

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BADEM KABUĞU İLE KAYISI VE ŞEFTALİ
ÇEKİRDEĞİNDEN HAZIRLANAN LİGNO-
SELÜLOZİK KARIŞIMDAN KİMYASAL
AKTİVASYONLA AKTİF KARBON ELDESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem AKÇAKAL

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ERDEM

Mayıs-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BADEM KABUĞU İLE KAYISI VE ŞEFTALİ ÇEKİRDEĞİNDEN
HAZIRLANAN LİGNO-SELÜLOZİK KARIŞIMDAN KİMYASAL
AKTİVASYONLA AKTİF KARBON ELDESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem AKÇAKAL
142112103

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği
Programı: Çevre Bilimleri

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ERDEM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 2 MAYIS 2017

Mayıs-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BADEM KABUĞU İLE KAYISI VE ŞEFTALİ ÇEKİRDEĞİNDEN
HAZIRLANAN LİGNO-SELÜLOZİK KARIŞIMDAN KİMYASAL
AKTİVASYONLA AKTİF KARBON ELDESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem AKÇAKAL
142112103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Mayıs 2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Mayıs 2017

Tez Danışmanı :

Prof. Dr. Mehmet ERDEM (F.Ü)



Diğer Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Hilal ARSLANOĞLU (M.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Özlem TEPE (F.Ü)



Mayıs-2017

ÖNSÖZ

Tez konumun seçilmesi, planlanması, hazırlanmasın da yardımcı olan, değerli akademik bilgi ve deneyimlerini esirgemedi paylaşan, hoşgörü ve sabrıyla bana her zaman yol gösteren ve daima destekleyen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ERDEM'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana yardım eden Uzm. Kimya Müh. Mehmet ŞAHİN'e ve her konuda yanımda olup motive eden, bana varlıklarıyla güç veren çok değerli arkadaşlarım Şeyma YÜKSEL ve Meriç YILMAZ'a teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyip, bugünlere gelmemi sağlayan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Özlem AKÇAKAL

Elazığ-2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. AKTİF KARBON.....	4
2.1. Aktif Karbon Tanımı	4
2.2. Aktif Karbon Tarihçesi.....	5
2.3. Aktif Karbonun Özellikleri	6
2.3.1. Fiziksel Özellikler	7
2.3.1.1. Gözenek Büyüklüğü (Porozite)	7
2.3.1.2. Yüzey Alanı.....	9
2.3.1.3. Kristal Yapısı.....	10
2.3.2. Kimyasal Özellikler.....	11
2.4. Aktif Karbonun Sınıflandırılması.....	14
2.4.1. Toz Halindeki Aktif Karbonlar (PAC).....	14
2.4.2. Granüler Aktif Karbonlar (GAC)	15
2.4.3. Polimer Kaplanmış Aktif Karbonlar	15
2.4.4. Emprenye Aktif Karbonlar	15
2.4.5. Küresel Aktif Karbonlar	15
2.4.6. Aktif Karbon Lifi.....	16
2.4.7. Pellet Aktif Karbonlar	16
2.4.8. Karbon Moleküler Elek (KME)	16
2.5. Aktif Karbon Üretim Yöntemi	17
2.6. Aktif Karbonun Kullanılabilirliğini Karakterize Edici Test Yöntemleri	22
2.6.1. İyot İndisi	22
2.6.2. Metilen Mavisı İndisi	23
2.6.3. Fenol İndisi.....	23

2.6.4.	BET Yüzey Alanı	24
2.6.5.	Kül Tayini.....	25
2.6.6.	Nem Tayini.....	25
2.6.7.	pH Değeri	26
2.6.8.	Boehm Titrasyonu	26
2.6.9.	SEM-EDX	27
2.6.10.	FTIR Analizi.....	27
2.6.11.	Nötral Yük Noktasındaki pH (pH _{zpc}) Tayini	28
2.6.12.	Uçucu Madde Tayini	28
2.6.13.	Suda Çözünür Madde İçeriği.....	29
2.6.14.	Asitte Çözünür Madde İçeriği	29
2.6.15.	Mekanik Dayanım Testi	30
2.7.	Farklı Lignoselülozik Materyallerden Aktif Karbon Eldesi Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar.....	32
3.	MATERYAL VE METOT	55
3.1.	Kayısı Çekirdeği, Şeftali Çekirdeği ve Badem Kabuğunun Temini ve Hazırlanması.....	55
3.2.	Kullanılan Kimyasal Maddeler	55
3.3.	Aktif Karbon Üretimi	55
3.3.1.	Fiziksel Aktivasyonla Aktif Karbon Üretimi	56
3.3.2.	Kimyasal Olarak Aktive Edilmiş Karışımdan Aktif Karbon Üretimi.....	57
3.4.	Karakterizasyon Testleri.....	57
3.4.1.	Çalışmada Kullanılan Hammaddelerin Karakterizasyonu	57
3.4.2.	Aktif Karbon Örneklerinin Karakterizasyonu	58
3.4.2.1.	Kül Tayini.....	58
3.4.2.2.	Elementel Analiz	58
3.4.2.3.	BET Yüzey Alanı, Toplam Gözenek Hacmi ve Por Çapı Tayinleri	58
3.4.2.4.	SEM-EDX Analizleri	59
3.4.2.5.	TGA Analizi	59
3.4.2.6.	FTIR Analizi.....	59
3.4.2.7.	Nötral Yük Noktasındaki pH (pH _{zpc}) Tayini	59
3.4.2.8.	Boehm Titrasyonu	59

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
4.1. Fiziksel Aktivasyonla Aktif Karbon Eldesi.....	61
4.2. ZnCl ₂ ile Kimyasal Olarak Aktive Edilmiş Karışımdan Aktif Karbon Eldesi.....	64
4.2.1. Karbonizasyon Sıcaklığı ve Süresinin Etkisi	65
4.2.2. İmpregnasyon Oranının (ZnCl ₂ /üçlü karışım (w/w)) Etkisi.....	66
4.2.3. İmpregnasyon Süresinin Etkisi.....	68
4.2.4. İmpregnasyon Sıcaklığının Etkisi	69
4.3. Elde Edilen Aktif Karbonların Özellikleri	72
4.3.1. Kül İçeriği.....	72
4.3.2. Yüzey Fonksiyonel Gruplar (Boehm ve FTIR).....	72
4.3.3. pH _{zpc} Değeri.....	74
4.3.4. SEM Görüntüleri	75
5. SONUÇLAR.....	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ	90

ÖZET

Aktif karbonlar; yüksek yüzey alanı, gözenek hacmi ve adsorptif özellikleri nedeniyle çevre, kimya, ilaç ve gıda endüstrisinde adsorbent, katalizör, katalizör destek malzemesi ve elektrot malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılan malzemelerdir. Bu nedenle aktif karbona olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Aktif karbonlar yüksek karbon ve düşük inorganik madde içeriğine sahip materyallerden fiziksel ve/veya kimyasal aktivasyon işlemleriyle elde edilirler. Aktif karbonlar; kullanılan ham madde, aktivasyon metodu ve şartlarına bağlı olarak nispeten pahalı adsorbentlerdir. Yüksek maliyeti yaygın kullanımını sınırlandırmaktadır. Aktivasyonda uygulanan temel işlemler değiştirilemediğinden, daha düşük maliyetli aktif karbonlar elde edebilmek amacıyla, son zamanlarda ekonomik değeri olmayan veya çok düşük olan bitkisel atık ve atıkların bu amaçla kullanılabilirliği araştırılmaktadır.

Bu çalışmada; tarım/gıda endüstrisinin birer artığı olan badem kabuğu ile kayısı ve şeftali çekirdeği karışımından hazırlanan üçlü hammaddeden fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleriyle farklı iki aşamada aktif karbon elde edilmiştir. Birinci aşamada; saf karbondioksit atmosferinde farklı sıcaklıklarda fiziksel aktivasyonla, ikinci aşamada ise farklı $ZnCl_2$ /üçlü karışım oranlarında çinko klorürle, farklı süre ve sıcaklıklarda kimyasal aktivasyona tabi tutulan karışımın saf karbondioksit atmosferinde farklı sıcaklık ve sürelerde karbonizasyonu ile aktif karbonlar elde edilmiştir. Elde edilen aktif karbonlar; BET yüzey alanı, toplam gözenek hacmi, por çapı, kül içeriği, elementel analiz, pH_{zpc} , FTIR, Boehm titrasyonu, termogravimetrik (TG) ve SEM analizleriyle karakterize edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; fiziksel aktivasyonla tatminkar özelliklere sahip aktif karbonların elde edilemediği ancak $ZnCl_2$ kimyasal aktivasyonu ile ticari aktif karbon özelliklerine sahip aktif karbonların elde edilebildiği belirlenmiştir. Özellikle impregnasyon oranı, süresi ve sıcaklığı ile karbonizasyon sıcaklığının aktif karbon özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Üçlü ham madde karışımının 15/40 ve üzerinde $ZnCl_2$ /üçlü karışım oranında $ZnCl_2$ ile 25°C’de 24 saat kimyasal olarak aktive edilip, 700°C sıcaklıkta, 60 dk süreyle karbonize edilmesiyle ticari özelliklere sahip aktif karbonlar elde edilmiştir. Bu şartlarda elde edilen aktif karbonların; 792.33 – 2073.04 m²/g arası BET yüzey alanı, 0.2302 – 1.0918 cm³/g arası toplam gözenek hacmi, 1.8332 – 2.4700 nm arası por çapı, % 0.16 - 0.30 arası kül içeriği, 5.68 – 6.59 arası

pH_{zpc} değerine sahip olduğu ve yüzeylerinde asidik fonksiyonel grupların baskın olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif Karbon, Piroliz, Badem Kabuğu, şeftali ekirdeęi, Kayısı ekirdeęi, Aktivasyon, Karbonizasyon



ABSTRACT

Activated Carbon Preparation from Ligno-cellulosic Mixture of Almond Shell, Apricot and Peach Stones by Chemical Activation

Activated carbons are the most widely used materials in industrial scale as an adsorbent, catalyst, catalyst support, electrode material, and so on, thus it has played an important role in the environmental applications, chemical, pharmaceutical and food industries due to their high surface area, pore volume and adsorption ability. Therefore, demand for activated carbon is increasing day by day. Activated carbons can be prepared from a variety of precursors with high carbon content and low inorganic compounds by physical and/or chemical activation. Activated carbon is relatively expensive product and its cost depends on the raw material, activation method and operational conditions used in its preparation. The cost generally limits widespread use of the activated carbon. Since unit operations for activation can not be changed, in order to achieve more cost-effective active carbon, very low or non-commercial availability of waste materials, agricultural by-products or residues is being investigated for this purpose nowadays.

In this study, activated carbon was obtained in two stages from mixture of almond shell, apricot and peach stones by physical and chemical activation methods. In the first stage, activated carbon was prepared under pure carbon dioxide at different activation temperatures. In the second stage, it was prepared from the mixture subjected to chemical activation by ZnCl_2 at different ZnCl_2 /grape stalk weight ratios, penetration times and temperatures at different carbonization temperatures and times under the pure carbon dioxide atmosphere. The obtained activated carbons were characterized by BET surface area, total pore volume, pore size, ash content, elemental analysis, pH_{zpc} , FTIR, Boehm titration, thermogravimetric (TG) and SEM analysis.

According to results obtained, it has been determined that active carbons having satisfactory properties with physical activation can not be obtained but it can be obtained by ZnCl_2 chemical activation. In particular, it has been found that impregnation rate, duration and temperature and carbonization temperature have a significant effect on the activated carbon properties. Activated carbons with commercial properties could be

obtained by chemically activating at the conditions of ZnCl_2 /mixture weight ratio of 15/40 and over at 25°C for 24 hours and carbonized at for 700°C for 60 minutes. The activated carbons obtained under these conditions have the following characteristics: BET surface area from 792.33 to 2073.04 m^2/g , total pore volume from 0.2302 to 1.0918 cm^3/g , por size from 1.8332 to 2.4700 nm, ash content from 0.16 to 0.30 %, pH_{zpc} value from 5.68 to 6.59 and acidic surface functional groups.

Key Words: Activated Carbon; Pyrolysis, Almond Shell, Peach Stone, Apricot Stone, Activation, Carbonization



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Aktif karbonun gözenek yapısı (şematik olarak).....	8
Şekil 2.2.	Tanecikli aktif karbonun kesiti	8
Şekil 2.3.	Grafit kristallerinin yapısı.....	10
Şekil 2.4.	Grafit ve aktif karbonun yapısı	11
Şekil 2.5.	Aktif karbonda bulunan başlıca fonksiyonel gruplar.....	13
Şekil 2.6.	Aktif karbon üretim şeması	19
Şekil 2.7.	Kimyasal aktivasyon ile aktif karbon üretimi.....	22
Şekil 3.1.	Karbonizasyon deneylerinin yapıldığı reaktör ve fırın	56
Şekil 4.1.	Üçlü hammadde karışımının TG eğrisi.....	63
Şekil 4.2.	25, 50 ve 75°C impregnasyon sıcaklıklarında aktive edilen örneklerden elde edilen aktif karbon örneklerinin SEM görüntüleri.....	71
Şekil 4.3.	Elde edilen aktif karbon örneklerinin FTIR spektrumları	73
Şekil 4.4.	Ham üçlü karışım ve kimyasal aktivasyonla elde edilen aktif karbon örneklerinin SEM görüntüleri.....	76

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Bazı tarımsal artıkların elementel analiz (ultimate analiz) sonuçları	3
Tablo 2.1. Aktif karbon yüzey alanı ve gözenek yapısı ile ilgili sayısal veriler	9
Tablo 2.2. Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddeler	18
Tablo 2.3. Kimyasal aktivasyonda yaygın olarak kullanılan kimyasallar	21
Tablo 4.1. Üçlü hammadde karışımının proximate and ultimate analizi	61
Tablo 4.2. Ham üçlü karışımdan fiziksel aktivasyonla aktif karbon eldesine ait deney sonuçları	64
Tablo 4.3. Üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine karbonizasyon sıcaklığı ve süresinin etkisi (impregnasyon süresi: 24 saat; impregnasyon sıcaklığı: 25°C)	66
Tablo 4.4. Üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine impregnasyon oranının etkisi (impregnasyon süresi: 24 saat; impregnasyon sıcaklığı: 25°C; karbonizasyon sıcaklığı: 700°C; karbonizasyon süresi: 60 dk)	67
Tablo 4.5. Üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine impregnasyon süresinin etkisi (impregnasyon oranı: 40/40; impregnasyon sıcaklığı: 25°C; karbonizasyon sıcaklığı: 700°C; karbonizasyon süresi: 60 dk)	69
Tablo 4.6. Üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine impregnasyon sıcaklığının etkisi (impregnasyon oranı: 40/40; impregnasyon süresi: 24 saat; karbonizasyon sıcaklığı: 700°C; karbonizasyon süresi: 60 dk)	70
Tablo 4.7. Elde edilen aktif karbon örneklerinin Boehm's titrasyonu ile belirlenen yüzey fonksiyonel gruplar	73
Tablo 4.8. Elde edilen aktif karbon örneklerinin pH_{zpc} değerleri	74

1. GİRİŞ

Aktif karbonlar; hidrofobik ve hidrofilik yüzey fonksiyonel gruplarını içeren gözenekli yapıya sahip, büyük yüzey alanlı karbonlu malzemelerdir (Soleimani ve Kaghazchi., 2008). Adsorbent olarak; gaz ve sıvı sistemlerinde ayırma ve saflaştırma amacıyla, kimya endüstrisinde; katalizör ve katalizör destek malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenledir ki aktif karbonlar gerek çevresel ve gerekse de endüstriyel uygulamalarda önemli bir yere sahiptirler. Aktif karbon Ülkemizdeki çeşitli sektörlerde de yaygın kullanım alanına sahip, ticari üretiminin yapılmaması nedeniyle de tamamen dışa bağımlı olduğumuz vazgeçilmez bir materyaldir. Ticari aktif karbonlar odun, kömür ve hindistan cevizi gibi karbonize materyallerden fiziksel, kimyasal veya her ikisini içeren kombine aktivasyon metotlarıyla elde edilmektedir (Lua vd., 2006; Suhas vd., 2007; Cagnon vd., 2009). Aktif karbon üretiminde kullanılacak hammaddelerin; yüksek karbon ancak düşük mineral madde içeriğine sahip olması, bol bulunan ve ucuz olması, kolay karbonize ve aktive edilebilme ve depolama sırasında bozulmama gibi özelliklere sahip olması istenmektedir. Bu nedenle aktif karbonlar, kömür ve selülozik maddeler gibi çeşitli materyallerin yanı sıra, ligno-selülozik yapıları çeşitli tarımsal ürün ve artıklardan da elde edilebilmektedirler.

Son zamanlarda, aktif karbon üretim maliyetlerini düşürmek, alternatif aktif karbonlar üretmek ve karbon içerikli tarımsal artıkları aktif karbon üretiminde değerlendirmek gibi amaçlarla, çeşitli tarımsal atıkların kullanıldığı pek çok araştırma yapılmıştır (Dias vd., 2007; Nor vd., 2013). Bilimsel çalışmalara konu olan ve ekonomik değeri olmayan veya çok düşük olan zeytin çekirdeği (El-Sheikh vd., 2004), fıstık kabuğu (Foo ve Hameed, 2011), pamuk sapı (Deng vd., 2009), Hindistan cevizi lifi (Hameed vd., 2008), hindistan cevizi içi (Namasivayam ve Kavitha, 2002), çay atıkları (Gündoğdu, 2010), şeker pancarı küspesi (Özer vd., 1998), kavak ağacı artıkları (Uzun, 2008), üzüm sapı (Özdemir vd., 2014), asma dalı (Erdem vd., 2016), kayısı çekirdeği (Şentorun-Shalaby vd., 2006), ceviz kabuğu (İmamoğlu ve Tekir, 2008), fıstık kabuğu (Açıkalın vd., 2012), yer fıstığı kabuğu (Wu vd., 2013), fındık kabuğu (Demirbaş, 2002; Şayan, 2006), badem kabuğu (Chayande vd., 2013), şeftali çekirdeği (Duranoğlu vd., 2010) ve vişne çekirdeği (Angin, 2014) gibi birçok tarımsal artığın aktif karbon üretimi için denendiği ve çoğunda tatminkar yüzey alanına ve gözenek hacmine sahip aktif karbonların elde edildiği görülmektedir. Bu araştırmaların tümünde tek bir ligno-selülozik materyalden aktif karbon

üretilme şartlarının araştırıldığı ve genelde de akademik çalışmalar olduğu görülmektedir. Gerçek uygulamalara yönelik denemelerinin sınırlı kalması, araştırmaların ticarileşmesine de engel teşkil etmiştir. Oysa karbon içerikli tek bir materyal yerine, üretimi sürekli kılacak, hammadde sıkıntısının olmayacağı tarımsal atık/artık karışımlarının kullanılması ve üretim şartlarının bu karışımlara göre optimize edilmesi araştırmanın uygulanabilirliği açısından son derece önem arz etmektedir.

Ülkemizde; badem, kayısı, şeftali, vişne, zeytin, ceviz, fındık, Antep fıstığı, yer fıstığı, üzüm ve çay, tarımsal üretimi yaygın olarak yapılan ürünler içerisinde önemli bir paya sahip olup, hemen hemen hepsi dünya üretiminde de ilk on içerisinde yer almaktadır (Bügem, 2013). İlgili tarım işletmelerinde ve endüstride bu ürünler işlenirken çekirdek, kabuk, züruf ve sap gibi kalıntıları açığa çıkmaktadır. Bu artıklar kalorifik değerlerine ilişkin sadece yakılmak amacıyla çok düşük fiyatlarla satılmaktadır. Bu tür tarımsal artıkların kimyasal yapılarına bakıldığında (Tablo 1.1), aktif karbon üretimi için gerekli olan karbon içeriklerinin oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu yakınlık söz konusu tarımsal artık karışımlarının birlikte aktivasyonu için de istenilen bir durumdur. Aktivasyon işlemi sırasında yapı içerisinde bulunan uçucu bileşenler ayrılırken yapıda gözenek ve kanalların açılmasına neden olur. Ancak bu durum sert çekirdeğimsi artıklarda, çekirdeğe göre daha yumuşak dokulu olan kabuk veya sap gibi kısımlarda daha kolay olacağından özellikle aktivasyon sıcaklığı ve süresi değişebilmektedir. Bu nedenle karbon içerikleri aynı olmasına rağmen sertlik bakımından farklılık gösteren bu artıkların ayrı ayrı işlenmesi ve aktif karbon üretimi için gerekli parametrelerin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu noktadan hareketle yapılması planlanan bu tez çalışması kapsamında; şu ana kadar yapılmayan ve Ülkemizde, tarımsal üretimlerinin yaygınlığı nedeniyle bol miktarda bulunan benzer özelliğe sahip, badem kabuğu ile kayısı ve şeftali çekirdekleri karışımından aktif karbon elde edilip özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 1.1. Bazı tarımsal artıkların elementel analiz (ultimate analiz) sonuçları

Materyal	Ultimate Analiz, %					Referans
	C	H	N	S	O	
Kayısı çekirdeği	51.57	6.34	0.57	0.027	40.68	Şentorun-Shalaby vd., 2006
Badem kabuğu	44.63	6.32	0.77	-	48.28	Chayande vd., 2013
Şeftali çekirdeği	51.35	6.01	0.58	0.14	40.32	Atimtay, 2010
Zeytin çekirdeği	51.50	6.30	0.20	0.1	41.90	Petrov vd., 2008
Vişne çekirdeği	48.72	6.41	1.85	-	43.02	Angin, 2014
Ceviz kabuğu	48.34	6.16	0.69	0.03	44.78	Açıkalın, 2011
Fındık kabuğu	51.60	6.20	1.60	0.04	40.20	Demirbaş, 2002
Antep fıstığı kabuğu	44.62	5.81	0.32	-	49.25	Açıkalın vd., 2012
Yer fıstığı kabuğu	48.30	5.70	0.80	-	39.40	Sivakumar ve Mohan, 2010
Çay üretim artığı	47.90	5.90	2.40	0.30	43.60	Gündoğdu vd., 2013

2. AKTİF KARBON

2.1. Aktif Karbon Tanımı

Aktif karbon, büyük kristal yapılı ve geniş iç gözenek yapısına sahip karbon içerikli adsorbanları tanımlarken kullanılan genel bir terimdir. Aktif karbonlar insan sağlığı açısından zararsız, oldukça kullanışlı olup büyük bir gözenek yapısına ve yüzey alanına sahiptir. Gözenekleri vasıtasıyla çözeltideki iyonları ve molekülleri yüzeylerine doğru çekerler ve bu yüzden adsorban olarak adlandırılırlar (Avcı, 2011).

Aktif karbonların genellikle gözenek hacmi $0.2 \text{ cm}^3/\text{g}$ 'dan büyük ve yüzey alanı $400 \text{ m}^2/\text{g}$ ' dan (BET yöntemiyle tespit edilen yüzey alanı) daha yüksektir. Gözenek çapları ise 3 Å ile birkaç 1000 Å arasında değişmektedir (McDougall, 1991). Adsorplanacak molekül büyüklüğü ile gözenek büyüklüğü birbirine uyumlu olmalıdır. Çünkü adsorplanan molekül ile aktif karbon arasındaki çekim kuvveti, molekül büyüklüğü aktif karbonun gözenek büyüklüğüne yakın olan moleküller için daha fazladır (URL-1).

Organik yapılı aktif karbonlar, % 87-% 97 oranın da karbon içermekte, geri kalan oranda ise oksijen, hidrojen, azot ve kükürt içermektedir. Bunun dışında kullanılan hammaddeye ve proseste kullanılan kimyasala bağlı olarak farklı elementlerde içerebilmektedir (Akyıldız, 2007).

Aktif karbon, yüksek karbon içeriği ve düşük inorganik madde içeren tüm hammaddelerden üretilebilmektedir. Üretiminde en çok kömür, linyit, odun, hindistan cevizinin yanı sıra birçok tarımsal kaynaklı atık veya artıklar da kullanılmakta olup gaz ve sıvı fazda bulunan organik ve inorganik bileşikler giderilmektedir (Tsai, vd. 1998).

Aktif karbon çok iyi bir adsorbenttir. Bu nedenle de endüstriyel çalışmalarda geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır ancak aktif karbon üretimi için uygun yöntemlerin aranması ve gözenek yapısı, yüzey alanı geliştirilmesi gibi çalışmalar halen devam etmektedir.

Aktif karbonu diğer adsorbentlerden ayıran en önemli özellikler;

- Saflaştırma ve ayırma gibi endüstriyel yöntemler öncesinde nem giderme işlemi gereksinimi duymaması,
- Adsorpsiyon temelini Vander Wals bağlarına dayanması ve sonuç olarak rejenerasyon için gerekli enerji ihtiyacının diğer adsorbentlere göre daha düşük olması,

- Geniş iç yüzey alanı sayesinde polar veya az polar olan molekülleri adsorplama özelliğine sahip olması yer almaktadır (Yang, 2003).

2.2. Aktif Karbon Tarihçesi

Aktif karbon, yüksek iç yüzey alanı ve büyük gözenek yapısına sahip karbon içeriği çok fazla olan herhangi bir yapısal formül veya kimyasal analiz ile karakterize edilemeyen bir adsorbenttir. Aktif karbonların bilinen en eski kullanımları M.Ö 3750 yıllarına kadar dayanmaktadır. Mısırlılar ve Sümerliler bronz üretiminde çinko, kalay ve bakırın indirgenmesinde odun kömürü kullanmışlardır. Odun kömürünün tıp alanında kullanıldığına dair bilgiler M.Ö 1550 yıllarına ait Mısır papirüslerinde daha sonrasında ise Hipokrates ve Pliny kayıtlarında görülmüştür. Hipokrates ve Pliny kayıtlarına göre odun kömürü tedavi amaçlı olarak kullanılmıştır (Marsh, 2002).

Aktif karbon, endüstri de ilk kez 1811 yılında İngiltere de çok az miktarda karbon içeriği olan kemik külü ile şeker çözeltisinin renksizleştirilmesi işlemlerinde kullanılmıştır. Bitkisel hammaddelerden odun kömürü eldesi ile renk giderici olarak kullanımı 1856-1863 yılları arasında İngiliz patenti olarak yayımlanmıştır. Günümüzde ise şeker kamışı endüstrisinde ağartma işlemlerinde aktif karbon halen kullanılmaktadır (Gerhartz, 1986).

1900 yıllarında aktif karbon üretimi ve geliştirilmesi adına çok önemli iki prosesin patenti alınmıştır. İlk ticari aktif karbonlar, 1909 yılında Avusturya da Fanto Works tarafından satışa sunulan Eponit isimli ve ağaç esaslı başlangıç malzemesi olarak kullanılan aktif karbon ile 1911 yılında turba esaslı başlangıç malzemesi kullanılarak üretilen aktif karbonlardır (Patrick, 1995).

1915 yılında, Birinci Dünya savaşında koruyucu gaz maskelerinde hindistan cevizi kabuğundan üretilen granüler aktif karbonlar kullanılmıştır. Savaş sonrasında aktif karbon, şeker pancarının rafineri edilmesi ve şebeke suyunun saflaştırılması gibi ticari alanlar da uygulanmıştır. İkinci dünya savaşıyla beraber Filipinler ve Hindistanda, hindistan cevizi ticareti zayıflamış ve yerel hammadde kullanımı zorunlu hale gelmiştir. 1940 yılından itibaren ise kömürden aktif karbon üretimine yoğunlaşmıştır. Günümüzde aktif karbonun kullanımına yönelik gelişmeler geri dönüşümü yapılabilir ürün ihtiyacına ve çevre kirliliğini engelleme amacına uygun bir şekilde ilerlemiştir (Othmer, 1992).

Çok iyi bir adsorban olan aktif karbon; renk, klor ve toksik madde giderimi, filtrasyon, saflaştırma, tuzların modifiye edilmesi, giderilmesi veya konsantre edilmesi amaçlarıyla

kullanılmakta ve katalizör veya katalizör destek malzemesi olarak uygulanmaktadır (Duranoğlu, 2008).

2.3. Aktif Karbonun Özellikleri

Aktif karbon içerisinde % 85-95 arasında karbon bileşeni bulunur. Ayrıca hidrojen, oksijen, azot ve sülfür gibi diğer elementlerde içermektedir. Tipik bir aktif karbonun elemental bileşimi; % 88 C, % 6-7 O, % 0.5 N, % 0.5 H ve % 1 S içerir. Aktif karbonun oksijen içeriği maddenin hazırlanışına göre %1-20 arasında değişebilmektedir. En çok kullanılan aktif karbonlar, 800-1500 m²/g yüzey alanına ve 0.2-0.6 cm³/g gözenek hacmine sahiptir (Bansal ve Goyal, 2005).

Aktif karbondaki grafitik bölüm genellikle 6-7 tabakadan oluşmakta ve her bir bölümün ortalama çapı yaklaşık 10 nm'dir. Grafit tabakalar düzenli ve yoğun hegzagonal halkalar oluşturmakta ve iki bitişik tabaka 0.3354 nm aralık ile ayrılmaktadırlar. Tabaka üzerindeki iki komşu karbon atomunun mesafesi 0.142 nm'dir. Grafit için bu durum baskın yapı anlamına gelmektedir. Grafit bölümünün boyutu inert atmosfer ve yüksek sıcaklıkta (>1000 °C) grafitizasyon işlemiyle artırılabilir (Marsh ve Rodriguez-Reinoso, 2006).

Hazırlanma metoduna ve safsızlıklara bağlı olarak mikrokristal yapıda bazı boşluklar oluşmaktadır. Hammaddenin doğasından veya hazırlanma işleminden dolayı, düzlem kenarındaki halka yapılar heterosiklidir. Heterosiklik gruplar; adsorpsiyon, desorpsiyon ve komşu düzlemin mesafesini etkilemektedir. Aktif karbonun yapısı grafitte göre düzensizdir. Aktivasyon işlemi süresi boyunca kristallerin yüzeylerindeki karbon bağlarının düzenli dizilişi bozulmaktadır. Yapının gelişimi, aktivasyon ve karbonizasyon sıcaklıklarının bir fonksiyonudur. Hegzagonal karbon halkaları; bazı moleküllerin kırılmasına uğramış, gelişmiş güzel sıralanmış, biri diğeriyle doğrudan ilişkili grafit kristallerden oluşmaktadır. Bütün yapı bu sebepten dolayı oldukça düzensizdir ve çoğunlukla 'turbo ince tabakalı' olarak belirtilmektedir.

Aktif karbonlardaki yüksek mertebede yapısal bozukluklar sebebiyle düzlemsel katmanların köşelerindeki karbon atomları için birçok tepkime oluşma olasılığı vardır. Sonuç olarak genellikle kırık grafit halka sistemlerinin kenarlarında oksijen içeren organik fonksiyonel gruplar karbonun yüzeyinde bulunmaktadır (Uzun, 2008).

Özel uygulamalar için granüler, toz, pellet veya lif formda aktif karbonlar üretilmektedir. Toz halindeki aktif karbonlar granüllerin öğütülmesiyle elde edilmektedir. Granüler aktif karbonlar, granül haldeki başlangıç maddelerden elde edildiği gibi, toz

haldeki aktif karbonların bir bağlayıcı ile granül haline getirilmesiyle de elde edilebilir. Lif formundaki aktif karbonlar ise aktif karbon fiberleri, fenolik reçineler ve poliakrilik gibi sentetik fiberlerin inert gaz atmosferi ile yüksek sıcaklıkta karbonize edilip aktive edilmesiyle elde edilir. Pellet halindeki aktif karbonlar, başlangıç maddesi ve uygun bağlayıcı ile pellet haline getirilip aktive edilirler. (Gündüzoğlu, 2008).

2.3.1. Fiziksel Özellikler

Aktif karbon, yapısı ve özellikleri itibarıyla grafit benzemektedir. Grafit, karbon atomlarının altıgen yapı oluşturmak üzere düz tabakalardan meydana gelen bir yapı formundadır. Tek bir düzlem tabaka da karbon atomlarının arasındaki mesafe 1.42 Å, tabakalar arası mesafe ise 3.35 Å' dur. X ışınları analizlerine göre aktif karbonun temel yapısı hakkında iki farklı görüş vardır. Bu görüşlerden bir tanesi yapının basit kristaller halinde kabul edildiği, diğer görüşe göre ise yapının karbon altıgenlerinin çapraz bağlı uzay kafesi (cross- linked space lattice) şeklinde olduğu kabulüdür (Dertli, 2004).

Aktif karbonlar; yüzey alanı, gözenek yapısı, molekül ve kristal yapısı gibi fiziksel özellikleri ile karakterize edilir. Aktif karbonların fiziksel özellikleri kimyasal türene, sıcaklığa ve kullanılan aktivasyon yöntemine bağlıdır.

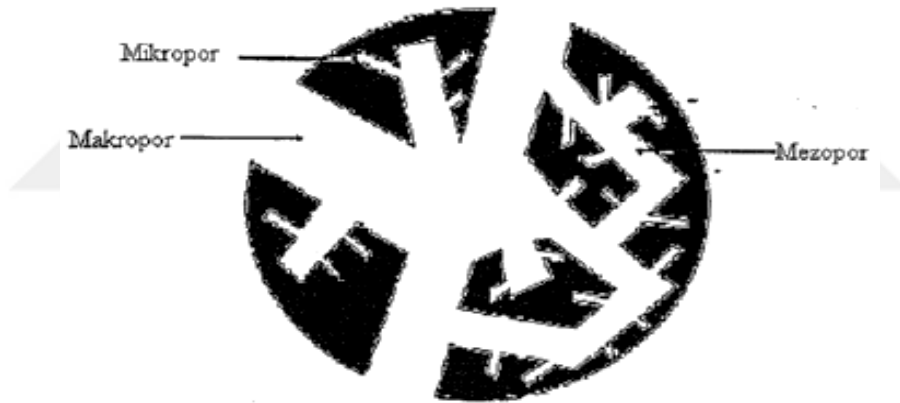
2.3.1.1. Gözenek Büyüklüğü (Porozite)

Aktif karbon karakterizasyonun da incelenen en önemli parametrelerden biri gözenek yapısıdır. Yapılarında lignin ve selüloz bulunan bitkisel yapılar, odun, meyve kabuğu veya çekirdekleri ve kömür gibi çeşitlilik gösteren hammaddeler üç boyutlu polimerik veya makro moleküler ağ yapısına sahiptir. Aktif karbonun porozitesinin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemler civalı porozimetre ve gaz adsorpsiyonudur. Aktif karbon oluşumu sırasında hammaddenin polimerik ağ yapısı bozulmaya başlar. Hammaddenin 700 °C'den az sıcaklıklarda ısıtma işlemi sırasında yüzeyde temel değişiklikler meydana gelirken 700 °C'den yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında ise aromatik karbon yapıları meydana gelmektedir. Serbest radikaller oluşur ve kafes yapısında önemli ölçüde gerilme enerjisi ortaya çıkar. Karbonizasyon sırasında öncelikle karboniller, alkollerle birlikte kül, alifatik asitler, CO₂ ve H₂O gibi küçük moleküller uzaklaşır.

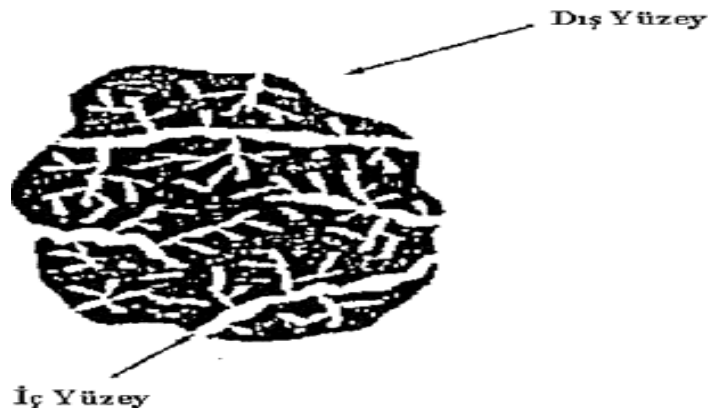
Aktif karbondaki porozite oluşumu şu şekilde sıralanabilir;

Karbonizasyon sıcaklığının artmasıyla öncelikle CO₂, H₂O, CH₄, CH₃OH gibi küçük moleküller uzaklaşmaktadır. Uzaklaşan küçük moleküller yerine mikro gözenekler oluşmaktadır. Gaz halinde uzaklaşan maddeler katı faz içinde artan basınç nedeniyle mikro kanallar açarlar. Bu sırada çapraz bağlı selülozik yapısı asla erimez. Karbonizasyon sıcaklığı arttırıldığında, tek karbon atomların hareketiyle hezagonal düzenlenmiş karbon atomları oluşur ve bu ilk karbon yapısıdır. Sıcaklık artışı nedeniyle selüloz yapısı karbon yapısına dönüşür ve karbon olmayan atomların sistematik olarak uzaklaştırılmasıyla selülozik yapı termodinamik olarak daha kararlı grafitik yapıya dönüşür. Fakat bu süreç başarılı değildir ve karbon yapısı ilk şekillendiğinde birçok hata gözlenmektedir. Oluşan karbon yapısı tabakasal değildir ve bu yüzden paralelliği yoktur.

Selülozik yapının parçalanması ve karbon yapısı olarak yeniden düzenlenmesinde her bir ana polimer farklı bir tepkime izler. Bu sebepten dolayı aktif karbon yapısı hala modellenememiştir.



Şekil 2.1. Aktif karbonun gözenek yapısı (şematik olarak) (Roy, 1995)



Şekil 2.2. Tanecikli aktif karbonun kesiti (Roy, 1995)

Aktif karbon da gözenek boyutu aralığı; moleküler boyuttan, büyük tanecik boyutuna kadar değişebilmektedir. Mikro gözenekler(<2 nm) aktif karbonların daha büyük yüzey alanına sahip olmasına katkıda bulunmakta ve gazlar, yaygın kullanılan çözücüler gibi küçük boyutlu moleküller için yüksek adsorpsiyon kapasitesi sağlamaktadır. Mezo gözenekler (2-50 nm) renkli moleküller gibi daha geniş moleküllerin adsorplanması için önemlidir ve aktif karbon yapısında büyük ölçüde bulunmaktadır. Makro gözeneklerin (>50 nm) adsorpsiyon için daha önemsiz olduğu düşünülür. Makro gözeneklerin asıl görevleri adsorplanan molekül geçişini sağlayan ana yollar olarak hizmet etmektedir (Patrick, 1995).

2.3.1.2.Yüzey Alanı

Aktif karbonun en önemli fiziksel özelliklerinden birisi de yüzey alanıdır. Aktif karbon iç yüzeyi genellikle BET yüzeyi (m^2/g) olarak adlandırılır. Yüzey alanı (N_2) azot gazı kullanılarak tespit edilir. Suların arıtımında kullanılan aktif karbon taneciklerinin yüzey alanının $1000 m^2/g$ olması istenmektedir. Kirlilik oluşturan maddelerin aktif karbon yüzeyinde tutulmasından dolayı, yüzey alanının büyüklüğü bu kirliliklerin giderilmesinde oldukça etkilidir. Genel olarak, yüzey alanı ne kadar büyükse adsorpsiyon merkezlerinin sayısının da o kadar büyük olduğu düşünülür. Literatür de bulunan aktif karbon yüzey alanı ve gözenek yapısı ile ilgili sayısal veriler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Aktif karbon yüzey alanı ve gözenek yapısı ile ilgili sayısal veriler (Bansal ve Goyal, 2005; Dias vd., 2007; Ahmed, 2016)

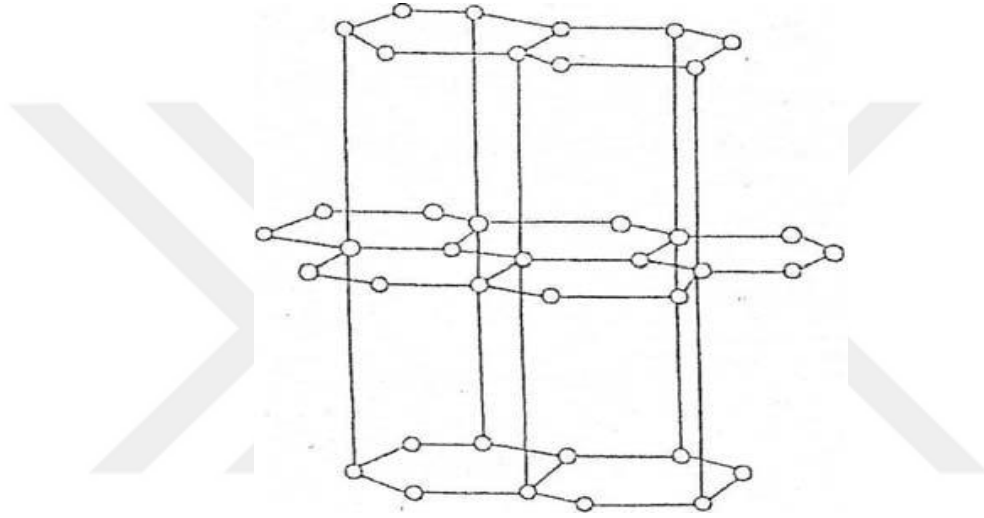
Yüzey alanı	400-1600 m^2/g (BET N_2)
Gözenek hacmi	>30 $m^3/100 g$
Gözenek çapı	0.3 nm-1000 nm

Aktif karbon taneciğinin yüzeyi katı, sıvı ve gaz maddelerini çeker ve yüzeyinde ince bir film tabakası oluşturarak adsorbe eder. Aktif karbonun adsorban olarak tercih edilmesinin iki önemli sebebi vardır. Bunlar;

1. Belirli maddeleri çekebilmesi için çekici bir yüzeye,
2. Fazla miktarda maddeyi tutabilmesi için geniş bir yüzeye sahip olmasıdır (İbiş, 2009).

2.3.1.3. Kristal Yapısı

Karbonun kristal yapısını anlamak için maddenin yüzey kimyasını anlamak gerekmektedir. Aktif karbon ile karbon siyahı arasındaki fark, karbon siyahının daha küçük iç yüzey alanına sahip olmasıdır. Aktif karbon yapısı hakkında birçok bilgi karbon siyahından elde edilmiştir. Aktif karbon ve karbon siyahının temel yapısı saf grafit yapısına benzemektedir. Karbon siyahı boyama için kullanılan bir çeşit renk pigmentidir. Grafit kristalleri birleşik altıgen tabakalar halinde birbirlerine 3.354 Å uzaklık da zayıf Van der Waals kuvvetleriyle bağlanmaktadır (Şekil 2.3).

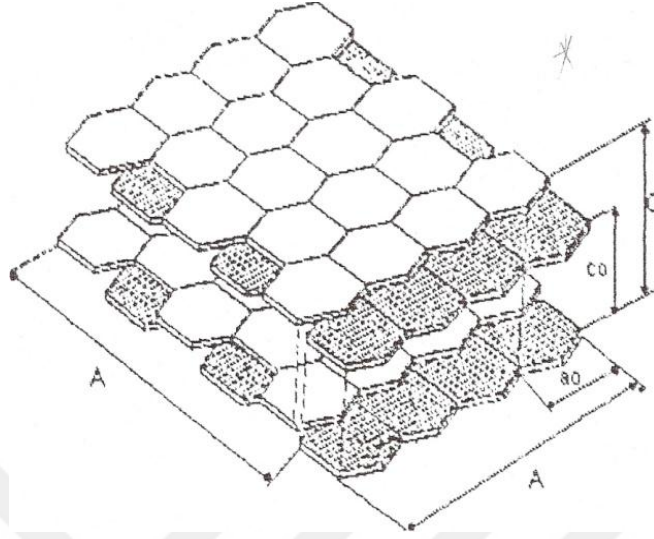


Şekil 2.3. Grafit kristallerinin yapısı (Cheremisinoff ve Ellerbusch, 1978)

Karbon-karbon bağları arasındaki mesafe 1.415 Å'dır. Karbonun üç elektronu komşu atomlar ile düzenli bir şekilde kovalent bağ yapmakta geriye kalan bir elektron bağ ise yapılar arasında salınmaktadır. Böylece karbon atomları arasında çift bağ oluşumu sağlanmaktadır. Bu da grafit için baskın yapı oluşturur. Aktif karbon yapısı ise grafitten biraz farklıdır. Karbonizasyon işlemi boyunca birçok aromatik çekirdek (grafittekinе benzer) oluşmaktadır. X- ışınıyla yapılan incelemelerde bu yapıların altıgen olarak bağlanmış karbon atomlarını içeren mikrokristalin yapısında olduğunu göstermektedir. Düzlemlerin yarıçapı 150 Å' dır. Mikrokristaller arasındaki mesafe 20-50 Å 'dır.

Hazırlanma metodundan ve safsızlıkların olmasından dolayı mikrokristal yapıda bazı boşluklar oluşmaktadır. Hazırlama işlemi veya hammaddenin doğasından dolayı düzlem kenarındaki halka yapılar heterosiklidir. Heterosiklik gruplar; komşu düzlemin uzaklığını,

adsorpsiyon ve desorpsiyon özelliklerini etkilemektedir (Cheremisinoff ve Ellerbusch, 1978).



Şekil 2.4. Grafit ve aktif karbonun yapısı (Snell ve Entre, 1973)

Karbonun yapısı grafitte göre düzensizdir. Aktivasyon işlemi boyunca kristallerin yüzeylerindeki karbon bağlarının düzenli dizilişi bozulmaktadır. Yapının gelişimi aktivasyon ve karbonizasyon sıcaklıklarının bir fonksiyonudur. Hegzagonal karbon halkaları, molekül kırılmasına uğramış, gelişi güzel sıralanmış, biri diğeriyle doğrudan ilişkili grafit kristallerinden oluşmaktadır. Bütün yapı bu yüzden çok düzensizdir ve genellikle ‘turbo ince tabakalı’ olarak ifade edilmektedir. Aktif karbondaki yüksek mertebeden yapısal bozukluklar sebebiyle düzlemsel katmanların köşelerindeki karbon atomları için birçok reaksiyon olasılığı vardır. Sonuç olarak genellikle kırık grafitik halka sistemlerinin kenarlarında mevzilenmiş oksijen içeren organik fonksiyonel gruplar karbonun yüzeyinde bulunmaktadır (McDougall, 1991).

2.3.2. Kimyasal Özellikler

Aktif karbonun kimyasal yapısı X-ışını analiziyle incelendiğinde grafit yapılı küçük kristallerden oluştuğu gözlenmektedir. Fakat aktif karbonun grafit yapısındaki tipik üst üste olan tabakalar yoktur. Yapısındaki kristaller 0.7-1.1 nm kalınlığında ve 2-2.25 nm genişliğindedir. Bu yapı grafitte gözlenen yapıdan oldukça küçüktür. Kristaller arasındaki boşluklar, amorf yapıdaki karbonlar tarafından doldurulmaktadır. Amorf yapıdaki karbon atomları diğer atomlarla ve özellikle oksijen atomları ile 3 boyutlu bağlar kurmuş halde

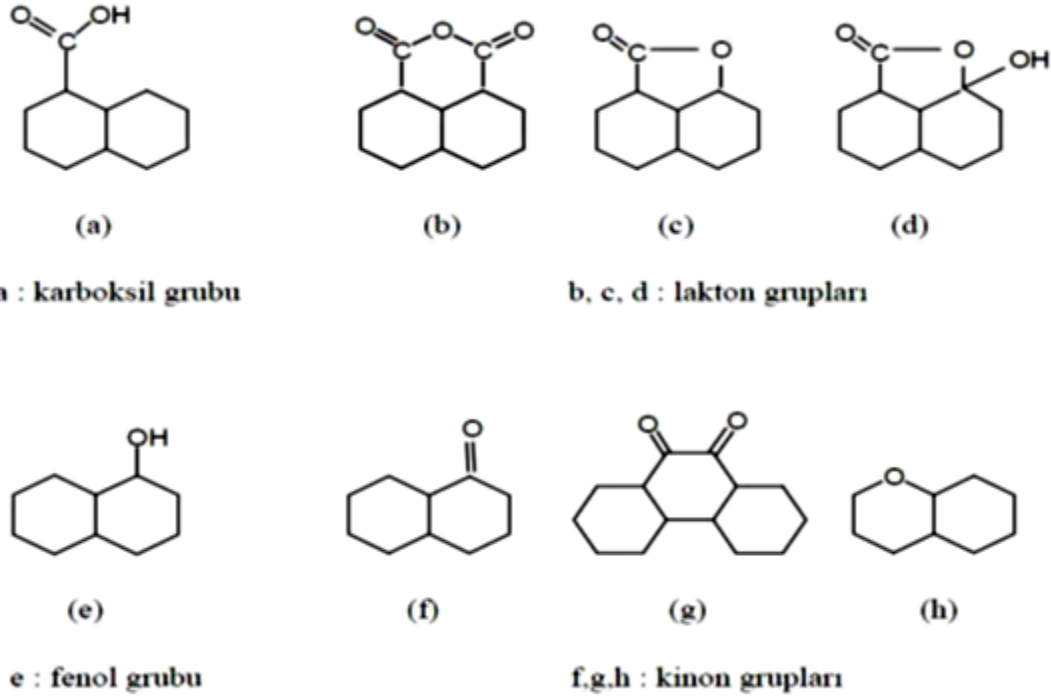
bulunmaktadır. Aktif karbon yapısı içerisinde karbon atomlarının düzensiz dizilişi ise çok fazla çatlak ve yarıkla parçalanmış durumdadır. Bu parçalanmalar genel olarak silindirik şekilli gözeneklerin oluşumunu sağlamaktadır. Aktif karbon bünyesinde bulunan büyük miktardaki mikrogözenekler, aktif karbona çok geniş yüzey alanı sağlamakla beraber adsorpsiyon özelliklerinin temelini oluşturmaktadır.

Aktif karbon içerisindeki basit grafitik kristallerin köşe ve uçlarında bulunan yüzey grupları kimyasal yapının organik bölümünü oluşturmaktadır. Yüzey gruplarına kimyasal olarak bağlı oksijen ve hidrojen varlığı, aktif karbonun özelliklerine etki etmektedir. Havayla teması durumunda karbon oksijen ile bağ yapmaktadır. Hammadde de bulunan hidrojen ve oksijen basit kristal yapı düzenin de önemli rol oynamaktadır. Hammadde yapısından bağımsız şekilde sıcaklık ve aktivasyon süresinin yapı üzerine etkisi vardır. Aktivasyon ve karbonizasyon boyunca, yüksek sıcaklıklar da büyük bir C/H oranı sağlamaktadır (Nevskaia vd.; 2000).

Aktif karbon yapısında bulunabilecek hetero atomların varlığı ise başka bir kargaşa durumunu teşkil etmektedir. Karbon kökenli maddeler de bulunan oksijen, hidrojen ve hetero atomlar karbonlar ile bağlar oluşturmaktadır. Bu atomlar, karbon atomlarını çevreleyen güçlü valansları tam olarak dolduramayacağı için kristal yapının köşelerine ve uçlarına bağlanmaktadır. Eğer kristal kafes içerisinde ki karbon atomlarının hatalı bir yerleşimi söz konusu ise bu atomlar enerjilerini azaltmak için hidrojen, oksijen ve diğer atomlarla tepkimeye girmektedirler. Yüksek enerjili karbon atomları ise kendi valanslarını komşu basit bir kristale bağlanarak ya da karbonizasyon boyunca ısı bozunma ürünlerine bağlanarak doldurmaktadırlar. Oluşan kompleks bileşikler, dört farklı yüzey oksitleri formundadır (Pradhan ve Sandle, 1999).

- Güçlü karboksilik gruplar
- Zayıf karboksilik gruplar
- Fenol grupları
- Karbonil grupları

Şekil 2.5'te aktif karbonda bulunan başlıca fonksiyonel gruplar gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Aktif karbonda bulunan başlıca fonksiyonel gruplar (Akikol, 2005)

Yapı içerisinde bu asidik oksitlerin ayrılması, alkali çözeltiler ve nötralizasyon ile sağlanmaktadır. İnert gaz atmosferi ve vakum altında yapılan ısıtma işlemi de bu grupların karbondan uzaklaştırılmasını sağlayabilmektedir (Dertli, 2004). Kullanılan başlangıç maddesine bağlı olarak aktif karbonlar % 1-20 mineral madde içermektedir. Aktif karbonlar da mineral madde içeriğini alüminatlar, silikatlar, eser miktarlardaki kurşun, çinko, bakır, potasyum, sodyum, magnezyum, kalsiyum, demir ve vanadyum gibi inorganik maddeler oluşturmaktadır. Çözeltilerden ve gazlardan elektrolitlerin ve elektrolit olmayan bileşenlerin adsorpsiyonunun da aktif karbon yapısında ki mineral madde içeriği rol oynamaktadır. Yapı içerisinde bulunabilecek kalsiyum, demir ve diğer alkali bileşikler su buharıyla yapılan aktivasyon sırasında katalizör görevi görmektedirler. Potasyum ve sodyumun hidroksitleri ve karbonatlarının, uzun ve dar şekilli mikrogözeneklerin oluşumunu arttırdıkları, aynı zamanda bu toprak alkali bileşiklerin metalik partiküllerin kanallaşması özellikleriyle mezogözenek oluşumunu zenginleştirdiği bilinmektedir (Addoun vd., 2002).

2.4. Aktif Karbonun Sınıflandırılması

Aktif karbon özellikleri, davranışları ve yüzey karakteristikleri göz önünde bulundurularak sınıflandırılması karmaşık bir işlemdir. Zira sadece yüzey alanı gibi tek bir özelliğe göre sınıflandırma yapmak aktif karbonun kalitesi hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Çünkü adsorplanan molekülün büyüklüğü değiştikçe kullanılan yüzey alanı da değişmektedir. Buna rağmen gözenek yapısı ve yüzey alanı ile ilgili bilgiler, karşılaştırmak için kullanılabilir. Adsorpsiyon kapasitesi aktif karbonun kalitesi hakkında fikir verebilecek tek parametre olarak değerlendirilebilmektedir (Oğuz, 2013).

Günümüzde atık su işlemlerinde kullanılan en iyi aktif karbonlar çeşitli kömürlerden ve doğal maddelerden üretilmektedir. Bunlar; mangal kömürü, odun, linyit, taş kömürü, turba(torf), fındık, hindistan cevizi, pirinç kabuğu, meyve çekirdekleri, yağ ürünleri ve kemiklerdir. Bu maddelerden üretilen aktif karbonlar genellikle sert ve yoğundur. Sular da bozulmadan uzun süre kullanılabilirler. Aktif karbonlar değişik özelliklere sahip şekillerde üretilirler. Bunlar;

- Toz halindeki aktif karbonlar
- Granüler aktif karbonlar
- Polimer kaplanmış aktif karbonlar
- Emprenye aktif karbonlar
- Küresel aktif karbonlar
- Aktif karbon lifi (Altın, 2010).

2.4.1. Toz Halindeki Aktif Karbonlar (PAC)

100 μm 'den daha küçük tane boyutuna sahip toz halindeki aktif karbonlardır. Ortalama yarı çapı 15-25 μm aralığındadır. Bu tip aktif karbonların geniş yüzey alanları ve küçük difüzyon mesafesi vardır. Çözelti fazı adsorpsiyonu için kullanılmaktadır. Toz halindeki aktif karbonların kullanımları oldukça kolaydır. Karbon, çözeltiliye eklenir, karıştırılarak çözelti ile kısa bir süre temas ettirilir (5-30 dk) daha sonra filtrasyonla ayrılır. Bu gruba giren aktif karbonlar, renk giderme ve tıbbi amaçlar için kullanılmaktadır (Altın, 2010).

Toz aktif karbonlar gaz ve sıvı uygulamalarında kullanılmaktadır. Sıvı-faz uygulamalarında atık sulardan tat ve koku giderilmesinde, gaz-faz uygulamalarında ise baca gazı arıtmalarında kullanılmaktadırlar. Tat ve kötü koku giderimin de kullanılacak toz aktif karbon miktarı; aktif karbon cinsine ve suyun kirlilik derecesine bağlıdır. Genel olarak az miktarlar da kullanılırlar ve bir yıllık kullanım süreleri vardır (Aydın, 2013).

2.4.2. Granüler Aktif Karbonlar (GAC)

Boyutları 0.2-5 mm arasında değişen düzensiz şekilli granüllerden oluşan aktif karbona granüler aktif karbon denilmektedir. Kömür, talaş ve hindistan cevizi gibi ham maddelerin küçük boyutlara parçalanmasıyla direk olarak elde edilmektedir. 1. Dünya savaşından sonra granüler aktif karbonlar kullanılmaya başlanılmıştır. Gaz ve sıvı faz uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Difüzyon hızı yüksektir. Sıvı-faz uygulamaların da; atık suların temizlenmesinde, kötü koku ve renk gideriminde, gaz-fazı uygulamalarında ise, gazların saflaştırılmasında kullanılmaktadır. Granüler aktif karbon özel filtrelerde tek kullanımlık kartuşlarda ve sanayi tesislerin mekanik havalandırma tesisatlarında kullanılmaktadır. Toz aktif karbona göre daha küçük dış yüzey alanı ve daha büyük tanecik boyutuna sahiptir (Aydın, 2013).

2.4.3. Polimer Kaplanmış Aktif Karbonlar

Geçirgen ve pürüzsüz bir ‘biocompatible’ polimeri ile gözenekli karbonların etrafına ince tabaka halinde kaplanarak elde edilen aktif karbonlardır (Avcı, 2011).

2.4.4. Emprenye Aktif Karbonlar

Kalsiyum, lityum, magnezyum, alüminyum, gümüş, iyot, çinko, demir, ketonlar ve tersiyer aminler içeren karbonlar kullanılarak oluşturulmaktadırlar. Örneğin; iyot ile emprenye edilmiş aktif karbonlar gazlardan H_2S ve SO_2 ’nin uzaklaştırılmasında katalizör olarak kullanılmaktadırlar (Avcı, 2011).

2.4.5. Küresel Aktif Karbonlar

Katran, naftalin ve tetralin içerisinde eritilerek küreler elde edilmektedir. Bu küreler çözücü ile temas ettirilmekte ve naftalin ekstrakte edilmektedir. Böylece gözenek yapısı oluşturulmaktadır. Bu gözenekli küreler ağırlıkça % 30 oksijen içeren oksidasyon gazlarının varlığında 373-673 K sıcaklığı arasında ısıtılmaktadır. Katran küreler oksijenin

% 10 unu kimyasal olarak adsorplamaktadır. Okside küreler, amonyak ile 423-973 K sıcaklıkları arasında ısıtılır ve daha sonra buhar veya CO₂ ile aktive edilmektedir. Küresel aktif karbonların yüksek mekanik dayanıklılığı vardır ve NO₂, SO₂ adsorpsiyon kapasiteleri oldukça yüksektir (Gözetin, 2011).

2.4.6. Aktif Karbon Lifi

Aktif karbon lifleri, viskon, poliakrilik reçine, fenolik reçine gibi sentetik liflerin yüksek sıcaklık ve inert atmosfer de karbonizasyonu daha sonra da aktivasyonu ile elde edilen yapılardır. Bu lifler 7-15 µm çapında olup toz aktif karbonlardan daha küçüktür. Bu yapıların diğer aktif karbonlara göre başlıca üstünlükleri;

1. Küçük ve düzgün lif yarıçap ile daha hızlı adsorpsiyon ve desorpsiyon sağlaması,
2. Dar ve düzgün mikro gözenek yapısıyla soğurulacak faz ile daha kolay etkileşim sağlaması,
3. Grafitik yapısı ile daha yüksek elektrik iletkenliğine ve yüksek sıcaklık dayanımına sahip olması,
4. Daha kuvvetli ve elastik yapısıyla giysi ve kağıt gibi farklı uygulama alanlarında kullanılabilmesi,

Bu özellikleriyle aktif karbon liflerinin gelecekte çok geniş kullanım alanlarına sahip olacakları düşünülmektedir (Yang, 2003).

Aktif karbon lifleri lifli hasır ve kumaş formunda sağlanıp ve çeşitli boyutlarda kesilmektedir. Bu şekilde ki aktif karbon lifleri çözücünün geri kazanımı ve hava temizleme gibi işlemler de kullanılmaktadır.

2.4.7. Pellet Aktif Karbonlar

Basınçla sıkıştırılarak yapılan ve 0.8-5 mm çapında silindirik yapıda olan aktif karbonlardır. Düşük basınç sağlamasından, düşük toz içeriğinden ve yüksek mekanik dayanıklılığından dolayı başlıca gaz fazı uygulamaların da kullanılırlar (Uzun, 2008).

2.4.8. Karbon Moleküler Elek (KME)

Aktif karbon dar ve düzgün bir mikro gözenek yapısında üretildiğinde karbon moleküler elek etkisine sahip olmaktadır. Bu tip aktif karbon üretimlerinde hammadde ve aktivasyon seçimleri oldukça önemlidir. En yaygın kullanım alanları ayırma işlemleridir.

Özellikle havadaki azot gazının ve oksijen gazının ayrılması, küçük mikrogözenekler üzerinde farklı hızlarla difüzyonundan faydalanılarak sağlanabilmektedir.

KME gözenekleri birkaç Argstrom çapındaki gözeneklerden oluşur. Zeolitlerle karşılaştırıldıkların da KME'nin avantajlı özellikleri aşağıdaki gibidir:

1. Yüksek hidroforbik özellik gösterir.
2. Yüksek korozyon dayanımına ve sıcaklığa sahiptir.
3. Düzlemsel olarak moleküler için mükemmel şekil seçiciliğe sahiptir.

Bu sebeple zeolit kullanılmayan yerlerde KME kullanılabileceği düşünülmektedir. Önemli olan istenen gözenek boyutunda KME hazırlanabilmesidir. KME'nin gözenek oluşumu tamamıyla çözümlenemediğinden ve günümüzde KME üretim teknolojisi kesin gözenek kontrolü sağlayamadığından KME kullanımı zeolit kullanımı kadar yaygın değildir (Kyonati, 1999).

2.5. Aktif Karbon Üretim Yöntemi

Aktif karbon, teorik olarak karbon içeren her türlü materyalden üretilebilir. Günümüzde genel olarak aktif karbon üretimi için daha çok linyit, kömür gibi malzemeler kullanılmıştır. Linyit ve kömürden aktif karbon üretiminde, yüksek miktarda inorganik madde içeriğinin olması üretim aşamasında ve sonrasında demineralizasyon için yıkama işlemi gerektirir bu sebeple de uzun ve maliyetlidir. Son yıllar da ise aktif karbonun üretiminde tarımsal yan ürünler ve atıklar kullanılmaya başlanmıştır. Tarımsal atıkların yüksek karbon ve düşük inorganik madde içermeleri, kolay bulunabilmeleri nedeniyle aktif karbon hammaddesi olarak kullanılması avantaj sağlamıştır. Tablo 2.2'de aktif karbon üretiminde kullanılan ve araştırılan hammaddeler verilmiştir.

Tablo 2.2. Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddeler (Dias vd., 2007; Hadi vd., 2015; Yahya vd., 2015)

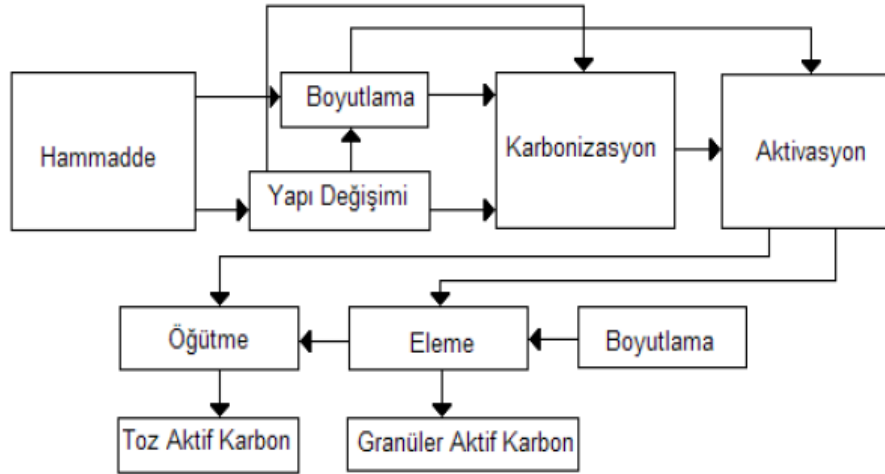
Ceviz kabuğu	Lignin	İçki imalathanesi atığı
Üzüm sapı	Çay üretim artıkları	Hurma çekirdeği
Asma dalı	Vişne-kiraz çekirdeği	Palmiye dalı/ağacı
Hindistan cevizi kabuğu	Kömür	Kösele atığı
Ay çekirdeği kabuğu	Yer fıstığı kabuğu	Meyve kabukları
Pirinç kabuğu	Odun	Deniz yosunu
Fındık kabuğu	Yapraklar	Meyan kökü
Meyve özü atığı	Lastik atığı	Karbonhidrat
Kakao kabuğu	Şist yağı	Kauçuk atığı
Kabak çekirdeği	Kanalizasyon çamuru	Testere talaşı
Kahve çekirdeği	Hububat atıkları	Petrol
Şeftali çekirdeği	Tekstil atıkları	Turba
Şeker kamışı	Tarımsal atıklar	Tahıl
Zeytin çekirdeği	Deri atıkları	Linyit
Badem kabuğu	Baca tozları	Kemik
Balık	Çiğit kabuğu	Kan
Grafit	Mısır koçanı ve mısır sapı	Melas

Aktif karbon üretiminde hammaddenin seçimi, kolay temin edilebilmesine, safiyetine ve ucuzluğuna bağlıdır. Kullanılacak olan hammaddenin;

- İnorganik madde içeriğinin düşük olması,
- Üretilecek aktif karbon veriminin iyi olması,
- Depolama esnasında bozulmaması,
- Maliyetinin düşük ve kolay temin edilebilmesi,
- Kolay aktive edilebilmesi gibi kriterleri sağlaması gerekir (Özçimen, 2007).

Aktif karbon özellikleri kullanılan ham maddeye göre değişmektedir. Hammaddenin yoğunluğu ve uçucu madde içeriği üretilen aktif karbonun özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Lignin ve odun gibi düşük yoğunluklu maddeler yüksek uçucu madde içerirler. Bunlardan elde edilen aktif karbonlar gaz adsorpsiyonu için uygun değildir. Düşük yoğunluklu turba ve talaş gibi ham maddelerden üretilen aktif karbonlar sıvı faz işlemlerinde veya ağartma işlemlerinde kullanılmaktadırlar (Avcı, 2011; Bandosz, 2006).

Aktif karbonlar genel üretim şeması Şekil 2.6’da verilen karbonizasyon ve aktivasyon olarak adlandırılan proseslerle üretilirler. Üretimlerinde uygulanan yöntemler, kullanılan hammaddenin özelliğine ve uygulanan aktivasyon şekline göre değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 2.6. Aktif karbon üretim şeması (Avcı, 2011)

Karbonizasyon, yüksek sıcaklık ve inert ortamda hammadde içerisinde uçucu madde ve nemin uzaklaştırılması sonucunda temel gözenek yapısının elde edildiği bir işlemdir. Karbonizasyon sırasında hidrojen ve oksijen gibi elementlerin gaz formda yapıdan uzaklaşmasıyla düzensiz aromatik tabakalar içinde boşluklar oluşmaktadır. Oluşan bu boşluklar karbonun temel gözenek yapısını oluşturmaktadır. Fakat karbonizasyon sonucu elde edilen ürün düşük yüzey alanı ve gözenek hacmine sahiptir. Bunun nedeni pirolitik bozunma sonucu açığa çıkan bozunma ürünlerinin özellikle katranımsı maddelerin bir kısmının tabakalar arasında boşluklara hapsolmasıdır (Hassler, 1974; Strelko, 1999).

Karbonizasyon işlemi; hetero atomların ve uçucu bileşenlerin giderimiyle karbonca zenginleşmesi, karbonla zenginleşen madde de çapraz bağların oluşup maddeye sertlik ve dayanıklılık vermesi, iç alanın genişlemesi veya uçucu bileşenlerin uzaklaştırılarak geniş alanların açılması, sınırlı iki boyutlu grafit yapısının artan sıcaklıkla gözenek gelişimini bitirmesi gibi özelliklerinden dolayı önemli bir işlemdir (Girgis vd., 2002).

Aktivasyon işleminde ise, karbonizasyon esnasında oluşan ve gözenek yapılarının içine dolmuş bozunma ürünleri uygulanan bazı fiziksel ve kimyasal işlemlerle temizlenerek gözenek yapısı geliştirilir. Uygulanan fiziksel ve kimyasal yöntemle bağlı olarak ürünün katalitik, elektriksel ve hidrofilik özellikleri geliştirilebilmektedir.

Fiziksel aktivasyon, hammaddenin 800-1000 °C'de ısıtılması ve oksitleyici gazlar vasıtasıyla aktivasyonun gerçekleştirilmesi işlemidir. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiği

için ısı aktivasyonu olarak da adlandırılır (Varol, 2007). Karbon içerikli hammaddeler ısı olarak kararsız olup oksijenin bulunmadığı bir gaz atmosferinde yüksek sıcaklıkta ısıtıldığında ısı bozunma gerçekleştirip, sıvı, katı ve gaz ürünlerine ayrılırlar. Yaygın olarak bu işlem piroliz olarak tanımlanmaktadır. Ekzotermik olan yanma işlemine karşı piroliz endotermik bir süreçtir.

Fiziksel aktivasyon, hammaddenin pirolizi ya da karbonizasyonu ile kömürleşmiş yapının aktivasyonu olmak üzere iki aşamada gerçekleşmektedir. Karbonizasyon işlemi sırasında hidrojen ve oksijen gibi elementlerin hammadde yapısından giderilmesiyle gizli gözenek yapısına sahip karbon iskeleti elde edilir. Aktivasyon işleminde kömürleşmiş malzemenin oksitleyici bir ortamda karbonun kısmi oksidasyonu ile ortaya çıkan uçucu maddelerin ortamdan giderilmesi ile geniş yüzey alanı ve büyük por hacmine sahip bir yapı elde edilir. Fiziksel aktivasyon işlemlerinde genellikle doğrudan ısıtmalı döner fırınlar kullanılır. Son yıllarda akışkan yatak sistemleri de aktif karbon üretimlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Aktifleştirme basamağında en yaygın olarak kullanılan gazlar karbondioksit, su buharı veya ikisinin karışımıdır. İşlemde oluşan endotermik tepkimeler aşağıdaki şekilde gösterilebilir:



Gaz aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonlar da kimyasal aktivasyondan elde edilenler gibi iyi bir por yapısına sahip olabilmektedirler. Hem gaz hem de sıvı fazdan molekül ve iyonların adsorpsiyonu için etkin bir şekilde kullanılmaktadırlar (Varol, 2007).

Kimyasal aktivasyon ise genel olarak, uygun bir kimyasal madde ile hammaddenin belirli bir sıcaklıkta bozundurulması işlemidir. Kimyasal aktivasyon işlemlerinde değişik asit, baz ve tuzlar kullanılabilir (Tablo 2.3). Endüstriyel uygulamalarda çinko klorür, fosforik ve sülfürik asit en yaygın kullanılan kimyasal aktivatörler olduğu rapor edilmiştir (Gündüzoğlu, 2008).

Kimyasal aktivasyon uygulamaları değişiklik göstermektedir. Uygun boyuttaki hammadde ile kimyasal madde 773-1173 K sıcaklığı arasında tepkimeye girmesiyle gerçekleşebileceği gibi uygun sıcaklıkta karbonize edilmiş maddenin kimyasal madde ile tepkimeye girmesi sonucunda da gerçekleşebilir. Bu amaçla; karbonizasyondan önce

hammaddeyle kimyasal aktivatör belirli oranlarda katı veya çözelti halinde karıştırılır. Şartlara bağlı olarak karışım, karbonizasyon öncesinde kimyasal madde ile hammaddenin iyi bir temasının sağlanması için belirli bir süre bekletilir. Daha sonra kimyasal olarak aktive edilen karışım 400-1000°C arasındaki uygun bir sıcaklıkta karbonize edilir. Elde edilen ürün soğutulup, aktifleştirici kimyasaldan ayırmak için yıkanır ve kurutulur. Kimyasal aktivasyon ile aktif karbon üretimi için genel bir akım şeması Şekil 2.7’de verilmiştir.

Kimyasal aktivasyonla aktif karbon üretimi bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Avantajları;

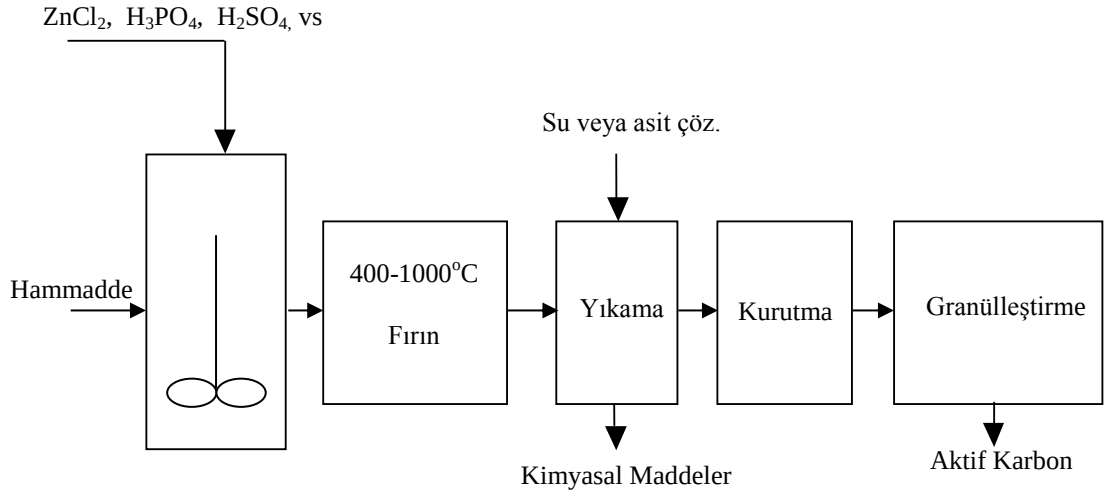
1. Fiziksel aktivasyona oranla daha düşük sıcaklık gerekmektedir,
2. Aktivasyon genel olarak tek adımda gerçekleştirilmektedir,
3. Daha yüksek katı ürün verimi oluşmaktadır,
4. Fiziksel aktivasyona oranla daha düşük süre gerekmektedir,
5. Gelişmiş mikro gözenek hacmi ve daha büyük yüzey alanı oluşmaktadır.

Kimyasal aktivasyon işleminin dezavantajları ise;

1. Kullanılan aktivasyon reaktifinden kaynaklanan safsızlıklar oluşabilmektedir,
2. Kullanılan aktivasyon reaktifinin çevreye etkisi söz konusudur,
3. Aktivasyon işlemi sonrasında kullanılan reaktif ve oluşan inorganik tuzları uzaklaştırmak için yıkama işlemine gerek duyulmaktadır (Marsh ve Rodriguez-reinoso, 2006).

Tablo 2.3. Kimyasal aktivasyonda yaygın olarak kullanılan kimyasallar (Dias vd., 2007; Hadi vd., 2015; Yahya vd., 2015)

Çinko klorür	Demir klorür
Fosforik asit	Demir sülfat
Borik asit	Sülfirik asit
Potasyum hidroksit	Potasyum karbonat
Sodyum klorür	Kalsiyum hidroksit
Nitrik asit	Kalsiyum fosfat
Sodyum sülfat	Sodyum fosfat
Dolomit	Klor
Mangan kömür	Mangan dioksit
Siyanit	Potasyum permanganat



Şekil 2.7. Kimyasal aktivasyon ile aktif karbon üretimi (Hassler, 1974)

2.6. Aktif Karbonun Kullanılabilirliğini Karakterize Edici Test Yöntemleri

2.6.1. İyot İndisi

İyot sayısı, aktif karbonların adsorpsiyon kapasitesi, yüzey alanı ve porozitesini belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Yüksek kaliteli bir aktif karbon elde etmek için iyot sayısının 900 mg/g'a eşit veya daha yüksek olması beklenir. Tipik iyot sayısı değeri 500-1200 mg/g aralığındadır (Ozdemir vd. 2014).

İyot sayısı tayini, aktif karbonun iç yüzey alanının bir göstergesini veren basit ve hızlı bir testtir. İyot sayısı, kalıntı filtratın iyot konsantrasyonu 0.02 N olduğunda 1g aktif karbon tarafından bir sulu çözeltiden adsorplanan iyodun miligramının sayısı olarak tanımlanır. Granüle aktif karbon ezilip toz haline getirilir (<0.1 mm) ve daha sonra sabit tartıma gelinceye kadar 150 °C'de kurutulur. Daha sonra 100 ml 0.10 N iyot çözeltisi ilave edilerek iyice çalkalanır. Son olarak 50 ml numuneyi 0.10 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile sarı renk neredeyse kaybolana kadar titre edilir. Karbonun 100 g başına adsorplanan gram iyot miktarı elde edilir.

Aşağıdaki denklem kullanarak karbonun iyot sayısı I_n 'yi hesaplanır:

$$I_n = \frac{X}{M} A \quad (2.4)$$

Burada; X= aktif karbon tarafından adsorplanan mg

$$X = (12,693 N_1) - (279,246 N_2 V) \quad (2.5)$$

Burada;

N_1 =iyot çözeltisi normalitesi

N_2 =sodyum tiyosülfat çözeltisi normalitesi

V =sodyum tiyosülfat çözeltisi hacmi, ml

M = aktif karbon ağırlığı, g

A =filtratın kalıntı normalitesine (N_r) bağlı düzeltme faktörü

Bu faktör A , N_r 0,008 ve 0,0334 N arasında ise uygulanabilir.

$$N_r = N_2 \frac{V}{50} \quad (2.6)$$

A değeri 1.1625-0.925 arasında değişebilir. Eğer N_r 0.008-0.0334 aralığında değilse, tayin $N_r > 0.0334$ ise büyük bir miktardaki aktif karbonla veya $N_r < 0.008$ ise daha küçük miktarda aktif karbonla tekrarlanmak zorundadır (ASTM B 600-78, 1978).

2.6.2. Metilen Mavisi İndisi

Metilen mavisi değeri, metilen mavisine benzer boyutlara sahip moleküller için bir aktif karbonun adsorpsiyonun kapasitesini göstermektedir. Aynı kalitede farklı grup aktif karbon kıyaslanmasında kullanılan hızlı bir metottur.

Metilen mavisi değeri 0.1 g aktif karbon (kuru esaslı) tarafından renksizleştirilen standart metilen mavisi çözeltisi sayısı olarak tanımlanır. Granüle aktif karbon ezilerek toz haline getirilir (<0.1 mm) ve daha sonra sabit tartıma gelinceye kadar 150 °C’de kurutulur. Cam tıpalı şişede 0.1 g karbon numunesini 25 ml metilen mavisi test çözeltisi ile tamamen temas ettirilir ve renk kayboluncaya kadar çalkalamaya devam edilir.

Daha sonra, başka bir 5 ml metilen mavisi test çözeltisi ilave edilir ve renksizleşme meydana gelinceye kadar çalkalanır, 5 dakika içinde renksizleşme meydana gelir gelmez 1 ml’lik parçalar halinde metilen mavisi test çözeltisi ilavesine devam edilir. Numune tarafından renksizleştirilen tüm test çözeltisi hacmi kaydedilir. Elde edilen sonucu doğrulamak için test tekrar edilir ve sadece renksizleştirilen metilen mavisi test çözeltisi hacmi aktif karbonun metilen mavisi değeridir. Bu test renk giderici ve tıbbi aktif karbonların adsorplama kabiliyetinin testi için kullanılır (CEFIC, 1986).

2.6.3. Fenol İndisi

Endüstriler de su arıtımında kullanılan aktif karbonların, karakterize etmek için kullanılan Fenol İndisi yöntemi, aktif karbon özelliklerinin bir göstergesini vermektedir. Fenol adsorpsiyon kapasitesi bir adsorpsiyon izotermi aracılığıyla ölçülür.

Granüle aktif karbon ezilip toz haline getirilir (<0.1 mm) ve daha sonra sabit tartıma gelinceye kadar 150°C 'de kurutulur. Doğru olarak tartılmış 0.3 gram kuru aktif karbon, 100 ml 0.1 g/L fenol çözeltisi ile 24 saat çalkalanır. Adsorplanmadan ortamda kalan fenol derişimi spektrofotometrik yolla analizlenir. Kuru aktif karbonun gramı başına adsorplanan mg cinsinden fenol miktarı Fenol İndisini verir (Güzel, 1991).

2.6.4. BET Yüzey Alanı

Aktif karbonların en önemli fiziksel özelliklerinden biri yüzey alanıdır. Yüzey alanları BET (Brunauer-Emmet-Teller) yöntemi ile belirlenir. Yöntemde adsorplanan madde olarak azot veya helyum gazı kullanılmaktadır. BET, gazların bir katı yüzeyinde tek tabakalı fiziksel adsorpsiyonudur ve gazların katı madde yüzeylerine fiziksel adsorpsiyon karakteristiğini kullanarak yüzey alanları hakkında bir çok bilgi vermektedir. BET yöntemi ile numunenin aktif yüzey alanı, gözenek hacmi ve porozitesi hakkında birçok bilgi edinilebilmektedir. Prensip olarak, yüzey alanı ne kadar büyük ise adsorpsiyon merkezlerinin sayısının da o kadar büyük olduğu düşünülmektedir (Müller ve Mehnert, 1997).

Kullanılan aktifleştirme ajanları, yüksek yüzey alanı ve gözenekliliği ile aktif karbon üretiminde çok verimlidir. Ayrıca emme oranı önemli derece de gözenek gelişimi üzerinde etkiye sahiptir (Ozdemir vd., 2014).

Aktif karbonların BET yüzey alanları genellikle $400-1500$ m²/g arasındadır. Hammaddenin türüne göre üretilen aktif karbonların yüzey alanları farklılık göstermektedir.

Aktif karbonların BET ve DFT (Density Functional Theory) plus analizleri yardımıyla; BET yüzey alanı, Langmuir yüzey alanı, iç ve dış yüzey alanı, gözenek çapı, gözenek hacimleri (mikro-mezo-makro hacim), izoterm tipi, gözenek boyut dağılımı gibi yüzey özellikleri belirlenmektedir (Gürdal ve Yalçın, 1992).

Yoğunlaşma noktasına yakın sıcaklıklarda gazların adsorpsiyonundan elde edilen izotermier de çoğu adsorbentler için iki farklı bölge bulunur. Yüksek basınçlar da izotermier konveks, düşük basınçlarda izotermier ise konkavdır. Bazı araştırmacılar yüksek

basınçlardaki konveks bölgesini kılcal yoğunlaşmaya bazıları ise çok tabakalı adsorpsiyon ile açıklamaktadırlar. Çoklu tabakanın oluşumu, adsorbent en üst tabakası tarafından indüklenmiş adsorbant dipollerinin oluşumu ve bunun ikinci ve daha sonraki tabakalar için devam ettiği kabulüyle açıklanmıştır. Brunauer, Emmet ve Teller çok tabakalı adsorpsiyon da buharın yoğunlaşmasında rol oynayan kuvvetlerin etkin olduğunu savunmuş ve adsorbent yüzeyiyle temasta bulunan ilk tabakanın adsorbent-adsorbant etkileşimine dayalı olduğunu varsaymışlardır. Bu sebepten dolayı ikinci ve daha sonraki tabakalarda moleküller ise sıvı hal ile aynı özelliklere sahip olmuşlardır. Brunauer, Emmet ve Teller genel olarak Lagmuir'in tek tabakalı adsorpsiyon için kullandığı yöntemi çok tabakalı adsorpsiyona ilişkin ve yaygın olarak BET(Brunauer, Emmet ve Teller) olarak bilinen eşitliği üretmekte kullanmışlardır. Bu eşitlik tutarlı entalpi ve nm değerleri elde etmesi ve gerçek izoterm şeklini yansıtmamasından dolayı adsorpsiyon çalışmalarında önemli bir rol oynamıştır (Bansal ve Goyal, 2005).

Kullanılan diğer bir yöntem ise oda sıcaklığında (10-25°C) karbondioksit adsorpsiyonudur. Bu yöntem ile yapılan ölçümler diğer yöntemlere göre daha büyüktür ve tüm yüzeylere CO₂ girmektedir. CO₂ adsorpsiyonuyla toplam yüzey alanı ölçülmektedir.

2.6.5. Kül Tayini

Bu metot aktif karbonun toplam kül içeriğinin tayin edilmesini kapsamaktadır. Sabit tartıma gelinceye kadar numune yakılarak yapılır.

Yeterli miktarda aktif karbon numunesini 150 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur, 1 saat 650±25 °C'de fırında yakılır. Kül oluşumu aktif karbon tipi ve partikül boyutuna bağlı olarak 3-16 saat sürebilir. Kül oluşumu, sabit tartım meydana geldiğinde tamamlanmış olarak incelenir (ASTM D 2866-70,1916).

Kül içeriği, % olarak şu şekilde verilmektedir.

$$\% \text{ Kül} = [(A-B) / (C-B)] \times 100 \quad (2.7)$$

A = Kül ile birlikte kroze kütlesi (g)

B = Boş kroze kütlesi (g)

C = Numune ile birlikte kroze kütlesi (g)

2.6.6. Nem Tayini

Bu yöntem ile aktif karbonun nem içeriği tayin edilmektedir. Etüvde kurutma metodu, aktif karbondaki uçucu madde sadece su olduğunda kullanılırken, distilasyon metodu karbonun ısıya duyarlı olduğu veya suyun yanı sıra suda çözünmeyen uçucu bileşikler içerdiği bilindiğinde veya şüphelendiğinde kullanılır. Numuneler önceden kurutulmuş krozelere konur, 150 °C 3 saat fırında kurutulur (ASTM D 2867-70, 1916).

Nem içeriği M_c % olarak şu şekilde verilmektedir:

$$M_c = 100 \frac{B-F}{B-G} \quad (2.8)$$

Burada; B; kapak + kroze + numunenin başlangıç ağırlığı, g, F; kapak + kroze + numunenin kurutma sonrası ağırlığı, g, G; kapak + kroze ağırlığı.

2.6.7. pH Değeri

Yüzeyinde inorganik maddeler ve kimyasal olarak aktif gruplar taşıyan aktif karbon, ilave edildiği sıvıların pH'sını değiştirebilir. Gerçek koşulların iyi bir yaklaşımını veren Tahmini Standart Test tasarlanarak yapılan tayindir.

Karbon numunesi kaynar su ile ekstrakte edilir. Elde edilen ekstraktın pH'sı aktif karbon pH değeri olarak tanımlanır. Karbon tartılıp behere koyulur, üzerine kaynamış su ilave edilir ve 5 dk kaynatılır. Aktif karbon ile su ayrılır ve oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. pH değeri kaydedilir (CEFIC, 1986).

2.6.8. Boehm Titrasyonu

Yüzey fonksiyonel grupların miktarları da Boehm analiz yöntemi ile belirlenmektedir. Karbon yapısındaki mevcut yüzey fonksiyonel gruplarını, asidik yüzey oksit gruplar ve bazik yüzey oksit gruplar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Karboksilik gruplar, laktanlar ve fenolik gruplar asidik yüzey oksitlerini oluşturmaktadır. Hidroksil grupları da bazik yüzey oksit gruplarını oluşturmaktadır. Boehm titrasyonu ile bu asidik yüzey oksitleri farklı bazlarla nötrale edilerek belirlenmektedir (Boehm, 2002).

NaOH'in karboksilik, laktan ve fenolik grupları; Na_2CO_3 'ın, karboksilik ve laktan gruplarını; $NaHCO_3$ 'ın ise sadece karboksilik grupları nötrale ettiği düşünülerek asidik grupların miktarı tayin edilmektedir.

Boehm analizin de hammadde ve aktif karbon numunesi hazırlanan baz çözeltileri içerisinde, 298 K'de 48 saat boyunca çalkalıyıcı su banyosunda çalkalanır daha sonra

numuneler, çözelti içerisindeki parçacıkların dibe çökmesi için 6 saat boyunca bekletilir. 6 saat sonunda numuneler, süzülüp HCl ile titre edilir. Böylece numunelerin içerdikleri gruplar (meq/g) olarak tespit edilmiş olur. Fakat bu yöntemde analiz sonuçları titrasyona bağlı olduğundan, renk dönüm noktalarının kullanılan reaktifin son birkaç damlasından önemli ölçüde etkilenmesi sebebiyle, birçok çalışmacı tarafından yeterli hassasiyetle sonuç vermediği düşünülmektedir. Fonksiyonel gruplardaki değişim eğilimlerini ve bazı grupların mevcut olup olmadığının belirtilmesi açısından genellikle uygulanmaktadır (Zhao vd., 2005).

2.6.9. SEM-EDX

Aktif karbonun gaz ya da sıvı fazdan çeşitli molekül ya da iyonları adsorplama yeteneği, onun kendi özelliği nedeniyle çok çeşitli şekillerde ve boyutlarda muazzam gözenekliliğinden kaynaklanmaktadır. Aktivasyon ajanı ve başlangıç maddesinin farklılığının yanında üretim şartlarının değişmesiyle çok farklı gözenek yapılarında aktif karbonlar üretilmektedir. Bu aktif karbonların yüzey yapıları ve gözeneklilikleri, özellikle de mikro gözeneklerin şekli, yapısı ve yüzeydeki dağılımlarının nasıl olduğunu SEM ile resimleri çekilerek görüntülenmektedir. Adsorbanın yüzey yapısı hakkında bir ön fikir SEM görüntüleri sayesinde elde edilebilmektedir. Ayrıca karbon üretimi sırasında çeşitli aşamalar da alınan aktif karbonların SEM görüntüleri, yüzey oluşumları ve gelişimleri takip edilebilmektedir (Marsh ve Rodriguez-Reinoso, 2006).

2.6.10. FTIR Analizi

Fourier transform spektroskopisi ile yapılan yöntem de elektromanyetik radyasyon ya da diğer tipteki radyasyonlar kullanılarak, radyoaktif kaynakların ısısal farklılıkları temel olarak ölçüm yapılmaktadır. Bu yöntem ile örneğe gönderilen ışık ile adsorbe edilen radyasyon spektrumları halinde ekrana yansımaktadır.

IR spektroskopisi ile katı, sıvı, gaz ve çözelti halinde örneklerin spektrumları alınabilmektedir. Yapıdaki bağlanma yerleri, bağların durumu, yapının aromatik veya alifatik olduğuna dair birçok bilgi IR spektrumu ile alınabilmektedir. Fakat bu yöntem tek başına çok aydınlatıcı değildir. Bu yüzden diğer spektroskopik yöntemleri destekleyici olarak kullanılmaktadır. Bu spektroskopik yöntemler; elektron dönme rezonans spektroskopisi, optik spektroskopisi, infrared spektroskopisi, nükleer manyetik rezonans olarak sayılabilir.

IR spektrumun da $3600-1200\text{ cm}^{-1}$ arasını kapsayan bölge fonksiyonel grup bölgesi, $1200-600\text{ cm}^{-1}$ arasını kapsayan bölge ise küçük yapısal değişiklikleri veren parmak izi bölgesi olarak adlandırılmaktadır (Gündoğdu, 2010).

Aktif karbon yüzey yapısının ve fonksiyonel grupların incelenmesin de FTIR analizi çok fazla kullanılmaktadır. Aktif karbon adsorpsiyon kapasitesin de önemli olan fonksiyonel gruplar; karbonil, karboksil ve hidroksil gruplardır. FTIR spektroskopisin de gözlenen pikler yardımıyla dalga boyu aralıkları dikkate alınarak fonksiyonel grup tespiti yapılmaktadır (Bansal ve Goyal, 2005).

2.6.11. Nötral Yük Noktasındaki pH (pH_{zpc}) Tayini

pH_{zpc}, bir adsorbentin net yüzey yükünün sıfır olduğu noktadaki pH değeridir. pH_{zpc} adsorbent yüzeyinin asit ya da bazik karakterini göstermektedir. Adsorbent yüzey yükü pH_{zpc} değerinin üzerinde ise yüzey negatif, altında ise yüzey pozitif yüklenir.

pH_{zpc} değeri adsorpsiyon çalışmaları sırasında hangi pH değerinde çalışılmasına karar verilmesinde de önemli bir parametredir (Noh ve Schwarz, 1989).

Aktif karbonların nötral yük potansiyelindeki pH'sının ölçümü için 50 ml 0.01 M NaCl çözeltileri alınır. 25 °C sıcaklıkta CO₂ çözünmesini önlemek amacıyla N₂ atmosferinde kaynatılır. Daha sonra HCl veya NaOH çözeltileri kullanılarak başlangıç pH'ları 2 ile 12 arasında olan değerlere ayarlanır ve her bir çözeltiliye 0.15 g aktif karbon ilave edilir. Karışımlar 48 saat çalkalandıktan sonra son pH'lar ölçülür ve başlangıç pH'sına karşı pH farkları (ΔpH) grafiğe alınır. ΔpH eğrisinin pH eksenini kestiği pH değeri incelenen aktif karbonun pH_{zpc}'si olarak alınır (Lopez-Ramon vd., 1999).

2.6.12. Uçucu Madde Tayini

Sert kömür ve kok kömürünün uçucu maddesinin belirlenmesi için kullanılan Uluslararası Standart aktif karbon için de uygulanmaktadır. Uçucu madde yüzdesi, nem içeriği için düzenlenmiş olan numune ağırlığındaki kayıptan hesaplanır.

Granüle aktif karbon ezilerek toz haline getirilir ($<0.1\text{ mm}$) ve numune 7 dk 900 °C'de ısıtılır. Her kroze 1.000±0.010 g numune tartıp konulur, krozelerin üzerini kapaklarla kapatılır ve fırında 900±10°C'de tam 7 dk bırakılır. Krozeler fırından çıkarılır, soğutulup tartılır (ISO 562-1981).

Kuru esaslı uçucu madde içeriği V_d şu şekilde verilir:

$$V_d = 100 \frac{100(B-F) - M_c(B-G)}{(B-G)(100-M_c)} \quad (2.9)$$

Burada; B; kroze, kap ve numunenin ısıtmadan önceki ağırlığı, g, F; kroze, kap ve numunenin ısıtmadan sonraki ağırlığı, g, G; boş kroze ve kapağının ağırlığı ve M_c ; ağırlıkça % nem.

2.6.13. Suda Çözünür Madde İçeriği

Suda çözünebilir içerik, suyla ekstrakte edilebilen maddelerle ilişkili olarak saflık tahminini vermektedir. Bir su ekstrakt hazırlanır ve kuruyana kadar buhar banyosuna alınır. Kalıntı 150 °C’de bir fırında sabit tartıma gelinceye kadar kurutulur.

Granüle aktif karbon ezilerek toz haline getirilir (<0.1 mm) ve daha sonra sabit tartıma gelinceye kadar 150 °C’de kurutulur. 10.0 g kuru toz aktif karbon tartılıp üzerine 100 ml su ilave edilir. İçerik iyice karıştırılır ve elektrikli ocak üzerinde 1 saat kaynatılır. Vakumla karbon kekinin suyu tamamen çekilir, filtratı oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Daha sonra 250 ml’lik volumetrik şişeye aktarılır ve işaret çizgisine kadar doldurulur, karıştırılır. Aynı bir kuru kap tartılır ve 50 ml su ekstrakt koyulur. Çeker ocakta bir buhar banyosunda kuruyana kadar buharlaştırılır. Kap 3 saat boyunca fırında tutulur ve sonra soğutulur. Sabit tartıma gelinceye kadar kurutulup tartılır (CEFIC, 1986).

Suda çözünebilir içerik W_s , % olarak şu şekilde verilir:

$$= 100 \frac{B-G}{2} \quad (2.10)$$

Burada;

B= kap+suda çözünebilir ağırlığı,

G=boş kabın ağırlığı, g

2.6.14. Asitte Çözünür Madde İçeriği

Asitte çözünebilir madde içeriği, kül içeriği gibi, aktif karbon saflığının bir göstergesini verir. Bu yöntem de bir hidroklorik asit ekstraktı hazırlanır ve buhar banyosunda kuruyana kadar bırakılır. Kalıntı 150 °C’de bir fırında sabit tartıma gelinceye kadar kurutulur.

Aktif karbon ezilerek toz haline getirilir (<0.1 mm) ve daha sonra sabit tartıma gelinceye kadar 150 °C’de kurutulur. 10.0 g kuru toz aktif karbon tartılıp üzerine 100 ml su ilave edilir ve iyice karıştırılır. Hidroklorik asit eklenir ve kondensere bağlanır. Elektrikli ocak üzerinde bir saat kaynatılır. Vakumla karbon kekinin suyu tamamen çekilir, filtratı oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Daha sonra 250 ml’lik volumetrik şişeye aktarılır ve işaret çizgisine kadar doldurulur, karıştırılır. Ayrı bir kuru kap tartılır ve 50 ml hidroklorik asit ekstrakt koyulur. Çeker ocakta bir buhar banyosunda kuruyana kadar buharlaştırılır. Kap 3 saat boyunca fırında tutulur ve sonra soğutulur. Sabit tartıma gelinceye kadar kurutulup tartılır (CEFIC, 1986).

Asitte çözünebilen içerik A_s , % olarak şu şekilde verilir:

$$A_s = 100 \frac{B-G}{2} \quad (2.10)$$

Burada; B= kap+asitte çözünebilen ağırlığı, g

G=boş kabın ağırlığı, g

2.6.15. Mekanik Dayanım Testi

Mekanik güç granüle aktif karbonun birçok teknik uygulaması için önemli bir faktördür. Mekanik gücün tayini pratik koşullarda aşınma ve yıpranmaya karşı direnci gösterir.

Pratik gereksinimlere bağlı olarak titreşim, çarpma ve dönme hareketi veya akışkan yataktaki gibi hareket kullanılan birçok farklı test metodu bulunmaktadır. Granüle aktif karbonun mekanik gücünün değerlendirilmesi için çeşitli testler uygundur. Bu testlerde partikül boyut dağılımındaki veya oluşan ince danelerin miktarındaki değişiklikler belirlenir. Bu testlerin hepsi mekanik gücün farklı yönlerini ölçer ve böylece matematiksel olarak birbiriyle alakalı olamazlar. Yaygın olarak kullanılan testler şunlardır:

1. Bilyalı-değirmen sertliği; Aktif karbon önerilen şartlarda çelik veya seramik bilyalarla bir yatay silindire verilen bir zamanda aşındırılır.
2. Aşınma kuvveti; Aktif karbon önerilen bir zamanda verilen boyutlardaki bir yatay olarak dönen silindirik elekte demir bir çubukla aşındırılır.
3. Çarpma sertliği; Aktif karbon partikülleri kontrollü şartlarda numune üzerine bir ağırlık düşürülerek parçalanır.

4. Ball-pan sertliği; Aktif karbon, bilinen çapta ve sayıdaki elik bilyalarla birlikte bir kapta verilen bir süre boyunca sallanır.
5. T-bar sertliği; Aktif karbon, belirtilen bir dönme hızı ve zamana sahip T-biçimli birkarıştırıcı ile silindirik bir kapta aşındırılır.
6. Ezme kuvveti; Aktif karbon granln ezme için basınç uygulanır (parçalanmış granüller için uygulanmaz).
7. Çarpma sertliği (Akışkan yatak);Aktif karbon bir çarpma plakası ile sağlanmış olanın üstünde olan pnömatik biçimde düşey silinde standart zaman için çalkalanır (ASTM D 3802, 1979).



2.7. Farklı Lignoselülozik Materyallerden Aktif Karbon Eldesi Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar

Tablo 2.4. Farklı Lignoselülozik Materyallerden Aktif Karbon Eldesi Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pHzpc	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Kayısı çekirdeği	Kayısı çekirdeği H ₂ SO ₄ çözeltisi ile % 50 oranında emprenye edilmiştir ve 200 °C'de 2 saat ısıtılmış, filtrelenmiştir. Daha sonra 650 °C'de 30 dk karbonize edilmiştir.	393.2 m ² /g	-	-	0.192 cm ³ /g	-	-	Asidik yüzey fonksiyonel grubu:0.78 mmol/g	-	Mouni, vd., 2011
Kayısı çekirdeği	50 g'lık kayısı çekirdeği 650-800 °C sıcaklıklarında fiziksel aktivasyona tabi tutulduktan sonra elde edilen karbonize ürünler 30 g/dk'lık buhar akış hızında 850 °C'de 4 saat süreyle aktive edilmiştir. En iyi özelliklere sahip aktif karbonun 800 °C'de 4 saat karbonize edilmiş örneklerden elde edildiği belirtilmiştir.	1092 m ² /g	-	1-3.35 nm	Mikro por hacmi 0.37 cm ³ /g	-	-	-	C: % 94.1 H: % 1.8 N: % 0.60 S: % 0.02 O: % 3.48	Şentorun –Shalayby vd. 2006
Kayısı çekirdeği	0.425-0.600 boyutundaki 20 g kayısı çekirdeği 400-550 °C arasında azot gazı atmosferinde 50 °C/dk ısıtma hızında arzu edilen sıcaklığa kadar ısıtılmış ve çalışma sıcaklığında 30 dk karbonize edilmiştir. 500 °C'de elde edilen aktif örneğin en uygun olduğu ifade edilmiştir.	195 m ² /g	-	-	0.1124 cm ³ /g	-	-	-	C: % 72.72 H: % 3.17 N:% 1.27 O: % 19.84	Demiral ve Kul, 2014

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Kayısı çekirdeği	Öğütülmüş kayısı çekirdekleri 200-900 °C arasındaki farklı sıcaklıklarda, 1-2 saat süreyle karbonize edilmiştir. Karbonize ürünler önce %10 HCl ardından saf su ile yıkanmıştır. En yüksek yüzey alanlı örnek (CAC) 700 °C’de 1 saatte elde edilmiştir. Bu örnek bu kez % 10 - 90 arasında değişen H ₃ PO ₄ +HNO ₃ karışımlı asitlerle 10 dk kaynatılıp 3 saat karıştırılarak aktive edilmiştir. Daha sonra 120 °C de 24 saat kurutulmuş, nötr pH oluncaya kadar saf su ile yıkanmıştır. En iyi özellikteki aktif karbon ağırlıkça % 70 asitle yıkanan ürünle elde edilmiştir.	CAC: 510.57 m ² /g	-	-	-	-	-	Asidik: 0.972 Bazık:0.110 mmol/g	C: % 88.70 O: % 10.82 S: % 0.48	Djilani vd., 2015
		ASAC 359.40 m ² /g	-	-	-	-	-	-	Asidik: 1.126 Bazık:0.213 mmol/g	
Kayısı çekirdeği	Çalışmada iki tür aktif karbon elde edilmiştir. Birincisinde; aktif karbon 2 mm’den küçük 100 g kayısı çekirdeğinin 75 g 19 M H ₃ PO ₄ ile karıştırılıp, 100 ml/dk azot gazı akışı altında 500 °C de 1 saat karbonizasyonu ile hazırlanmıştır. İkincisi ise; magnetik aktif karbon hazırlanmıştır. Bu amaçla kayısı çekirdekleri 1:1 emprenye oranında FeCl ₃ karıştırılıp yine 100 ml/dk azot gazı akışı altında 500 °C de 1 saat süreyle karbonize edilerek hazırlanmıştır.	1115 - 470 m ² /g	-	2.33 - 2.28 nm	0.651 - 0.268 cm ³ /g	-	-	-	-	Depci vd., 2014

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Kayısı çekirdeği	Kayısı çekirdekleri 120 ml/dk su buhar ı akışında, 15 °C/dk ısıtma hızında 700 °C'de karbonize edilerek aktif karbon hazırlanmıştır.	1175 m ² /g	-		0.93 cm ³ /g	% 3.7	-	Karboksil:0.120 Laktonik:0.090 Hidroksil:0.200 Karbonil:0.990 Toplam bazik:1.24 mmol/g	C: % 89.5 H: % 2.4 N: % 0.9 S: % 0.8 O: % 6.4	Petrova vd., 2010
Kayısı çekirdeği	12-16 mesh arasına öğütülmüş kayısı çekirdekleri 1:1 oranında H ₃ PO ₄ çözeltisi ile karıştırılmış, 100 °C de 24 saat bekletilmiş ve 400 °C'de karbonize edilmiştir.	1387 m ² /g	-	-	0.95 cm ³ /g	-	-	-	C: % 78.81 H: % 2.42 N: % 0.23	Soleimani ve Kaghazchi, 2008
Kayısı çekirdeği	0.5-2 mm tane boyutuna öğütülmüş kayısı çekirdeği H ₂ SO ₄ ile eprenye edilmiş, 250 °C de 24 saat aktive edilip % 1'lik NaHCO ₃ çözeltisi ve saf suyla pH 6 olana kadar yıkanarak hazırlanmıştır.	560 m ² /g	4.2 nm	-	0.46 cm ³ /g	-	-	.	-	Demirbaş vd., 2008b

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Kayısı çekirdeği	Kayısı çekirdekleri H ₃ PO ₄ çözeltisi ile 1:1 oranında karıştırılmış ve 100 °C de 24 saat kurutularak aktive edilmiştir. Aktive edilmiş materyal 200 ml/dk akışındaki % 99,99 saflıkta azot gazı altında 400 °C de 90 dk karbonize edilmiştir.	307.6 m ² /g	2.13	1.957 Nm	0.191 cm ³ /g	-	% 26.16	-	-	Marzbali vd., 2016
Kayısı çekirdeği	40 mesh'in altına öğütülmüş kayısı çekirdeğinden 25 g alınmış, yağı petrol eteriyle ekstrakte edildikten sonra, 20 °C/dk ısıtma hızı ile 350-600 °C arasında 30-150 dk arasında değişen farklı sürelerde karbonize edilerek bio-charlar elde edilmiştir. Elde edilen char 1:1 emprenye oranında NaOH ile 24 saat aktive edilmiş, 110 °C de kurutulmuş ve ikinci kez piroliz edilmiştir.	723 m ² /g	-	-	-	-	% 53.04	O-H, C=O, C=C, C-O, C-H	-	Fadhil, 2017
Şeftali çekirdeği	Çalışmada; 2 mm'den küçük partiküllerden oluşan 40 g örnek alınmış ve 1:1 oranında 150 ml ZnCl ₂ çözeltisiyle karıştırılarak 24 saat 105 °C'de aktive edilmiştir. Aktive edilen örnekler 500-700 °C'de 1 saat süreyle karbonize edilmiştir. 500 °C'de elde edilen örneğin en yüksek BET'e sahip olduğu rapor edilmiştir.	1776 m ² /g	-	-	0.96 cm ³ /g	-	% 43	Toplam asidik kısım:0.19 Toplam bazik kısım:0.71 mmol/g	-	Uysal vd., 2014

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Şeftali çekirdeği	Yaklaşık 1 mm tane boyutuna küçültülmüş şeftali çekirdekleri 12 M H ₃ PO ₄ ile karıştırılıp 85 °C de 6 saat aktive edilmiş, daha sonra 435 °C de 4 saat boyunca karbonize edilmiştir. Karbonize ürünler pH'sı 6.5 olana kadar saf su ile yıkanmış, kurutulmuş ve yüzey fonksiyonel gruplarının değiştirilmesi için HNO ₃ ile muamele edilmiş ve helyum atmosferinde 875 °C'de 5 dk ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ham aktif karbon (PC), HNO ₃ aktivasyonlu (O-PC) ve helyum atmosferinde (He-PC) olmak üzere üç tür aktif karbon elde edilmiştir.	PC 1216 m ² /g	3.1	-	0.81 cm ³ /g	-	-	-	-	Torrellas vd., 2015
		O-PC 959 m ² /g	2.1	-	0.57 cm ³ /g	-	-	-	-	
		He-PC 1064 m ² /g	4.3	-	0.65 cm ³ /g	-	-	-	-	
Şeftali çekirdeği	Ortalama 2.38 mm tane boyutuna sahip şeftali çekirdekleri H ₃ PO ₄ ile 85 °C de 2 saat aktive edilmiş, kurutulmuş ve daha sonra 450 °C de 2 saat karbonizasyon işlemi uygulanmıştır.	1054 m ² /g	-	-	0.493 cm ³ /g	-	-	-	-	Maia vd., 2010

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Badem kabuğu	Badem kabuklarının fiziksel aktivasyonu ile elde edilen aktif karbondan (AC) TiO ₂ dolgu aktif karbon (AC-TiO ₂) hazırlanmıştır.	AC:1398 AC-TiO ₂ : 695 m ² /g	-	2.4 3.5 Nm	0.8 0.4 cm ³ /g	-	-	-	-	Omri vd., 2014
Badem kabuğu	Öğütülmüş badem kabukları azot gazı altında 700 °C de 1 saat boyunca karbonize edilmiş ve CO ₂ gazı ile 1 saat boyunca aktive edilmiştir.	385 m ² /g	5,0	16.92 Nm	-	-	-	C-H, -COOH, C-OH	-	Hashemian vd. 2014
Badem kabuğu	Badem kabukları ağırlıkça 1:1 oranında H ₂ SO ₄ ile emprenye edilmiş ve 200 °C de 24 saat ısıtılmıştır. Daha sonra % 1'lik NaHCO ₃ ile yıkanmış ve ardından pH değeri 6 oluncaya kadar saf su ile yıkama işlemi yapılmıştır.	412 m ² /g	5.26	-	-	-	-	-	-	Demirbaş vd., 2008a

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Meyan kökü ve antep fıstığı kabuğu (mix)	Çalışmada; meyan kökü (L), antep fıstığı kabuğu (P) ve farklı oranlarda karıştırılmış olan meyan kökü-fıstık kabukları karışımı (MIX) ZnCl ₂ ve H ₃ PO ₄ ile farklı oranlarda karıştırılmış 85 °C'de 7-8 saat süreyle kimyasal olarak aktive edilmiş. Aktive edilen örnekler 450-700 °C'de 1-3 saat arası farklı sürelerde karbonize edilmiştir. Her bir örnek için optimize edilen şartlardaki aktif karbonun özelliği yanda verilmiştir.	L –ZnCl ₂ (500 °C, 1 saat, ZnCl ₂ / Prekursor =1:1) 922.8 m ² /g	-	-	-	-	% 34.4	-	-	Kaghazchi vd. 2010
		L –H ₃ PO ₄ (400 °C, 2 saat, H ₃ PO ₄ / Prekursor=1.5) 730 m ² /g	-	-	-	-	% 47.2	-	-	
		P –ZnCl ₂ (500 °C, 1 saat, ZnCl ₂ / Prekursor =1.5) 1058.8 m ² /g	-	-	-	-	% 38.1	-	-	
		P –H ₃ PO ₄ (400 °C, 1 saat, H ₃ PO ₄ / Prekursor =0.5) 1077.3 m ² /g	-	-	-	-	% 40.4	-	-	

		MIX–ZnCl ₂ (600°C, 1 saat, ZnCl ₂ / Prekursor=2) <u>1492.4</u> m ² /g	-	30.0°A	1.1 cm ³ /g	-	% 37.1	Fenolik:7.5 Laktonik:8.7 Karboksilik: 3.6 Bazik:0.4 mmol/g		
		MIX–H ₃ PO ₄ (700°C, 2 saat, H ₃ PO ₄ / Prekursor =1) <u>1013.6</u> m ² /g		25.8°A	0.6 cm ³ /g	-	% 39.4	Fenolik:8.9 Laktonik:9.5 Karboksilik: 5.6 Bazik:0.2 mmol/g		
Ceviz kabuğu	0.14-0.28 nm boyutundaki ceviz kabukları kurutulmuş, 500 °C de 300-500 ml/dk azot gazı altında 1 saat süreyle karbonize edilmiştir.	564.8 m ² /g	-	1.565 Nm	0.38 cm ³ /g	-	-	C=O, O-COOH, C-C, COOH, C-O	-	Fan vd. 2013

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Ceviz kabuğu	5 g ceviz kabuğu 1:1 oranında ZnCl ₂ ile 6 saat karıştırılıp aktive edilmiş, 105 °C'de 24 saat kurutulmuş ve 300 cm ³ /dk azot gazı altında, 5 °C/dk ısıtma sıcaklığında 450 °C de 1 saat süreyle karbonizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.	1452 m ² /g	6.67	1.970 nm	0.7151 cm ³ /g	-	% 41.3	-	-	Nazari vd., 2016
Ceviz kabuğu	Ceviz kabukları precursor/ZnCl ₂ oranı 1:0.5 ve 1:1 oranında ZnCl ₂ ile karıştırılıp, 120 °C de 5 saat aktive edilmiş ve 5 °C/dk hızında azot atmosferinde karbonize edilmiştir. 1:1 oranlı aktif karbonun özellikleri daha iyi bulunmuştur.	803 m ² /g	-	17.6 Nm	0.387 cm ³ /g	-	-	Bazik:0.29 Karboksil:0.72 Laktonik:0.42 Fenolik:0.30 Toplam asidik:1.44 mmol/g	-	Zabihi vd., 2010
Ceviz kabuğu	Ceviz kabukları farklı emprenye oranlarında ZnCl ₂ ile 48 saat 105 °C'de aktive edilmiş ve kurutulmuştur. Daha sonra 5 °C/dk ısıtma hızında 350-600 °C arasındaki farklı sıcaklıklarda karbonize edilmiştir. En yüksek Bet'e sahip örnek 2:1 emrenye oranında ve 450°C'de elde edilmiştir.	1800 m ² /g	-	-	1.176 cm ³ /g		% 40.1	Karbonil, fenol, eter, ester ve alkol grupları mevcuttur.	-	Yang ve Qiu, 2010

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Ceviz kabuğu	500 g kurutulmuş ceviz kabuğu bir kapalı kap içerisine konularak 2 saat süreyle dıştan alevle ısıtılmıştır. Saf su ile yıkanmış ve 105 °C de 24 saat kurutulmuştur. Daha sonra 10 g karbonize malzeme 5 M 150 ml HNO ₃ ile aktifleştirilmiş ve 6 saat 105 °C de karıştırılmış ve pH nötr oluncaya kadar 50 °C'deki saf su ile yıkanmıştır.	31.9078 m ² /g	1.9	36.39°A	0.0290 2 cm ³ /g	-	-	Fenolik:0.3 Karboksil:0.857 Laktonik:0.268 mmol/g	-	Ghaedi vd., 2015
Zeytin küspesi	Kurutulmuş zeytin küspesinden 20 g alınarak azot akışı altında 500 °C de bir ön karbonizasyona tabi tutulmuş, daha sonra oluşan karbonize char dan 5 g alınarak fırına yerleştirilmiş ve 900 °C'ye ısıtıldıktan sonra sisteme 0.08 ml/dk hızında 30-60 dk süreyle buhar beslenerek aktivasyon gerçekleştirilmiştir.	1106 m ² /g	-	-	0.607 cm ³ /g	-	-	Karboksilik: 1.59 Laktonik:0.169 Fenolik:0.120 Asidik:1.879 Bazik:3.030 mmol/g	-	Demiral vd. 2011
Kiraz çekirdeği	Kiraz çekirdekleri CO ₂ atmosferinde 900 °C de 40 dk süreyle karbonize edilerek aktif karbon hazırlanmıştır.	710 m ² /g	7.0	1.9 nm	0.34 cm ³ /g	-	-	Asidik:1.79 Bazik:0.0 mmol/g -COOH,	C: % 86.3 O: % 10.3 S: % 3.1 Al,Ca,Si,Mg ,P: % 0.3	Wisniewska vd. 2017

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Kaju fıstığı kabuğu	Yağı hegzanla ekstrakte edilmiş kaju fıstığı kabuğu 0.5-2 arasında değişen precursor/ZnCl ₂ oranlarında ZnCl ₂ ile karıştırılıp 85 °C de 2 saat çalkalanmış ve ardından 120 °C de 24 saat süreyle kurutulmuştur. Aktive edilmiş örnekler 400 °C'de 2 saat karbonize edilmiştir. precursor/ZnCl ₂ oranı 1.5'de en yüksek özellikler elde edilmiştir.	1478 m ² /g	-	-	0.973	-	% 75	Yüzeyin oldukça asidik olduğu tespit edilmiştir	-	Spagnoli vd., 2017
Vahşi kestane kabuğu	Vahşi kestane kabukları 1:1-1:4 arasında değişen oranlarda ZnCl ₂ ile 105 °C de 4-24 saat arasında değişen sürelerde aktive edilmiş ve 105 °C'de kurutulmuştur. Kurutulmuş örnekler 50 ml/dk azot gazı altında 600-800 °C'de karbonize edilmiştir. En iyi aktif karbon, 1:1 empenye oranında 24 saat aktive edilip 700 °C de 1 saat karbonizasyonla elde edilmiştir.	926.669 m ² /g	-	21.406 °A	0.496 cm ³ /g	12.94	% 35.87	O-H, C=O, -CH ₂ =, R-OH	C: % 79.20 H: % 1.60 N: % 2.01 O: % 17.37	Altıntığ ve Kirkil, 2016
Mango çekirdeği	14-22 mesh aralığına öğütölüp elenmiş ve kurutulmuş mango çekirdekleri 3:1 empenye oranında % 40'lık H ₃ PO ₄ ile karıştırılmış ve 35 °C de 24 saat aktive edilmiş, 75 °C'de kurutulmuştur. Aktive edilen örnekler 20 °C/dk hızla ısıtılan fırında 600 °C'de 1 saat süreyle karbonize edilmiştir.	490.43 m ² /g	6.8	38.9 °A	-	-	-	Hidroksil, Karbonil, Aldehit, Ester, Karboksil grupları mevcuttur.	C: % 78.56 H: % 2.05 N: % 1.23 O: % 18.16	Rai vd., 2016

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Portakal kabuğu	Kurutulmuş, öğütülmüş portakal kabukları azot gazı altında 700 °C de 1 saat boyunca karbonize edilmiş ve daha sonra CO ₂ atmosferinde 1 saat boyunca aktive edilmiştir.	248 m ² /g	4.2	Ortalama por çapı 10 nm	15 cm ³ /g	-	-	C-H, -COOH, -COOH ₃ , C-OH	-	Hashemian vd. 2014
Yer fıstığı kabuğu	İki farklı işlemle aktif karbon elde edilmiştir. Birinci işlemde; yer fıstığına 800 °C’de azot gazı atmosferinde 5 saat karbonizasyon uygulanmıştır (KAC). İkinci aşamada ise 2.50 g öğütülmüş yer fıstığı kabukları 40 ml 4 N H ₂ SO ₄ ile aktive edilip 700 W gücünde 230 °C de 20 dk mikro dalga ışınlarına maruz bırakılmış ve ardından pH nötr oluncaya kadar saf su ile yıkanmıştır (MAC).	KAC 370.10 m ² /g	-	25.60 °A	0.174 cm ³ /g	-	-	-	-	Georgin vd., 2016
		MAC 395.80 m ² /g	-	35.35 °A	0.210 cm ³ /g	-	-	-	-	

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Ananas yaprağı	Ananas yaprakları 1:1 emprenye oranında ZnCl ₂ ile 24 saat aktive edilmiş, 110 °C de kurutulmuş, azot gazı altında 500 °C de 1 saat süreyle karbonize edilmiştir.	914.67 m ² /g	-	2.4 Nm	0.56 cm ³ /g	-	-	C=O, C-H, C-O, -CH ₂ , -CH ₃	C: % 69.77 H: % 5.03 S: % 0.09 N: % 1.54 O: % 23.57	Mahamad vd., 2015
<i>Brachystegia eurycoma</i> tohum kabuğu	Kurutulmuş BESH numunesi K ₂ CO ₃ ile aktive edilip, 150 ml/dk CO ₂ gazı altında 600 °C de karbonize edilmiş ve daha sonra pH nötr oluncaya kadar saf su ile yıkanmıştır.	1217.52 m ² /g	-	3.25 Nm	0.52 cm ³ /g	-	% 19.24	-	-	Garba vd., 2015
Bambu	Bambu %20-80 arasında saflığa sahip H ₃ PO ₄ ile 1:1-4:1 oranlarında karıştırılıp 80 °C’de bir gece aktive edilmiştir. Daha sonra 450 °C’de azot atmosferinde karbonize edilmiştir. Karbonize örnek bu kez K ₂ CO ₃ çözeltisiyle farklı oranlarda karıştırılmış, kurutulmuş ve 700-850 °C arasındaki değişik sıcaklıklarda ikinci kez karbonize edilmiştir. En iyi aktif karbon 3:1 K ₂ CO ₃ emprenye oranında elde edilmiş ve 750 °C de yarım saat karbonizasyonla elde edilmiştir.	2237 m ² /g	-	-	1.23 cm ³ /g	-	-	-	-	Wang vd., 2015

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Tekstil atıkları	Tekstil atıkları, KOH ve ZnCl ₂ ile kimyasal aktivasyona, ardından 100 ml/dk akış hızındaki azot gazı atmosferi altında, ZnCl ₂ 'lü örnekler için 500 °C, KOH'li örnekler için 800 °C aktivasyon sıcaklığında, 10 °C/dk ısıtma hızı ile 1 saat ısıtma işlemi tabi tutulmuştur.	2392 m ² /g KOH ile aktivasyon	-	2-50 nm	-	-	% 4.34	C-O C-O-C C-O-H C-H -O-H	C: % 76.19 H: % 1.65 O: % 22.16	Sarıcı-Özdemir, 2008
<i>Ramulus mori</i> atığı	Ramulus mori artığı 400 °C karbonizasyon sıcaklığında 100 ml/dakikalık azot gazı akış hızı altında, 90 dk süreyle karbonize edilmiştir. Daha sonra aktivasyon ajanı/kütle oranı 1/2 olacak şekilde 800 °C sıcaklıkta 120 dakika süre çeşitli aktivasyon reaktifleri ile aktive edilmiştir.	1603.44 m ² /g	-	1.7–300 nm	-	-	% 26.56	Karbonil ve hidroksil grubu mevcuttur.	-	Yu- Bin vd., 2012
Enginar yaprakları	Yapraklar öğütülüp 212 mesh'lik parçacık boyutuna elendikten sonra H ₂ SO ₄ ile 3 saat emprenye edilmiş ve hava atmosferinde 1 saat süre ile ısıtılmıştır.	2038 m ² /g	6	>2 nm	-	-	% 25	Karboksilik: 0.46 Laktonik: 0.68 Fenolik: 0.38 Karbonil: 0.44 mmol/g	P: % 1.16 C: % 73.11 H: % 2.42 O: % 12.30 N: % 1.98 S: % <0.2	Benadjema vd., 2011

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pHzpc	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
<i>Nephelium lappaceum</i> kabuğu	1-2 mm'lik boyuta elenmiş olan rambutan kabuğu paslanmaz çelik bir reaktöre yerleştirilerek azot akışı altında önce 700 °C'de 2 saat karbonize edilmiş, sonra oluşan charlar KOH ile (KOH/kabuk oranı 3.5), muamele edilerek tekrar 789 °C'de 1.8 saat süreyle ikinci aktivasyon işlemine tabi tutulmuştur.	908.5 m ² /g	-	-	-	-	% 18.02	-	C: % 62.85 H: % 1.44 N+O: % 35.59 S: % 0.12	Ahmad ve Alrozi, 2011
Deniz yosunu	Kahverengi <i>sargassum longifolium</i> (SL) ve kırmızı <i>hypnea valentiae</i> (HV) adında iki deniz yosunu temin edildikten sonra 0.5-1 mm aralığındaki partikül boyutuna elenmiş, her bir materyalden 20 g alınarak % 30'luk ZnCl ₂ ile 2 saat süre ile temas ettirilmiştir. Elde edilen örnekler bir reaktöre konularak 800 °C'de 2 saat süre karbonizasyona tabi tutulmuştur.	SL:802 HV:783 m ² /g	SL:4.8 5 HV:4.7 2	-	-	-	SL: % 32.42 HV: % 33.65	-	-	Aravindhan vd., 2009
Portakal kabukları	Portakal kabukları soyularak 4 mm'den daha küçük boyutlara getirilmiş, K ₂ CO ₃ ile K ₂ CO ₃ /ham materyal oranı 1/1 olacak şekilde karıştırılmıştır. Ardından aktive edilmiş numune 100 ml/dk'lık azot akışı altında 950 °C'de 1 saat süre ile karbonize edilmiştir.	1352 m ² /g	-	-	-	-	% 11	Karboksil, karboksilat, eterik ve aromatik fonksiyonel grupları mevcuttur.	C: % 70.49 H: % 0.81 N: - S: - O: % 28.70	Köseoğlu, 2005

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
<i>Ceibapentandra</i> kabuğu	Yıkayıp kurutulan <i>Ceibapentandra</i> kabukları bir fırında 200 °C’de 2 saat piroliz edilmiştir.	521 m ² /g	5.7	-	-	-	-	Hidroksil, karboksilik, karboksilat gruplar mevcuttur.	C: % 56.25 H: % 2.60 N: % 0.44 S: % 1.49	Rao vd., 2008
Kestane kabuğu	Bursa yöresinden temin edilen kestane kabuğu öğütüldükten sonra boyutu 1 mm’den küçük olacak şekilde elenmiştir. Sonra ZnCl ₂ ile ZnCl ₂ /hammadde oranı 1/1 olacak şekilde aktivasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşan ürünler 100 ml’dk akış hızında azot gazı ile 873 K sıcaklığında 45 dk süre piroliz edilmiştir.	1823 m ² /g	1.5	-	-	-	% 33.31	Karboksilik: 0.360 Laktonik:0.0025 Fenolik: 0.3650 mmol/g	-	Döşemen, 2009
Çay fabrikası atıkları	125-300 µm boyutuna getirilmiş olan çay fabrikası atıkları, atık/ ZnCl ₂ oranı 1:3 olacak şekilde iyice temas ettirilmiş, ardından 100 ml/dk’lık azot gazı akışı altında 700 °C’de 3 saat süre ile karbonize edilmiştir.	1141 m ² /g	6.45	-	-	-	% 35.8	Karboksilik:0.98 Laktonik:0.57 Fenolik: 0.95 Toplam asidik:2.50 mmol/g	C: % 83.50 H: % 1.43 N: % 3.90 S: % 0.23 O: % 10.94	Gündoğdu, 2010

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Hint irmiği atığı	Örnekler kimyasal aktivasyon için % 50'lik H ₂ SO ₄ ve % 0.5'lik(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ çözeltileri ile yarım saat süre ile karıştırılmış, daha sonra ürünler sıcak bir hava fırında 105 °C'de 12 saat kurutulmuştur.	625 m ² /g	5.7	-	-	-	% 78	Karboksil:1.20 Laktonik:1.80 Fenolik: 0.90 Karbonil:1.60 Toplam bazik:1.10 mmol/g	C: % 65.0 H: % 2.0 N: % 3.0 O: % 30.0	Kadirvelu vd., 2004
Yer fıstığı kabuğu	Yer fıstığı kabuğu ZnCl ₂ /materyal oranı 1.75 olacak şekilde ZnCl ₂ ile 30 dk temas ettirilmiş daha sonra örnek 650 °C sıcaklıkta 15 dk karbonize edilmiştir.	1200 m ² /g	-	0.075 mm	-	-	% 76	-	C: % 75.8 H: % 2.95 N: % 1.53 S: % 0.32	Malik vd.,2007
Bambu	Bambu artığı 48 saat süre ile oda sıcaklığında fosforik asit/karbon:1/1 olacak şekilde fosforik asit ile karıştırılmıştır ve azot gazı akışı altında 600 °C'de 30-60 dk süreler için aktive edilmiştir.	1432 m ² /g	3.5	-	-	-	% 48	C-C:81.2 C-O-R:4.7 C=O:11.6 COOR:0.9 mmol/g	C: % 84.7 O: % 14.0 N: % 0.7 P: % 0.6	Liu vd., 2010

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Nar taneleri	Nar taneleri ZnCl ₂ ile ZnCl ₂ /materyal oranı 2 olacak şekilde 24 saat 1000 rpm’de karıştırılmış, ardından 110 °C’de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulmuş örnekler bir reaktöre konularak 600 °C sıcaklığında azot akışı altında (akış hızı 5 °C/dk) 1 saat süre ile karbonize edilmiştir.	978.8 m ² /g	7.35	-	-	-	% 39.21	-	C: % 76.94 H: % 3.23 N: % 3.08 S: % 0.21	Uçar, 2009
Pamuk sapı	Pamuk sapı, ZnCl ₂ ile kimyasal aktivasyona tabi tutulmuş, ardından 560 W dalga gücüne sahip mikrodalga fırında mikrodalga radyasyon zamanı 9 dk olacak şekilde ısıtılmıştır.	794.84 m ² /g	5.92	2-6 nm	-	-	% 37.92	Hidroksil, laktonik, karbonil, karboksilik ve karboksilat	-	Deng vd., 2009
Kiraz Çekirdeği	Kiraz çekirdeği azot atmosferinde oda sıcaklığından 600 °C sıcaklığa kadar 2 saat ısıtılmış, bu durumdaki numune H ₂ SO ₄ ’ün farklı konsantrasyonları (optimum % 75) ile 7 gün boyunca temas ettirilmiştir. Aktivasyon işlemi için ise karbonize ürünün 5 gramı hava akımı altında 2 saat süreyle 350 ve 550 °C arasında aktivasyon sıcaklıklarına ısıtılmıştır.	145 m ² /g	-	-	-	-	% 61	Karboksilik ve kinon grupları mevcuttur.	-	Olivares-Marin vd., 2012

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pHzpc	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Yenebilir mantar kalıntısı	10 g mantar kalıntısı K ₂ CO ₃ /mantar kalıntısı oranı 0.8 olacak şekilde K ₂ CO ₃ ile 20 saat boyunca karıştırılmış ve kurutulmuştur. Kuruyan malzeme mikrodalga fırın bölümü içinde monte edilmiş olan bir kuartz tüp içine transfer edilmiş ve 520 MW'lık mikrodalga gücünde 16 dk süreyle aktive edilmiştir.	683.76 m ² /g	5.23	2-5 nm	-	-	% 23	Hidroksil: C-H, C=O ,C-O	-	Xiao vd., 2012
Hurma çekirdeği	2,0-2,8 mm boyutunda 15 g örnek azot gazı altında 150 cm ³ /dakikalık akış hızında 600 °C sıcaklıkta 2 saat karbonize edilmiş, çıkan charlar 100 cm ³ /dk'lık CO ₂ akışı altında 30 dakika için 900 °C'de aktive edilmiştir.	1366 m ² /g	-	1.5-1.7 mm	-	-	% 26	Ketonik, karbonil gruplar mevcuttur.	C: % 90.4 H: % 0.2 N: % 3.6 O: % 5.8	Lua vd., 2001
Flamboyantka buğu	Ham flamboyant kabukları 500 °C'de 1.5 saat süre ile ısıtılmıştır. Elde edilen charlar NaOH/char oranı 1:1, 2:1, 3:1 olacak şekilde kimyasal olarak aktive edilmiş ve 4 saat 130 °C'de kurutulmuştur.	AC1: 304 AC2:1321 AC3:2463 m ² /g	-	-	-	-	AC1: % 21.47 AC2: % 15.79 AC3: % 14.94	Karboksil, asidik, laktonik, bazik ve fenolik gruplar mevcuttur.	-	Vargas vd., 2011

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pHzpc	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Zeytin atık keki	Tunus'ta bulunan bir yağ fabrikasından çıkan zeytin atık kekinden 40 g alınarak fosforikasit/materyal oranı 1.75 oranında fosforik asit çözeltisi ile 2 saat temas ettirilmiştir. Daha sonra örnek, paslanmaz çelik reaktör içinde 450 °C sıcaklıkta 0.5 ml/dk'lık azot gazı akış hızı altında 2 saat süreyle piroliz işlemine tabi tutulmuştur.	1020 m ² /g	-	100-160 µm	-	-	-	Karbonil, Olefinik, Karboksilat Ester, Alkol, Benzen grupları mevcuttur.	-	Baccar vd., 2009
Palmiye kabuğu	1.7 mm boyutuna getirilmiş palmiye kabuğu örnekleri 2.6 l/dk'lık azot akışı altında 400 °C sıcaklık altında 60 dk süre ile karbonize edilmiştir.	58.3 m ² /g	-	2.32 Nm	-	-	% 32.9	-	C: % 62.7 H: % 7.9 N: % 1.3 O: % 28.1	Arami-Niya vd., 2012
Arundo donax kamışı	Örnekler H ₃ PO ₄ /materyal oranı (R) 1.5, 2 ve 2.5 olan fosforik asit çözeltisi ile aktive edilmiş ve daha sonra karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Örnekler R=1.5 ve 2 için 400 ile 500 °C'de, R=2.5 için ise 500 °C'de 1 saat süreyle piroliz edilmiştir.	1300 m ² /g	-	-	-	-	% 35-46	-	C: % 49.3 H: % 6.0 N: % 0.3 O: % 44.4	Vernersson vd., 2002

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	% Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Lignin	10 g lignin konsantre fosforik asit çözeltisinin 51.3 gramı ile karıştırılmıştır. Fosforik asit çözeltisinin suyunu uzaklaştırmak için 170 °C'de 1 saat boyunca kurutulmuştur. Ardından doğal lignin karışımı ve aktive reaktif 2 °C/dk'lık ısıtma hızında ve 500 °C sıcaklıkta karbonizasyona tabi tutulmuştur.	463 m ² /g	6	-	-	-	% 60.89	Karboksilik, karbonil, asidik gruplar mevcuttur.	-	Kriaa vd.,2010
Mantar tozu	Mantar tozları 0.297mm boyutuna getirilmiş, % 10'luk H ₂ SO ₄ çözeltisi eklenmiş yıkanmış ve bir gece boyunca kurutulmuştur. Ardından % 25'lik KOH çözeltisi ile KOH/ mantar tozu oranı 0.5 olacak şekilde aktive edilmiştir. Aktive edilen örnekler azot akışı altında 2 saat süre ile 800 °C'de karbonize edilmiştir.	1336 m ² /g	5.9	-	-	-	-	-	C: % 60.5 H: % 0.8 N: % 0.3 O: % 38.4	Cardoso vd., 2008
<i>Cattail</i> (Hasır otu)	Cattail yıkanmış kurutulmuş ve bir değirmende öğütüldükten sonra H ₃ PO ₄ / cattail oranı 2.5 olacak şekilde H ₃ PO ₄ ile 9 saat süreyle temas ettirilmiştir. Elde edilen kütle bir kül fırına yerleştirilmiş 500 °C sıcaklıkta 80 dk süreyle karbonize edilmiştir. Karbonize edilmiş malzeme distile su ile yıkanmış ve 2 saat boyunca 120 °C sıcaklıkta kurutulmuştur.	1279 m ² /g	-	5.585 nm	-	-	-	Karboksil, lakton ve karbonil grupları mevcuttur .	-	Shi, vd., 2010

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Çam kozalağı	Çam kozalağı öğütüldükten sonra 20 mesh'lik partikül boyutuna elenmiş, H ₃ PO ₄ /çam kozalağı oranı 1/3 olacak şekilde H ₃ PO ₄ ile iyice temas ettirilmiş, karışım bir fırında azot gazı akışı altında iki fazda ısıtılmıştır. Birinci fazda 170 °C sıcaklıkta ve 60 dk sürede, ikinci fazda 500 °C sıcaklıkta ve 60 dk karbonizasyon gerçekleştirilmiştir.	1094.1 m ² /g	3.06	-	-	-	% 55.7	Asidik:2.95 Karboksilik:1.742 Laktonik:0.723 Fenolik:0.493 Bazik:1.357 mmol/g	-	Momcilovic vd., 2011
Deniz taşları	Bir kısım materyal fosforik asit çözeltisi ile karışım oranı 1:2 olacak şekilde oda sıcaklığında 24 saat süre ile ısıtılmıştır ve malzeme (PASB) kurutulmuştur. Bir kısmı ise ZnCl ₂ çözeltisi (1:2 ağırlık oranında) ile karıştırılmış ve oda sıcaklığında 24 bırakılmış ve materyal(ZCSB) kurutulmuştur. PASB ve ZCSB sonra bir fırın içerisinde 550 C'de 3 saat süre ile ısıtılmıştır.	PASB:107 1 ZCSB:829 m ² /g	PASB:3 .4 ZCSB:5	0.300-0.425 mm	-	-	PASB: % 42 ZCSB: % 33	Karboksil, karbonil, eter, alkol ve fenolik gruplar mevcuttur.	-	Mohammadi vd., 2010
Hurma salkımları	Meyve (hurma) salkımları temizlenip öğütüldükten sonra partikül boyutu 1-2 mm olacak şekilde elenmiştir. Daha sonra bu numunelerden 500 gram alınarak bir fırına yerleştirilmiş azot gazı akışı altında 10 °C/dk'lık ısıtma hızında 700 °C'de ısıtılmıştır. Oluşan charlar gücü 600 W olan bir mikrodalga fırında KOH ile KOH/char oranı 1 olacak şekilde 7 dakika boyunca aktive edilmiştir.	1372 m ² /g	6.76	-	-	-	73.78	Hidroksil, ester, eter, fenol, alkil, alkin ve anhidritler.	-	Foo ve Hameed., 2012

Aktif karbonun elde edildiği materyal	Aktivasyon Şartları	Elde Edilen Aktif Karbonun Özellikleri								
		Yüzey Alanı	pH _{zpc}	Ortalama por çapı	Por hacmi	Uçucu madde	%Verim	Yüzey fonksiyonel grubu	Elementel Analiz	Referans
Üzüm sapı	Üzüm sapsarı öğütölüp, +50-80 mesh boyutuna elenmiş, ZnCl ₂ /üzüm sapsarı oranı 2/1 olacak şekilde 36 saat aktive edilmiş ve sonuç örnekler bir kül fırınında CO ₂ atm altında (2.5L/dk akış hızında) 700 °C'de 2 saat karbonize edilmiştir.	1411.75 m ² /g	2.84	125 µm	-	-	% 37.76	Karboksilik, laktonik, fenolik ve bazı gruplar mevcuttur.	C: % 92.41 H: % 0.284 N: %1.266 S: % 0.171	Ozdemir vd., 2014
Asma dalı	-50+80 mesh tane boyutuna öğütölmüş asma dalları 40/30 oranında (ZnCl ₂ /asma dalı) ZnCl ₂ ile 25°C'de 24 saat kimyasal aktivasyonu ile hazırlanan örnek, 700°C'de 60 dk karbonize edilmiştir.	1689 m ² /g	4.8	19.413°A	0.842 cm ³ /g	-	% 19.41	Asidik yüzey	C: % 89.65 N: % 1.58 H: % 0.71 S: % 0.062 O: % 8	Erdem vd., 2016
Badem kabuğu, kayısı ve şeftali çekirdeği	-30+50 mesh tane boyutuna öğütölmüş kayısı ve şeftali çekirdeği ile badem kabuklarının 1/1/1 oranında karıştırılması ile hazırlanan üçlü karışımın 80/40 oranında (ZnCl ₂ /üçlü karışım) ZnCl ₂ ile 25°C'de 24 saat kimyasal aktivasyonu ile hazırlanan örnek, 700°C'de 60 dk karbonize edilmiştir.	1982 m ² /g	6.10	1.8332 nm	1.0918 cm ³ /g	-	% 36.34	Karboksilik, laktonik, fenolik ve bazı gruplar mevcuttur. Ancak asidik gruplar baskın	C: % 96.21	Mevcut çalışma

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Kayısı Çekirdeği, Şeftali Çekirdeği ve Badem Kabuğunun Temini ve Hazırlanması

Yapılan çalışmada badem kabuğu, kayısı ve şeftali çekirdeğinden hazırlanan üçlü karışım aktif karbon üretimi için ham madde olarak kullanılmıştır. Söz konusu tüm ürünler işlenmiş olduğu tarımsal işletmelerde yan ürün olarak açığa çıktığından buralardan satın alınarak temin edilmiştir. Ürünler temin edildikten sonra üzerindeki toz, kir gibi safsızlıklardan temizlenmek amacıyla önce musluk suyuyla daha sonra ise demineralize suyla yıkanmış ve oda sıcaklığında üç gün 80 °C’de ise 24 saat kurutulmuştur. Kuru örnekler bıçaklı bir öğütücüde öğütüldü ve elenerek -30+50 mesh fraksiyonu deneylerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Sınıflandırılmış olan kuru örnekler 1/1/1 oranlarında karıştırılarak homojenize edilip aktif karbon üretiminde kullanılmıştır. Hazırlanan bu karışım tez kapsamında üçlü hammadde karışımı olarak zikredilecektir.

3.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Çalışmanın deneysel aşamalarında çeşitli kimyasal maddeler kullanılmıştır. Bunlar; sırasıyla kimyasal aktivasyon işleminde $ZnCl_2$ (Merck, 108813), aktivasyon reaktifini gidermek amacıyla HCl (Merck, 10.0317), pH ayarlama sırasında HCl ve NaOH (Merck, 10.6462), Boehm titrasyonlarında ise HCl, NaOH, fenolftalein indikatörü ve $NaHCO_3$ (Merck, 10.6329), Na_2CO_3 (Merck, 10.6392) kimyasalları kullanılmıştır. Ayrıca FTIR analizinde analiz disklerini oluşturmak için KBr (Merck, 10.4907) kullanılmıştır.

3.3. Aktif Karbon Üretimi

Aktif karbon uygun özellikteki hammaddelerin farklı fiziksel, kimyasal veya her ikisini içeren kombine aktivasyon proseslerinde işlenmesiyle elde edilmektedir. Aktif karbonların en ayırt edici özelliği geniş yüzey alanlarıdır. Özellikle 500-1500 m^2/g ’ın üzerinde yüzey alanına sahip aktif karbonlar endüstriyel uygulamalarda yaygın tercih edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada da fiziksel, kimyasal ve her ikisini içeren kombine aktivasyon prosesleri uygulanarak en büyük yüzey alanına sahip aktif karbonun elde edildiği yöntem ve şartlar ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

3.3.1. Fiziksel Aktivasyonla Aktif Karbon Üretimi

Söz konusu üçlü hammadde karışımından aktif karbon üretmek amacıyla önce herhangi bir aktivasyon işlemine tabi tutulmamış üçlü karışım kullanılarak bir seri ön karbonizasyon denemeleri yapılmıştır. Bu amaçla -30+50 mesh boyutuna öğütülmüş örnekten 40 gram alınarak Şekil 3.1’de verilen paslanmaz çelikten yapılmış sızdırmaz bir reaktöre doldurulmuş ve bu reaktör bir kül fırını içerisine yerleştirilerek içerisinden yanmayı önlemek amacıyla akış hızı 2.5 l/dk olacak şekilde 10 dk saf CO₂ geçirilmiştir. Bu süre sonunda kül fırını çalıştırılmış ve fırının sıcaklığı çalışma sıcaklığına (500, 600 ve 700 °C’ye) ayarlanarak bu sıcaklığa çıkma süreleri kaydedilmiştir. Fırının sıcaklığı belirtilen sıcaklıklara ulaştıktan sonra çeşitli süreler için karbonizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda fırın kapatılarak inert gaz akışı altında soğumaya bırakılmıştır.

Her bir farklı sıcaklıklarda elde edilen aktif karbon örneklerinin karbonizasyonu sonrası miktarları belirlenmiş ve verimleri hesaplanmıştır. Elde edilen aktif karbon örnekleri karakterizasyon çalışmalarında en önemli gösterge olan yüzey alanı, toplam gözenek hacmi, por çapı, kül içeriği gibi testlere tabi tutularak tatminkar yüzey alanlı aktif karbon özellikli materyalin elde edilip edilmediği ortaya koyulmuştur.



Şekil 3.1. Karbonizasyon deneylerinin yapıldığı reaktör ve fırın

3.3.2. Kimyasal Olarak Aktive Edilmiş Karışımdan Aktif Karbon Üretimi

Ham materyalin doğrudan fiziksel aktivasyonla piroliz işlemleri sonrasında elde edilen aktif karbon görünümlü örneklerin yapılan yüzey alanları ölçümlerinde tatminkar değerler elde edilmediğinden, $ZnCl_2$ kullanılarak kimyasal aktivasyon uygulanmıştır.

Kimyasal aktivasyonda; önce uygun miktarda kimyasal aktivatörü içeren 100 ml çözeltiler hazırlandı ve her bir çözeltiliye 40 g ham karışım ilave edilerek iyice karıştırıldı. Karışımlar, 24, 48, 72 ve 96 saat süreyle bir inkübatör (Gallenkamp 8920) içerisinde 25 °C’de çalkalanarak kimyasal maddenin hammadde üzerine emilimi sağlandı. Kimyasal maddenin emilimi üzerine sıcaklığın etkisini incelemek amacıyla da önceki deneylerle belirlenen $ZnCl_2$ /üçlü hammadde karışım oranı sabit tutularak 24 saat süreyle 50 ve 75 °C’de de impregnasyon (emdirme) deneyleri yapılmıştır. Tüm işlemler sonunda elde edilen karışımlar bir etüvde 105 °C’de kurutuldu. Kurutulan örnekler daha sonra karbonizasyon işlemlerine tabi tutuldu. Karbonizasyon işlemleri saf CO_2 gazı akışı altında 700 °C sıcaklıkta 60 dk süre ile yapılmıştır.

Karbonizasyon işlemleri sonrasında kimyasal aktivasyon için kullanılan kimyasalı uzaklaştırmak için örnekler 3 M HCl çözeltisinin 100 ml’siyle bir manyetik ısıtıcıda (Wisestir) 30 dk süre ile kaynatılmıştır. Kaynatılan örnekler süzölmüş, katı kısım önce sıcak distile, ardından bütün klorürler uzaklaşmaya kadar sıcak deiyonize su ile daha sonra ise süzöntü pH’sı nötral oluncaya kadar distile su ile yıkanmıştır. Bu işlemlerden sonra elde edilen ıslak örnekler 105 °C’deki etüvde kurutulup elde edilen kuru aktif karbon miktarından üretim verimi hesaplanmıştır. Etüvde kurutulmuş granül haldeki aktif karbon örnekleri bir kahve öğütücü yardımıyla 10 dk öğütölmüş ve nem almaması için ağzı kapalı bir şekilde muhafaza edilmiştir.

3.4. Karakterizasyon Testleri

3.4.1. Çalışmada Kullanılan Hammaddelerin Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan badem kabuğu, kayısı ve şeftali çekirdeği ve karışımı proximate analiz, SEM (JEOL/JSM-6510 LV), FTIR (ATI Unicam Mattson 1000) ve termogravimetrik (Perkin Elmer Pyris TG) analizlerle karakterize edilmiştir.

3.4.2. Aktif Karbon Örneklerinin Karakterizasyonu

Deneylerde badem kabuğu, kayısı ve şeftali çekirdeği üçlü karışımından elde edilen aktif karbonlar BET yüzey alanı, partikül boyutu, gözenek dağılımı, FTIR (Perkin Elmer Spectrum One), TGA ve DTA gibi termogravimetrik analizi, kül tayini, elemental analizi, Boehm titrasyonu ve SEM (JEOL/JSM-6510 LV) görüntüleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Bu işlemler ve uygulamaları aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

3.4.2.1. Kül Tayini

Üçlü hammadde karışımından elde edilen aktif karbon örneklerinin ve ham üçlü karışımın kül içeriğini belirlemek için tüm örnekler 105 °C’lik bir etüvde kurutulmuş, porselen krozelerin darası alınarak sabit tartıma getirilmiştir. Örneklerin yaklaşık 10-15 gramı, sabit tartıma getirilmiş krozelere konularak sıcaklığı 600 °C’ye ayarlanmış ve kül fırını içerisinde 60 dk süre ile yakma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemin sonunda krozeler desikatöre alınıp soğumaya bırakılmış ve soğutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Daha sonra örnekler tekrar kül fırınına alınmış aynı sıcaklıkta iki tartım arasındaki fark sabitleninceye kadar bu işleme devam edilmiş ve kül içerikleri aşağıda tekrar verilen Eşitlik 2.7 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Kül} = [(A-B) / (C-B)] \times 100 \quad (2.7)$$

3.4.2.2. Elementel Analiz

Örneklerin elementel analizleri İnönü Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan LECO CHNS 932 elementel analiz cihaz ile yapılmıştır.

3.4.2.3. BET Yüzey Alanı, Toplam Gözenek Hacmi ve Por Çapı Tayinleri

Üçlü hammadde karışımından elde edilen aktif karbonların özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması için en önemli parametrelerden biri olan BET yüzey alanı toplam gözenek hacmi ve por çapı tayini, Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünde bulunan Micromeritics marka ASAP 2020 model yüzey alanı tayin cihazında yapılmıştır.

3.4.2.4. SEM-EDX Analizleri

Örneklerin yüzey morfolojisini ve gözenek yapısını belirlemek amacıyla, Fırat Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan JEOL/JSM-6510 LV marka elektron mikroskop kullanılarak örneklerin SEM görüntüleri alınmıştır.

3.4.2.5. TGA Analizi

Örneklerin termal davranışını belirlemek amacıyla hammadde karışımı Fırat Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Pyris TG marka TG analizöründe termal analize tabi tutulmuştur.

3.4.2.6. FTIR Analizi

Elde edilen aktif karbonların yüzey fonksiyonel gruplarının belirlenmesi amacıyla örnekler, Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Spectrum One marka FTIR cihazıyla analiz edilmiştir.

3.4.2.7. Nötral Yük Noktasındaki pH (pH_{zpc}) Tayini

Üçlü karışımdan elde edilen aktif karbon örneklerine pH_{zpc} tayinleri yapılmıştır. Bu tayinde 250 ml 0.1 M NaCl çözeltisi hazırlanmış ve çözeltiden 10 ml alınıp 100 ml'lik erlenlere konulmuştur. pH 2-12 değerleri arasında olacak şekilde çözeltiler hazırlanmıştır. Bu çözeltilerdeki pH ayarlamaları 0.1 M HCl ve 0.1 M NaOH çözeltileri kullanılarak yapılmıştır.

Hazırlanan bu çözeltilerin her birine 0.15 g aktif karbon örneği ilave edilip 25 °C de 150 rpm hızında 48 saat çalkalanmıştır. Çalkalama işlemlerinden sonra karışımları süzülerek son pH'ları ölçülmüş, $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{son}} - \text{pH}_{\text{başlangıç}}$ hesaplanarak başlangıç pH'sına karşı grafiğe alınmıştır. $\Delta\text{pH} - \text{pH}_{\text{başlangıç}}$ eğrisinin x eksenini kestiği pH değeri incelenen aktif karbonun pH_{zpc}'si olarak alınmıştır.

3.4.2.8. Boehm Titrasyonu

Yapılan çalışmada karışımdan üretilen aktif karbonlar yüzeyindeki asidik ve bazik yüzey fonksiyonel gruplar aşağıda ifade edildiği gibi tespit edilmiştir;

0.05 N HCl, NaOH, Na₂CO₃ ve NaHCO₃ çözeltileri hazırlandıktan sonra bu çözeltilerden 50 ml alınıp üzerine 1.00 g aktif karbon ilave edilerek santrifüj tüplerine konulmuştur. Daha sonra bu örnekler sıcaklığı 25 °C'ye ayarlanmış bir çalkalayıcıda 24

saat süre ile çalkalanmıştır. Bu süre sonunda örnekler 10 dk boyunca santrifüjlenmiş (Nüve NF 400) ve santrifüjlenen numuneler filtreden geçirildikten sonra her bir örnekten 5 ml alınmış (3 seri numune olacak şekilde) ve asidik ve bazik çözeltilerin aşırısını tayin etmek üzere NaOH ve HCl çözeltisi ile titre edilmiştir.

Titrasyonda NaOH karboksilik, laktonik ve fenolik tüm asidik grupları, Na₂CO₃ karboksilik ve laktonik grupları, NaHCO₃ yalnızca karboksilik grupları, HCl ise tüm bazik grupları nötralize eder. Bu nedenle sarfiyatlardaki miktarlar nötralizasyon ilişkisi dikkate alınarak yüzey fonksiyonel grupları aşağıda verilen şekilde hesaplanır;

$$YFG = (N \times (T_k - T) \times 2.5) / m \quad (3.1)$$

YFG = Yüzey fonksiyonel gruplar (mmol/g)

N = Titrant normalitesi

T_k = Tanık deneyler için titrant sarfiyatı (ml)

T = Farklı çözeltiler için titrant sarfiyatı (ml)

m= Adsorban miktarı (g)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan kayısı ve şeftali çekirdeği ile badem kabuğu karışımından hazırlanan üçlü karışım % 51.08 karbon, % 4.3 nem ve % 0.6 kül içermektedir (Tablo 4.1). Nispeten yüksek karbon ve düşük kül içeriği nedeniyle karışımın aktif karbon üretimi için oldukça uygun bir materyal olduğu söylenebilir.

Ligno-selülozik materyallerden aktif karbon eldesinde; aktivasyon sıcaklığı, kimyasal aktivatör varlığı, aktivatör dozu, aktivasyon süresi gibi parametreler elde edilecek aktif karbonların fizikokimyasal özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle arzu edilen özelliklerde aktif karbon üretmek için aktivasyon şartlarının optimize edilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında kayısı ve şeftali çekirdeği ile badem kabuğu karışımından hazırlanan üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine; fiziksel aktivasyon için karbonizasyon sıcaklığı, kimyasal aktivasyon için karbonizasyon sıcaklığı ve süresi, kimyasal aktivatör ($ZnCl_2$) dozu (impregnasyon oranı), impregnasyon süresi ve sıcaklığı gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Bu incelemelere ilişkin yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

Tablo 4.1. Üçlü hammadde karışımının proximate and ultimate analizi

Proximate analiz	% , (km)
Ash	0.60
Moisture	4.30
Volatile matter	77.92
Fixed carbon	17.18
Ultimate analiz	% , (km)
C	51.08
H	6.11
N	0.63
S	0.15
O*	42.03

km: kuru madde *: farktan

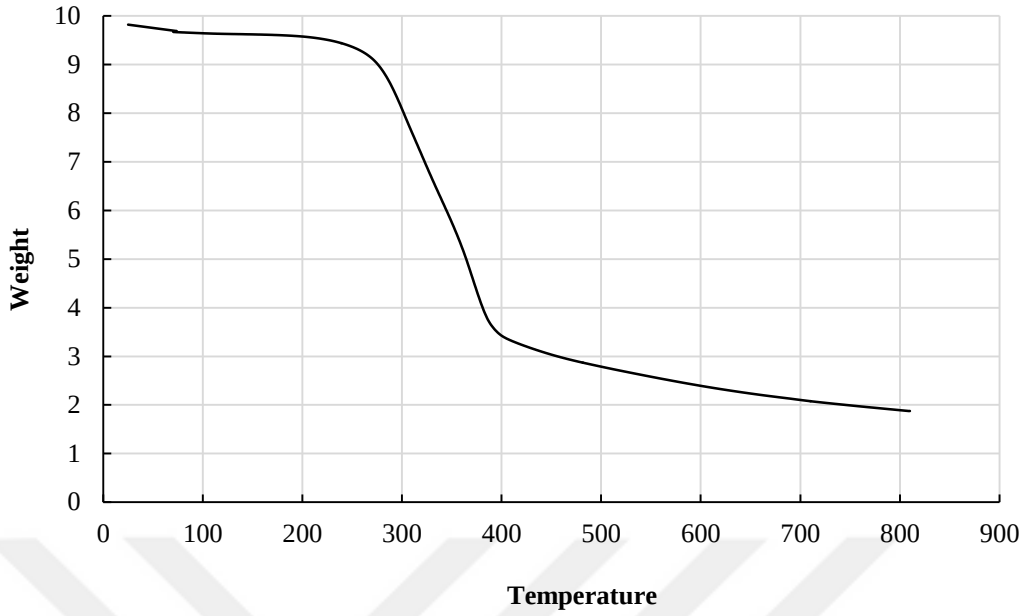
4.1. Fiziksel Aktivasyonla Aktif Karbon Eldesi

Hem fiziksel hem de kimyasal aktivasyon işlemlerinde aktivasyon sıcaklığının belirlenmesi genellikle ilk incelenen parametredir. Çünkü makro moleküllerin inert bir ortamda parçalanarak karbona kadar indirgenmesinde sıcaklık en önemli etkiye sahiptir. Fiziksel aktivasyonda çoğu zaman belirli sıcaklıkta tek basamaklı karbonizasyon yeterli

olabilmektedir. Etkin olan bu sıcaklık değeri hammaddenin termal özelliklerinin incelendiği termogravimetrik (TG) analizleriyle kolaylıkla belirlenebilmektedir. Bu nedenle fiziksel aktivasyon sıcaklığını belirlemek amacıyla önce kullanılan üçlü karışım TG analizine tabi tutuldu.

Şekil 4.1 deneylerde kullanılan hammadde karışımının TG eğrisini göstermektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak yapıda önemli kütle kayıplarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum makro moleküllerin termal etkiyle parçalanmasıyla oluşan uçucu bileşenlerin yapıdan ayrılması sonucu ileri gelmektedir. 200 °C'ye kadar olan yaklaşık % 3 oranındaki düşük azalmaların numunenin nem içeriğinden yani kurumasından kaynaklandığı söylenebilir. Asıl kütle kayıplarının 200-400 °C aralığında olduğu tespit edilmiştir. % 64.66 oranında gerçekleşen bu önemli kütle kayıplarının 180-240 °C aralığında parçalanan selüloz ile 230-310 °C arasındaki sıcaklıklarda parçalanan hemiselülozdan ileri geldiği söylenebilir (Zerious ve Belkbi, 1995). 400-700 °C aralığında da düşük de olsa kayda değer uçucu bileşen ayrılmasının olduğu, bunların da 150-750 °C gibi geniş bir aralıkta parçalanan ligninden kaynaklandığı düşünülmektedir (Nunn vd., 1985; Tsamba vd., 2006). 700 °C'nin üzerinde ise önemli bir kütle kaybının olmadığı ve hemen hemen termal bozunmaların tamamlandığı ve uçucu bileşenlerin yapıdan ayrıldığı görülmektedir. Bu nedenle termal işlemler sonrasında kütle kayıplarının nispeten azaldığı ve hemen hemen sabit kaldığı sıcaklık aralığında materyalden aktif karbonun elde edilebileceği söylenebilir. Şekil 4.1'e bağlı olarak bu sıcaklık aralığının 500-700 °C olduğu ve aktif karbon oluşumunun bu sıcaklık aralığında incelenmesi gerektiği sonucu çıkarılmıştır.

Herhangi bir kimyasal aktivasyon işlemine tabi tutulmamış ham üçlü karışımdan ne tür özellikte bir aktif karbon elde edilebileceğini ortaya koymak amacıyla, -30+50 mesh boyutuna sahip örneklerle saf karbondioksit atmosferinde, 500, 600 ve 700 °C sıcaklıklarında karbonizasyon deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.1. Üçlü hammadde karışımının TG eğrisi

Aktif karbonlar geniş yüzey alanları, büyük por hacimleri, karbon içerikleri ve por çaplarına göre tanımlanan ve karakterize edilen materyallerdir. Özellikle yaygın kullanılan ticari aktif karbonların 500-1500 m²/g arası yüzey alanı, 0.2 cm³/g'dan büyük toplam por hacmi ve % 85-95 arasında karbon içeriğine sahip olduğu ifade edilmektedir (Bansal ve Goyal, 2005). Yapılan bu çalışmada, elde edilen sonuçların aktif karbonların genel özellikleriyle karşılaştırılabilmesi amacıyla, hazırlanan her bir karbonize ürün BET-yüzey alanı, por hacmi ve por çaplarına göre sistematik olarak incelenmiştir. Tablo 4.2 incelenen fiziksel aktivasyon şartlarında elde edilen karbonize ürünlere ait deney sonuçlarını göstermektedir.

Tablodan görüldüğü gibi, karbonizasyon sıcaklığı artışına bağlı olarak elde edilen karbonize ürünlerin yüzey alanları ve toplam por hacimleri az da olsa bir artış göstermektedir. Artan sıcaklıkla büyük molekül ağırlıklı bileşenlerin ve katran parçalanarak uçucu bileşenlerin daha fazla uzaklaşması nedeniyle de karbonizasyon verimi azalmaktadır. 700 °C'de, 385.56 m²/g mertebesinde elde edilen en yüksek BET-yüzey alanı değeri ticari aktif karbonlara ilişkin değerlerle karşılaştırıldığında, elde edilen karbonize ürünlerin istenilen özellikte bir aktif karbon özelliği taşımadığı söylenebilir. Fiziksel aktivasyonla elde edilebilen bu düşük yüzey alanı değerlerine rağmen, gerek

yalnız badem kabuğu (Demirbaş vd., 2008a; Omri vd., 2014), şeftali (Maia vd., 2010; Uysal vd., 2014) ve kayısı (Soleimani ve Kaghazchi, 2008; Şentorun vd., 2006; Petrova vd., 2010; Fadhil, 2017) çekirdeği ile yapılan çalışmalar ve gerekse aktif karbon eldesi için bu materyallerin uygun özelliklere sahip olması, kimyasal aktivasyonla daha büyük yüzey alanlı ürünler üretilmesinin mümkün olacağını göstermektedir. Bu nedenle, yapısal özelliği ve karbon içeriği gibi kimyasal özellikleriyle uygun olan bu üçlü başlangıç maddesinden istenilen özelliklerde aktif karbon elde edebilmek için materyalin kimyasal aktivasyona tabi tutulması gerektiği söylenebilir.

Tablo 4.2. Ham üçlü karışımdan fiziksel aktivasyonla aktif karbon eldesine ait deney sonuçları

Karbonizasyon sıcaklığı, °C	Karbonizasyon süresi, dk	Verim, %	BET-yüzey alanı, m ² /g	Toplam por hacmi, cm ³ /g	Por çapı, nm
500	60	39.94	282.56	0.1428	3.6923
600	60	34.79	369.82	0.1946	3.3285
700	60	34.18	385.56	0.1966	2.9174

4.2. ZnCl₂ ile Kimyasal Olarak Aktive Edilmiş Karışımdan Aktif Karbon Eldesi

Karbon içeriği uygun lignoselülozik materyallerden daha geniş ve daha aktif yüzey alanlı ve daha büyük gözenek hacimli aktif karbon elde etmek için kimyasal aktivasyon yaygın kullanılan bir yöntemdir. Yöntemde ham materyaller genellikle H₃PO₄, H₂SO₄, KOH, ZnCl₂ gibi aktive edici çeşitli kimyasal maddelerle kimyasal olarak aktive edilmektedir (Vernersson vd., 2002; Olivares-Marin vd., 2012; Chandra vd., 2009; Sahu vd., 2010). Bunlar arasında çinko klorürün dehidrate edici olması ve katran parçalanmasında kanıtlanmış etkinliği dolayısıyla yaygın kullanılan ve kolay uygulanabilen kimyasal aktivasyon reaktifi olduğu bilinmektedir.

Fiziksel aktivasyonla yapılan çalışmalar sonucunda, en yüksek 385 m²/g mertebesinde, tatminkar olmayan yüzey alanına sahip karbonizasyon ürünleri elde edilebilmişti. Muhtemelen sadece termal parçalanmanın yeterli olmadığı materyalden kimyasal aktivatör yardımıyla istenilen özelliklerde bir aktif karbon elde etmenin mümkün olup olmayacağını ortaya koymak için, ZnCl₂ ile kimyasal olarak aktive edilmiş üçlü karışımla ayrıntılı deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde; ZnCl₂ ile kimyasal olarak aktive edilmiş ürünler üzerine karbonizasyon sıcaklığı ve süresi, impregnasyon oranı (ZnCl₂/üçlü karışım), impregnasyon süresi ve sıcaklığı gibi parametrelerin etkileri her bir

şartta elde edilen karbonize ürünlerin karakterizasyonu ile incelenmiştir. Bu detaylı incelemeye ilişkin elde edilen sonuçlar aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

4.2.1. Karbonizasyon Sıcaklığı ve Süresinin Etkisi

Karbonizasyon sırasında oksijen, hidrojen gibi karbonik olmayan elementler, hammaddenin pirolitik parçalanması sonucu elimine edilerek uçucu gaz ürünlere dönüşürler. Gözenek oluşum teorisine göre, karbonizasyon esnasında hammadde bozunurken taneciklerin etrafı erimiş bir madde ile kaplanır. Bu erimiş madde tanecikleri bir zarf gibi örter. Taneciklerin içinde, sıcaklığın etkisi ile uçucu maddeler oluşur. Bu uçucu maddeler, sıcaklığın etkisiyle belirli bir basınca eriştikten sonra taneciği örten maddeyi delerek dışarı çıkarlar ve bu çıkışları esnasında tanecikte gözenek adı verilen boşluklar oluştururlar (Raveendran ve Ganesh, 1997). Uçucu maddelerin uzaklaşmasıyla karbonize ürün yapısal olarak sabit bir hal alır. Ancak aktivasyon ile karbonizasyon sırasında oluşan gözeneklerin çapını genişletmek, miktarını artırmak ve yeni gözenekler oluşturmak mümkündür (Jankowska vd., 1991). Bu işlemlerle elde edilecek karbonize ürünlerin özellikleri hammadde yapısı ve özelliklerine bağlı olduğu gibi, ısıtma hızı, son sıcaklık ve son sıcaklıkta bekleme süresi gibi parametrelere de bağlıdır. Aktivatörler genellikle aktivasyonda gösterdikleri katalitik etkiyle dehidratasyonu ve tanecik yüzeyinde oluşan katranımsı maddelerin parçalanmasını hızlandırır. Bu sayede fiziksel aktivasyona göre daha düşük karbonizasyon sıcaklıklarında daha üstün özelliklerde karbonize ürünler elde etmek mümkündür. Bu bilgiler ışığında; $ZnCl_2$ ile kimyasal olarak aktive edilmiş hammadde karışımından aktif karbon eldesi üzerine, karbonizasyon sıcaklığının etkisi 500, 600 ve 700 °C sıcaklıklarında, karbonizasyon süresinin etkisi ise 30-180 dk arasında değişen farklı sürelerde incelenmiş elde edilen sonuçlar Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3’den görüldüğü gibi karbonizasyon sıcaklığındaki artışa paralel olarak elde edilen karbonize ürünlerin BET yüzey alanları önemli bir artış göstermiştir. Karbonizasyon sıcaklığındaki artışa bağlı olarak BET yüzey alanıyla beraber toplam gözenek hacminin de önemli derecede arttığı, gözenek çapının da azaldığı belirlenmiştir. Aktivasyon sıcaklığı 500 °C’den 600°C’ye çıkarken yüzey alanı 511.26 m²/g’den 690.40 m²/g’a çıkarken, 700 °C’de 1618.34 m²/g’a yükselmiştir. 600 °C’den 700 °C’ye yükselen karbonizasyon sıcaklığıyla önemli artış gösteren BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacmi değerleri, işlemin 700 °C’de yapılmasının gerekli olduğunu göstermektedir. Aynı sıcaklıklarda yapılan fiziksel aktivasyon sonuçlarıyla kıyaslandığında, üçlü karışımdan

ZnCl₂ kimyasal aktivasyonu ile çok daha üstün özellikte aktif karbonların elde edilebildiği söylenebilir. Literatürde, tarımsal esaslı üzüm sapı (Deiana vd., 2009; Ozdemir vd., 2014), kayısı çekirdeği (Petrova vd., 2010; Djilani vd., 2015), badem kabuğu (Hashemian vd., 2014) ve asma dalı (Erdem vd., 2016) gibi lignoselülozik materyallerden ZnCl₂ kimyasal aktivasyonu ile aktif karbon elde edilmesine ilişkin yapılan bazı araştırmalarda da en uygun karbonizasyon sıcaklığının 700 °C olduğu rapor edilmiştir.

Karbonizasyon süresinin karbonize ürünlerin özellikleri üzerine etkisini ortaya koymak amacıyla yapılan deneyler de aktivasyonun belirli bir sürede hemen hemen tamamlandığını göstermiştir (Tablo 4.3). İncelenen şartlarda üçlü karışımın nihai ürünlere dönüşmesi, yani yapı içerisinde parçalanmaların ve buna bağlı oluşan uçucu bileşenlerin ayrılarak gözenek oluşumunun hemen hemen 60 dk sonunda tamamlandığı belirlenmiştir. Bu durum 60 dk'dan sonra hemen hemen değişmeyen BET yüzey alanları, toplam gözenek hacimleri ve por çaplarıyla kendini göstermiştir. Bu nedenle üçlü hammadde karışımı için en uygun karbonizasyon süresi 60 dk olarak seçilmiş ve diğer parametrelerin etkisi bu sürede incelenmiştir.

Tablo 4.3. Üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine karbonizasyon sıcaklığı ve süresinin etkisi (impregnasyon süresi: 24 saat; impregnasyon sıcaklığı: 25°C)

Karbonizasyon sıcaklığı, °C	İmpregnasyon oranı, ZnCl ₂ /üçlü karışım	Karbonizasyon süresi, dk	Verim, %	BET-yüzey alanı, m ² /g	Toplam por hacmi, cm ³ /g	Por çapı, nm
500	40/40	60	39.04	511.26	0.3288	2.9863
600		60	37.66	690.40	0.4251	2.7014
700		60	37.19	1618.34	0.7655	1.8920
700	40/40	30	43.52	478.00	0.3012	2.1174
700		60	37.19	1618.34	0.7655	1.8920
700		120	31.34	1641.85	0.7705	1.9365
700		180	29.86	1637.00	0.7691	1.9671

4.2.2. İmpregnasyon Oranının (ZnCl₂/üçlü karışım (w/w)) Etkisi

Kimyasal aktivasyonda aktivatör dozu önemli bir parametredir. Kayısı ve şeftali çekirdeği ile badem kabuğu karışımından hazırlanan üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine bu parametrenin etkisi; ZnCl₂/üçlü karışım ağırlıkça oranı (impregnasyon oranı) 2/40 ile 80/40 arasında değiştirilerek 25 °C'de 24 saat kimyasal olarak aktive edilen

örneklerde incelendi. Her bir şartta elde edilen ürünlerin karbonizasyonu ile elde edilen karbonize ürünlere ait belirlenen özellikler Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine impregnasyon oranının etkisi (impregnasyon süresi: 24 saat; impregnasyon sıcaklığı: 25°C; karbonizasyon sıcaklığı: 700°C; karbonizasyon süresi: 60 dk)

İmpregnasyon oranı, ZnCl₂/üçlü karışım	Verim, %	BET-yüzey alanı, m²/g	Toplam por hacmi, cm³/g	Por çapı, nm	C, %
0/40	34.18	385.56	0.1966	2.9174	62.93
2/40	33.26	421.04	0.1346	3.3130	72.87
8/40	37.70	604.36	0.1550	3.1390	84.23
10/40	39.10	747.74	0.1584	3.1340	89.03
15/40	38.98	792.33	0.2302	2.4700	89.24
20/40	39.48	1125.73	0.5498	1.9530	91.41
30/40	33.71	1383.70	0.6608	1.9104	93.76
40/40	37.19	1618.34	0.7655	1.8920	96.19
60/40	37.55	1694.45	0.8315	1.9628	96.26
80/40	36.34	1982.24	1.0918	1.8332	96.21

Elde edilen sonuçlar kimyasal aktivatör dozunun aktif karbonların karakteristik özellikleri olan BET yüzey alanı, toplam gözenek hacmi, por çapı ve karbon içeriği gibi özelliklerin iyileşmesinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Kimyasal aktivatör dozunun artışına bağlı olarak BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacimlerinde önemli artışların olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal aktivatörün kullanılmadığı yani sadece fiziksel aktivasyonla aynı sıcaklık ve sürede 385 m²/g yüzey alanı ve 0.1966 cm³/g mertebesinde toplam gözenek hacmine sahip karbonize ürün elde edilebilirken, ZnCl₂ kimyasal aktivasyonu ile yaklaşık 2000 m²/g yüzey alanı ve 1 cm³/g’in üzerinde toplam gözenek hacmine sahip aktif karbonlar elde edilebilmektedir. Yüksek impregnasyon oranlarında, ZnCl₂’ün etkisiyle makro ve mezo gözeneklerin mikro gözeneklere dönüştüğü ve bu nedenle BET yüzey alanları ve toplam gözenek hacimlerinde önemli artışların meydana geldiği tespit edilmiştir. Örneğin; 2/40 impregnasyon oranında elde edilen karbonize ürün 421 m²/g yüzey alanı, 0.1346 cm³/g toplam gözenek hacmi ve 2.9174 nm por çapına sahipken, oranın 40/40 çıkmasıyla bu değerlerin sırasıyla 1618 m²/g, 0.7655

cm³/g toplam gözenek hacmi ve 1.8920 nm'ye, 80/40'a çıkmasıyla ise 1982 m²/g, 1.0918 cm³/g toplam gözenek hacmi ve 1.8332 nm değerlerini aldığı görülmektedir. Özellikle impregnasyon oranı 15/40 değerinin üzerinde aktivasyonla mikro gözenekli aktif karbonların elde edildiği belirlenmiştir. Benzer bulgular üzüm sapı (Ozdemir vd., 2014) ve asma dalının (Erdem vd., 2016) ZnCl₂ ile kimyasal olarak aktivasyonu ile aktif karbon elde edilmesine ilişkin yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir.

Tablo 4.4'de incelenen şartlarda elde edilen aktif karbon örneklerinin karbon içeriği de görülmektedir. Tablodaki değerlerden, incelenen şartlarda elde edilen örneklerin karbon içeriklerinin impregnasyon oranı 40/40'a kadar arttığı, ancak bu orandan sonra parçalanmaların tamamlandığı ve uçucu bileşenlerin ayrılarak kütlenin sabitlenmesi nedeniyle pek değişmediği görülmektedir. Bu durum impregnasyon oranının yüksek karbon içerikli aktif karbon elde etmede de önemli bir etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır.

Yaygın olarak kullanılan ticari aktif karbonların 500-1500 m²/g yüzey alanı, 0.3 cm³/g'ın üzerinde toplam gözenek hacmi ve % 85-95 arasında değişen karbon içeriğine sahip olduğu ifade edilmektedir (Bansal ve Goyal, 2005). Elde edilen sonuçlar ticari aktif karbonlarla karşılaştırıldığında, söz konusu üçlü karışımın ZnCl₂ ile impregnasyon oranı 15/40 ve üzerindeki oranlarda kimyasal aktivasyonu ile ticari aktif karbon özelliklerine haiz aktif karbonların elde edilebildiği söylenebilir. Bu sonuç itibarıyla çalışmada elde edilen ticari aktif karbon özelliklerine haiz örnekler genel karakterizasyon testlerine tabi tutulmuş ve sonuçlar 4.3 nolu bölümde verilmiştir.

4.2.3. İmpregnasyon Süresinin Etkisi

Çalışmada kullanılan şeftali ve kayısı çekirdekleri ile badem kabuğu sert yapılı lignoselülozik malzemelerdir. Sertlikleri nedeniyle kimyasal aktivatörü içine daha iyi emerek aktive edebilmesi için daha uzun sürelerde temas ettirilmesinin gerektiği düşünülmüş ve 24-96 saat arasında değişen farklı sürelerde impregnasyon deneyleri yapılmıştır. Her bir süre için aktive edilmiş örnekler 700 °C sıcaklıkta 60 dk süreyle karbonize edilmiştir. Tablo 4.5 bu grup deneylerle aktive edilen ürünlerden elde edilen aktif karbonların özelliklerini göstermektedir.

Kimyasal aktivatör temas süresinin artırılmasıyla, BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacimlerinin arttığı tespit edilmiştir. Artışlar 48 saate kadar yüksek bir hızla, 48 saatten sonra ise daha düşük bir hızla gerçekleşmiştir. Temas süresince yapılan karıştırma

işlemleri esnasında harcanan enerji dikkate alındığında 48 saatten sonraki sürelerde gerçekleşen artışların pek önemli olmayacağı söylenebilir. Daha önce $ZnCl_2$ ile 24 saat süreyle temas ettirilmiş üçlü karışımla yapılan deneylerde ticari aktif karbon özelliklerine sahip ürünler elde edilebilmiştir. Ancak daha büyük yüzey alanları ve gözenek hacimlerinin arzu edildiği durumlar için, söz konusu karışım için impregnasyon süresinin 48 saat olarak uygulanması avantaj teşkil edecektir.

Tablo 4.5. Üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine impregnasyon süresinin etkisi (impregnasyon oranı: 40/40; impregnasyon sıcaklığı: 25°C; karbonizasyon sıcaklığı: 700°C; karbonizasyon süresi: 60 dk)

İmpregnasyon süresi, saat	Verim, %	BET-yüzey alanı, m^2/g	Toplam por hacmi, cm^3/g	Por çapı, Nm
24	37.19	1618.34	0.7655	1.8920
48	36.44	1833.49	0.9937	2.1678
72	37.26	1866.61	0.9864	2.0067
96	37.70	1895.28	0.9982	1.9987

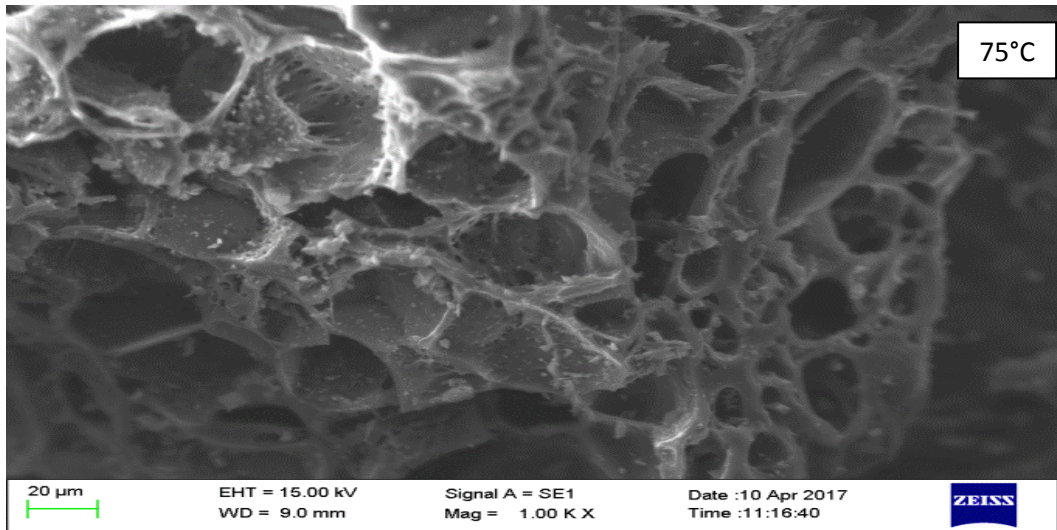
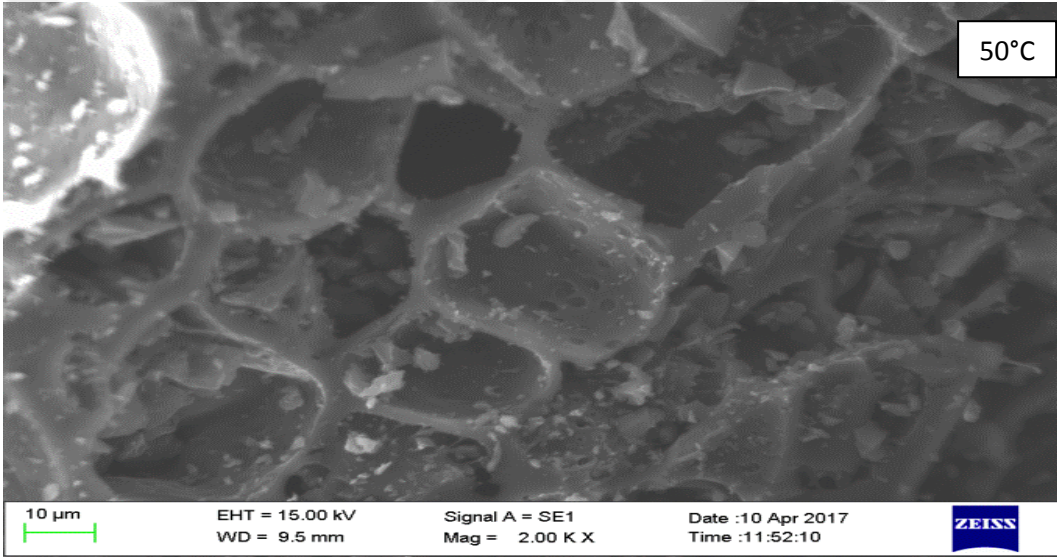
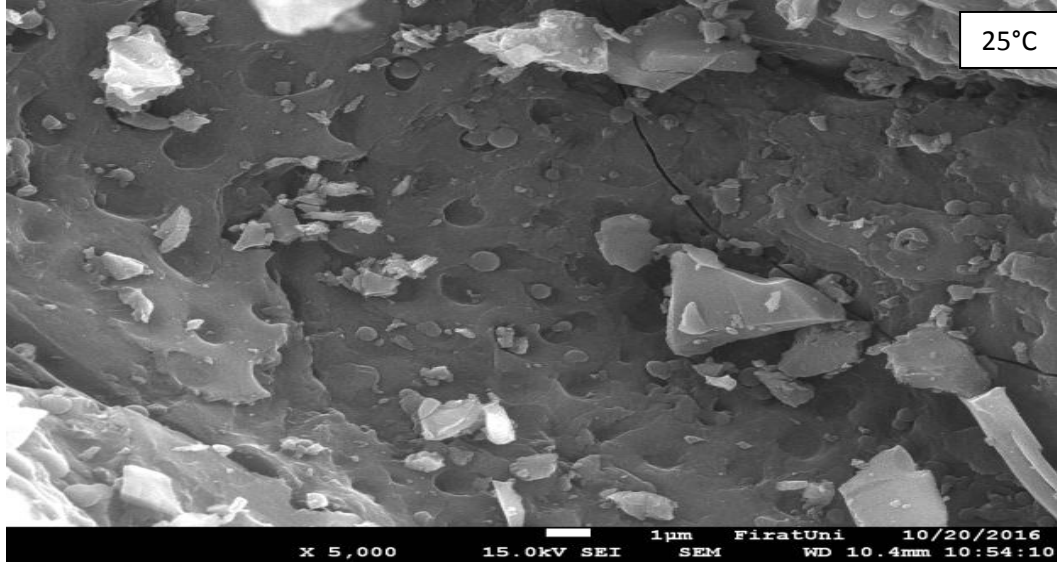
4.2.4. İmpregnasyon Sıcaklığının Etkisi

Oda sıcaklığının üzerindeki yüksek sıcaklıklarda kimyasal aktivasyon uygulamalarına dair literatürde yapılmış bir takım çalışma bulunmaktadır (Demirbaş vd., 2008b; Kaghazchi vd. 2010; Yang ve Qiu, 2010; Maia vd., 2010; Djilani vd., 2015; Uysal vd., 2014; Torrellas vd., 2015). Ancak yapılan bu çalışmaların kimyasal aktivasyon üzerine sıcaklığın etkisi incelenmek amaçlı olmadığı, farklı sıcaklık değerlerinde değil, seçilen tek bir sıcaklıkta kimyasal aktivasyonun uygulandığı çalışmalar olduğu görülmektedir. Yani impregnasyon üzerine ortam sıcaklığının etkisinin ayrıntılı incelenmemiş olduğu görülmektedir. Oysa sıcaklık artarken kütle transferi artacak ve kimyasal aktivatör tane içine doğru daha iyi difüzelenecek yüzeysel değil tüm kütleyi aktive edebilecektir. Bu durumun hangi sıcaklıkta daha iyi olacağını belirlemek amacıyla, ham madde karışımı $ZnCl_2$ /üçlü karışım ağırlık oranı 40/40 olacak şekilde $ZnCl_2$ ile karıştırıldı ve karışımlar 25, 50 ve 75 °C sıcaklıklarında 24 saat çalkalanarak deneyler yapıldı. Her işlem sonrasında elde edilen karışımlar diğer çalışmalarda olduğu gibi 105 °C’de kurutuldu ve 700 °C’de 60 dk süreyle karbondioksit atmosferinde karbonize edildi. Uygulanan işlemler sonrasında elde edilen her bir aktif karbon örneklerinin incelenen özellikleri Tablo 4.6’da, yüzey özelliklerindeki değişiklikler ise Şekil 4.2’de verilmiştir.

İmpregnasyon sonrasında aktive edilmiş ve kurutulmuş örneklerin daha karbonize edilmeden sıcaklık artışına bağlı olarak renklerinin kademeli bir şekilde koyulaştığı ve siyahımsı bir renk aldığı gözlemlendi. Karbonize edildikten sonra ise impregnasyon sıcaklığının artmasıyla BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacimlerinde önemli artışların olduğu tespit edildi (Tablo 4.6). Özellikle 50 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda elde edilen örneklerin büyük yüzey alanı ve gözenek hacimleri, impregnasyonun 50 °C'nin üzerinde yapılmasının daha avantajlı olacağını göstermektedir. Uygulanan impregnasyon sıcaklığı haricinde tamamen aynı şartlarda elde edilen ürünler arasında % 20'lerin üzerinde yüzey alanı artışı, % 30'ların üzerinde toplam gözenek hacmi artışlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda aktivasyon reaktifinin tanecik içerisine daha iyi difüzlendiğini ve aktivasyon esnasında porlardaki katranımsı maddelerle daha iyi reaksiyon vererek uçucu bileşenleri uçurduğu ve bu sayede porları açarak daha büyük yüzey alanı ve gözenek hacmi oluşturduğunu doğrulamaktadır. Şekil 4.2'de verilen SEM görüntüleri de elde edilen sonuçları desteklemektedir. SEM görüntülerinden artan sıcaklıkla aktif karbon yüzeyinin daha pürüzlü ve gözenekli bir hal aldığı kolaylıkla fark edilmektedir.

Tablo 4.6. Üçlü karışımdan aktif karbon eldesi üzerine impregnasyon sıcaklığının etkisi (impregnasyon oranı: 40/40; impregnasyon süresi: 24 saat; karbonizasyon sıcaklığı: 700°C; karbonizasyon süresi: 60 dk)

İmpregnasyon sıcaklığı, °C	Verim, %	BET-yüzey alanı, m ² /g	Toplam por hacmi, cm ³ /g	Por çapı, Nm
25	37.19	1618.34	0.7655	1.8920
50	34.67	1687.21	0.7924	1.9034
75	33.59	2073.04	1.0360	1.8985



Şekil 4.2. 25, 50 ve 75°C impregnasyon sıcaklıklarında aktive edilen örneklerden elde edilen aktif karbon örneklerinin SEM görüntüleri

4.3. Elde Edilen Aktif Karbonların Özellikleri

Yüzey alanı, toplam gözenek hacmi, por çapı, karbon içeriği, pH_{zpc} değeri, yüzey fonksiyonel grupları ve yüzey yapısı gibi özellikler aktif karbonların sınıflandırılması ve uygulanabilirliğini değerlendirmede önemli özelliklerdir. Bu özellikler arasında yüzey alanı, toplam gözenek hacmi, por çapı ve karbon içeriği çalışmada elde edilen herbir karbonize ürüne uygulanmış ve elde edilen değerler ticari aktif karbonlar için verilen değerlerle kıyaslanmıştır. Kayısı ve şeftali çekirdekleri ile badem kabuğu karışımının ZnCl₂ ile farklı oranlarda kimyasal olarak aktive edilmesiyle ticari aktif karbon özelliklerine sahip aktif karbonlar ZnCl₂/üçlü karışım ağırlıkça oranı 15/40-80/40 arasındaki örnekler için elde edilebilmiştir. Bu aktif karbonlara ilişkin belirlenen diğer özellikler de aşağıdaki bölümlerde alt başlıklar halinde verilmiştir.

4.3.1. Kül İçeriği

Üçlü karışımın farklı impregnasyon oranlarında ZnCl₂ ile kimyasal aktivasyonu sonucunda elde edilen aktif karbon örneklerinin kül içeriğinin % 0.16 ile % 0.30 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Örneklerin kül içeriği, ham üçlü karışımın kül değerinden daha düşük çıkmıştır. Bu durum kimyasal aktivasyonda kullanılan ZnCl₂'nin HCl ile yıkanarak uzaklaştırması sırasında kül oluşturan inorganiklerin ZnCl₂ ile birlikte asitte çözünerek uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır.

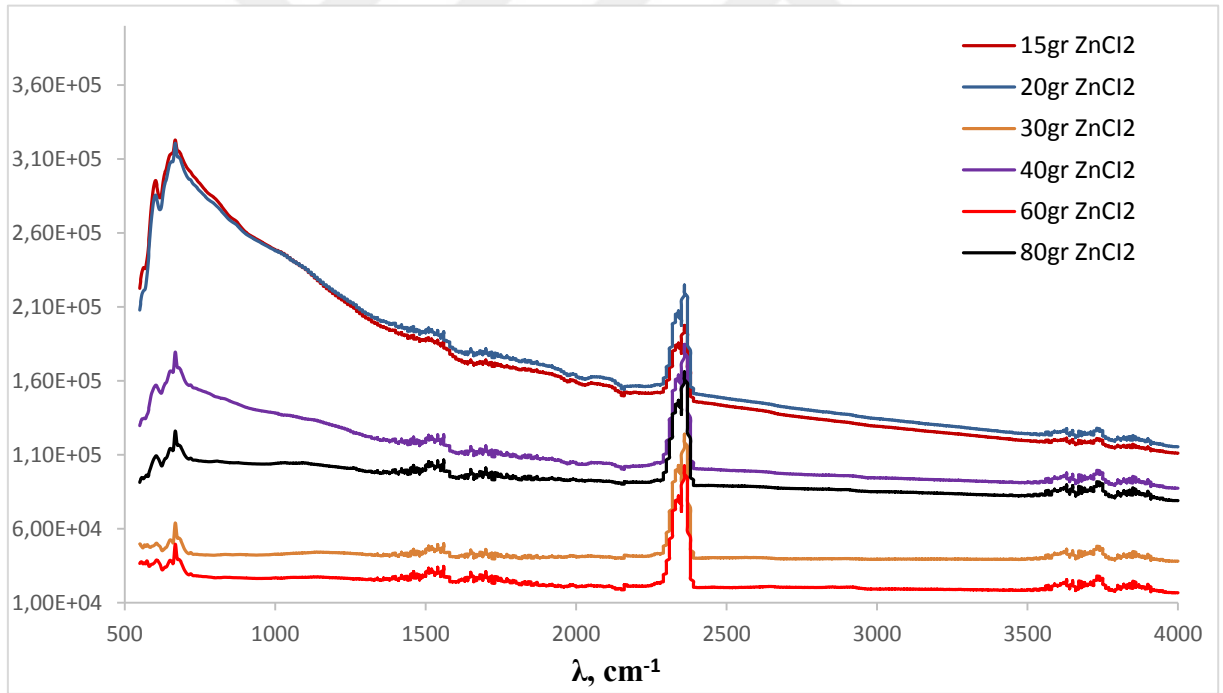
4.3.2. Yüzey Fonksiyonel Gruplar (Boehm ve FTIR)

Tablo 4.7 ve Şekil 4.3 elde edilen aktif karbon örneklerinin Boehm's titrasyonu ve FTIR analiziyle belirlenen kantitatif ve kalitatif yüzey fonksiyonel gruplarını göstermektedir. Boehm's titrasyonu ile belirlenen yüzey fonksiyonel grupların tüm örnekler için birbirine oldukça yakın olduğu ve yüzeylerinde asidik grupların baskın olduğu görülmektedir (Tablo 4.7). Toplam asidik grup miktarlarının 0.356 ile 0.405 mmol/g arasında, bazik grupların ise 0.232 ile 0.262 mmol/g arasında değiştiği belirlenmiştir.

Elde edilen aktif karbona ait Şekil 4.3'de verilen FTIR spektrumları; aktif karbonların 670-900 cm⁻¹'de oluşan pikin aromatik halkaya, 1500-1800 cm⁻¹'deki piklerin laktonik gruplara ait olduğu, yaklaşık 2360 cm⁻¹'de görülen piklerin karboksilik asitlere ait, 2500-3570 cm⁻¹'de görülen piklerin ise fenolik C-OH ve O-H bağlarına ait olduğu söylenebilir.

Tablo 4.7. Elde edilen aktif karbon örneklerinin Boehm's titrasyonu ile belirlenen yüzey fonksiyonel gruplar

İmpregnasyon oranı, ZnCl ₂ /üçlü karışım	Yüzey fonksiyonel gruplar, mmol/g				
	Fenolik	Laktonik	Karboksilik	Toplam	
				Asidik	Bazik
15/40	0.155	0.178	0.023	0.356	0.232
20/40	0.168	0.203	0.018	0.389	0.245
30/40	0.180	0.203	0.022	0.405	0.255
40/40	0.159	0.199	0.022	0.380	0.256
60/40	0.160	0.203	0.023	0.386	0.262
80/40	0.160	0.203	0.023	0.386	0.262



Şekil 4.3. Elde edilen aktif karbon örneklerinin FTIR spektrumları

4.3.3. pH_{zpc} Değeri

pH_{zpc} değeri bir aktif karbonun veya adsorbentin net yüzey yükünün sıfır olduğu pH değeridir. Bu değer altında adsorbent yüzeyi pozitif yüklenir ve yüzey negatif yüklü iyonlar için etkin bir özellik kazanır. Tam tersine pH_{zpc} değerinin üzerinde yüzey negatif yüklenir ve pozitif yüklü iyonlar için etkin olur. Bu özelliklere bağlı olarak hangi kirleticinin adsorbentle hangi pH’da daha etkin giderileceğine karar verilir. Uygulamaya ışık tutması açısından çalışmada elde edilen her bir aktif karbon örneğinin pH_{zpc} değeri ölçülmüş ve Tablo 4.8’de verilmiştir.

Elde edilen aktif karbon örneklerinin pH_{zpc} değerlerinin 5.68 ile 6.59 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 4.8). FTIR ve Boehm titrasyonuna bağlı olarak tayin edilmiş olan yüzey fonksiyonel gruplarda asidik grupların baskın olduğu belirlenmişti. Hafif asidik bölgeye düşen bu değerler, elde edilen aktif karbon yüzeyindeki asidik grupların baskın olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada karışımı kullanılan kayısı ve şeftali çekirdekleri ve badem kabuğu karışı için ayrı ayrı yapılan çalışmalarda; pH_{zpc} değerinin yalnız kayısı çekirdeği için 4.2 (Demirbaş vd., 2008b) ve 2.13 (Marzbali vd., 2016), şeftali çekirdeği için 2.1, 3.1 ve 4.3 (Torrellas vd., 2015), badem kabuğu için 5.0 (Hashemian vd. 2014) ve 5.26 (Demirbaş vd., 2008a) olduğu rapor edilmiştir. Elde edilen değerler literatürde rapor edilenlerle de oldukça uyumludur.

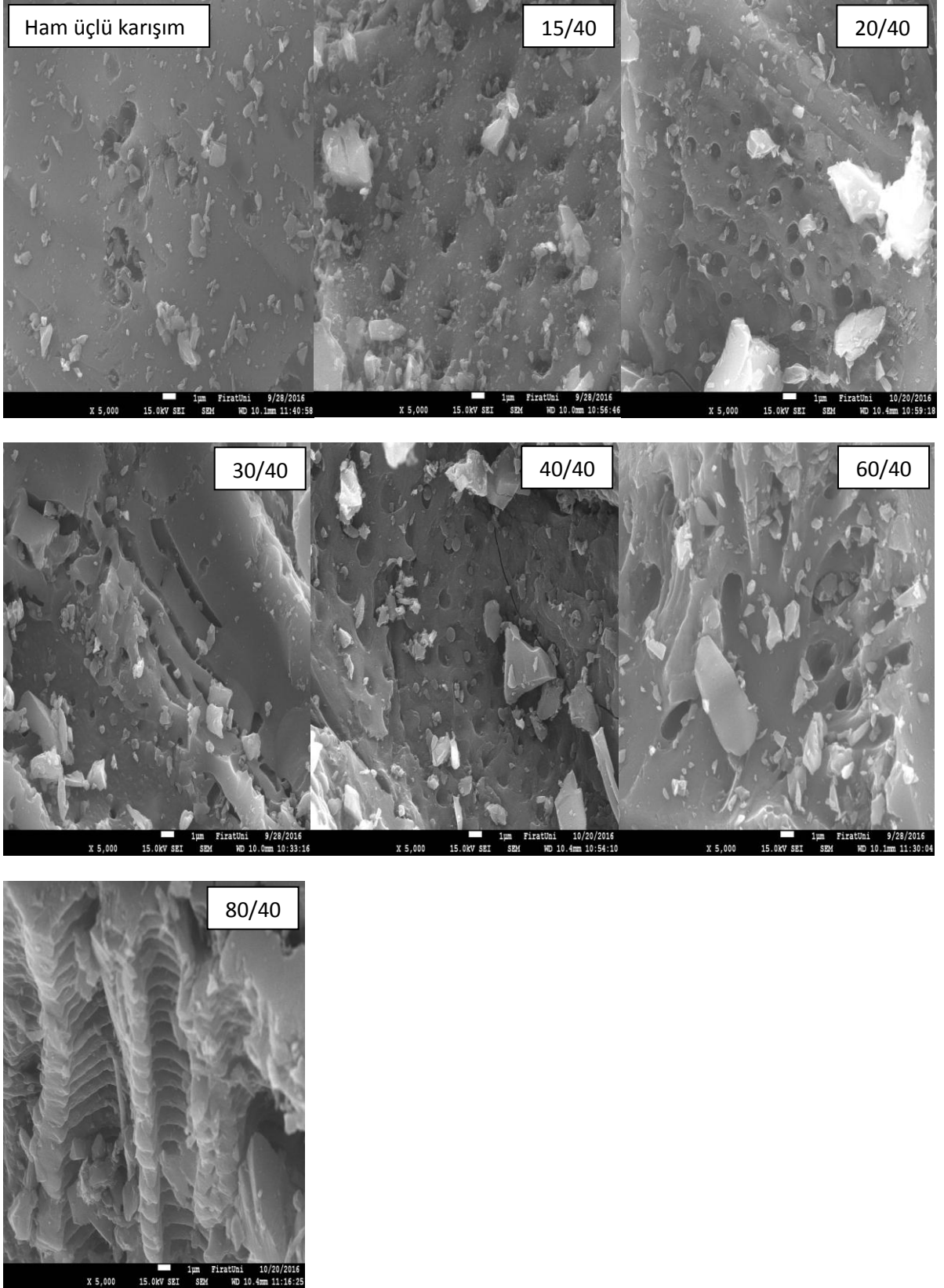
Tablo 4.8. Elde edilen aktif karbon örneklerinin pH_{zpc} değerleri

İmpregnasyon oranı, ZnCl ₂ /üçlü karışım	İmpregnasyon sıcaklığı, °C	İmpregnasyon süresi, saat	pH _{zpc}
15/40	25	24	6.40
20/40			6.59
30/40			6.20
40/40			5.80
60/40			6.27
80/40			6.10
40/40	25		5.80
	50		5.68
	75		5.75
40/40	25	24	5.80
		48	5.80
		72	5.82
		96	5.86

4.3.4. SEM Görüntüleri

Elde edilen aktif karbon örneklerinin yüzey morfolojisini belirlemek amacıyla örnekler SEM analizine tabi tutuldu. Şekil 4.4’de üçlü karışımın ve kimyasal aktivasyonla elde edilen aktif karbon örneklerinin SEM görüntüleri verilmiştir.

Görüntülerden görüldüğü gibi herhangi bir işleme tabi tutulmamış ham üçlü karışım yüzeyleri hemen oldukça düzgün yapılı, çatlaksız ve çok düşük gözenek yapısına sahipken, kimyasal aktivasyonla yüzeyinde çatlaklar ve gözeneklerin oluşmaya başladığı görülmektedir. Özellikle impregnasyon oranının artışıyla birlikte yüzeyde gözenek sayısı artmış, kanallaşmalar başlamıştır. Yüksek impregnasyon oranlarında aktif karbon örneklerinin yüzeylerinde derin ama homojen olmayan açık kanalların oluştuğu görülmektedir. Bu durum aktivasyonun yüzeysel olarak gerçekleştiğini düşündürmektedir. Elde edilen SEM görüntüleri Şekil 4.2’de verilen örneklerle ait SEM görüntüleriyle karşılaştırıldığında bu durum daha net fark edilmektedir. Yüksek sıcaklıkta uygulanan impregnasyon işlemiyle yapısal aktivasyonunun tüm tanecik içinde gerçekleşmesi nedeniyle, yapıda kanallaşmalar ve gözenek oluşumunda bir homojenliğin olduğu görülmektedir. 25°C’de yürütülen impregnasyonla elde edilmiş örneklerde yüzey alanı gözlenen yüzeysel kanallaşma ve gözenekleşmeler nedeniyle artmıştır. Bu nedenle homojen yapılı ve daha büyük yüzey alanlı aktif karbonlar elde etmek için impregnasyon şartlarının detaylı optimize edilmesi gerektiği söylenebilir.



Şekil 4.4. Ham üçlü karışım ve kimyasal aktivasyonla elde edilen aktif karbon örneklerinin SEM görüntüleri

5. SONUÇLAR

Kayısı ve şeftali çekirdeği ile badem kabuğu karışımından hazırlanan üçlü karışımdan fiziksel ve kimyasal aktivasyonla aktif karbon üretimi ve üretilen aktif karbonların karakterize edildiği bu tez çalışmasından aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir;

1. 500, 600, 700 °C’de uygulanan fiziksel aktivasyonla sırasıyla 282.56 m²/g, 369.82 m²/g, 385.56 m²/g BET yüzey alanı ve 0.1428 cm³/g, 0.1946 cm³/g, 0.1966 cm³/g toplam gözenek hacimli karbonize ürünler elde edilmiştir.
2. 500, 600 ve 700 °C sıcaklıkları arasında karbondioksit atmosferinde uygulanan fiziksel aktivasyonla, 500-1500 m²/g yüzey alanı ve 0.3 cm³/g’ın üzerinde toplam gözenek hacmine sahip, ticari aktif karbonlarla karşılaştırıldığında arzulanan yüzey alanına sahip aktif karbon elde edilemediği fakat aktivasyon sıcaklığının önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir.
3. Arzu edilen ticari aktif karbon özelliklerine sahip ürünler elde edebilmek için, kayısı ve şeftali çekirdeği ile badem kabuğu karışımından hazırlanan üçlü karışıma ZnCl₂ ile farklı impregnasyon oranı, impregnasyon süresi ve sıcaklığında kimyasal aktivasyon uygulanmış, aktive edilen örnekler optimize edilen sıcaklık ve sürelerde karbonize edilmiştir. Bu grup deneylerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.
 - a. Karbonizasyon sıcaklığı artışına bağlı olarak BET yüzey alanlarında önemli artışların olduğu tespit edilmiştir. Aktivasyon sıcaklığı 500 °C’den 600 °C’ye çıktığında BET yüzey alanı 511.26 m²/g’dan 690.40 m²/g’a, 700 °C’ye çıktığında ise 1618.34 m²/g’a ulaşmıştır. Bu nedenle kimyasal olarak aktivasyon için en uygun sıcaklığın 700 °C olduğu belirlenmiştir.
 - b. 30-180 dk arasında değişen farklı sürelerde uygulanan karbonizasyon işlemlerinde, karbonizasyonun 60 dk sonunda hemen hemen tamamlandığı tespit edilmiştir.
 - c. Üçlü karışımın 0/40-80/40 arasında değişen farklı impregnasyon oranlarında ZnCl₂ ile kimyasal aktivasyon sonucunda, impregnasyon oranındaki artışla elde edilen örneklerin BET yüzey alanlarında ve toplam gözenek hacimlerinde önemli artışların olduğu tespit edilmiştir. 15/40 ve üzerindeki impregnasyon oranlarında üçlü karışımdan ticari aktif karbon özelliklerine sahip aktif karbonların elde edilebildiği belirlenmiştir. En büyük BET yüzey

alanı 80/40 impregnasyon oranında ZnCl_2 ile aktive edilen örnek için $1982.24 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak ölçülmüştür.

- d. Üçlü karışımın ZnCl_2 ile kimyasal aktivasyonunda impregnasyon sıcaklığının da önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. 25, 50, 75 °C olmak üzere farklı üç sıcaklıkta yapılan impregnasyonlarda sıcaklık artışına bağlı olarak aktive edilen örnek renklerinin kademeli bir şekilde koyulaştığı gözlemlenmiştir. Renklerdeki değişim, karbonizasyon öncesinde sıcaklığın etkisiyle hammaddenin bu düşük sıcaklıklarda dahi kısmen aktive/dehidrate olduğunu göstermiştir. Bu şartlarda aktive edilen örneklerin karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanlarının; 25 °C için $1618,34 \text{ m}^2/\text{g}$, 50°C için $1687.21 \text{ m}^2/\text{g}$ ve 75 °C için $2073.04 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğu tespit edilmiştir.
- e. Ticari aktif karbon özelliklerine sahip olan aktif karbon örneklerinin yapılan karakterizasyon testleri sonucunda aşağıdaki genel özelliklere sahip oldukları belirlenmiştir;

a. BET yüzey alanı	: $792.33 - 2073.04 \text{ m}^2/\text{g}$
b. Toplam gözenek hacmi	: $0.2302 - 1.0918 \text{ cm}^3/\text{g}$
c. Por çapı	: $1.8332 - 2.4700 \text{ nm}$
d. Kül içerikleri	: % 0.16 - % 0.30
e. Karbon içerikleri	: % 89.24 - % 96.26
f. Yüzey fonksiyonel grupları	: Asidik
g. pH _{zpc} değerleri	: 5.68 – 6.59

Sonuç olarak; kayısı ve şeftali çekirdeği ile badem kabuğu karışımından hazırlanan üçlü karışımdan, ZnCl_2 ile kimyasal aktivasyonla ticari aktif karbon özelliklerine haiz mükemmel aktif karbonlar üretilmiştir. Ekonomik değeri son derece düşük olan lignoselülozik yapılı bu tarımsal artıkların önerilen yöntemle aktif karbona dönüştürülmesi oldukça avantajlı görünmektedir. Çalışmada en genel özellikleri incelenmiş olmasına rağmen, yapılacak ilave çalışmalarla sıvı ve gaz ortamlarındaki farklı yapılara sahip kirleticiler için giderim etkinliklerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Bu ilave çalışmalar ve üretimine dair ekonomik analizler yapılarak, önerilen metotla söz konusu üçlü karışımdan ticari aktif karbonlar üretilabilir.

KAYNAKLAR

- Açıklan, K.** 2011. Thermogravimetric analysis of walnut Shell as pyrolysis feedstock, *Journal of Thermal Analysis and Colorimetry*, **105(1)**, 145-150.
- Açıklan, K., Karaca, F., Bolat, E.** 2012. Pyrolysis of pistachio shell: Effects of pyrolysis conditions and analysis of products, *Fuel*, **95**, 169-177.
- Addoun, A., Dentzer, J., Ehrburger, P.**, 2002. Porosity of carbons obtained by chemical activation: effect of the nature of the alkaline carbonates, *Carbon*, **40**, 1140-1143.
- Ahmad, M. A. and Alrozi, R.**, 2011. Optimization of rambutan peel based activated carbon preparation conditions for Remazol Brilliant Blue R removal, *Chemical Engineering Journal*, **168**, 280-285.
- Ahmed, M.J.**, 2016. Preparation of activated carbon from date palm stones and application for wastewater treatments: Review, *Process Safety and Environmental Protection*, **102**, 168-182.
- Akikol, İ.**, 2005. Farklı Aktivasyon Yöntemleriyle Geliştirilen Aktif Karbonlar İle Sudan Ağır Metal Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 53 s.
- Akyıldız, H.**, 2007. H₃PO₄ Aktivasyonu İle Zeytin Çekirdeğinden Aktif Karbon Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Altın, M.**, 2010. Aktif Karbonlu Filtre İle EN779 Standardına Ait F8 Sınıfı Malzemenin Toz Tutma Kapasitesinin Karşılaştırılması, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- Altıntaş, E., Kirkil, S.**, 2016. Preparation and properties of Ag-coated activated carbon nanocomposites produced from wild chestnut shell by ZnCl₂ activation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **63**, 180-188.
- Angin, D.** 2014. Production and characterization of activated carbon from sour cherrystones by zinc chloride, *Fuel* **115**, 804–811.
- Arami-Niya, A., Abnisa, F., Shafeeyan, M. S., Daud, W. M. A. W., Sahu, J.N.**, 2012. Optimization of synthesis and characterization of palm shell-based bio-char as a by-product of bio-oil production process, *Bioresources*, **7(1)**, 246-264.
- Aravindhan, R., Rao, J. R., Nair, B. U.**, 2009. Preparation and characterization of activated carbon from marine macro-algal biomass, *Journal of Hazardous Materials*, **162**, 688-694.
- ASTM B 600-78** Toz Aktif Karbon Alıntılar izinle B600-78-AWWA Standard for Activated Carbon'dan yapılmıştır Copyright©, 1978, the American Water Works Association.
- ASTM D 2866-70**, Aktif Karbon Toplam Kül İçeriği Alıntılar Annual Book of ASTM Standards kitabından izinle yapılmıştır. Copyright©, ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, P.A. 19103.

- ASTM D 2867-70**, Aktif Karbondaki Nem Alıntılar Annual Book of ASTM Standards kitabından izinle yapılmıştır. Copyright©, ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, P.A. 19103.
- ASTM D 3802** Aktif karbon ball-pan sertliği için standart test metodu ICUMSA (1979).Granüle aktif karbon için AWWA standardı: B 604 -74, bölüm 4.6 Aşınma direnci 4.6.2 Karıştırma aşındırma testi 4.6.3 Ro-Tap aşındırma testi Şeker analizi schneider F. syf. 221 Yıpranma sertliği
- Atımtay, A. T.** 2010. Combustion of agro-waste with coal in a fluidized bed, *Clean Technologies and Environmental Policy*, **12(1)**, 43-52.
- Avcı, Ö.**, 2011. Kayısı Çekirdeğinden Üretilen Aktif Karbon İle Sulu Çözeltilerden Krom (VI) Giderimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Aydın, Ş. C.**, 2013. Kabak Çekirdeği Kabuğundan Kimyasal Aktivasyonla Aktif Karbon Üretimi, Boya ve Ağır Metal Gideriminde Değerlendirilmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- Baccar, R., Bouzid, J., Feki, M., Montiel, A.**, 2009. Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions, *Journal of Hazardous Materials*, **162**, 1522-1529.
- Bandosz, T. J.**, 2006. Activated carbon surfaces in environmental remediation, Elsevier Ltd., 571 p.
- Bansal, R.C., Goyal, M.**, 2005. Activated carbon adsorption, CRC Press Taylor & Francis Group, USA.
- Benadjemia, M., Milliere, L., Reinert, L., Benderdouche, N., Duclaux, L.**, 2011. Preparation, characterization and methylene blue adsorption of phosphoric acid activated carbons from globe artichoke leaves, *Fuel Processing Technology*, **92**, 1203-1212.
- Boehm, H.P.**, 2002. Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment, *Carbon*, **40**, 145-149.
- BÜGEM**, 2013, T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Faaliyetleri
- Cagnon, B., Xavier, P., Guillot, A., Stoeckli, F., Chambat, G.** 2009. Contributions of hemicellulose, cellulose and lignin to the mass and the porous properties of chars and steam activated carbons from various lignocellulosic precursors, *Bioresource Technology*, **100**, 292–298.
- Cardoso, B., Mestre, A. S., Carvalho, A. P., Pires, J.**, 2008. Activated Carbon Derived from Cork Powder Waste by KOH Activation: Preparation, Characterization and VOCs Adsorption, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **47**, 5841–5846.
- CEFIC** Conseil European des Federations de l'Industrie Chimique European Council of Chemical Manufacturers Federations TEST METHODS FOR ACTIVATED CARBON April 86

- Chandra, T. C., Mirna, M. M., Sunarso, J., Sudaryanto, Y., Ismadji, S.,** 2009. Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **40**, 457-462.
- Chayande, P. K., Singh, S .P., Yenkie, M. K. N.** 2013. Characterization of Activated Carbon Prepared from Almond Shells for Scavenging Phenolic Pollutants, *Chem Sci Trans.*, 2(3), 835-840.
- Cheremisinoff , P.N., Ellerbusch F.,** 1978. Carbon Adsorption Handbook, Ann Arbor Science Publishers, Inc., New York.
- Deiana, A.C., Sardella, M.F., Silva, H., Amaya, A., Tancredi, N.,** 2009. Use of grape stalk, a waste of the viticulture industry, to obtain activated carbon *Journal of Hazardous Materials*, **172**(1), 13-19.
- Demiral, H., Demiral, İ., Karabacakoğlu, B., Tümsek, F.,** 2011. Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation. *Chemical Engineering Research and Design*, **89**, 206-213.
- Demiral, İ., Kul, Ç.Ş.** 2014. Pyrolysis of apricot kernel shell in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and char, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **107**, 17-24
- Demirbaş, A.** 2002. Fuel Characteristics of olive husk and walnut, hazelnut, sunflower and almond shells, *Energy Sources*, **24**, 215-221.
- Demirbaş, E., Kobya, M., Konukman, A.E.S.,** 2008a. Error analysis of equilibrium studies for the almond shell activated carbon adsorption of Cr(VI) from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, **154**, 787-794.
- Demirbaş, E., Kobya, M., Sulak, M.T.,** 2008b. Adsorption kinetics of a basic dye from aqueous solutions onto apricot stone activated carbon. *Bioresource Technology* **99**, 5368–5373.
- Deng, H., Yang, L., Tao, G., Dai, J.,** 2009. Preparation and characterization of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted chemical activation- Application in methylene blue adsorption from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*, **166**, 1514-1521.
- Depci, T., Onal, Y., Prisbrey, A. K.** 2014. Apricot stone activated carbons adsorption of cyanide as revealed from computational chemistry analysis and experimental study. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **45**, 2511-2517.
- Dertli, H.,** 2004. Farklı Aktivasyon Yöntemlerinin Aktif Karbon Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Ü. Fen Bil. Ens., 75 s
- Dias, J.M., Alvim-Ferraz M.C.M., Almeida M.F., Rivera-Utrilla J., Sanchez-Polo M.,** 2007. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous phase treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, **85**, 833–846.
- Djilani, C., Zanghdoudi, R., Djazi, F., Bouchekima, B., Lallam, A., Modarressi, A., Rogalski, M.,** 2015. Adsorption of dyes on activated carbon prepared from apricot stones and commercial activated carbon. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **53**, 112-121.

- Döşemen, Y.**, 2009. Kestane Kabuğundan Aktif Karbon Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Duranoğlu Gülbayır, D.**, 2008. Şeftali Çekirdeği ve Polimer Esaslı Aktif Karbon ile Sulu Çözeltilerden Krom (VI) Giderimi Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Duranoğlu, D., Trochimczuk, A. W., Beker, U.** 2010. A comparison study of peach stone and acrylonitrile-divinylbenzene copolymer based activated carbons as chromium(VI) sorbents, *Chemical Engineering Journal*, **165**, 56–63.
- El-Sheikh, A.H., Newman, A.P., Al-Daffaee, H.K., Phull S., Cresswell N.**, 2004. Characterization of activated carbon prepared from a single cultivar of Jordanian Olive stones by chemical and physicochemical techniques, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **71**, 151-164.
- Erdem, M., Orhan, R., Şahin, M., Aydın, E.**, 2016. Preparation and Characterization of a Novel Activated Carbon from Vine Shoots by ZnCl₂ Activation and Investigation of Its Rifampicine Removal Capability, *Water Air Soil Pollut*, 227:226-240.
- Fadhil, A.B.**, 2017. Evaluation of apricot (*Prunus armeniaca* L.) seed kernel as a potential feedstock for the production of liquid bio-fuels and activated carbons. *Energy Conversion and Management*, **133**, 307-317.
- Fan, L., Chen, J., Guo, J., Jiang, X., Jiang, W.**, 2013. Influence of manganese, iron and pyrolusite blending on the physicochemical properties and desulfurization activities of activated carbons from walnut Shell. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **104**, 353-360.
- Foo K.Y. and Hameed, B.H.**, 2011. Preparation and characterization of activated carbon from pistachio nut shells via microwave-induced chemical activation, *Biomass and Bioenergy*, **35**, 3257-3261.
- Foo, K. Y. and Hameed, B. H.**, 2012. Microwave-assisted preparation and adsorption performance of activated carbon from biodiesel industry solid residue: Influence of operational parameters, *Bioresource Technology*, **103**, 398-404.
- Garba, Z.N., Rahim, A.A., Bello, B.Z.**, 2015. Optimization of preparation conditions for activated carbon from *Brachystegia eurycoma* seed hulls: A new precursor using central composite design. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **3**, 2892-2899.
- Georgin, J., Dotto, G.L., Mazutti, M.A., Foletto, E.L.**, 2016. Preparation of activated carbon from peanut shell by conventional pyrolysis and microwave irradiation-pyrolysis to remove organic dyes from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **4**, 266-275.
- Gerhartz, W.**, 1986. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, A5., 124-140, VCH, Alanya.
- Ghaedi, M., Mazaheri, H., Khodadoust, S., Hajati, S., Purkait, M.K.**, 2015. Application of central composite design for simultaneous removal of methylene

blue and Pb²⁺ ions by walnut wood activated carbon. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **135**, 479-490.

- Girgis B. S., Khalil L. B., Tawfik T.A.M.**, 2002, Porosity Development in Carbons Derived from Olive Oil Mill Residue Under Steam Pyrolysis, *Journal of Porous Materials*, **9**, 105–113.
- Gözetin, İ.**, 2011. Bazı Boyar Maddelerin (Alizarin Red S ve Metilen Kırmızısı) Aktif Karbon ve Silikajel Üzerindeki Çözültiden Adsorbsiyonunun ve Kinetiğinin İncelenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya ABD, Yüksek Lisans Tezi, Van.
- Gündoğdu, A., Duran, C., Senturk, H.B., Soylak, M., Imamoglu, M., Onal, Y.** 2013. Physicochemical characteristics of a novel activated carbon produced from tea industry waste, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **104**, 249–259.
- Gündoğdu, A.**, 2010. Fabrika Çay Atıklarından Aktif Karbon Üretimi, Karakterizasyonu ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Trabzon.
- Gündüzoğlu, G.**, 2008. Şeker Pancarı Küspesinden Aktif Karbon Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı, Eskişehir.
- Gürdal, G. ve Yalçın, M.N.**, 1992. Kömürde Gaz Birikmesini Kontrol Eden Parametreler-Genel Bakış, *Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB MMO Zonguldak, s. 307-318.
- Güzel, F.**, 1991. Fındık ve Badem Kabuklarından Çeşitli Hazırlama Koşullarında Aktif Karbon Üretimi ve Bunların Adsorpsiyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Dicle Ü. Fen Bil. Ens., 178 s.
- Hadi, P., Xu, M., Ning, C., Lin, C.S.K. and Mc Kay, G.**, 2015. A critical review on preparation, characterization and utilization of sludge-derived activated carbons for wastewater treatment, *Chemical Engineering Journal*, **260**, 895-906.
- Hameed, B.H., Mahmoud, D. K., Ahmad, A. L.**, 2008. Equilibrium modeling and kinetic studies on the adsorption of basic dye by a low-cost adsorbent: Coconut (*Cocos nucifera*) bunch waste, *Journal of Hazardous Materials*, **158**, 65-72.
- Hashemian, S., Salari, K., Yazdi, Z.A.**, 2014. Preparation of activated carbon from agricultural wastes (almond shell and orange peel) for adsorption of 2-pic from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **20**, 1892-1900.
- Hassler, J.W.**, 1974. Purification with activated Carbon , 169-205, New York.
- ISO 562-1981** Sert kömür ve kok kömürünün uçucu madde içeriğinin tayin edilmesi. ISO Central Secretariat, Case Postale 56, CH-1211:Geneva 20.
- İbiş, R.Y.**, 2009. Termik Santral Uçucu Külünün Atıksulardan Arsenik Uzaklaştırmada Etkinliğinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

- İmamoglu, M., Tekir, O.** 2008. Removal of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon from a new precursor hazelnut husks, *Desalination* 228, 108–113.
- Jankowska H.,** 1991. Swiatkowski A., Choma J., Active carbon, Ellise Horwood Limited, 1st Edition, England.
- Kadirvelu, K., Kavipriya, M., Karthika, C., Vennilamani, N., Pattabhi, S.,** 2004. Mercury (II) adsorption by activated carbon made from sago waste, *Carbon*, **42**, 745-752.
- Kaghazchi, T., Kolur, N.A., Soleimani, M.,** 2010. Licorice residue and Pistachio-nut shell mixture: A promising precursor for activated carbon. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **16**, 368-374.
- Köseoğlu, E.,** 2005. Tarımsal Yan Ürünlerden Kimyasal Aktivasyon ile Aktif Karbon Eldesi, Karakterizasyonu ve Sulu Çözeltilerden Katyon Adsorpsiyonunun İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Malatya.
- Kriaa, A., Hamdi, N., Srasra, E.,** 2010. Removal of Cu (II) from water pollutant with Tunisian activated lignin prepared by phosphoric acid activation, *Desalination*, **250**, 179-187.
- Kyonati T.,** 1999, Control of poer Structure in carbon, *Carbon*, 269-286.
- Liu, Q.S., Zheng, T., Wang, P., Guo, L.,** 2010. Preparation and characterization of activated carbon from bamboo by microwave-induced phosphoric acid activation, *Industrial Crops and Products*, **31**, 233-238.
- Lopez-Ramon, M.V., Stoeckli, F., Moreno-Castilla, C., Carrasco-Marin, F.,** 1999. On the characterization of acidic and basic surface sites on carbons by various techniques, *Carbon*, **37**, 1215-1221.
- Lua, A. C. and Guo, J.,** 2001. Preparation and characterization of activated carbons from oil-palm stones for gas-phase adsorption, *A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **179**, 151-162.
- Lua, A.C., Lau, F.Y., Guo, J.** 2006. Influence of pyrolysis conditions on pore development of oil-palm-shell activated carbons, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **76**, 96– 102.
- Mahamad, M.N., Zaini, M.A.A., Zakaria, Z.A.,** 2015. Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **102**, 274-280.
- Maia, D.A.S., Sapag, K., Toso, J.P., Lopez, R.H., Azevedo., D.C.S., Cavalcante Jr, C.L., Zgrablich, G.,** 2010. Characterization of activated carbons from peach stones through the mixed geometry model. *Microporous and Mesoporous Materials*, **134**, 181-188.
- Malik, R., Ramteke, D. S., Wate, S.R.,** 2007. Adsorption of malachite green on groundnut shell waste based powdered activated carbon, *Waste Management*, **27**, 1129-1138.

- Marsh, H.**, 2002. Porosity in carbons, in Foundation Course Lectures, pp.1-20 United Kingdom
- Marsh, H., Rodriguez-Reinoso, F.**, 2006. Activated Carbon, Elsevier Science & Technology Books.
- Marzbali, M.H., Esmaili, M., Abolghasemi, H., Marzbali, M.H.**, 2016. Tetracycline adsorption by H₃PO₄-activated carbon produced from apricot nutshells: A batch study. *Process Safety and Environmental Protection*, **102**, 700-709.
- McDougall, G.J.**, 1991. The physical nature and manufacture of activated carbon, *Journal of South African Institute Mining and Metallurgy*, 91-4, 109-120.
- Mohammadi, S. Z., Karimi, M. A., Afzali, D., Mansouri, F.**, 2010. Removal of Pb(II) from aqueous solutions using activated carbon from Sea-buckthorn stones by chemical activation, *Desalination*, **262**, 86-93.
- Momcilovic, M., Purenovic, M., Bojic, A., Zarubica, A., Randelovic, M.**, 2011. Removal of lead(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto pine cone activated carbon, *Desalination*, **276**, 53-59.
- Mouni, L., Merabet, D., Bouzaza, A., Belkhiri, L.**, 2011. Adsorption of Pb(II) from aqueous solutions using activated carbon developed from Apricot stone, *Desalination*, **276**, 148-153.
- Müller, R.H. and Mehnert, W.**, 1997. Particle and Surface Characterization Methods, Medpharm Scientific Publishers, Stuttgart.
- Namasivayam, C. and Kavitha, D.**, 2002. Removal of Congo Red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith, an agricultural solid waste, *Dyes and Pigments*, **54**, 47-58.
- Nazari, G., Abolghasemi, H., Esmaili, M.**, 2016. Batch adsorption of cephalexin antibiotic from aqueous solution by walnut shell-based activated carbon.
- Nevskaia, D.M., Lopez, P.A., Lopez, G.J., Jerez, A.**, 2000. Preparation of activated carbon from sisal by chemical activation, 1st Carbon Conference On Carbon, Vol II, Berlin Germany.
- Noh, J.S. and Schwarz, J.A.**, 1989. Estimation of the Point of Zero Charge of Simple Oxides by Mass Titration, *Journal of Colloid Interface Science*, **130**, 157-164.
- Nor, N. M., Lau, L. C., Lee, K. T., Mohamed, A. R.** 2013. Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution review, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **1(4)**, 658-666.
- Nunn, T.R. , J.B. Howard, J.P. Longwell, W.A. Peters.** 1985. Product compositions and kinetics in the rapid pyrolysis of sweet gum hardwood, *Ind. Eng. Chem. Process*, **24**, 836-844.
- Oğuz, A.**, 2013. Harran Ovası'nda Yaygın Olarak Üretilen pamuk ve Mısır Sapından Aktif Karbon Üretilmesi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.

- Olivares-Marin, M., Fernandez-Gonzalez, C., Macias-Garcia, A., Gómez-Serrano, V.,** 2012. Preparation of activated carbon from cherry stones by physical activation in air. Influence of the chemical carbonisation with H_2SO_4 , *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **94**, 131-137.
- Omri, A., Lambert, S.D., Geens, J., Bennour, F., Benzina, M.,** 2014. Synthesis, Surface Characterization and Photocatalytic Activity of TiO_2 Supported on Almond Shell Activated Carbon. *J. Mater. Sci. Technol.*, **30(9)**, 894-902.
- Othmer, K.,** 1992, Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley&Sons, New York, 4,1015-1035.
- Ozdemir, I., Şahin, M., Orhan, R., Erdem, M.,** 2014. Preparation and characterization of activated carbon from grape stalk by zinc chloride activation, *Fuel Processing Technology*, **125**, 200-206.
- Özçimen, D.,** 2007. Çeşitli bitkisel atıkların karbonizasyon yoluyla değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özer, A.,** Tanyıldızı, M.Ş., Tümen, F. 1998. Study of Cadmium Adsorption from Aqueous Solution on Activated Carbon from Sugar Beet Pulp, *Environmental Technology*, **19(11)**, 1119-1125.
- Patrick, J.W.,** 1995. Porosity in Carbons, Edward Arnold, London.
- Petrov, N., Budinova, T., Razvigorova, M., Parra, J., Galiatsatou, P.** 2008. Conversion of olive wastes to volatiles and carbon adsorbents, *Biomass and Bioenergy*, **32**, 1303–1310.
- Petrova, B., Budinova, T., Tsyntsarski, B., Kochkodan, V., Shkavro, Z., Petrov, N.,** 2010. Removal of aromatic hydrocarbons from water by activated carbon from apricot Stones. *Chemical Engineering Journal*, **165**, 258-264.
- Pradhan, B.K., Sandle, N.K.,** 1999, Effect of different oxidizing agent treatments on the surface properties of activated carbons, *Carbon*, **37**, 1323-1332.
- Rai, M.K., Shahi, G., Meena, V., Chakraborty, S., Singh, R.S., Rai, B.N.,** 2016. Removal of hexavalent chromium Cr (VI) using activated carbon prepared from mango kernel activated with H_3PO_4 . *Resource-Efficient Technologies*, **2**, 63–S70.
- Rao, M. M., Rao, G. P. C., Seshiah, K., Choudary, N. V., Wang, M. C.,** 2008. Activated carbon from *Ceiba pentandra* hulls, an agricultural waste, as an adsorbent in the removal of lead and zinc from aqueous solutions, *Waste Management*, **28**, 849-858.
- Raveendran, K. and Ganesh, A.,** 1997. Adsorption characteristics and pore development of biomass-pyrolysis char, *Fuel*, **77**, 769-781.
- Roy, G.M.,** 1995. Activated Karbon Applications In The Food And Pharmaceutical Industries, Lancaster, Technomic Pub.

- Sahu, J. N., Acharya, J., Meikap, B.C.,** 2010. Optimization of production conditions for activated carbons from Tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology, *Bioresource Technology*, **101**, 1974-1982.
- Sarıcı-Özdemir, Ç.,**2008. Çeşitli Polimerik Temelli Atıklardan Yüksek Yüzey Alanlı Aktif Karbon Eldesi, Karakterizasyonu ve Uygulama Alanları, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Malatya.
- Shi, Q., Zhang, J., Zhang, C., Li, C., Zhang, B., Hu, W., Xu, J., Zhao, R.,** 2010. Preparation of activated carbon from cattail and its application for dyes removal, *Journal of Environmental Sciences*, **22(1)**, 91-97.
- Sivakumar, K., Moahn, N.K.** 2010. “Performance analysis of downdraft for agriwaste biomass materials”, *Indian Journal of Science and Technology*, 3 (1), 58-60.
- Snell, D.F., Entre, K.,** 1973, Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis, Vol 17: 25-48, Jhon Wiley and Sons, New York.
- Soleimani, M. and Kaghazchi, T.,** 2008. Adsorption of gold ions from industrial wastewater using activated carbon derived from hard shell of apricot stones – An agricultural waste, *Bioresource Technology*, **99**, 5374-5383.
- Spagnoli, A.A., Giannakoudakis, D.A., Bashkova, S.,** 2017. Adsorption of methylene blue on cashew nut shell based carbons activated with zinc chloride: The role of surface and structural parameters. *Journal of Molecular Liquids*, **229**, 465-471.
- Strelko, V.,** 1999. Selective Removal of Heavy Metals Using Novel Activated Carbons, *PhD Thesis*, Loughborough University, Loughborough, UK.
- Suhas, P.J.M., Carrott, M.M.L., Carrott, R.** 2007. Lignin–from natural adsorbent to activated carbon: a review, *Bioresource Technology*, **98**, 2301–2312.
- Şayan, E.** 2006. Ultrasound-assisted preparation of activated carbon from alkaline impregnated hazelnut shell: An optimization study on removal of Cu^{2+} from aqueous solution, *Chemical Engineering Journal*, **115(3)**, 213-218.
- Şentorun-Shalaby, Ç., Uçak-Astarlıoğlu, M.G., Artok, L., Sarıcı, Ç.,** 2006. Preparation and characterization of activated carbons by one-step steam pyrolysis/activation from apricot stones, *Microporous and Mesoporous Materials*, **88**, 126-134.
- Torrellas, S.A., Lovera, R.G., Escalona, N., Sepúlveda, C., Sotela, J.L., Garcia, J.,** 2015. Chemical-activated carbons from peach stones for the adsorption of emerging contaminants in aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, **279**, 788-798.
- Tsai, W.T., Chang, C.Y., Lee, S.L.,** 1998. A low cost adsorbent from agricultural waste corn cob by zinc chloride activation, *Bioresource Tecnology*, **64**, 211–217.
- Tsamba, A.J., W. Yang, W.** 2006. Blasiak, Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells, *Fuel Process Technol.*, **87**, 523-530.
- Uçar, S., Erdem, M., Tay, T., Karagöz, S.,** 2009. Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by ZnCl_2 activation, *Applied Surface Science*, **255**, 8890-8896.

URL_1: www.kimyaevi.org 2017

- Uysal, T., Duman, G., Onal, Y., Yasa, I., Yanık, J.,** 2014. Production of activated carbon and fungicidal oil from peach stone by two-stage process. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **108**, 47-55.
- Uzun, I.,** 2008. Kavak ağacı artıklarından aktif karbon üretimi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Temel Gçlemler ve Termodinamik Bilim Dalı: Yüksek Lisans Tezi.
- Vargas, A.M.M., Cazetta, A.L., Garcia, C.A., Moraes, J.C.G., Nogami, E.M., Lenzi, E., Costa, W.F., Almeida, V.C.,** 2011. Preparation and characterization of activated carbon from a new raw lignocellulosic material: Flamboyant (Delonix regia) pods, *Journal of Environmental Management*, **92**, 178-184.
- Varol, Apaydın, E.,** 2007. *Farklı biyokütlelere değişik ısı işlemler uygulanması ve elde edilen ürünün özelliklerinin belirlenmesi*. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir: Doktora Tezi.
- Vernersson, T., Bonelli, P. R., Cerrella, E. G., Cukierman, A. L.,** 2002. Arundo donax cane as a precursor for activated carbons preparation by phosphoric acid activation, *Bioresource Technology*, **83**, 95-104.
- Wang, Y.X., Ngo, H.H., Guo, W.S.,** 2015. Preparation of a specific bamboo based activated carbon and its application for ciprofloxacin removal. *Science of the Total Environment*, **533**, 32-39.
- Wisniewska, M., Nowicki, P., Nosal-Wiercinska, A., Pietrzak, R., Szewczuk-Karpisz, K., Ostolska, I., Sternik, D.,** 2017. Adsorption of poly(acrylic acid) on the surface of microporous activated carbon obtained from cherry Stones. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **514**, 137-145.
- Wu, M., Guo, Q., Fu, G.** 2013. Preparation and characteristics of medicinal activated carbon powders by CO₂ activation of peanut shells, *Powder Technology*, **247**, 188-196.
- Xiao, H., Peng, H., Deng, S., Yang, X., Zhang, Y., Li, Y.,** 2012. Preparation of activated carbon from edible fungi residue by microwave assisted K₂CO₃ activation—Application in reactive black 5 adsorption from aqueous solution, *Bioresource Technology*, **111**, 127-133.
- Yahya, M.A., Al-Qodah and Zanariah Ngah C.W.,** 2015. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **46**, 218-235.
- Yang, J. and Qiu, K.,** 2010. Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal, *Chemical Engineering Journal*, **165**, 209-217.
- Yang, T. Y.,** 2003. Fundamentals And Applications, A John Wiley & Sons Inc Publications, New Jersey
- Yu-bin, T., Qiang, L., Fang-yan, C.,** 2012. Preparation and characterization of activated carbon from waste ramulus mori, *Chemical Engineering Journal*, **203**, 19-24.

- Zabihi, M., Asl, A.H., Ahmadpour, A.**, 2010. Studies on adsorption of mercury from aqueous solution on activated carbons prepared from walnut Shell. *Journal of Hazardous Materials*, **174**, 251-256.
- Zeriouh, L. Belkbir**, 1995. Thermal decomposition of a Moroccan wood under a nitrogen atmosphere, *Thermochim. Acta.*, **258**, 243-248.
- Zhao, N., Wei, N., Li, J., Qiao, Z., Cui, J., He, F.**, 2005. Surface properties of chemically modified activated carbons for adsorption rate of Cr (VI), *Chemical Engineering Journal*, **115**, 133-138.



ÖZGEÇMİŞ

30.04.1991 de doğan Özlem AKÇAKAL, ilk ve orta öğrenimini İzmir Hamdullah Suphi Tanrıöver İlk Öğretim okulunda, lise öğrenimini İzmir Karşıyaka Şemikler Anadolu Lisesinde ve lisans öğrenimini ise Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde 2009-2013 yılları arasında tamamlamıştır. Mezun olduktan sonra Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim dalı Çevre Bilimleri Programında yüksek lisans öğrenimine 2015 yılında başlamıştır.

