (1): 63-69 (2004).
59. Sekar, M., Sakthi, V. and Rengaraj, S., "Kinetics and equilibrium adsorption study of lead(II) onto activated carbon prepared from coconut shell", *Journal of Colloid and Interface Science*, 279 (2): 307-313 (2004).



60. Afrane, G. and Achaw, O. W., "Effect of the concentration of inherent mineral elements on the adsorption capacity of coconut shell-based activated carbons", *Bioresource Technology*, 99 (14): 6678-6682 (2008).
61. Toles, C. A., Marshall, W. E. and Johns, M. M., "Granular activated carbons from nutshells for the uptake of metals and organic compounds", *Carbon*, 35 (9): 1407-1414 (1997).
62. Hayashi, J., Horikawa, T., Takeda, I., Muroyama, K. and Ani, F. N., "Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with  $K_2CO_3$ ", *Carbon*, 40 (13): 2381-2386 (2002).
63. Wang, K., Li, C., San, H. and Do, D. D., "The importance of finite adsorption kinetics in the sorption of hydrocarbon gases onto a nutshell-derived activated carbon", *Chemical Engineering Science*, 62 (23): 6836-6842 (2007).
64. Sumathi, S., Bhatia, S., Lee, K. T. and Mohamed, A. R., "Optimization of microporous palm shell activated carbon production for flue gas desulphurization: Experimental and statistical studies", *Bioresource Technology*, 100 (4): 1614-1621 (2009).
65. Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W. and Mjalli, F. S., "Using granular activated carbon prepared from oil palm shell by  $ZnCl_2$  and physical activation for methane adsorption", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 89 (2): 197-203 (2010).
66. Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W. and Mjalli, F. S., "Comparative study of the textural characteristics of oil palm shell activated carbon produced by chemical and physical activation for methane adsorption", *Chemical Engineering Research and Design*, 89 (6): 657-664 (2011).
67. Uçar, S., Erdem, M., Tay, T. and Karagöz, S., "Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by  $ZnCl_2$  activation", *Applied Surface Science*, 255 (21): 8890-8896 (2009).
68. López-González, J. de D., Martínez-Vilchez, F. and Rodríguez-Reinoso, F., "Preparation and characterization of active carbons from olive stones", *Carbon*, 18 (6): 413-418 (1980).
69. El-Sheikh, A. H., Newman, A. P., Al-Daffaee, H. K., Phull, S. and Cresswell, N., "Characterization of activated carbon prepared from a single cultivar of Jordanian Olive stones by chemical and physicochemical techniques", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71 (1): 151-164 (2004).
70. Uğurlu, M., Gürses, A. and Açıkyıldız, M., "Comparison of textile dyeing effluent adsorption on commercial activated carbon and activated carbon prepared from olive stone by  $ZnCl_2$  activation", *Microporous and Mesoporous Materials*, 111 (1-3): 228-235 (2008).

71. Kula, İ., Uğurlu, M., Karaoğlu, H. and Çelik, A., “Adsorption of Cd(II) ions from aqueous solutions using activated carbon prepared from olive stone by ZnCl<sub>2</sub> activation”, *Bioresource Technology*, 99 (3): 492-501 (2008).
72. DeBarr, J. A., Lizzio, A. A. and Daley, M. A., “Adsorption of SO<sub>2</sub> on bituminous coal char and activated carbon fiber”, *Energy & Fuels*, 11 (2): 267-271 (1997).
73. Kütahyalı, C. and Eral, M., “Selective adsorption of uranium from aqueous solutions using activated carbon prepared from charcoal by chemical activation”, *Separation and Purification Technology*, 40 (2): 109–114 (2004).
74. Petrova, P., Tsyntsarski, B., Budinova, T., Petrov, N., Velasco, L. F. and Ania, C. O., “Activated carbon from coal tar pitch and furfural for the removal of p-nitrophenol and m-aminophenol”, *Chemical Engineering Journal*, 172 (1): 102– 108 (2011).
75. Cunliffe, A. F. and Williams, P. T., “Influence of process conditions on the rate of activation of chars derived from pyrolysis of used tires”, *Energy & Fuels*, 13 (1): 166-175 (1999).
76. Teng, H., Serio, M. A., Wojtowicz, M. A., Bassilakis, R. and Solomon, P. R., “Reprocessing of used tires into activated carbon and other products” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 34: 3102-3111 (1995).
77. Betancur, M., Martínez, J. D. and Murillo R., “Production of activated carbon by waste tire thermochemical degradation with CO<sub>2</sub>”, *Journal of Hazardous Materials*, 168: (2-3) 882-887 (2009).
78. Tanthapanichakoon, W., Ariyadejwanich, P., Japthong, P., Nakagawa, K., Mukai, S. R. and Tamon, H., “Adsorption–desorption characteristics of phenol and reactive dyes from aqueous solution on mesoporous activated carbon prepared from waste tires”, *Water Research*, 39 (7): 1347-1353 (2005).
79. Gupta, V. K., Gupta, B., Rastogi, A., Agarwal, S. and Nayak, A., “Pesticides removal from waste water by activated carbon prepared from waste rubber tire” *Water Research*, 45 (13): 4047-4055 (2011).
80. Ariyadejwanich, P., Tanthapanichakoon, W., Nakagawa, K., Mukai, S. R. and Tamon, H., “Preparation and characterization of mesoporous activated carbon from waste tires” *Carbon*, 41 (1): 157-164 (2003).
81. Mui, E. L. K., Ko, D. C. K. and McKay, G., “Production of active carbons from waste tyres-a review”, *Carbon*, 42 (14): 2789-2805 (2004).
82. Lorenc-Grabowska, E., Gryglewicz, G., Machnikowski, J., Díez, M. A. and Barriocanal, C., “Activated carbons from coal/pitch and polyethylene terephthalate blends for the removal of phenols from aqueous solutions”, *Energy & Fuels*, 23 (5): 2675–2683 (2009).

83. Navarro, M. V., Murillo, R., López, J. M., García, T., Callén, M. S. and Mastral, A. M., “Modeling of activated carbon production from lignite, *Energy & Fuels*, 20 (6): 2627-2631 (2006).
84. Liu, P. K. T., “Surface and porous characterization of two commercial activated carbons with polymer and petroleum coke as precursors” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 31 (9): 2216-2222 (1992).
85. Kawano, T., Kubota, M., Onyango, M. S., Watanabe, F. and Matsuda, H., “Preparation of activated carbon from petroleum coke by KOH chemical activation for adsorption heat pump”, *Applied Thermal Engineering*, 28 (8-9): 865–871 (2008).
86. Lian, F., Xing, B. and Zhu, L., “Comparative study on composition, structure, and adsorption behavior of activated carbons derived from different synthetic waste polymers”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 360 (2): 725-730 (2011).
87. Yamashita, J., Shioya, M., Kikutani, T. and Hashimoto, T., “Activated carbon fibers and films derived from poly(vinylidene fluoride)”, *Carbon*, 39 (2): 207-214 (2001).
88. Zhang, S-J., Yu, H-Q. and Feng, H-M., “PVA-based activated carbon fibers with lotus root-like axially porous structure”, *Carbon*, 44 (10): 2059-2068 (2006).
89. Vázquez-Santos, M. B., Castro-Muñiz, A., Martínez-Alonso, A. and Tascón, J. M. D., “Porous texture evolution in activated carbon fibers prepared from poly(p-phenylene benzobisoxazole) by carbon dioxide activation”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 116 (1-3): 622-626 (2008).
90. Tamai, H., Kouzu, M., Yasuda, H., “Preparation of highly mesoporous and high surface area activated carbons from vinylidene chloride copolymer containing yttrium acetylacetonate”, *Carbon*, 41 (8): 1678-1681 (2003).
91. Tamai, H., Yoshida, T., Sasaki, M., Yasuda, H., “Dye adsorption on mesoporous activated carbon fiber obtained from pitch containing yttrium complex”, *Carbon*, 37 (6): 983-989 (1999).
92. Bagheri, N. and Abedi, J., “Preparation of high surface area activated carbon from corn by chemical activation using potassium hydroxide”, *Chemical Engineering Research and Design*, 87 (8): 1059-1064 (2009).
93. Zdravkov, B. D., Čermák, J. J., Sefara, M. and Janku, J., “Pore classification in the characterization of porous materials: a perspective”, *Central European Journal of Chemistry*, 5 (2): 385–395 (2007).
94. Wu, J., “Modeling adsorption of organic compounds on activated carbon”, Master Thesis, *The Department of Analytical Chemistry, University of Umea*, Sweden, 5-40 (2004).

95. Çaylak, E., “Ucuz adsorban kullanımıyla sulardan Cr(VI), fenol ve boyar maddelerin uzaklaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 13-40 (2007).
96. Yılmaz, O., “Deri sanayi katı atıklarından aktif karbon üretilebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 7-36 (2005).
97. Prahas, D., Kartika, Y., Indraswati, N. and Ismadji, S., “Activated carbon from jackfruit peel waste by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization”, *Chemical Engineering Journal*, 140: 32-42 (2008).
98. Marsh, H. and Reinoso, F. R., “Activated carbon”, *Elsevier Ltd.*, Oxford, 454-460 (2006).
99. Abdallah, W., “Production and characterization of activated carbon from sulphonated styrene divinylbenzene copolymer”, Master Thesis, *The Department of Chemical Engineering, Middle East Technical University*, 7-47 (2004).
100. Sun, K. and Jiang, C. J., “Preparation and characterization of activated carbon from rubber-seed shell by physical activation with steam”, *Biomass and Bioenergy*, 34 (4): 539-544 (2010).
101. Okada, K., Yamamoto, N., Kameshima, Y. and Yasumori, A., “Porous properties of activated carbons from waste newspaper prepared by chemical and physical activation”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 262 (1): 179-193 (2003).
102. Valente Nabais, J. M., Laginhas, C. E. C., Carrott, P. J. M. and Ribeiro Carrott, M. M. L., “Production of activated carbons from almond shell”, *Fuel Processing Technology*, 92 (2): 234-240 (2011).
103. Aworn, A., Thiravetyan, P. and Nakbanpote, W., “Preparation and characteristics of agricultural waste activated carbon by physical activation having micro- and mesopores”, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 82 (2): 279-285 (2008).
104. Baçaoui, A., Yaacoubi, A., Dahbi, A., Bennouna, C., Phan Tan Luu, R., Maldonado-Hodar, F. J., Rivera-Utrilla, J. and Moreno-Castilla, C., “Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes”, *Carbon*, 39 (3): 425-432 (2001).
105. Sánchez, A. R., Elguézabal, A. A. and Torre Saenz, L. de L., “CO<sub>2</sub> activation of char from *Quercus agrifolia* wood waste”, *Carbon*, 39 (9): 1367-1377 (2001).
106. Ould-Idriss, A., Stitou, M., Cuerda-Correa, E. M., Fernández-González, C., Macías-García, A., Alexandre-Franco, M. F. and Gómez-Serrano V.,

- “Preparation of activated carbons from olive-tree wood revisited. II. Physical activation with air”, *Fuel Processing Technology*, 92 (2): 266-270 (2011).
107. Balcı, S., “Kinetics of activated carbon production from almond shell, hazelnut shell and beech wood and characterization of products”, Ph.D. Thesis, *The Department of Chemical Engineering, Middle East Technical University*, Ankara, (1992).
  108. Mohammadi, S. Z., Karimi, M. A., Afzali, D. and Mansouri. F., “Removal of Pb(II) from aqueous solutions using activated carbon from sea-buckthorn stones by chemical activation”, *Desalination*, 262 (1-3): 86-93 (2010).
  109. Olivares-Marin, M., Fernandez-Gonzalez, C., Macias-Garci, A. and Gomez-Serrano, V., “Preparation of activated carbon from cherry stones by chemical activation with ZnCl<sub>2</sub>”, *Applied Surface Science*, 252 (17): 5967–5971 (2006).
  110. Nahil, M. A. and Williams, P. T., “Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks”, *Biomass and Bioenergy*, 37: 142-149 (2012).
  111. Vernersson, T., Bonelli, P. R., Cerrella, E. G. and Cukierman, A. L., “*Arundo donax* cane as a precursor for activated carbons preparation by phosphoric acid activation”, *Bioresource Technology*, 83 (2): 95-104 (2002).
  112. Yakout, S. M. and El-Deen, G. S., “Characterization of activated carbon prepared by phosphoric acid activation of olive stones”, *Arabian Journal of Chemistry*, DOI: 10.1016/j.arabjc.2011.12.002 (2012).
  113. Girgis, B. S., Yunis, S. S. and Soliman, A. M., “Characteristics of activated carbon from peanut hulls in relation to conditions of preparation”, *Materials Letters*, 57 (1): 164-172 (2002).
  114. Benadjemia, M., Millière, L., Reinert, L., Benderdouche, N. and Duclaux, L., “Preparation, characterization and Methylene Blue adsorption of phosphoric acid activated carbons from globe artichoke leaves”, *Fuel Processing Technology*, 92 (6): 1203-1212 (2011).
  115. Guo, Y. and Rockstraw, D. A., “Physicochemical properties of carbons prepared from pecan shell by phosphoric acid activation”, *Bioresource Technology*, 98 (8): 1513-1521 (2007).
  116. Deng, H., Li, G., Yang, H., Tang, J. and Tang, J., “Preparation of activated carbons from cotton stalk by microwave assisted KOH and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activation”, *Chemical Engineering Journal*, 163 (3): 373-381 (2010).
  117. Foo, K. Y. and Hameed, B. H., “Utilization of rice husks as a feedstock for preparation of activated carbon by microwave induced KOH and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activation”, *Bioresource Technology*, 102 (20): 9814-9817 (2011).

118. Guo, J. and Lua, A. C., “Textural and chemical characterisations of activated carbon prepared from oil-palm stone with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and KOH impregnation”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 32 (1-2): 111-117 (1999).
119. Carvalho, A. P., Cardoso, B., Pires, J. and Brotas de Carvalho, M., “Preparation of activated carbons from cork waste by chemical activation with KOH”, *Carbon*, 41 (14): 2873-2884 (2003).
120. Tseng, R.-L., “Physical and chemical properties and adsorption type of activated carbon prepared from plum kernels by NaOH activation”, *Journal of Hazardous Materials*, 147: 1020-1027 (2007).
121. Sütcü, H. and Demiral, H., “Production of granular activated carbons from loquat stones by chemical activation”, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 84 (1): 47-52 (2009).
122. Cazetta, A. L., Vargas, A. M. M., Nogami, E. M., Kunita, M. H., Guilherme, M. R., Martins, A. C., Silva, T. L., Moraes, J. C. G. and Almeida, V. C., “NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption”, *Chemical Engineering Journal*, 174 (1): 117-125 (2011).
123. Hu, Z. and Srinivasan, M. P., “Preparation of high-surface-area activated carbons from coconut shell”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 27 (1): 11-18 (1999).
124. Chandra, T. C., Mirna, M. M., Sunarso, J., Sudaryanto, Y. and Ismadji, S., “Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization”, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 40 (4): 457-462 (2009).
125. Spahis, N., Addoun, A., Mahmoudi, H. and Ghaffour, N., “Purification of water by activated carbon prepared from olive stones”, *Desalination*, 222 (1-3): 519-527 (2008).
126. Guo, J. and Lua, A. C., “Textural and chemical properties of adsorbent prepared from palm shell by phosphoric acid activation”, *Materials Chemistry and Physics*, 80 (1): 114-119 (2003).
127. Gomez-Serrano, V., Cuerda-Correa, E. M., Fernandez-Gonzalez, M. C., Alexandre-Franco, M. F. and Macias-Garcia, A., “Preparation of activated carbons from chestnut wood by phosphoric acid-chemical activation: Study of microporosity and fractal dimension”, *Materials Letters*, 59 (7): 846-853 (2005).
128. Guo, J., Luo, Y., Lua, A. C., Chi, R., Chen, Y., Bao, X. and Xiang, S., “Adsorption of hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S) by activated carbons derived from oil-palm shell”, *Carbon*, 45 (2): 330-336 (2007).

129. Guo, Y. and Rockstraw, D. A., "Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation", *Microporous and Mesoporous Materials*, 100 (1-3): 12-19 (2007).
130. Tekin, K., "İmidazol fonksiyonel grubu içeren kriyojellerin hazırlanması ve ağır metal uzaklaştırılması amacıyla kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 4-59 (2010).
131. Seiler H.G. and Sieger H., "Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds", *Marcel Dekker*, New York, 10-1069 (1988).
132. Ireland, M. P., Dillon, H. K. and Ho, M. H., "Biological Monitoring of Heavy Metal Ions", *Wiley*, New York, 50-275(1991).
133. Denizli, A., Sanli, N., Garipcan, B., Patir, S. and Alsancak, G., "Methacryloylamidoglutamic acid incorporated porous Poly(methyl methacrylate) beads for heavy-metal removal", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 43 (19): 6095-6101 (2004).
134. Beuvais, R. A. and Alexandratos, S. D., "Polymer-supported reagents for the selective complexation of metal ions: an overview", *Reactive and Functional Polymers*, 36 (2): 113-123 (1998).
135. Shukla, S. R. and Sakhardande, V. D., "Metal ion removal by dyed cellulosic materials", *Journal of Applied Polymer Science*, 42 (3): 829-835 (1991).
136. Lezzi, A. and Cobianco, S., "Chelating resins supporting dithiocarbamate and methylthiourea groups in adsorption of heavy metal ions", *Journal of Applied Polymer Science*, 54 (7): 889-897 (1994).
137. Leyva-Ramos, R., Bernal-Jacome, L.A., Guerrero-Coronado, R. M. and Fuentes-Rubio, L. F., "Competitive adsorption of Cd (II) and Zn (II) from aqueous solution onto activated carbon", *Separation Science and Technology*, 36 (16): 3673-3687 (2001).
138. Šćiban, M., Klačnja M. and Škrbić B., "Modified softwood sawdust as adsorbent of heavy metal ions from water", *Journal of Hazardous Materials*, 136 (2): 266-271 (2006).
139. Atkins, P. W., "Physical Chemistry Çeviri Editörleri: Yıldız, S., Yılmaz, H. ve Kılıç, E.", *Bilim Yayıncılık*, Ankara, 1014 (2001).
140. Sawyer, C. N., McCarty, P. L. and Parkin, G. F., "Chemistry for Environmental Engineering and Science, 5th Ed.", *McGraw Hill Inc.*, Singapore, 519. (1978).
141. Ghaedi M., Shokrollahi A., Kianfar A. H., Mirsadeghi A. S., Pourfarokhi A. and Soylak M., "The determination of some heavy metals in food samples by flame atomic absorption spectrometry after their separation-preconcentration

- on bis salicyl aldehyde, 1,3 propan diimine (BSPDI) loaded on activated carbon”, *Journal of Hazardous Materials*, 154 (1-3): 128-134 (2008).
142. Liu G., Wang J., Zhu Y. and Zhang X., “Application of multiwalled carbon nanotubes as a solid-phase extraction sorbent for chlorobenzenes”, *Analytical Letters*, 37 (14): 3085-3104 (2004).
  143. Faust, S. D. and Aly, O. M., “Adsorption Processes for Water Treatment”, *Butterworth Publishers*, Stoneham, USA, 509 (1987).
  144. Adil, M., “Preparation, modification and characterization of activated carbons for batch adsorption studies on the removal of selected metal ions”, Master Thesis, *Faculty of Science Universiti Teknologi*, Malaysia, 30-45 (2006).
  145. İleri, R., Sümer, B. ve Şengerür, B., “Biyosorpsiyon kinetiği ve izotermelerinin araştırılması” *Ekoloji Dergisi*, (7): 39-45 (1993).
  146. Freundlich, H. M. F., “Über die adsorption in lösungen”, *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, Frankfurt, 57 (A) : 385-470 (1906).
  147. Treybal, R. E., “Mass Transfer Operations, 3rd Edition”, *McGraw Hill Book Co.*, Singapore, 784 (1981)
  148. Gündüz, T., “İnstrümental Analiz”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 1357 (2005).
  149. Yıldız, A., Genç, Ö. ve Bektaş S., “Enstrümental analiz yöntemleri”, *Hacettepe Üniversitesi Yayınları*, Ankara, 506 (1997).
  150. Lozano-Castello, D., Calo, J., M., Cazorla-Amoros, D. and Linares-Solano A., “Carbon activation with KOH as explored by temperature programmed techniques, and the effects of hydrogen”, *Carbon*, 45 (13): 2529-2536 (2007).
  151. Fierro, V., Torne-Fernandez, V. and Celzard, A., “Methodical study of the chemical activation of Kraft lignin with KOH and NaOH”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 101 (3): 419-431 (2007).
  152. Girods, P., Dufour, A., Fierro, V., Rogaume, Y., Rogaume, C., Zoulalian, A. and Celzard, A. “Activated carbons prepared from wood particleboard wastes: Characterisation and phenol adsorption capacities”, *Journal of Hazardous Materials*, 166 (1): 491-501 (2009).
  153. Wu, F.-C. and Tseng, R.-L., “High adsorption capacity NaOH-activated carbon for dye removal from aqueous solution”, *Journal of Hazardous Materials*, 152 (3): 1256-1267 (2008).
  154. Perrin, A., Celzard, A., Albiniaik, A., Kaczmarczyk, J., Mareche, J. F. and Furdin, G., “NaOH activation of anthracites: effect of temperature on pore textures and methane storage ability”, *Carbon*, 42 (14): 2855-2866 (2004).



155. Demiral, H and Demiral, I., “Surface properties of activated carbon prepared from wastes” *Surface and Interface Analysis*, 40 (3-4) 612-615 (2008).
156. Tekin, K., Uzun, L., Şahin, Ç. A., Bektaş, S. and Denizli, A., “Preparation and characterization of composite cryogels containing imidazole group and use in heavy metal removal”, *Reactive and Functional Polymers*, 71 (10): 985-993 (2011).
157. Langmuir I. “The constitution and fundamental properties of solids and liquids.” *Journal of the American Chemical Society*, 38: 2221-2295 (1916).
158. Mouni, L., Merabet, D., Bouzaza, A. and Belkhiri, L., “Adsorption of Pb(II) from aqueous solutions using activated carbon developed from apricot stone”, *Desalination*, 276 (1-3): 148-153 (2011).
159. Shekinah, P., Kadirvelu, K., Kanmani, P., Senthilkumar, P. and Subburam, V., “Adsorption of lead(II) from aqueous solution by activated carbon prepared from *Eichhornia*” *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77 (4): 458-464 (2002).
160. Kobya, M., Demirbas, E., Senturk, E. and Ince, M. “Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from apricot stone” *Bioresource Technology*, 96 (13): 1518–1521 (2005).
161. Rao, M. M., Ramana, D. K., Sessaiah, K., Wang, M. C. and Chang Chien S. W., “Removal of some metal ions by activated carbon prepared from *Phaseolus aureus* hulls”, *Journal of Hazardous Materials*, 166 (2-3): 1006-1013 (2009).
162. Kalavathy, M. H., Karthikeyan, T., Rajgopal, S. and Miranda, L. R., “Kinetic and isotherm studies of Cu(II) adsorption onto H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-activated rubber wood sawdust”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 292 (2): 354-362 (2005).
163. Zhang, K., Cheung, W. H. and Valix, M., “Roles of physical and chemical properties of activated carbon in the adsorption of lead ions”, *Chemosphere*, 60 (8): 1129-1140 (2005).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Ayşe ZENGİN, 1986 yılında Karabük’ te doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde yaptı. Safranbolu Lisesi’den mezun oldu. Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesinde başladığı yükseköğrenimini 2008 yılında iyi dereceyle bitirdi. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında yüksek lisans programına kaydoldu.

### **İLETİŞİM BİLGİLERİ**

Adres : Atatürk Mahallesi, Ezgi Sitesi B/3 blok Safranbolu/KARABÜK

Tel : 0 546 297 94 46

E –posta : aysezengin86@hotmail.com