



**ATIK LASTİK VE BİYOKÜTLEDEN AKTİF
KARBON HAZIRLANMASI VE
KARAKTERİZASYONU**

Cansu GÜÇLÜ AKSAKAL

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Kubilay TEKİN**

**ATIK LASTİK VE BİYOKÜTLEDEN AKTİF KARBON HAZIRLANMASI
VE KARAKTERİZASYONU**

Cansu GÜÇLÜ AKSAKAL

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Kubilay TEKİN**

**KARABÜK
Mayıs 2021**

Cansu GÜÇLÜ AKSAKAL tarafından hazırlanan “ATIK LASTİK VE BİYOKÜTLEDEN AKTİF KARBON HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Kubilay TEKİN
Tez Danışmanı, Kimya Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/05/2021

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Selhan KARAGÖZ (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. İlknur DURUKAN TEMUGE (HÜ)
Üye : Doç. Dr. Kubilay TEKİN (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim 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.”

Cansu GÜÇLÜ AKSAKAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK LASTİK VE BİYOKÜTLEDEN AKTİF KARBON HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Cansu GÜÇLÜ AKSAKAL

Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Kubilay TEKİN

Mayıs 2021, 41 sayfa

Bu tez kapsamında atık kamyon lastiklerinden (AKL) ve atık biyokütle olan kullanılmış siyah çay yapraklarından (KSCY) aktif karbonlar üretilmiştir. Aktif karbon eldesi piroliz yöntemiyle 800 °C'de kimyasal aktivasyonla gerçekleştirilmiştir. Kimyasal aktivasyon ajanı olarak ağırlıkça % 100 potasyum hidroksit (KOH) ve çinko klorür ($ZnCl_2$) kullanılmıştır. Aktif karbon elde etmek için kullanılan ham maddelerin farklı karışım kombinasyonlarında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Hem KOH hem de $ZnCl_2$ aktivasyonunda KSCY oranı arttıkça aktif karbonların verimleri azalmıştır. Tüm deneylerde, $ZnCl_2$ aktivasyonları ile üretilen aktif karbonların verimleri, KOH ile elde edilenlerden daha yüksek olmuştur. AKL/KSCY karışımlardan 1:3 karışım oranında $ZnCl_2$ aktivasyonu kullanılarak en yüksek BET yüzeyi alanı 527,24 m²/g elde edilmiştir. Karışımdaki KSCY oranı artarken aktif karbonların karbon içeriği de artmıştır. $ZnCl_2$ aktivasyonu, KOH aktivasyonuna göre aktif karbonlarda daha yüksek karbon ve daha düşük oksijen

içeriğine yol açmıştır. Üretilen tüm aktif karbonlar arasında, her iki aktivasyon için (KOH ve ZnCl₂) KSCY'den elde edilen BET yüzey alanları en yüksek olmuştur.

Anahtar Sözcükler : Aktif karbon, atık kamyon lastiği, kullanılmış siyah çay yaprakları, katı atıklar.

Bilim Kodu : 20102

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ACTIVATED CARBON PREPARATION AND CHARACTERIZATION FROM WASTE TIRE AND BIOMASS

Cansu GÜÇLÜ AKSAKAL

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Chemistry**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Kubilay TEKİN

May 2021, 41 pages

In the thesis, activated carbons were produced from waste truck tires (WTT) and from a waste biomass, spent tea leaves (STL). Activated carbons were obtained by chemical activation at 800 °C by pyrolysis method. 100 % potassium hydroxide (KOH) and zinc chloride (ZnCl₂) were used as chemical activation agents. Different results were obtained in different mixture combinations of the raw materials used to obtain activated carbon. The yields of the activated carbons decreased as the ratio of STL increased in both KOH and ZnCl₂ activation. In all experiments, the yields of the activated carbons produced by ZnCl₂ activations were higher than those obtained with KOH. Using ZnCl₂ activation at a mixture ratio of 1:3, the highest BET surface area of 527.24 m²/g was obtained from WTT / STL mixtures. In the mixtures, the highest BET surface area of 527.24 m²/g was obtained using ZnCl₂ activation in a mixture ratio of 1:3. While the ratio of STL in the mixture increased, the carbon

content of activated carbons also increased. ZnCl_2 activation resulted in higher carbon and lower oxygen content in activated carbons compared to KOH activation. Among all the activated carbons produced, the BET surface areas were the highest from the carbonization of STL for both activations (KOH and ZnCl_2).

Key Words : Activated carbon, waste tires, spent tea leaves, solid waste.

Science Code : 20102

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışma süresince danışmanlığımı yürüten, tez konusunun oluşturulması, araştırılması, deney aşamasındaki yardımları, tez yazımı sırasındaki desteği ve engin bilgi birikimini benimle paylaşmasından dolayı sayın Doç. Dr. Kubilay TEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez araştırma ve incelemeler için Kimya laboratuvarı kullanımında kolaylık sağladığı için, konu ile ilgili yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Selhan KARAGÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tecrübeleri ile beni bilgilendiren ve laboratuvar analizlerinde desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Koray Alper'e teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca en büyük destek ve ilgi gösteren sevgili annem Şükran GÜÇLÜ ile babam Yaşar GÜÇLÜ'ye çok teşekkür ederim. Benimle birlikte başarılarıma ortak olan ablam Banu Güçlü ile kardeşim Tansu Güçlü'ye ve bugüne kadar daima arkamda olan sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, gücümün ve enerjimin kaynağı sevgili eşim Barış AKSAKAL'a ve bu hayattaki en büyük mutluluğum oğlum Türk AKSAKAL'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
AKTİF KARBON	3
2.1 KARBON.....	3
2.2 AKTİF KARBON TARİHİ.....	4
2.3 AKTİF KARBON KAYNAKLARI.....	5
2.4 AKTİF KARBONUN YAPISAL ÖZELLİKLERİ.....	5
2.5 AKTİF KARBONLARIN SINIFLANDIRILMASI	7
2.5.1. Toz Aktif Karbon.....	7
2.5.2. Granül Aktif Karbon.....	8
2.5.3. Pellet Aktif Karbon.....	8
2.6 AKTİF KARBONLARIN AKTİVASYONU	9
2.6.1. Fiziksel Aktivasyon	9
2.6.2. Kimyasal Aktivasyon.....	9
2.6.2.1. KOH Aktivasyonu	10
2.6.2.2. ZnCl ₂ aktivasyonu.....	12

	Sayfa
BÖLÜM 3	15
KATI ATIK.....	15
3.1. KATI ATIKLARIN ÇEŞİTLERİ.....	15
3.1.1. Atık Kamyon Lastikleri	16
3.1.2. Kullanılmış Siyah Çay Yaprakları.....	17
3.2. KATI ATIKLARIN ZARARLARI.....	18
BÖLÜM 4	19
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
4.1. KULLANILAN HAMADDELER VE KİMYASALLAR.....	19
4.2. AKTİF KARBON ÜRETİMİ.....	19
4.3. HAMMADDE VE AKTİF KARBONLARA UYGULANAN ANALİZLER	21
BÖLÜM 5	23
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	23
BÖLÜM 6	33
SONUÇLAR.....	33
KAYNAKLAR	35
TEZDEN ÇIKAN YAYINLAR.....	40
ÖZGEÇMİŞ	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Aktif karbonun gözenekli yapısı.....	7
Şekil 2.2. Toz aktif karbon.....	7
Şekil 2.3. Granül aktif karbon.....	8
Şekil 2.4. Pellet aktif karbon.....	8
Şekil 2.5. Kimyasal Aktivasyon Akım Şeması.....	10
Şekil 3.1. Ömrünü tamamlamış lastikler.....	16
Şekil 3.2. Kullanılmış siyah çay yaprakları	17
Şekil 5.1. Siyah çay yaprakları (KSÇY) ve atık kamyon lastiğinin (AKL) termogravimetrik (TG) ve diferansiyel termogravimetrik (DTG) eğrileri	23
Şekil 5.2. Karışım oranlarının aktif karbonların verimleri üzerine etkisi.....	24
Şekil 5.3. Hammaddelerin ve KOH aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların FT- IR spektrumları.....	26
Şekil 5.4. Hammaddelerin ve ZnCl ₂ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların FT- IR spektrumları.....	27
Şekil 5.5. KOH aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri	31
Şekil 5.6. ZnCl ₂ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Aktif karbonun karakteristik özellikleri.....	6
Çizelge 5.1. AKL, KSCY'nin ve farklı oranlardaki hammaddelerden KOH ve ZnCl ₂ aktivasyonu ile 800 °C'de elde edilen aktif karbonların elementel bileşenleri (ağ.%), atomik oranları, üst ısıl değerleri (ÜİD) ve kül değerleri (ağ.%)	28
Çizelge 5.2. 800 °C'de AKL, KSCY ve AKL/KSCY karışımlarından elde edilen aktif karbonların özellikleri.....	29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	: Santigrat
C	: Karbon
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂	: Hidrojen
HCl	: Hidroklorik asit
H ₂ O	: Su
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
H ₃ PO ₄	: Fosforik asit
KOH	: Potasyum hidroksit
K	: Kelvin
K ₂ CO ₃	: Potasyum karbonat
M	: Molar
N ₂	: Azot gazı
NaOH	: Sodyum hidroksit
Na ₂ CO ₃	: Sodyum karbonat
ZnCl ₂	: Çinko klorür

KISALTMALAR

AKL	: Atık Kamyon Lastiği
BET	: Brunauer, Emmett and Teller (Yüzey Alanı ve Gözenek Boyutu Analiz Cihazı)
IUPAC	: The International Union of Pure and Applied Chemistry (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği)
KÇ	: Kiraz Çekirdeği
KSÇY	: Kullanılmış Siyah Çay Yaprakları
LASDER	: Lastik Sanayicileri Derneği
ÖTL	: Ömrünü Tamamlamış Lastik
ÖTLKY	: Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği
PID	: Proportional Integral Derivative (Oransal-İntegral-Türevsel denetleyici kontrol döngüsü yöntemi)
SAK	: Süper Aktif Karbon
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spektrometre (Fourier Dönüşümlü Kıızıl Ötesi Spektrometresi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde, özellikle hızlı sanayileşme, artan ticaret, nüfus ve talepler tüketimin hızla artmasına sebep olmaktadır. Bu durum doğal kaynakların hızla tükenmesine yol açmaktadır. Bu nedenle malzeme üretiminde atıkların yeniden kullanılması hem doğal kaynakların aşırı ve gereksiz tüketimini önleyecek hem de çevre kirliliğini azaltmada önemli rol oynayacaktır. Bu çalışmada atıkların hammadde olarak değerlendirilmesi ile çevreye zararlı etkilerinin azaltılması ve atıklardan faydalı malzemelerin üretilmesi amaçlanmıştır.

Her gün yüksek miktarda katı atık çöpe atılmaktadır. Katı atık yöntemi sürdürülebilir bir toplum ve daha yeşil bir çevre için vazgeçilmezdir. Atık lastikler toplam katı atığın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Dünya çapında yaklaşık olarak her yıl 1.500.000.000 lastik üretilmektedir ve ömrünü tamamlamış olan bu lastikler çöpe atılmaktadır [1].

Çay, sıcak suyla tüketilen (demlenen) dünyanın en çok içilen içeceği [2]. Tüketim sonunda çay yaprakları organik katı atık olarak çöpe atılmaktadır. Çöpe atılan katı atıkların yararlı ürünler haline dönüştürülmesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli ve iyi bir seçenektir.

Aktif karbonlar, yüksek yüzey alanına ve yüksek gözenekliliğe sahip; metan ve hidrojen depolanmasında, su ve havanın arıtılmasında, gaz karışımlarının saflaştırılmasında yaygın olarak kullanılan önemli malzemelerdir. Önerilen tez çalışmasında iki farklı atık karışımı hammadde olarak kullanılarak aktif karbonların eldesi amaçlanmıştır. Bunun için kullanılmış siyah çay yaprakları (KSCY) ve atık kamyon lastiği (AKL) hammadde olarak değerlendirilmiştir. Aktif karbonlar, AKL ve KSCY'nin farklı oranlarında (1:1, 1:3 ve 3:1) iki farklı kimyasal aktivasyon

ajanlarının (KOH ve $ZnCl_2$) kullanılmasıyla $800^{\circ}C$ 'de üretilmişlerdir. Hammadde karışım oranlarının ve aktivasyon ajanı çeşidinin aktif karbonların verimleri ve özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 2

AKTİF KARBON

2.1. KARBON

Karbon atom ağırlığı 12,011 olan periyodik cetvelin 6A grubundan yer alan bir elementtir. Karbon, farklı elementlerle bileşik oluşturarak doğada yaygın halde bulunabilmektedir. Organik bileşiklerin temel maddesidir. Karbonun diğer elementlerden farklı kendine özgü bir yapısı bulunmaktadır. Karbon sp , sp^2 sp^3 hibritleşmesi yapabilen bir elementtir [3]. Karbonun allotroplarından en önemlileri elmas, grafit ve fullerendir.

Aktif karbon, çok gözenekli ve heterojen bir yapıya sahip önemli bir karbon malzemedir. Aktif karbonlar farklı boyut ve şekillere sahip mikro, mezo ve makrogözeneklerden meydana gelmektedir [4]. Aktif karbon, karbon siyahından grafitlere, karbon liflerinden kompozitlere ve daha pek çoğuna kadar değişen karbon ailesinin bir üyesidir. Hepsi temel olarak organik kaynaktan gelmekte ancak farklı karbonizasyon ve üretim süreçleri ile elde edilmektedirler [5].

Karbon içeren organik malzemelerden elde edilen aktif karbonlar yüzyıllardır kullanılmakta olup bilimin gelişmesiyle birlikte günümüzdeki kullanım alanları çeşitlenmiştir. Aktif karbonlar sahip oldukları gözenekli yapılarıyla günümüzde gıda işleme, ilaç, kimya, petrol, madencilik, nükleer ve otomobil gibi çok çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Ayrıca aktif karbonlar katalizör desteği olarak da kullanılmaktadırlar [7]. Aktif karbonların kimyasal yapısı, adsorptif, elektrokimyasal, katalitik ve diğer özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir [6]. Örneğin, aktif karbonların adsorpsiyon kapasiteleri gözenek boyutlarına ve yüzey alanına bağlıdır [8]. Aktif karbonların yüzey alanları azot

adsorpsiyonuna dayanan BET analizi ile ölçülebilir. Su arıtımında kullanılan aktif karbonların yüzey alanlarının 1000 m²/g civarında olması gerekir.

2.2. AKTİF KARBON TARİHİ

Aktif karbonlar, odun kömürü olarak yüzyıllardır kullanılmaktadır. Mısırlılar bu kömürü M.Ö. 1500 yıllarında tıbbi amaçlar için adsorban ve ayrıca temizleme maddesi olarak kullanmışlardır. Hipokrat, odun çarlarını hastalıkların tedavisinde kullanmıştır [5]. Eski çağlarda Hintliler ise odun kömürünü içme sularının arıtımında kullanmışlardır [9]. Aktif karbonun ilk endüstriyel üretimi şeker fabrikalarında kullanılmak üzere 1900'lü yıllarda başlamıştır [10]. Bu aktif karbonlar sebze kökenli malzemelerden metal klörür katalizörleri kullanılarak kimyasal aktivasyonla çar haline getirilen malzemenin buhar ya da CO₂ aktivasyonu ile üretilmişlerdir. Odun kömürünün gaz adsorpsiyon özelliği ilk olarak 1773 yılında Scheele tarafından gözlenmiştir [11]. 1785'te Lowitz, odun kömürü kullanarak tartarik asit çözeltilisinin rengini gidermiştir [12]. 1865'te Hunter, hindistan cevizi kabuklarından üretilen karbonların gaz adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olduğunu keşfetmiştir [11]. "Adsorpsiyon" terimi ilk olarak 1881'de Kayser tarafından gazların karbonlar tarafından tutulumunu tanımlamak için kullanılmıştır [11]. 1900'de Ostrejko, fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri ile aktif karbon üretimi konusunda iki patente sahip olmuştur [12]. Ostrejko'nun patentlerinin ışığında 1909 yılında, Almanya topraklarında bulunan Chemische Werke adı verilen tesiste toz şeklinde aktif karbonun ticari üretimi gerçekleştirilmiştir [12].

Aktif karbonlar, Birinci Dünya Savaşı sırasında, tehlikeli gazlara karşı korunmak için gaz maskelerinde adsorban olarak kullanılmıştır [5]. I. Dünya savaşında gaz maskesinde kullanılan aktif karbonlar silindir şeklinde, Hindistan cevizi kabuğunun karbonizasyonu ile elde edilmiştir. Günümüzde aktif karbonlar sıvı ve gaz fazı uygulamalarında adsorben olarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3. AKTİF KARBON KAYNAKLARI

Aktif karbon, içeriğinde yüksek karbon bulunan çok çeşitli organik malzemelerden elde edilebilmektedir. Endüstriyel alanda kullanılan hammaddeler öncelikle kolay bulunabilmesi ve maliyet bakımından ucuz olması gerekmektedir.

Aktif karbon üretiminde, fosil ve yenilenebilir kaynaklar olmak üzere iki çeşit hammadde kullanılabilir. Geçmişte aktif karbon üretimi için en yaygın kullanılan hammadde kömür olmuştur [13]. Fosil kaynakların sonlu olması ve çevre kirliliklerine neden olmasından dolayı alternatif kaynaklardan aktif karbon üretimi önem arz etmektedir. Alternatif hammadde kaynağı olarak atıkların kullanılması hem çevre hem de ekonomik açıdan önemlidir. Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddelerden bazıları, zeytin çekirdeği, buğday tanesi, fındık kabuğu, hindistan cevizi kabuğu, odun, çay posası, atık araba lastiği, linyit, palmye kabuğu, pirinç çeltiği, üzüm çekirdeği, tekstil atıklarıdır [6,14,15].

2.4. AKTİF KARBONUN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Aktif karbon yüksek gözeneklilik ve yüzey alanı nedeniyle, sıvıların veya gazların saflaştırılması, ayrıştırılmasında adsorban olarak kullanılmaktadırlar [16]. Aktif karbonun karakteristiği hammaddeye, aktivasyon çeşidine, karbonizasyon sıcaklığına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Aktif karbonun spesifik yüzey alanı Brunauer-Emmett-Teller (BET) yöntemi kullanılarak gaz adsorpsiyon ölçümü ile tayin edilir. BET yüzey alanı, karbonun her gramı başına metre kare cinsinden ifade edilir [17]. Aktif karbonun yüzeyi ne kadar yüksek ise adsorpsiyon kapasitesi de o kadar yüksek olmaktadır [18]. Ticari olarak üretilen aktif karbonların BET yüzey alanları 500 ile 2000 m²/g arasında değişmektedir [19]. Aktif karbonun tipik özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

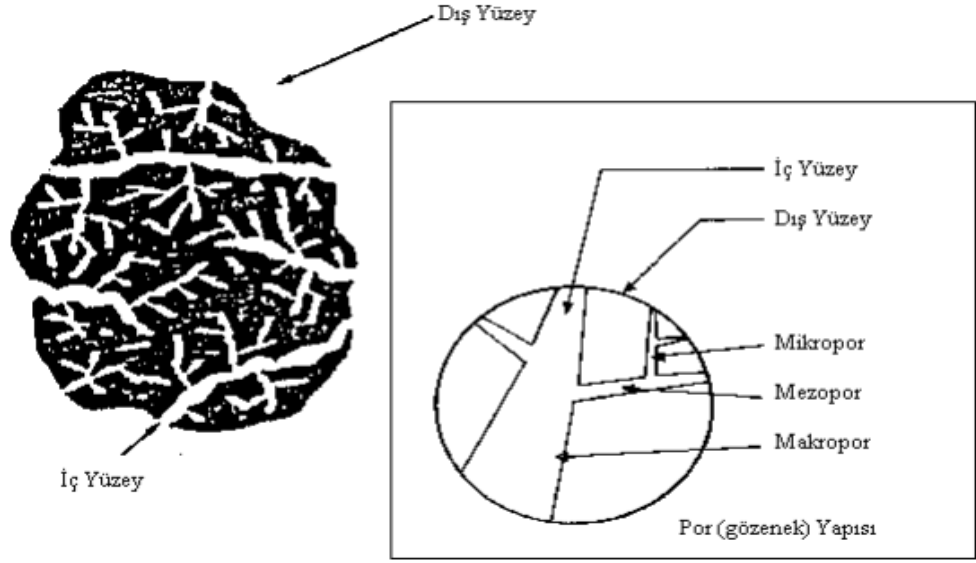
Çizelge 2.1. Aktif karbonun karakteristik özellikleri [20].

Gerçek Yoğunluk	2,2 g/ml
Partikül yoğunluğu	0,73 g/ml
Toplam porozite	0,71
Makrogözenek porozitesi	0,31
Mikrogözenek porozitesi	0,40
Makrogözenek hacmi	0,47 ml/g
Mikrogözenek hacmi	0,44 ml/g
Spesifik yüzey alanı	1200 m ² /g
Ortalama makrogözenek yarıçapı	800 nm
Ortalama mikrogözenek yarıgenişliği	1-2 nm

Gözenek büyüklüğü IUPAC tarafından üç sınıfa ayrılmıştır [20]. Aktif karbonlar gözenek boyutlarına göre mikro, mezo ve makro olarak sınıflandırılır.

- Mikrogözenekler: $d < 2$ nm
- Mezogözenekler: $2 < d < 50$ nm
- Makrogözenekler: $d > 50$ nm

Bu gözeneklerin herbiri adsorpsiyon sırasında önemli bir rol oynamaktadır. Geniş bir yüzey alanı ve mikrogözenek hacmini oluşturan mikrogözenekler bir aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde belirlemektedir [10]. Aktif karbonlardaki makrogözeneklerin yüzey alana katkısı $0,5$ m²/g'ı geçmediği için adsorpsiyon prosesinde önemli bir rol oynamamaktadır. Ancak makrogözenekler adsorbatların mikro ve mezo gözeneklere geçişinde kanal görevi görürler. Mezopor gözeneklerin toplam yüzey alana katkıları ise yaklaşık % 5'tir [10].



Şekil 2.1. Aktif karbonun gözenekli yapısı [21].

2.5. AKTİF KARBONLARIN SINIFLANDIRILMASI

Aktif karbonlar toz, granül ve pellet olmak üzere üç sınıfta kategorize edilebilirler.

2.5.1. Toz Aktif Karbon

Toz aktif karbonlar, ortalama çapı 15 ile 25 μm arasında olan, boyutu 100 mm'den küçük olan tozlar veya ince granüller şeklindedirler. Böylece, küçük bir difüzyon mesafesine sahip geniş bir iç yüzey sunarlar [22].

Şekil 2.2'de toz aktif karbon görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.2. Toz aktif karbon.

2.5.2. Granül Aktif Karbon

Granüle edilmiş aktif karbon, toz haline getirilmiş aktifleştirilmiş karbona kıyasla nispeten daha büyük partikül boyutuna sahiptir ve sonuç olarak daha küçük bir dış yüzey sunar. Granül karbonlar su arıtma, koku giderme ve akış sistemi bileşenlerinin ayrılması için kullanılırlar [22].

Şekil 2.3'te granül aktif karbon görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.3. Granül aktif karbon.

2.5.3. Pellet Aktif Karbon

Pellet aktif karbonlar basınçla sıkıştırılarak farklı çaplarda (0,5–5 mm) silindirik yapıda üretilmektedir [23]. Düşük basınç, yüksek mekanik dayanıklılığa ve düşük toz içeriğine sahiptir [24]. Bu tür aktif karbonlar gaz fazı uygulamalarında kullanılmaktadır.

Şekil 2.4'te pellet aktif karbon görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.4. Pellet aktif karbon.

2.6. AKTİF KARBONLARIN AKTİVASYONU

Aktif karbonların aktivasyonu fiziksel ve kimyasal aktivasyon olmak üzere iki çeşittir.

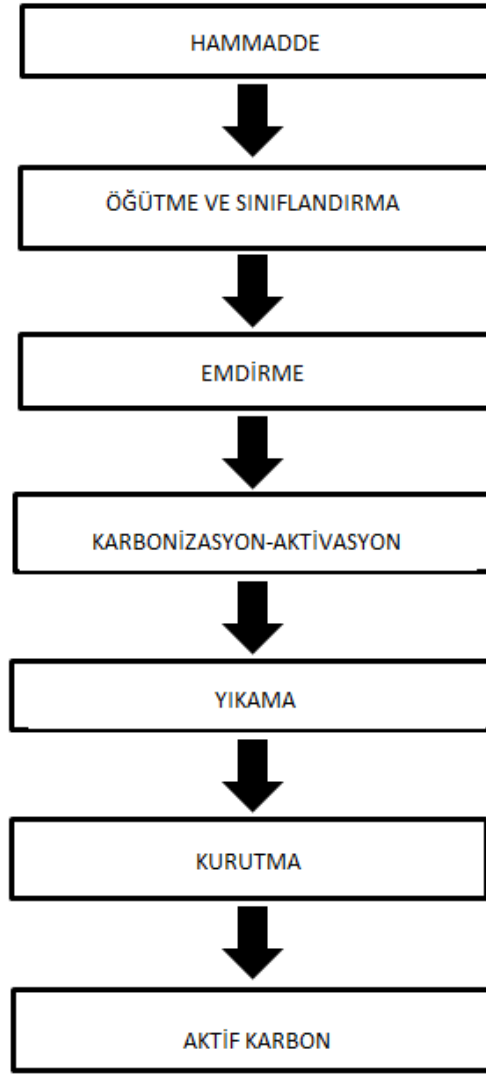
2.6.1. Fiziksel Aktivasyon

Fiziksel aktivasyon iki adımlı bir aktivasyon yöntemidir. Fiziksel aktivasyon yönteminde, hammadde inert atmosferde "çar" adı verilen katı maddeye 500 - 600 °C sıcaklıklarda dönüştürülmektedir. Daha sonra çarlar kısmi gazlaştırma ile karbondioksit, buhar, hava veya bunların karışımı kullanılarak aktif karbona 800 - 1000 °C sıcaklıklarda dönüştürülmektedir. Fiziksel aktivasyon ile elde edilen aktif karbonlar adsorbent veya filtre olarak kullanmak için yeterli özelliklere sahip değildirler [6].

2.6.2. Kimyasal Aktivasyon

Kimyasal aktivasyon işlemi, tek basamakta gerçekleşir. Kimyasal aktivasyon işleminde hammadde aktive edici bir ajan olarak adlandırılan bir kimyasal ile empenye edilir, sonrasında inert atmosferde 200 - 800 °C sıcaklıklarda karbonize edilerek aktif karbon üretimi gerçekleştirilir [5,25]. Kimyasal aktivasyon işlemi fiziksel aktivasyona göre genelde daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Kimyasal aktivasyonda en yaygın kullanılan aktivasyon ajanları KOH (potasyum hidroksit), NaOH (sodyum hidroksit), H₃PO₄ (fosforik asit), H₂SO₄ (sülfürik asit), ZnCl₂ (çinko klorür), K₂CO₃ (potasyum karbonat) ve Na₂CO₃ (sodyum karbonat)'dır [25].

Kimyasal ve fiziksel aktivasyonun hem aktivasyon mekanizmaları farklıdır hem de elde edilen aktif karbonların fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirlerinden farklıdır. Kimyasal aktivasyon fiziksel aktivasyona göre daha hızlı ve daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir [26]. Kimyasal aktivasyon ile elde edilen karbonlar daha yüksek BET yüzey alanına, daha iyi gözenek gelişimine ve daha yüksek verime sahiptirler [26]. Şekil 2.5'te kimyasal aktivasyon akım şeması bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Kimyasal aktivasyon akım şeması [27].

2.6.2.1. KOH Aktivasyonu

Aktif karbonun kimyasal aktivasyonu için kullanılan kimyasal aktive edici ajanlar arasında potasyum hidroksit (KOH) mikrogözenekli aktif karbonlar ürettiği ve aktif karbonların yüzeylerinde OH^- fonksiyonel gruplarının oluşumunu arttırdığı rapor edilmiştir [26].

Teng et al., KOH aktivasyonu ile atık lastiklerden aktif karbon sentezlemişler ve elde edilen aktif karbonların karakteristiklerini incelemişlerdir. Kimyasal aktivasyon sırasında karbonizasyon sıcaklığı, bekleme süresi ve KOH / lastik oranı gibi farklı parametrelerin karbon verimi ve yüzey özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve

optimum hazırlama koşulları önerilmiştir [28]. Sıcaklık, KOH / lastik oranı ve bekleme süresinin artması ile karbon verimlerinde azalma meydana gelmiştir. En yüksek BET yüzey alanı ($474 \text{ m}^2/\text{g}$), 4 emprenye oranı (KOH kütlesi : atık lastik kütlesi) ve 0 saatlik bekleme süresi ile $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de elde edilmiştir [28].

Al-Rahbi ve Williams, atık lastiklerden aktive edici reaktifler olarak baz (NaOH ve KOH) ve bazik tuzları (Na_2CO_3 ve K_2CO_3) kullanarak aktif karbonlar hazırlamışlardır [14]. Atık lastikler 1 saat boyunca $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de çara dönüştürülmüştür ve hazırlanan çarlar 0,5, 1,0, 3,0 ve 4,0 emprenye oranlarında (çar kütlesi: aktivasyon ajanının kütlesi) NaOH, KOH, Na_2CO_3 ve K_2CO_3 kullanılarak emprenye edilmiştir. Emprenye edilen numuneler daha sonra $900 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 3 saat bekleme süresinde karbonize edilmişlerdir. Toplam yüzey alanı 92 ile $621 \text{ m}^2/\text{g}$ arasında bulunmuş en yüksek yüzey alan 1:3 emprenye oranında $900 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de KOH ile elde edilmiştir [14].

Li et al., çalışmalarında, kimyasal aktivasyon yöntemi (KOH) ile süper aktif karbon (SAK) hazırlanmasında hammadde olarak deniz yosununu kullanmışlardır [29]. Araştırmalarında aktivasyon sıcaklığının, aktivasyon süresinin ve emdirme oranının gözenek yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Öncelikle deniz yosunundan $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 120 dakika bekleme süresinde çar elde edilmiş, daha sonra bu çarlardan farklı emprenye oranlarında (3:1 - 4.5:1) (Çar : KOH) $700 - 850 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ve 90 - 180 dakika bekleme süresinde SAK'lar elde edilmiştir. Hazırlanan SAK'lar içinde en yüksek spesifik yüzey alan $3362 \text{ m}^2/\text{g}$ 'ye ulaşmıştır. SAK'ların gözenek boyutları $\sim 4 \text{ nm}$ olarak bulunmuştur [29].

Villota et al., farklı emprenye oranlarında (0.5 : 2.0) (KOH : biyokütle) atık kakao kabuğunun mikrodalga destekli aktivasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [30]. Karbonizasyon sıcaklığı ve süresi sırasıyla $450 \text{ }^\circ\text{C}$ ve 5 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. En yüksek BET yüzey alanı $494,51 \text{ m}^2/\text{g}$ 1,5:1 (KOH : biyokütle) oranında elde edilmiştir [30].

Bir diğer çalışmada, mısır samanından $450 \text{ }^\circ\text{C}$ piroliz sıcaklığında biyoçar elde edilmiş ve elde edilen biyoçarlar farklı KOH : biyoçar (1, 2, 3, ve 4) oranlarında emprenye edilerek $800 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 1 saat aktivasyon işlemi ile aktif karbona

dönüştürülmüştür [31]. BET yüzey alanları 1475 - 2790 m²/g arasında bulunmuştur. Qiu et al., empenye oranındaki artışla mezogözenek yüzey alanlarının ve hacimlerinin önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir [31].

Zhang et al., kenevir saplarından KOH aktivasyonu ile aktif karbon üretimi ve karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir [32]. Bunun için kenevir saplarından öncelikle 500 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle biyoçar elde edilmiş, elde edilen çarlar farklı KOH/biyoçar (3:1 – 6:1) oranlarında, farklı sıcaklıklarda (700 – 900 °C) ve farklı bekleme sürelerinde (0,5- 2.5 saat) karbonizasyon işlemine tabii tutulmuşlardır. En yüksek BET yüzey alanı (2388 m²/g) 4,5:1 (KOH : biyoçar) oranında 1,5 saat bekleme süresinde 800 °C’de elde edilmiştir [32].

Sudaryanto et al., çalışmasında hammadde olarak manyok kullanmıştır. Manyok kabuğuna farklı KOH : manyok empenye oranlarında (1:2 – 5:2), 450 – 750 °C’de, 1- 3 saat bekleme sürelerinde karbonizasyon işlemi uygulanmıştır [4]. Sonuç olarak, aktivasyon süresinin üretilen aktif karbonun gözenek yapısı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, 5:2 empenye oranı ve 750 °C karbonizasyon sıcaklığında maksimum yüzey alanı (1605 m²/g) bulunmuştur [4].

2.6.2.2. ZnCl₂ aktivasyonu

Aktif karbonun kimyasal sentezi için kullanılan en yaygın aktive edici ajanlardan biri de çinko klorürdür.

S. Uçar et al., meyve suyu endüstrisinin atığı olan nar çekirdeklerini hammadde olarak kullandıkları çalışmada ZnCl₂ ile kimyasal aktivasyon yoluyla aktif karbon hazırlamışlardır [33]. Karbonizasyon sıcaklığı ve empenye oranı gibi proses değişkenlerinin aktif karbonların verimine ve fizikokimyasal özelliklerini etkilerini incelemişlerdir. Karbonizasyon deneyleri 600 - 800 °C karbonizasyon sıcaklıklarında 0,5 - 2,0 empenye oranlarında ZnCl₂ kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aktif karbonların yüzey alanları, empenye oranı ve karbonizasyon sıcaklığından büyük ölçüde etkilenmiştir. Aktif karbonların yüzey alanları 455 - 979 m²/g arasında

değişmiştir. En yüksek BET yüzey alanı 800 °C ve 2,0 emprenye oranında elde edilmiştir [33].

Olivares-Marín et al., kiraz çekirdeklerinden elde ettikleri aktif karbonların üretiminde $ZnCl_2$ 'ü aktivasyon ajanı olarak kullanmışlardır [34]. Karbonizasyon sıcaklığı ve $ZnCl_2$: KÇ emprenye oranı gibi proses değişkenlerinin elde edilen ürünlerin verimine ve yüzey alanlarına etkileri incelenmiştir. Emprenye oranı 4:1 olan numunede 500°C'de en yüksek BET yüzey alanı 1971 m²/g olarak bulunmuştur. Sabit emprenye oranında (3 : 1, $ZnCl_2$: KÇ) gerçekleşen deneylerde farklı karbonizasyon sıcaklıkları (400 - 800 °C) denenmiş ve sıcaklıktaki artışın BET yüzey alanına etkisinin negatif olduğu görülmüştür [34].

Mozammel et al., yapmış oldukları çalışmada hindistan cevizi kabuğundan aktif kömür üretmişlerdir. Sıcaklığın, sürenin ve emprenye oranının aktivasyon (iyot sayısı) ve verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [35]. Deneysel sonuçlar, daha yüksek sıcaklığın daha iyi aktivasyon, ancak daha düşük verim ürettiğini göstermektedir. Aktif karbon üretiminde aktivasyon süresi ve emprenye oranı için optimum değerler sırasıyla 600 °C'de 50 dakika ve % 40 $ZnCl_2$ ile elde edilmiştir [35].

Yorgun et al., pavlonya (p. tomentose) ağacından $ZnCl_2$ ile kimyasal aktivasyon gerçekleştirerek yüzey alanı yüksek aktif karbonlar hazırlamışlardır [36]. Karbonizasyon sıcaklığının ve emprenye oranının aktif karbonun gözenek yapısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Karbonizasyon sıcaklıkları 400 – 700 °C, emprenye oranları 0,5 – 4,0 ($ZnCl_2$: Biyokütle) aralığında test edilmiştir. İncelenen deneysel koşullar altında, yüksek yüzey alanlı aktif karbon üretimi için 400 °C'lik bir karbonizasyon sıcaklığı ve 4,0 emprenye oranı uygun bulunmuştur. $ZnCl_2$ 'nin 500 °C altında dehidrasyon reaktifi olarak etkili bir şekilde çalıştığı gösterilmiştir. 2736 m²/g ve 0,69 cm³/g gibi yüksek yüzey alanı ve mikrogözenek hacmi elde edilmiştir [36].

Mohammadi et al., çalışmasında atık sulardan Pb (II) iyonlarının uzaklaştırılması amacıyla deniz iğdesi çekirdeklerinden kimyasal aktivasyon ile elde ettikleri aktif

karbonların adsorpsiyon kapasitelerini incelemişlerdir [37]. Kimyasal aktivasyon için 1:2 ($ZnCl_2$: deniz iğdesi) emprenye oranı kullanılarak 500 °C sıcaklıkta 3 saat süreyle karbonizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı $829 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak bulunurken aktif karbonların Pb (II) iyonlarını maksimum adsorplama kapasitesi $25,91 \text{ mg/g}$ olarak gerçekleşmiştir [37].

Arami-Niya et al., metan adsorpsiyonu için palmye ağacı kabuklarından $ZnCl_2$ aktivasyonu ile aktif karbon üretmişlerdir [38]. $ZnCl_2$ aktivasyon ajanının emprenye oranının artışı sonucunda yüzey alanlarında ve gözenek hacminde artış olduğu gözlenmiştir. Ancak, metan adsorpsiyonunda fazla bir artış gözlenmediği rapor edilmiştir[38].

BÖLÜM 3

KATI ATIK

Dünya nüfusunun çoğalmasıyla birlikte, sanayinin hızlı gelişimi atık miktarını arttırmaktadır. Çevre Kanunu'nda, atık ilk olarak 1983'te ve 2872 sayılı "*Herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan veya bırakılan her türlü madde*" olarak belirtilmiştir [39]. Buna göre atıklar genel olarak; katı atıklar, sıvı ve gaz atıklar, ambalaj atıkları, şeklinde sınıflandırılabilir [40]. Çevre Kanunu'na göre katı atık tanımı, "*Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı atık maddeleri*" ifade eder [39]. Günümüzde katı atık çevresel ve finansal olumsuz sonuçları sebebiyle büyük bir küresel endişeye dönüşmektedir. Ek olarak, daha az atık oluşması, atıkların geri dönüştürülmesi ve atıkların doğru şartlarda bertaraf edilmesi ilkelerine dayanmaktadır [41]. Katı atıkların bertarafı yenilenebilir olması çevre için büyük önem arz etmektedir.

3.1. KATI ATIKLARIN ÇEŞİTLERİ

Katı atıklar, oluştukları yere göre sınıflandırılabilir. Bunlar; evsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, tehlikeli atıklar, özel atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal ve bahçe atıkları, inşaat artığı ve moloz atıkları olarak belirtilmektedir [40]. Bu çalışmada, atık kamyon lastikleri ve kullanılmış siyah çay yaprakları katı atık olarak kullanılmıştır.

3.1.1. Atık Kamyon Lastikleri

Günümüzde araç kullanım sayısının artması beraberinde lastik ihtiyacını da arttırmıştır. Dünyada her yıl milyarlarca lastik üretimi yapılmaktadır. Avrupa'da 2013 yılının verilerine göre 3,2 milyon ton atık lastiğin oluştuğu tahmin edilmektedir [42]. Her yıl Türkiye'de yaklaşık olarak 250.000 ton atık lastik üretilmektedir [42].

Bu üretilen atık lastikleri geri dönüştürmek ekonomik ve çevresel açıdan önem arz etmektedir. Çin, Hindistan, Brezilya, Tayvan ve Endonezya gibi bazı gelişmekte olan ülkeler, atık lastiklere geri dönüşüm yapmaktadırlar [43]. Türkiye’de ise bu atık lastiklerin büyük bir çoğunluğu değerlendirilememektedir. Ömrünü tamamlamış araba lastiklerinin geri kazanım ve enerji geri dönüşüm tesislerine gönderilerek çevre ve ülke ekonomisine katkıda bulunulması önem arz etmektedir.

Ömrünü tamamlamış lastiklerin kontrolü yönetmeliğinde;

“Faydalı ömrünü tamamladığı belirlenerek araçtan sökülen orijinal veya kaplanmış, bir daha araç üzerinde lastik olarak kullanılmayacak durumda olan ve üretim esnasında ortaya çıkan atık lastikler ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) olarak tanımlanır” [44]. Şekil 3.1.’de ömrünü tamamlamış lastik görseli verilmiştir.



Şekil 3.1.Ömrünü tamamlamış lastikler.

Atık lastikler yaygın olarak piroliz ile geri kazanılmaktadır. Atık haline gelmiş, ömrünü tamamlamış araba lastikleri hammadde olarak kullanıldıklarında piroliz yöntemiyle karbon siyahı, yakıt veya yağlama yağı olarak kullanılabilir yağ ve gaz ürün eldesi mümkün olmaktadır. Katı atıkların geri dönüşümü için en uygun yöntemlerden biri de atık lastiklerden aktif karbon sentezlemektir. Bugüne kadar birçok çalışma, atık lastiklerin karbonizasyonundan aktif karbon üretimini incelemiştir [14,45–50].

3.1.2. Kullanılmış Siyah Çay Yaprakları

Çay, araştırmalara göre M.Ö 2737’de Çin imparatoru tarafından keşfedilmiştir. Çay, doğal bir antioksidan olup C, B₁, B₂, B₆ vitaminleri yönünden ve potasyum, manganez, folik asit ve kalsiyum açısından zengin bir içecektir. İçinde bulunan mineraller nedeniyle kemik ve diş sağlığına da faydalı olduğu tespit edilmiştir. Çay, sıcak suyla tüketilen (demlenen) dünyanın en popüler içeceğidir. Çayın, üretim ve tüketim sonucunda önemli bir miktarı çöpe atılmaktadır. Dünyanın en önde gelen çay üreticisi ülkeleri; Hindistan, Sri Lanka, Çin, Türkiye, Kenya, Endonezya, Malawi ve Vietnam’dır. Türkiye’de çay, yalnızca Doğu Karadeniz Bölgesinde yetiştirilebilmektedir.

Tüm fabrikalarda olduğu gibi tarımsal ürünlerin işlemi sırasında da atık ortaya çıkmaktadır. Doğu Karadeniz bölgesinde devlete ait fabrikalarda yılda yaklaşık olarak 20.000 tonun üzerinde çay atığı oluşmaktadır (Kacar, 1987). Şekil 3.2.’de kullanılmış siyah çay yaprakları görseli verilmiştir.



Şekil 3.2. Kullanılmış siyah çay yaprakları.

Çay posası atık lignoselülozik biyokütleler içinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle aktif karbon üretiminde kullanılabilir. Atık çayların saklanması veya depolanması çevre sorununu ortaya çıkarmaktadır. Literatürde atık çaydan aktif karbon üretimi ile çok sayıda çalışmalar bulunmaktadır [8,51–53]

3.2. KATI ATIKLARIN ZARARLARI

Günümüzde birçok ülke içinde buldukları çevre ile ilgili problemlerle karşı karşıyadır. Katı atık kirliliği önemli çevresel sorunlardan biridir. Katı atıklardan oluşan kirliliklerin çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri bulunmaktadır. Katı atıkların, çevreye zarar vermeyecek şekilde toplanarak tekniğine uygun bir biçimde bertaraf edilmesi önem teşkil etmektedir. Atıkların teknik olarak bertaraf edilmemesi hava, su ve toprak kirliliğine sebep olmaktadır.

Katı atıkların geri dönüşümü önemli bir ekolojik hedefdir. Geri dönüşüm teknolojik olarak mümkün olsa da mevcut geri dönüşüm kaynaklarının ilkel olması ve mali teşviklerin yetersizliği katı atıkların bertarafı için zorluk teşkil etmektedir

Sürdürülebilir, atık yönetiminin üç temel ilkesi:

- Minimum seviyede atık üretmek,
- Atıkları geri dönüştürmek,
- Oluşan atıkları uygun yöntemlerle bertaraf etmektir [41].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. KULLANILAN HAMADDELER VE KİMYASALLAR

Bu tez kapsamında gerçekleştirdiğimiz deneysel çalışmalarda hammadde olarak kullanılmış siyah çay yaprakları (KSCY) ve atık kamyon lastiği (AKL) kullanılmıştır. Siyah çay yaprakları süzülen su berraklaşana kadar tekrar tekrar 100 °C sıcaklıkta kaynatılmıştır. Elde edilen örnekler 2 saat süresince 800 °C sıcaklıkta kurutularak öğütülmüş ve 0,5- 1,0 mm aralığındaki partikül boyutları deneyler için hammadde olarak seçilmiştir. Hammaddeler deneylerde kullanılmak üzere plastik kaplarda oda sıcaklığında saklanmıştır. Atık kamyon lastiği Samsun'da bulunan kauçuk geri dönüşüm şirketi Akın Kauçuk'tan tedarik edilmiştir. Akın Kauçuk şirketi tarafından atık lastiklerdeki çelik ve lifler ayrılarak kriyojenik ortamda öğütülmüş, ortalama 1,5 mm partikül boyutunda partüküller elde edilmiştir.

Tüm deneylerde deiyonize su kullanılmış olup, deiyonize su bir deiyonizasyon kartuşuna sahip Zeneer Power I cihazı ile elde edilmiştir. KOH ve ZnCl₂ analitik saflıkta olup Merck'den temin edilmiştir. Hidroklorik asit (% 37, HCl) Sigma Aldrich'den satın alınmıştır.

4.2. AKTİF KARBON ÜRETİMİ

Her çalışma için 40 g hammadde kullanılmıştır. Tipik bir prosedürde, 1:1, 1:3 ve 3:1 (KSCY : AKL) karışım oranları için gerekli numune (toplam 40 g), ZnCl₂ veya KOH çözeltileri ile 24 saat karıştırılmıştır. Emdirme oranı ağırlıkça 1,0 olarak sabitlenip 1:1 olarak ifade edilmiştir (hammaddelerin ağırlığı: kimyasalların ağırlığı). Karşılaştırma için, deneyler tek başına AKL veya tek başına KSCY kullanılarak da gerçekleştirilmiştir. Emdirme işleminin ardından elde edilen karışım bir fırında

103±2 °C’de kurutulmuştur. Karbonizasyon deneyleri sabit yataklı paslanmaz çelik reaktörde (çap : 6cm, yükseklik : 21 cm) 800 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle yapılmıştır. N₂(g) taşıyıcı gaz olarak 30 ml / dakikalık akış hızında kullanılmış, sıcaklığı ayarlamak için ise bir iç termokupl kullanılmıştır. Sıcaklık kontrolü, bir PID (Proportional Integral Derivative) modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel düzenek piroliz sistemine benzemektedir. Reaktör çıkışında 3 adet gaz yıkama şişesi bulunmaktadır. İlk 2 şişe ısıtma süresince ortamda oluşan uçucu maddeleri yakalarken son şişe su ile doldurulmuş olup ortamdaki azot gazının çıkışının gözlemlenmesinde kullanılmaktadır.

Aktif karbon üretimi için istenilen ısıtma işleminden sonra, reaktör bir N₂(g) akışı altında soğutulmuştur. Reaktör soğuduktan sonra açılarak karbonlar reaktörden dışarı alınmış, kül giderme işlemi için geri soğutucu altında derişik HCl çözeltisi ile 2 saat süreyle kaynatılmıştır. Kaynatma işleminden sonra karbonların içerisindeki klorür iyonlarının uzaklaştırılması için deiyonize su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama suyunun pH’ı saf suyun pH’ına eşit oluncaya kadar bu işlem tekrarlanmıştır. Aktif karbonlara vakum filtrasyonu uygulanarak bir etüvde 103±2 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra ortam sıcaklığına gelen aktif karbonlar tartılarak verimleri hesaplanmıştır. Tüm deneyler 3 kez tekrarlanarak verimler için 3 sonucun ortalaması alınmıştır. Standart sapmalar verim grafiğinde hata çubuklarıyla gösterilmiştir. Aktif karbonların verimleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

Son olarak, sıcaklığı 103±2 °C olan etüvde kurutulan aktif karbonların verimleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. Her bir deney 3 kez tekrarlanıp sonuçlar 3 deneyin ortalaması olarak verilmiştir.

$$\text{Aktif karbonun verimi} = \frac{\text{Aktif karbon kütlesi (g)}}{\text{Hammaddenin kütlesi (g)}} \times 100 \quad (4.1)$$

4.3. HAMMADDE VE AKTİF KARBONLARA UYGULANAN ANALİZLER

Uçucu madde (ASTM D-3175-20), nem içeriği (ASTM E871-82) ve kül içeriğinin (ASTM D-3174-12) belirlenmesi için ASTM (Amerikan Test ve Materyal Topluluğu) yöntemleri kullanılmıştır.

Hammaddelerin ve elde edilen aktif karbonların yapılarındaki fonksiyonel gruplar FT-IR/ATR (Fourier dönüşümlü toplam yansımaları azaltılmış kızılötesi spektroskopisi) ile analiz edilmiştir. Spektrumlar, Perkin Elmer FTIR 100 spektrometre cihazı ile 4 cm^{-1} çözünürlükte, oda sıcaklığında, $4000 - 550\text{ cm}^{-1}$ aralığında 8 kere tarama sonucunda elde edilmiştir.

Porozite ve yüzey alanı analizi için Quantachrome Autosorb iQ2 yüzey analiz cihazı kullanılmıştır. Analizör, 77 K 'da $\text{N}_{2(g)}$ 'nin adsorpsiyonu ile gözenek boyutu özelliklerini ve yüzey alanını verir. Yüzey alanı ve gözeneklilik, aktif karbonlar için önemli parametrelerdir. Analizden önce, aktif karbonlara 12 saat boyunca 400°C 'de degas işlemi uygulanmıştır. Degas işleminden sonra yüzey alanının hesaplanmasında BET (Brunauer-Emmett-Teller) yöntemi kullanılmıştır.

TGA (Termogravimetrik analiz) analiz için SII TG / DTA 7200 cihazı kullanılmıştır. TGA analizi için, $5,5\text{ mg}$ aktif karbon tartılmış ve bir alümina potasına konulmuştur. 20 mL / dk akış hızında $\text{N}_{2(g)}$ ile 10°C / dk hızında 700°C 'ye ısıtılmıştır.

Hammaddelerin ve aktif karbonların elementel analizleri LECO CHNS 932 cihazı ile gerçekleştirilerek içerisindeki yüzde karbon (C), hidrojen (H) ve oksijen (O) bulunmuştur. Üst ısıl değerleri (ÜİD) eşitlik 4.2 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Dulong Formülü} = 0,338\text{ C} + 1,428\text{ (H} - \text{O} / 8) + 0,095\text{ S} \quad (4.2)$$

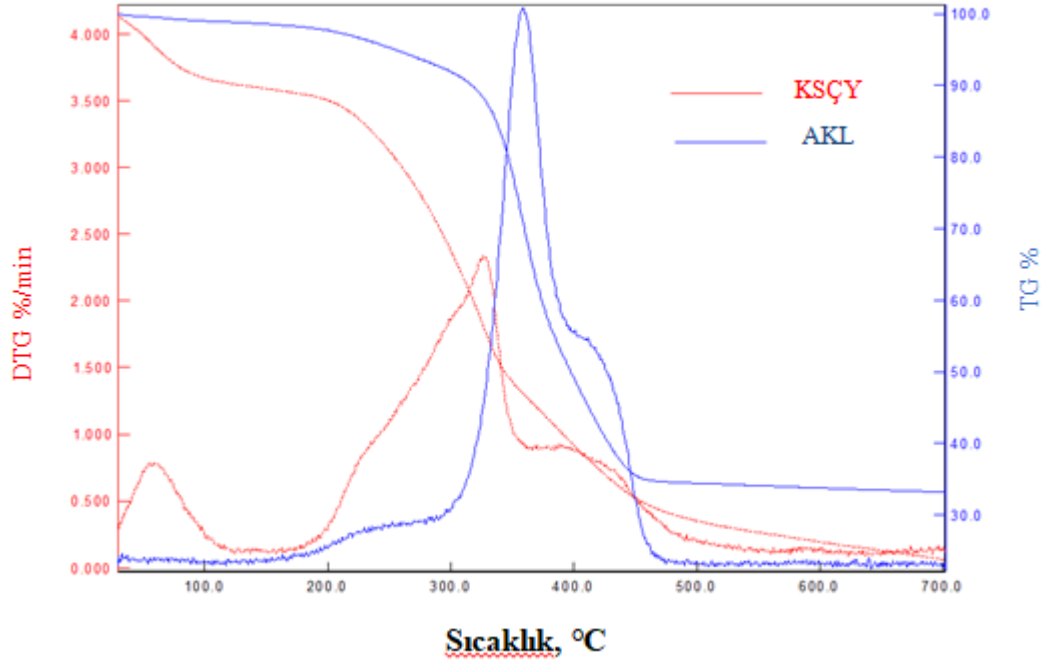
Aktif karbonların yüzey morfolojisinin analizi için yüksek çözünürlüklü FEI Quanta 450 FEG SEM analizi uygulanmıştır. Analizden önce numune yüzeyinin iletken hale getirilmesi önemlidir. Tüm aktif karbonlar karbon bantlı bir alüminyum örnek tutucu

üzerine yerleştirilmiş, Quorum Technologies, Q150R kaplama cihazı kullanılarak altınla kaplanmıştır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Atık hammaddelere ait termogravimetrik (TG) ve diferansiyel termogravimetrik (DTG) eğrileri şekil 5.1’de gösterilmiştir.

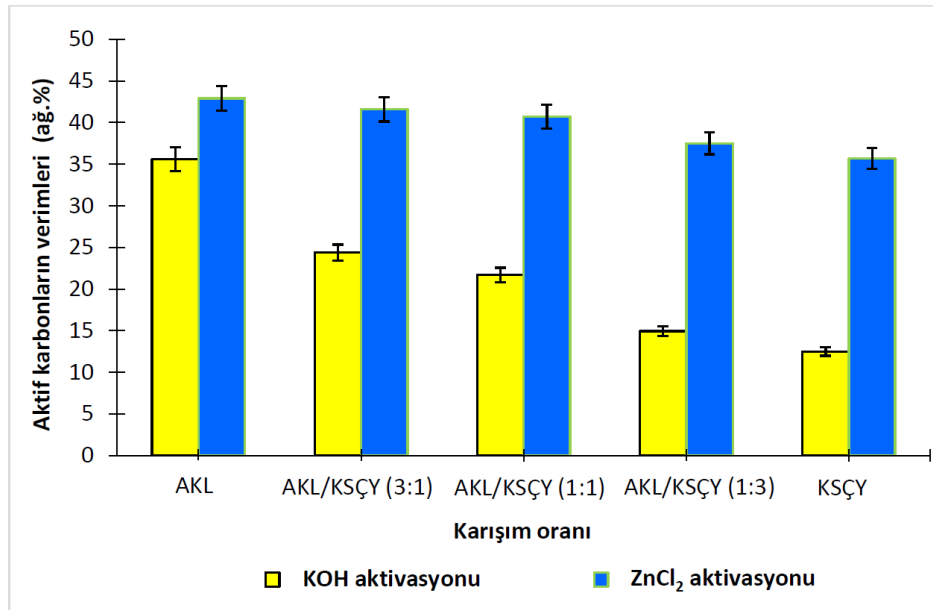


Şekil 5.1. Siyah çay yaprakları (KSÇY) ve atık kamyon lastiğinin (AKL) termogravimetrik (TG) ve diferansiyel termogravimetrik (DTG) eğrileri.

AKL'nin bozunma profili 3 temel basamakta gerçekleşmektedir. 200 – 300 °C'de gerçekleşen ilk ağırlık kaybı (DTG'deki küçük omuz), atık lastikteki katkı maddelerine atanabilir. İkinci keskin pik doğal kauçuğun bozunmasından ve üçüncü pik atık lastik içerisindeki sentetik kauçuğun (stiren bütadien kauçuk ve bütül kauçuk) bozunmasından kaynaklanmaktadır. AKL'nin bozunması 200 °C'de başlayıp 500 °C'de son bulmuştur.

Literatürde atık lastiğin TG analizi diğer araştırmacılar tarafından da gerçekleştirilmiş olup atık lastiğin pirolizinin üç temel ayrışma basamağından meydana geldiği belirtilmiştir [50,54,55]. KSCY'nin bozunması da 3 basamakta gerçekleşmektedir.

İlk bozunma 25 – 100 °C'de nemin uzaklaşmasından meydana gelmektedir. Temel bozunma 200 ve 350 °C'de gerçekleşmiş olup holoselülozun ve ligninin kısmi bozunmasından kaynaklanmaktadır [56]. Bozunmanın son basamağı 350 ve 600 °C'de ligninin bozunması ile gerçekleşmektedir. Çay atıklarının termal bozunması literatürde diğer çalışmalarda da gerçekleştirilmiş, bu çalışmadaki ile benzer sonuçlar elde edilmiştir [57,58]. İki farklı aktivasyon ajanı ile 800 °C'de elde edilen aktif karbonların verimleri üzerine karışım oranlarının etkilerini Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

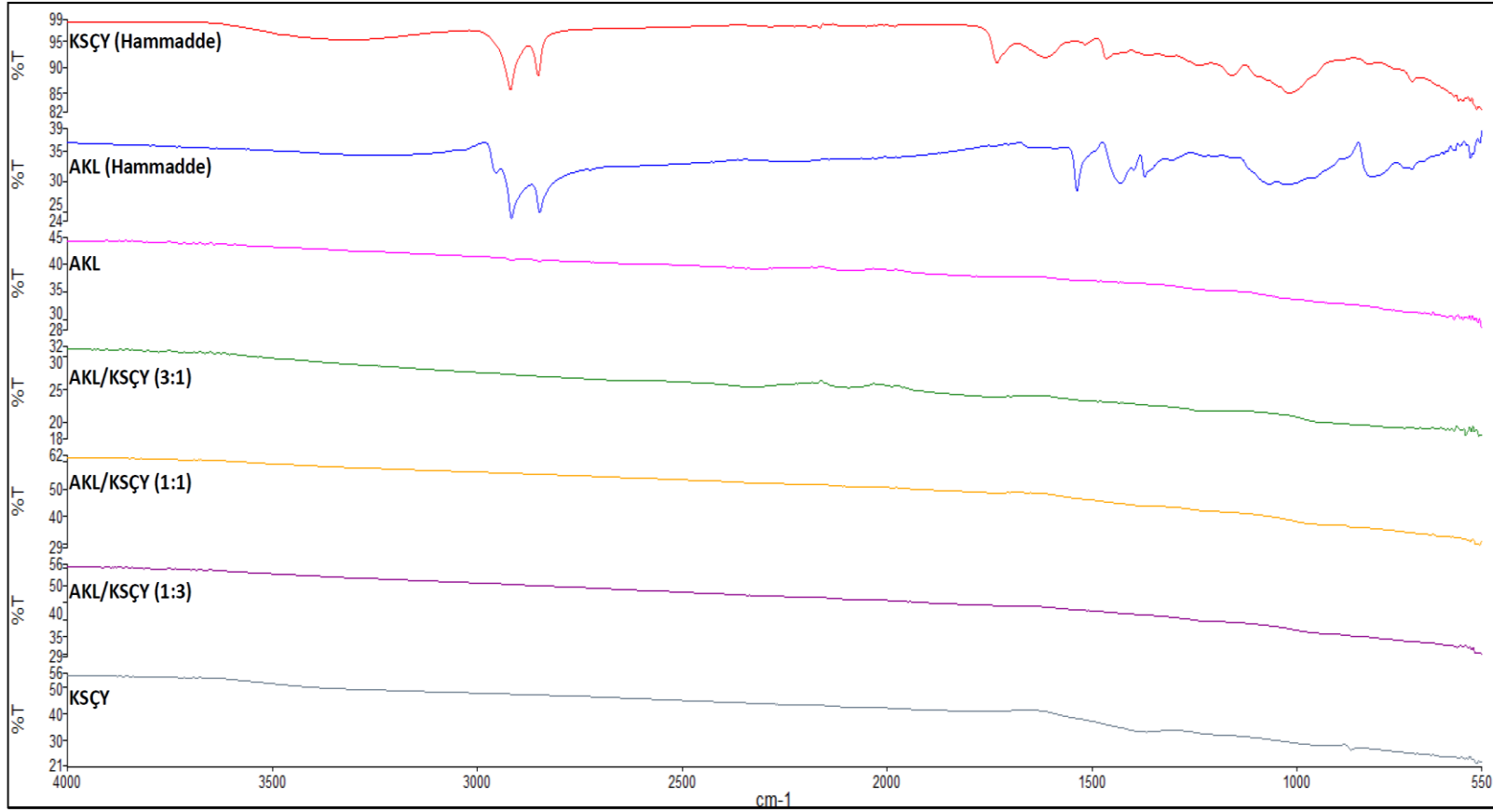


Şekil 5.2. Karışım oranlarının aktif karbonların verimleri üzerine etkisi.

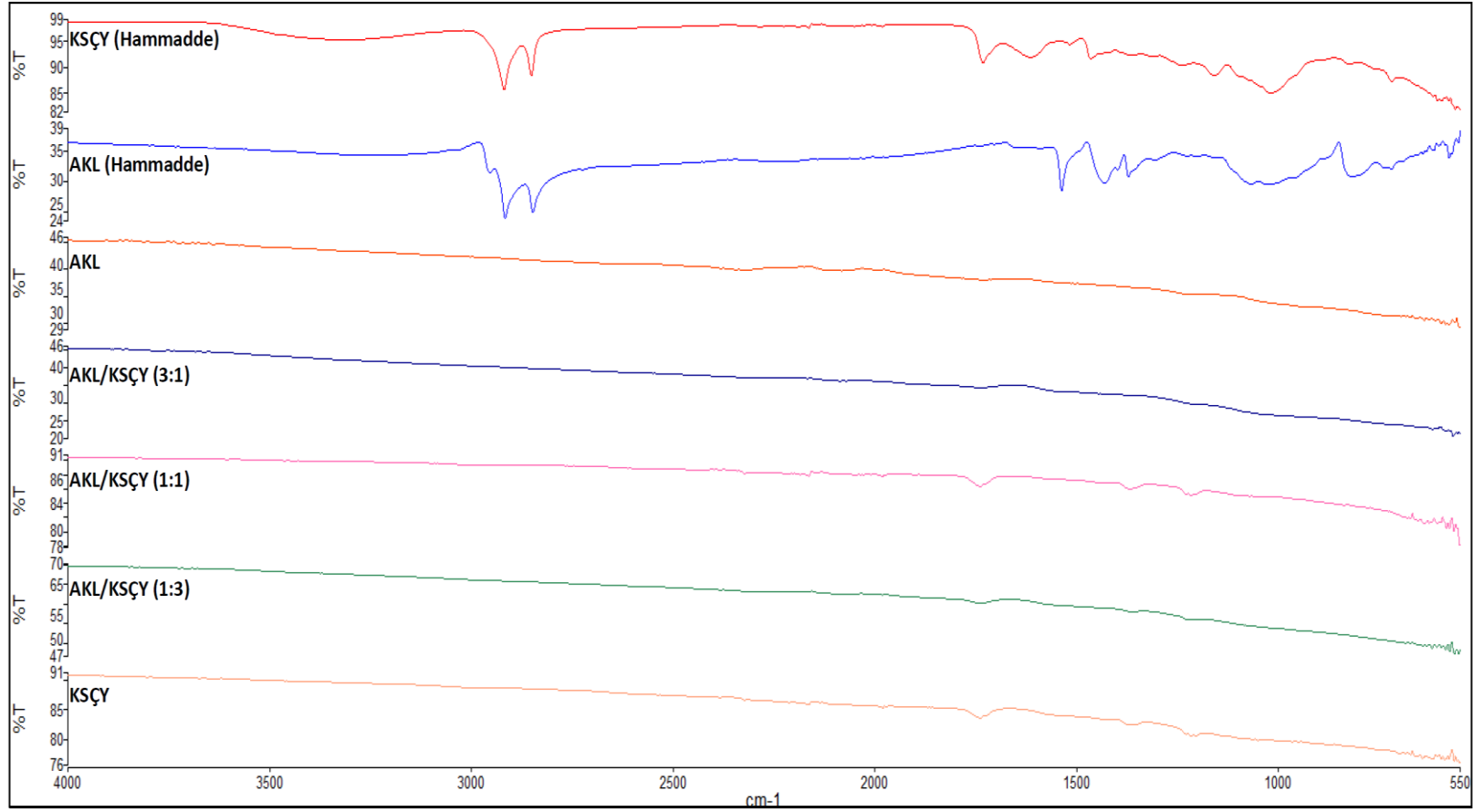
Hem KOH hem de ZnCl₂ aktivasyonunda KSCY oranı arttıkça aktif karbonların verimleri azalmıştır. Bu durum hem asidik (ZnCl₂) hem de bazik (KOH) aktivasyon ajanlarının lignoselüloza karşı kauçuktan daha reaktif olduklarını göstermektedir. Bu yüzden aktivasyon ajanları lignoselülozda dehidrasyon ve eliminasyon

reaksiyonlarını kolaylaştırarak, karışımda KSCY oranının artmasıyla daha fazla uçucu madde salımına ve daha az karbon verimine yol açmaktadır. Tüm deneylerde, ZnCl₂ aktivasyonları ile üretilen aktif karbonların verimi, KOH ile elde edilenlerden daha yüksek olmuştur. Farklı hammaddelerin ve koşulların kullanıldığı çalışmalarda da ZnCl₂ aktivasyonu üretilen aktif karbonların verimlerinin KOH aktivasyonu ile üretilenlerden daha yüksek olduğu gösterilmiştir [59–61].

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de görüldüğü gibi, çay ve lastik hammaddelerinin FTIR spektrumları incelendiğinde, 3200 - 3400 cm⁻¹ aralığında geniş hidroksil (O-H) gerilme titreşimleri ile 1732 cm⁻¹ civarında keskin ve çoğunlukla şiddetli pik karbonil (C=O) grubu titreşimleri yalnızca çay hammaddesinde gözlenirken 2800-3000 cm⁻¹ aralığındaki alifatik CH₃ ve CH₂’deki C-H gerilme titreşimlerini ait pikler hem çay hem de lastik hammaddelerinde benzerlik göstermektedir. Hammaddelerde görülen karakteristik pikler aktif karbonlarda tamamen yok olmuştur. Fonksiyonel grupların yok olması bize hammaddelerin yüksek sıcaklık etkisiyle yüzeylerindeki fonksiyonel grupları kaybettiğini göstermektedir. Karboksil grupları aktif karbon eldesinde yapıdan CO₂ şeklinde ayrılmaktadır [62]. Oksijen içeriği yüksek olan çayın yapısındaki diğer oksijenli grupların ayrılması elementel analiz ile de desteklenmektedir. Yapıda bulunan C=C gerilme titreşimlerinin FT-IR analizinde infrared etkisiz hale gelmesinin nedeni C=O ve C-O türlerinin yüksek sıcaklıklarda parçalanması ile komşu C=C gruplarının simetrik bir düzenlemeye ulaşması sonucudur [63]. Aktif karbon yapılarındaki grupların geleneksel FT-IR tekniği ile belirlenmesini engelleyen diğer etmenler bantların genişlemesi ve çakışmasıdır [64].



Şekil 5.3. Hammaddelerin ve KOH aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların FT-IR spektrumları.



Şekil 5.4. Hammaddelerin ve ZnCl₂ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların FT-IR spektrumları.

Çizelge 5.1, hammaddelerin, 800 °C 'de KOH ve ZnCl₂ aktivasyonları ile elde edilen aktif karbonların elementel kompozisyonlarını, atomik oranlarını (O / C ve H / C), kül ve üst ısıl değerlerini göstermektedir. AKL'nin karbon içeriği KSCY'ından daha yüksek bulunmuştur. Ancak, karbonlaşma sürecinden sonra bu durum tersine dönmüştür. KSCY'den üretilen aktif karbonun karbon içeriği, AKL'den üretilenden daha yüksektir. Karbon içerikleri, KOH aktivasyonu için ağırlıkça % 66,25 ile % 72,01 arasında değişmiştir ve ZnCl₂ aktivasyonu için ağırlıkça % 68,12 ile % 74,96 arasında değişmiştir. AKL / KSCY karışımındaki KSCY oranı artırıldığında, karbon içeriği de artmıştır. En yüksek karbon içeriği KSCY'den üretilen aktif karbon ile elde edilmiştir. Hem O/C hem de H/C oranları, karışımındaki KSCY oranının artması ile azalmıştır.

KOH aktivasyonunda olduğu gibi, ZnCl₂ kullanılmasıyla da elde edilen aktif karbonların karbon içerikleri AKL'nin karbon içeriğinden daha düşüktür. Karışımındaki KSCY oranı artarken aktif karbonların karbon içeriği de artmıştır. ZnCl₂ aktivasyonu, KOH aktivasyonuna göre aktif karbonlarda daha yüksek karbon ve daha düşük oksijen içeriğine yol açmıştır. ZnCl₂ ile üretilen aktif karbondaki O/C atomik oranları, aynı koşullar altında KOH ile elde edilenlerden daha düşüktür.

Çizelge 5.1. AKL, KSCY'nin ve farklı oranlardaki hammaddelerden KOH ve ZnCl₂ aktivasyonu ile 800 °C'de elde edilen aktif karbonların elementel bileşenleri (ağ.%), atomik oranları, üst ısıl değerleri (ÜİD) ve kül değerleri (ağ.%).

Hammadde	C	H	N	S	O^a	H/C	O/C	Kül	ÜİD (MJ/kg)
AKL	82,64	7,52	0,55	1,49	7,8	1,09	0,07	7,67	37,42
KSCY	49,82	6,22	2,63	0,23	41,1	1,5	0,62	0,72	18,41
KOH aktivasyonu ile üretilen aktif karbonlar									
AKL	66,25	2,46	1,28	0,25	30,75	0,45	0,35	5,65	20,11
AKL/KSCY (3:1)	66,42	2,19	1,27	0,22	29,91	0,4	0,34	4,45	20,26
AKL/KSCY (1:1)	68,65	2,1	1,25	0,23	27,77	0,37	0,3	3,83	21,26
AKL/KSCY (1:3)	71,35	1,86	1,5	0,24	25,05	0,31	0,26	1,96	22,33
KSCY	72,01	1,72	1,73	0,28	24,26	0,29	0,25	1,52	22,49

Çizelge 5.1. (devam ediyor).

ZnCl₂ aktivasyonu ile üretilen aktif karbonlar									
AKL	68,12	2,21	1,9	0,25	27,52	0,39	0,3	4,64	21,29
AKL/KSÇY (3:1)	69,78	2,17	1,43	0,21	26,41	0,37	0,28	4,45	22
AKL/KSÇY (1:1)	71,02	1,97	1,72	0,28	25,02	0,33	0,26	3,86	22,37
AKL/KSÇY (1:3)	73,62	1,82	1,74	0,25	22,58	0,3	0,23	3,96	23,47
KSÇY	74,96	1,58	2,75	0,29	20,43	0,25	0,2	0,52	23,98

^afarktan

Önceki çalışmalar da ZnCl₂'nin dehidrasyon etkinliğinin KOH'den daha yüksek olduğunu göstermiştir [5]. Sentezlenen aktif karbonların özellikleri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. 800 °C'de AKL, KSÇY ve AKL/KSÇY karışımlarından elde edilen aktif karbonların özellikleri.

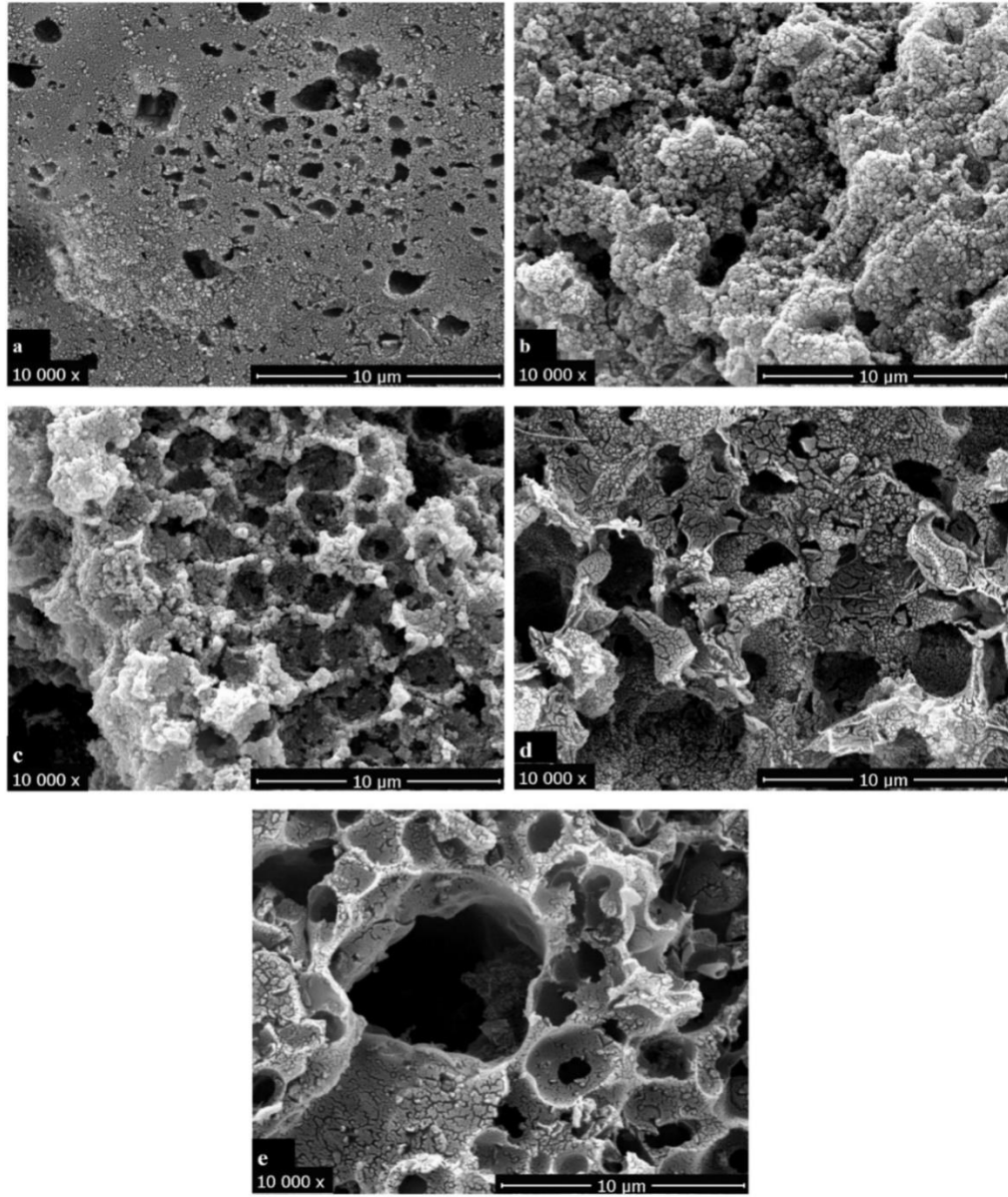
	Hammadde	A_{BET}	A_{mi}	A_{ext}	A_{mi}/	V_{mi}	V_D	D
		(m²/g)	(m²/g)	(m²/g)	A_{BET}	(cm³/g)	(cm³/g)	(Å)
	AKL	142,62	61,26	81,36	0,43	0,0314	0,1388	47,1
	AKL/ KSÇY (3:1)	148,92	19,74	129,18	0,13	0,0093	0,1711	50,9
KOH	AKL/ KSÇY (1:1)	179,93	53,16	126,77	0,30	0,0263	0,1475	43,0
	AKL/ KSÇY (1:3)	305,00	161,5	143,5	0,53	0,0829	0,1881	30,2
	KSÇY	820,69	466,49	356,20	0,57	0,2399	0,2425	27,6
	AKL	96,30	19,80	76,50	0,21	0,0096	0,1026	50,5
	AKL/ KSÇY (3:1)	168,82	34,89	133,93	0,21	0,0173	0,1562	46,1
ZnCl₂	AKL/ KSÇY (1:1)	376,90	128,34	248,56	0,34	0,0651	0,2428	35,4
	AKL/ KSÇY (1:3)	527,24	237,61	289,63	0,45	0,1235	0,3070	28,0
	KSÇY	748,07	414,36	333,71	0,55	0,2114	0,3654	25,7

A_{BET}, BET yüzey alanı; A_{mi}, mikrogözenek alanı; A_{ext}, dış yüzey alanı alanı; V_{mi}, mikrogözenek hacmi; V_D, toplam gözenek hacmi; D, ortalama gözenek çapı.

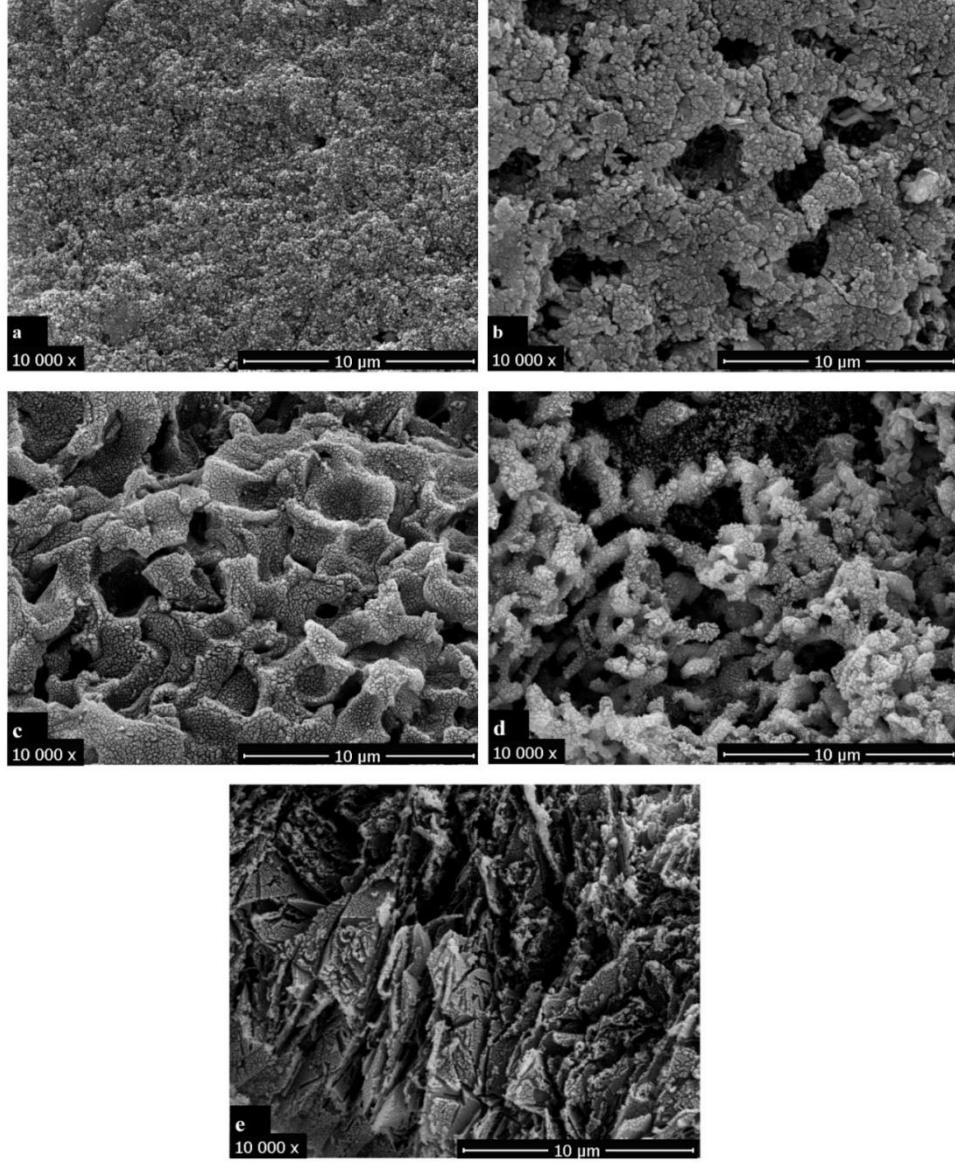
Sentezlenen aktif karbonların özellikleri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Hammadde çeşidi ve aktivasyon ajanı aktif karbonların karakteristiklerini önemli ölçüde

etkilemişlerdir. KSCY'nin AKL'ye eklenmesi hem KOH hem de ZnCl₂ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların yüzey alanlarını arttırmıştır. Karışımlardan elde edilen aktif karbonlarda, ZnCl₂ aktivasyonu ile aynı koşullar altında KOH aktivasyonundan daha yüksek yüzey alanları elde edilmiştir. Bununla birlikte, tek başına KSCY veya tek başına AKL'nin kullanıldığı deneylerde KOH aktivasyonu ile daha yüksek BET yüzey alanları gözlenmiştir. Tek başına AKL ve AKL/KSCY karışımlarından elde edilen aktif karbonlar başlıca mezogözenek özellikler göstermişlerdir. Karışımlarda KSCY oranının artması ile, hem KOH hem de ZnCl₂ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenekliliğini arttırmıştır. Benzer koşullar altında, karışımlardan elde edilen aktif karbonların mikro gözenek hacmi, ZnCl₂ ile KOH ile olduğundan daha yüksek bulunmuştur.

SEM görüntüleri elde edilen aktif karbonların morfolojisini incelememiz için kullanılmıştır. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 sırasıyla KOH ve ZnCl₂ aktivasyonu ile AKL, KSCY, ve AKL/KSCY karışımlarından 800 °C'de elde edilen aktif karbonların SEM görüntülerini göstermektedir. Aktif karbonların yüzeylerini deneysel koşullar, hammadde çeşidi, aktivasyon ajanı gibi parametreler önemli ölçüde etkilemektedir [65]. Bu çalışmada kullanılan hammaddelerin kompleks yapıları, sentezlenen aktif karbonların yüzeylerinin heterojen olmasına neden olmuştur, heterojen yüzey yapıları her iki aktivasyonda da gözlenmiştir. SEM görüntülerinden kullanılan aktivasyon ajanının aktif karbonların yüzeyini önemli ölçüde etkilediği görülebilir. Yüzeyde oluşan gözenekler, AKL/KSCY karışımlarından elde edilen aktif karbonlarda açıkça gözlemlenmektedir. Hammadde yapısındaki bağlar sıcaklığın ve aktivasyon ajanının etkisiyle kopmakta, yapıdan ayrılan uçucu bileşiklerin de etkisiye yüzeyde çatlak, çukur ve gözenekler oluşmaktadır.



Şekil 5.5. KOH aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri a)AKL
b) AKL/ KSÇY (3:1) c) AKL/ KSÇY (1:1) d) AKL/ KSÇY (1:3) e)KSÇY.



Şekil 5.6. $ZnCl_2$ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri
a) AKL b)AKL/ KŞÇY (3:1) c) AKL/ KŞÇY (1:1) d) AKL/ KŞÇY (1:3)
e)KŞÇY.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

AKL'nin bozunma profili 3 temel basamakta gerçekleşmiştir. 200 – 300 °C'de gerçekleşen ilk ağırlık kaybı atık lastikteki katkı maddelerinden meydana gelmiştir. İkinci keskin pik doğal kauçuğun bozunmasından ve üçüncü pik atık lastik içerisindeki sentetik kauçuğun (stiren bütadien kauçuk ve bütül kauçuk) bozunmasından kaynaklanmıştır. AKL'nin bozunması 200 °C'de başlayıp 500 °C'de son bulmuştur. KSCY'nin bozunması da 3 basamakta gerçekleşmiştir. İlk bozunma 25 – 100 °C'de nemin uzaklaşmasından meydana gelmiştir. Temel bozunma 200 ve 350 °C'de gerçekleşmiş olup holoselülozun ve ligninin kısmi bozunmasından kaynaklanmıştır. Bozunmanın son basamağı 350 ve 600 °C'de ligninin bozunması ile gerçekleşmiştir.

Hem KOH hem de $ZnCl_2$ aktivasyonunda KSCY oranı arttıkça aktif karbonların verimleri azalmıştır. Tüm deneylerde, $ZnCl_2$ aktivasyonları ile üretilen aktif karbonların verimi, KOH ile elde edilenlerden daha yüksek olmuştur.

Hammaddelerde görülen karakteristik pikler aktif karbonlarda tamamen yok olmuştur. Fonksiyonel grupların yok olması bize hammaddelerin yüksek sıcaklık etkisiyle yüzeylerindeki fonksiyonel grupları kaybettiğini göstermektedir. Karboksil grupları aktif karbon eldesinde yapıdan CO_2 şeklinde ayrılmaktadır.

AKL'nin karbon içeriği KSCY'ninkinden daha yüksek bulunmuştur. Ancak, karbonlaşma sürecinden sonra bu durum tersine dönmüştür. KSCY'den üretilen aktif karbonun karbon içeriği, AKL'den üretilenden daha yüksektir. Karbon içerikleri, KOH aktivasyonu için ağırlıkça % 66,25 ile % 72,01 arasında değişmiştir ve $ZnCl_2$ aktivasyonu için ağırlıkça % 68,12 ile % 74,96 arasında değişmiştir. $ZnCl_2$

kullanılmasıyla da elde edilen aktif karbonların karbon içerikleri AKL'nin karbon içeriğinden daha düşüktür. Karışımdaki KSCY oranı artarken aktif karbonların karbon içeriği de artmıştır. ZnCl₂ aktivasyonu, KOH aktivasyonuna göre aktif karbonlarda daha yüksek karbon ve daha düşük oksijen içeriğine yol açmıştır.

KSCY'nin AKL'ye eklenmesi hem KOH hem de ZnCl₂ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların yüzey alanlarını arttırmıştır. Karışımlardan elde edilen aktif karbonlarda, ZnCl₂ aktivasyonu ile aynı koşullar altında KOH aktivasyonundan daha yüksek yüzey alanları elde edilmiştir. Tek başına KSCY veya tek başına AKL'nin kullanıldığı deneylerde KOH aktivasyonu ile daha yüksek BET yüzey alanları gözlenmiştir.

Sentezlenen aktif karbonların yüzeyleri heterojen yapıda olup, heterojen yüzey yapıları her iki aktivasyonda da gözlenmiştir. Kullanılan aktivasyon ajanı aktif karbonların yüzeylerini önemli ölçüde etkilemiştir. Yüzeyde oluşan gözenekler, AKL/KSCY karışımlarından elde edilen aktif karbonlarda açıkça gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada, iki farklı katı atık olan lastik ve çay atıklarının aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılabilceği gösterilmiştir. Atıkların hammadde olarak kullanılması hem çevre açısından hem de birçok uygulama alanına sahip karbon malzemelerin elde edilmesi açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Williams, P. T., "Pyrolysis of waste tyres: a review", *Waste Management*, 33 (8): 1714–1728 (2013).
2. "Tea Fact Sheet", <http://www.teausa.com/14655/tea-fact-sheet> (2020).
3. Ghosh, S., Avasthi, D. K., Tripathi, A., Kabiraj, D., Singh, S., and Misra, D. S., "Electronic sputtering of carbon allotropes", *Nuclear Instruments And Methods In Physics Research Section B: Beam Interactions With Materials And Atoms*, 219: 973–979 (2004).
4. Sudaryanto, Y., Hartono, S. B., Irawaty, W., Hindarso, H., and Ismadji, S., "High surface area activated carbon prepared from cassava peel by chemical activation", *Bioresource Technology*, 97 (5): 734–739 (2006).
5. Marsh, H. and Reinoso, F. R., "Activated Carbon", *Elsevier*, (2006).
6. Ioannidou, O. and Zabaniotou, A., "Agricultural residues as precursors for activated carbon production—a review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 11 (9): 1966–2005 (2007).
7. Jüntgen, H., "Activated carbon as catalyst support: a review of new research results", *Fuel*, 65 (10): 1436–1446 (1986).
8. Yagmur, E., Ozmak, M., and Aktas, Z., "A novel method for production of activated carbon from waste tea by chemical activation with microwave energy", *Fuel*, 87 (15–16): 3278–3285 (2008).
9. McDougall, G. J., "The physical nature and manufacture of activated carbon", *Journal Of The Southern African Institute Of Mining And Metallurgy*, 91 (4): 109–120 (1991).
10. Bansal, R. C. and Goyal, M., "Activated Carbon Adsorption", *CRC Press*, (2005).
11. Çeçen, F. and Aktas, Ö., "Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment", *John Wiley & Sons*, (2011).
12. Dąbrowski, A., "Adsorption-its development and application for practical purposes", *Studies In Surface Science And Catalysis*, 120: 3–68 (1999).

13. Karagöz, S., Tay, T., Ucar, 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).
14. Al-Rahbi, A. S. and Williams, P. T., "Production of activated carbons from waste tyres for low temperature NO_x control", *Waste Management*, 49: 188–195 (2016).
15. Nahil, M. A. and Williams, P. T., "Activated carbons from acrylic textile waste", *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 89 (1): 51–59 (2010).
16. Fałtynowicz, H., Kaczmarczyk, J., and Kułazyński, M., "Preparation and characterization of activated carbons from biomass material—giant knotweed (*Reynoutria sachalinensis*)", *Open Chemistry*, 13 (1): (2015).
17. Esra Çaylak, "UCUZ ADSORBAN KULLANIMIYLA SULARDAN CR(VI), FENOL VE BOYAR MADDELERİN UZAKLAŞTIRILMASI", *Ege Üniversitesi*, İzmir, (2007).
18. Nurul'ain, B. J., "The production and characterization of activated carbon using local agricultural waste through chemical activation process", *International Journal Of Environment And Bioenergy-Research Gate*, 1–24 (2007).
19. Rouquerol, J., Rouquerol, F., Llewellyn, P., Maurin, G., and Sing, K. S., "Adsorption by Powders and Porous Solids: Principles, Methodology and Applications", *Academic Press*, (2013).
20. Do, D. D., "Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics (With CD Containing Computer Matlab Programs)", *World Scientific*, (1998).
21. Hassan, H. Z., Mohamad, A. A., Alyousef, Y., and Al-Ansary, H. A., "A review on the equations of state for the working pairs used in adsorption cooling systems", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 45: 600–609 (2015).
22. Manocha, S. M., "Porous carbons", *Sadhana*, 28 (1–2): 335–348 (2003).
23. KÜÇÜKGÜL, E. Y., "Ticari aktif karbon üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 6 (3): 41–56 (2004).
24. "Selion", <https://www.selion.com.tr/tr-tr/> (2021).
25. Bag, O., Tekin, K., and Karagoz, S., "Microporous activated carbons from lignocellulosic biomass by KOH activation", *Fullerenes, Nanotubes And Carbon Nanostructures*, 1–8 (2020).
26. Hui, T. S. and Zaini, M. A. A., "Potassium hydroxide activation of activated carbon: a commentary", *Carbon Letters*, 16 (4): 275–280 (2015).
27. Azargohar, R., "Production of activated carbon and its catalytic application for oxidation of hydrogen sulphide", PhD Thesis, (2009).

28. Teng, H., Lin, Y.-C., and Hsu, L.-Y., "Production of activated carbons from pyrolysis of waste tires impregnated with potassium hydroxide", *Journal Of The Air & Waste Management Association*, 50 (11): 1940–1946 (2000).
29. Li, S., Han, K., Li, J., Li, M., and Lu, C., "Preparation and characterization of super activated carbon produced from gulfweed by KOH activation", *Microporous And Mesoporous Materials*, 243: 291–300 (2017).
30. Villota, S. M., Lei, H., Villota, E., Qian, M., Lavarias, J., Taylan, V., Agulto, I., Mateo, W., Valentin, M., and Denson, M., "Microwave-assisted activation of waste cocoa pod husk by H₃PO₄ and KOH—comparative insight into textural properties and pore development", *ACS Omega*, 4 (4): 7088–7095 (2019).
31. Qiu, Z., Wang, Y., Bi, X., Zhou, T., Zhou, J., Zhao, J., Miao, Z., Yi, W., Fu, P., and Zhuo, S., "Biochar-based carbons with hierarchical micro-meso-macro porosity for high rate and long cycle life supercapacitors", *Journal Of Power Sources*, 376: 82–90 (2018).
32. Zhang, J., Gao, J., Chen, Y., Hao, X., and Jin, X., "Characterization, preparation, and reaction mechanism of hemp stem based activated carbon", *Results In Physics*, 7: 1628–1633 (2017).
33. Uçar, S., Erdem, M., Tay, T., and Karagöz, S., "Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by ZnCl₂ activation", *Applied Surface Science*, 255 (21): 8890–8896 (2009).
34. Olivares-Marín, M., Fernández-González, C., Macías-García, A., and Gómez-Serrano, V., "Preparation of activated carbon from cherry stones by chemical activation with ZnCl₂", *Applied Surface Science*, 252 (17): 5967–5971 (2006).
35. Mozammel, H. M., Masahiro, O., and Bhattacharya, S. C., "Activated charcoal from coconut shell using ZnCl₂ activation", *Biomass And Bioenergy*, 22 (5): 397–400 (2002).
36. Yorgun, S., Vural, N., and Demiral, H., "Preparation of high-surface area activated carbons from Paulownia wood by ZnCl₂ activation", *Microporous And Mesoporous Materials*, 122 (1–3): 189–194 (2009).
37. 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).
38. Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W., and Mjalli, F. S., "Using granular activated carbon prepared from oil palm shell by ZnCl₂ and physical activation for methane adsorption", *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 89 (2): 197–203 (2010).
39. Kanunu, Ç., "Kanun numarası: 2872", *Resmi Gazetede Yayımlanma Tarihi*, 11: (1983).

40. Gündüzalp, A. A. and Güven, S., "Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya belediyesi ve semt tüketicileri örneği", *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 9: (2016).
41. Palabıyık, H., "Çevre Sorunu Olarak Kentsel Katı Atıklar (Çöpler) ve Entegre Katı Atık Yönetimi", *Türk İdare Dergisi*, 70 (420): 45–64 (1998).
42. Karaağaç, B., Kalkan, M. E., and Deniz, V., "End of life tyre management: Turkey case", *Journal Of Material Cycles And Waste Management*, 19 (1): 577–584 (2017).
43. Parthasarathy, P., Choi, H. S., Park, H. C., Hwang, J. G., Yoo, H. S., Lee, B.-K., and Upadhyay, M., "Influence of process conditions on product yield of waste tyre pyrolysis-A review", *Korean Journal Of Chemical Engineering*, 33 (8): 2268–2286 (2016).
44. Seçgin, H., "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği Tanıtım Sunumu", *Atık Yönetimi Sempozyumu*, (2011).
45. 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).
46. Betancur, M., Martínez, J. D., and Murillo, R., "Production of activated carbon by waste tire thermochemical degradation with CO₂", *Journal Of Hazardous Materials*, 168 (2–3): 882–887 (2009).
47. Ko, D. C., Mui, E. L., Lau, K. S., and McKay, G., "Production of activated carbons from waste tire—process design and economical analysis", *Waste Management*, 24 (9): 875–888 (2004).
48. Merchant, A. A. and Petrich, M. A., "Pyrolysis of scrap tires and conversion of chars to activated carbon", *AIChE Journal*, 39 (8): 1370–1376 (1993).
49. Mui, E. L., Ko, D. C., and McKay, G., "Production of active carbons from waste tyres—a review", *Carbon*, 42 (14): 2789–2805 (2004).
50. Murillo, R., Navarro, M. V., Garcia, T., López, J. M., Callén, M. S., Aylón, E., and Mastral, A. M., "Production and application of activated carbons made from waste tire", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44 (18): 7228–7233 (2005).
51. Auta, M. and Hameed, B. H., "Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye", *Chemical Engineering Journal*, 171 (2): 502–509 (2011).
52. Gundogdu, A., Duran, C., Senturk, H. B., Soylak, M., Imamoglu, M., and Onal, Y., "Physicochemical characteristics of a novel activated carbon produced from tea industry waste", *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 104: 249–259 (2013).

53. Gurten, I. I., Ozmak, M., Yagmur, E., and Aktas, Z., "Preparation and characterisation of activated carbon from waste tea using K₂CO₃", *Biomass And Bioenergy*, 37: 73–81 (2012).
54. Martínez, J. D., Veses, A., Mastral, A. M., Murillo, R., Navarro, M. V., Puy, N., Artigues, A., Bartrolí, J., and García, T., "Co-pyrolysis of biomass with waste tyres: Upgrading of liquid bio-fuel", *Fuel Processing Technology*, 119: 263–271 (2014).
55. Williams, P. T. and Besler, S., "Pyrolysis-thermogravimetric analysis of tyres and tyre components", *Fuel*, 74 (9): 1277–1283 (1995).
56. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., and Zheng, C., "Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis", *Fuel*, 86 (12–13): 1781–1788 (2007).
57. Nur-E-Alam, M., Mia, M. A. S., Ahmad, F., and Rahman, M. M., "Adsorption of chromium (Cr) from tannery wastewater using low-cost spent tea leaves adsorbent", *Applied Water Science*, 8 (5): 129 (2018).
58. Zuorro, A., Lavecchia, R., Medici, F., and Piga, L., "Spent tea leaves as a potential low-cost adsorbent for the removal of azo dyes from wastewater", *Chemical Engineering*, 32: 19–24 (2013).
59. Anis, D., Ishak, M. A. M., Zaidi, A. G., Khudzir, I., Iqbal, M. N., Osman, U. M., and Nawawi, W. I., "Production of rubber seed pericarp based activated carbon using microwave-induced different chemical activating agent", *International Journal Of Scientific And Research Publications*, 4 (7): 1–8 (2014).
60. Ma, Y., "Comparison of activated carbons prepared from wheat straw via ZnCl₂ and KOH activation", *Waste And Biomass Valorization*, 8 (3): 549–559 (2017).
61. Teng, H., Lin, Y.-C., and Hsu, L.-Y., "Production of activated carbons from pyrolysis of waste tires impregnated with potassium hydroxide", *Journal Of The Air & Waste Management Association*, 50 (11): 1940–1946 (2000).
62. Pradhan, B. K. and Sandle, N. K., "Effect of different oxidizing agent treatments on the surface properties of activated carbons", *Carbon*, 37 (8): 1323–1332 (1999).
63. Meldrum, B. J. and Rochester, C. H., "Infrared spectra of carbonaceous chars under carbonization and oxidation conditions", *Fuel*, 70 (1): 57–63 (1991).
64. Romanos, J., Beckner, M., Rash, T., Firlej, L., Kuchta, B., Yu, P., Suppes, G., Wexler, C., and Pfeifer, P., "Nanospace engineering of KOH activated carbon", *Nanotechnology*, 23 (1): 015401 (2011).
65. Yahya, M. A., Al-Qodah, Z., and Ngah, C. Z., "Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 46: 218–235 (2015).

TEZDEN ÇIKAN YAYINLAR

1. Guclu, C., Alper, K., Erdem, M., Tekin, K., & Karagoz, S. “Activated carbons from co-carbonization of waste truck tires and spent tea leaves”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 21, 100410 (2021)

ÖZGEÇMİŞ

Cansu GÜÇLÜ AKSAKAL Çorlu'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Çorlu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında yüksek lisans programına kaydoldu.