

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HARRAN OVASINDA YAYGIN OLARAK ÜRETİLEN PAMUK VE MISIR
SAPINDAN AKTİF KARBON ÜRETİLMESİ**

Ahmet OĞUZ

KİMYA ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2013**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HARRAN OVASINDA YAYGIN OLARAK ÜRETİLEN PAMUK VE MISIR
SAPINDAN AKTİF KARBON ÜRETİLMESİ**

Ahmet OĞUZ

KİMYA ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2013

Yrd.Dr. Mustafa ÖZDEMİR danışmanlığında Ahmet OĞUZ ‘ un hazırladığı “ Harran Ovasında Yaygın Olarak Üretilen Pamuk ve Mısır Sapından Aktif Karbon Üretilmesi” konulu bu çalışma 11/02/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd.Doç.Mustafa ÖZDEMİR

Üye : Prof.Dr. Hüsamettin BULUT

Üye : Doç.Dr.Veli KASIM

Bu tezin Kimya Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof.Dr. Seyit TEMİR
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK/DPT/TÜBİTAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 12064

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZ	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Tanım	3
2.2. Molekül ve Kristal Yapı	3
2.3. Aktif Karbon Üretim Yöntemleri	5
2.3.1. Genel Bakış	5
2.3.2. Hammaddeler	8
2.3.3. Fiziksel Aktivasyon.....	11
2.3.3.1. Karbonizasyon.....	11
2.3.3.2. Aktivasyon	12
2.3.4. Kimyasal aktivasyon	14
2.4. Fiziksel Özellikler	17
2.4.1. Yüzey alanı	17
2.4.2. Gözeneklilik (Porozite)	17
2.5. Kimyasal Yapısı ve Özellikleri	19
2.6. Aktif Karbonun Sınıflandırılması	20
2.6.1. PAC (Toz Aktif Karbon).....	20
2.6.2. GAC (Tanecikli (granüler) Aktif karbon)	20
2.6.3. Pellet AC (Topak (pellet) Aktif Karbon)	21
2.6.4. Küresel aktif karbon	21
2.6.5. Polimer kaplanmış aktif karbon	21
2.6.6. Karbon moleküler elek (KME)	21
2.6.7. Aktif karbon lifi	22
2.7. Aktif Karbonun Uygulama Alanları	23
2.7.1. Gaz fazı uygulamaları	23
2.7.2. Sıvı faz uygulamaları	25
2.8. Aktif Karbonun Tarihçesi.....	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	32
3.1. Kullanılan Hammadde ve Hazırlanması	32
3.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar	33
3.3. Aktif Karbon Üretimi	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	35
4.1. ZnCl ₂ Kullanılarak 5 gr 'lık Pamuk Sapından Elde Edilen Aktif Karbonların Verim Analizi	35
4.1.1. ZnCl ₂ ile 40 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	35
4.1.2. ZnCl ₂ ile 50 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	36
4.1.3. ZnCl ₂ ile 60 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	37
4.2. HNO ₃ Kullanılarak 5 gr 'lık Pamuk Sapından Elde Edilen Aktif Karbonların Verim Analizi	38
4.2.1. HNO ₃ ile 40 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi.....	38
4.2.2. HNO ₃ ile 50 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	39
4.2.3. HNO ₃ ile 60 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	40
4.3. H ₂ SO ₄ Kullanılarak 5 gr 'lık Pamuk Sapından Elde Edilen Aktif Karbonların Verim Analizi	41
4.3.1. H ₂ SO ₄ ile 40 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	41
4.3.2. H ₂ SO ₄ ile 50 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	42
4.3.3. H ₂ SO ₄ ile 60 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	43
4.4. ZnCl ₂ , H ₂ SO ₄ , HNO ₃ ve KOHKullanılarak 5 gr' lık Mısır Sapından Elde Edilen Aktif Karbonların Verim Analizi	44

Sayfa No

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	46
5.1. Sonuçlar.....	46
5.2. Öneriler.....	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	52
ÖZET	53
SUMMARY	54

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

**HARRAN OVASINDA YAYGIN OLARAK ÜRETİLEN PAMUK VE MISIR SAPINDAN
AKTİF KARBON ÜRETİLMESİ**

Ahmet OĞUZ

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı**

**Danışman : Yrd.Doç.Dr. Mustafa ÖZDEMİR
Yıl :2013, Sayfa:54**

Bu çalışmada, Pamuk ve Mısır sapından aktif karbon üretimi, karbonizasyon ve aktivasyon kademeleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Karbonizasyon prosesinde; inert ortam CO_2 kullanılmış; etüvde bekleme süresi ve farklı kimyasal ortamlarının aktif karbon niteliğine etkisi incelenmiştir. Kimyasal aktivasyon prosesinde aktifleyici madde olarak $ZnCl_2$, HNO_3 , H_2SO_4 ve KOH kullanılmış . Farklı yakma sıcaklıkları ve farklı aktive edici maddelerin aktif karbon üretiminde ürünün nitelik ve niceliğine etkisi incelenmiştir.

ANAHTAR KELİME : Aktivasyon, pamuk sapı, mısır sapı, karbonizasyon

ABSTRACT

MScThesis

THE HANDLE WIDELY PRODUCED IN THE HARRAN PLAIN COTTON AND CORN PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON

Ahmet OĞUZ

Harran University

Graduate School of Natural AndAppliedSciencesDepartment of Cemistry

Supervisor : Assist.Prof.Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Year : 2013, Page:54

In this study, the production of activated carbon from cotton and corn stem was carried out in two stages including carbonization and activation. In carbonization process, an inert atmosphere of CO₂ was used; waiting period in sterilizer and the effect of different chemical environments to the output were analysed. ZnCl₂, HNO₃, H₂SO₄ and KOH were used as an activator substances; the effect of different burning temperatures and different activators to the out put was analysed in activated carbon production.

KEY WORDS : Activation ,cotton stem, corn stem,activated karbon

TEŞEKKÜR

Danışmanlığımı üstlenen, tezimin gerçekleşmesi için gerekli çalışma ortamını sağlayan, önerileriyle tezimi yönlendiren, sürekli anlayış ve yardımını gördüğüm danışmanım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR'e, Bölümümüzün bütün öğretim üye ve yardımcılarına, Bölüm Sekreterimiz Sayın Ali MAÇ'a, Tez çalışmam boyunca varlığını her zaman hissettiğim, maddi ve manevi olarak yanımda olan aileme,

Zaman ayırıp bu tezi okuyan herkese, en içten teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Grafit kristallerin yapısı (CheremisinoffandEllerbusch.).....	4
Şekil 2.2. Aktivasyon yöntemlerinin şematikgösterimi	7
Şekil 2.3. Aktif Karbonun Gözenek Yapısı	18
Şekil 2.4. Tanecikli Aktif Karbonun Kesiti	18
Şekil 2.5. Atık susaflaştırmamekanizması (Berger, 1987).....	27
Şekli 3.1. Yüzeyalanıölçümündekullanılancihaz	33
Şekil 4.1. Numunenin ZnCl ₂ ile 40 °C lik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	36
Şekil 4.2. Numunenin ZnCl ₂ ile 50 °Clik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	37
Şekil 4.3. Numunenin ZnCl ₂ ile 60 °Clik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	38
Şekil 4.4. Numunenin HNO ₃ ile 40 °Clik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	39
Şekil 4.5. Numunenin HNO ₃ ile 50 °Clik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	40
Şekil 4.6. Numunenin HNO ₃ ile 60 °Clik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	41
Şekil 4.7. Numunenin H ₂ SO ₄ ile 40 °C lik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	42
Şekil 4.8. Numunenin H ₂ SO ₄ ile 50 °Clik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	43
Şekil 4.9. Numunenin H ₂ SO ₄ ile 60 °Clik etüvde bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği	44
Şekil 4.10. ZnCl ₂ , H ₂ SO ₄ , HNO ₃ ve KOH kullanılarak 5 gr 'lık Mısır sapından elde edilen aktif karbonun verim grafiği	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Ticari olarak aktif karbon üretiminde kullanılanbaşlangıç maddeleri	8
Çizelge2.2. Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddelerin özellikleri	10
Çizelge 2.3. Aktif karbonun buhar faz uygulamalar	24
Çizelge 2.4. Aktif karbonun sıvı faz uygulamaları	28
Çizelge4.1. ZnCl ₂ ile 40 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	35
Çizelge4.2. ZnCl ₂ ile 50 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	36
Çizelge4.3. ZnCl ₂ ile 60 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	37
Çizelge4.4. HNO ₃ ile 40 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	38
Çizelge4.5. HNO ₃ ile 50 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	39
Çizelge4.6. HNO ₃ ile 60 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	40
Çizelge4.7. H ₂ SO ₄ ile 40 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	41
Çizelge4.8. H ₂ SO ₄ ile 50 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	42
Çizelge4.9. H ₂ SO ₄ ile 60 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi	43
Çizelge 4.10. ZnCl ₂ , H ₂ SO ₄ , HNO ₃ ve KOH kullanılarak 5 gr 'lık mısır sapından elde edilen aktif karbonun verim analiz çizelgesi	44

SİMGELERDİZİNİ

Å	Ångstrom
b	Ampirik sabit
C	BET sabiti
n	Gazmiktar
n ^a	Relatif basınçta erindeadsorplanan gaz miktarı
n ^a _m	Tek tabaka kaplanma kapasitesi
r	Gözenek Çap
BET	Brunauer-Emmet-Teller
cm ³	Santimetreküp
cm ²	Santimetrekare
CO	Karbon mono oksit
DFT	Denstiy Functional Theory
EPA	Environmental Protection Agency
et al	ve diğerleri
FTIR	FourierTransform InfraRed
g	Gram
ha	Hektar
IUPAC	International Union of Pureand Applied Chemistry
Kg	Kilogram
KME	Karbon molekülelek
L	Litre
Mg	Miligram
Mm	Milimetre
MÖ	Milattan önce
MS	Milattansonra
m ²	Metrekare
nm	Nanometre
PAH	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
Ppm	Partspemillion
SEM	Scanning Electron Microscopy
TEDA	Tetraetilendiamin

1. GİRİŞ

Aktif karbon gemişı çok eskilere dayanan, çeşitli endüstrilerde kullanımı gittikçe artan ve adsorpsiyon amacıyla kullanılan bir maddedir. Aktif karbon; yüksek karbon içeriğine sahip maddelere uygulanan aktivasyon süreci ile iç yüzey alan ve gözenek hacmi oldukça geliştirilmiş adsorpsiyon malzemesi olarak tanımlanabilmektedir.

Aktif karbon, laboratuvar ölçekli olarak karbon içeriğine sahip birçok malzemeden üretilebilmektedir. Üretimde kullanılacak hammadde için bir sınırlama olmamasına rağmen, düşük inorganik içerikli, yüksek karbon içeriğine sahip ucuz hammaddeler aktif karbon üretimi için tercih edilmektedir. Ancak, ticari amaçlı aktif karbonlar genellikle linyit, kömür, ağaç ve hindistancevizi gibi hammaddelerin kullanılması ile üretilmektedir. Hammadde, hazırlanması düşünölen aktif karbonun özelliklerini belirleyen en önemli etkilerden birisidir.

Sahip olduğu yüksek iç yüzey alan , bu maddenin iyi bir adsorpsiyon malzemesi olarak endüstride kullanımını cazip halde getirmektedir. Gazların saflaştırma ve arıtımında, karışımların ayırımında, gıda sanayisi saflaştırma işlemlerinde, su ve atık su arıtımında, metal sanayisinde, savunma sanayisinde koruyucu giysi yapımında, silah sanayisinde patlayıcı ve elektronik sistemleri susturmak için bomba yapımında ve sağlık sektöründe olmak üzere çok geniş bir alanda uygulama alanına sahiptir.

Ölkemizde aktif karbon kullanım gerek endüstriyel uygulamalarda gerekse günlük yaşamda sık sık karşımıza çıkmasına rağmen, endüstriyel anlamda aktif karbon üretimi gerçekleştiren bir tesis mevcut değildir. Bu nedenle aktif karbon ticari isimlerle ithal edilerek kullanıma sunulmaktadır. Ancak aktif karbon üretimi ve kullanımıyla ilgili alanlarda birçok araştırma ve geliştirme çalışması mevcuttur.

Türkiye bitkisel ve hayvansal atıklar açısından zengin bir potansiyele sahiptir. Bu atıklar genellikle yakma amaçlı ve hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Bununla

birlikte bu atıkları katı , sıvı ve gaz ürünlere dönüştürerek etkin bir şekilde değerlendirilmesini sağlayacak süreçler bulunmaktadır. Bu tür atıklardan aktif karbon üretimi de bu süreçlerden bir tanesidir.

Bu çalışmanın amacı, karbonizasyon ve aktivasyon kademeleri olmak üzere iki aşamada gerçekleşen aktif karbon üretiminde verimi etkileyen parametrelerin incelenmesidir. Karbonizasyon prosesinde, sıcaklık ve farklı kimyasal ortamlarının etkisi incelenmiştir. Aktivasyon işleminde fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri uygulanmıştır. Fiziksel aktivasyonda, sıcaklığın etkisi araştırılmış, kimyasal aktivasyon prosesinde ise pamuk sapı ve mısır sapı farklı kimyasallarla karıştırılarak, karbondioksit gazı atmosferinde, sıcaklık ve aktive edici madde oranı etkileri incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

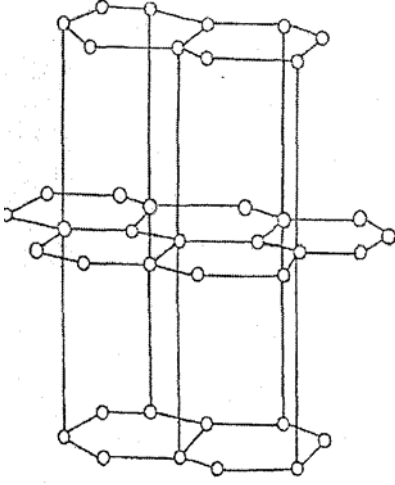
2.1 Tanım

Aktif karbon yüksek karbon içeriğine sahip maddelere uygulanan aktivasyon süreci ile iç yüzey alan ve gözenek hacmi oldukça geliştirilmiş adsorpsiyon malzemesi olarak tanımlanabilmektedir. Bu yapıyı ifade eden herhangi bir kimyasal formül bulunmamaktadır. Aktif karbonun genişletilmiş yüzey alanı , mikro gözenekli yapısı , yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve yüzey reaktivitesi adsorpsiyon malzemesi olarak kullanılmasını sağlar. Aktif karbonların gözenek hacmi genellikle 0,2 ml/g'dan daha büyük ve iç yüzey alanı ise 400 m²'den(azot gaz kullanılarak BET yöntemine göre ölçülen yüzey alan) daha yüksektir. Gözenek çap ise 3 Å ile birkaç 1000 Å arasında değişmektedir.

Aktif karbon; bileşim olarak % 87–97 oranlarında karbon içermekte olup geri kalan oranlarda ise hidrojen, oksijen, kükürt ve azot içerebilir. Öte yandan kullanılan hammaddeye ve süreçte katılan diğer kimyasal maddelerin içeriğine bakılarak daha farklı elementleri de içerebilmektedir (Küçükgül, 2004).

2.2. Molekül ve Kristal Yapı

Aktif karbonunu molekül ve kristal yapısını anlamak için bu maddenin yüzey kimyasını anlamak gerekmektedir. Aktif karbonla, karbon siyahı arasındaki fark karbon siyahının daha küçük iç yüzey alanına sahip olmasıdır. Aktif karbon yapısı hakkındaki birçok veri karbon siyahından elde edilmektedir. Karbon siyahı ve aktif karbonun temel birim yapısı saf grafitin yapısına benzemektedir. Karbon siyahı, boyama amacıyla kullanılan bir çeşit renk pigmentidir. Grafit kristalleri (Şekil 2.1) birleşik altıgen tabakalar halinde birbirlerine 3,354 Å uzaklıkta zayıf vander waals kuvvetleri ile bağlanmaktadır.



Şekil 2.1. Grafit kristallerin yapısı (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978).

Karbon-karbon bağları arasındaki uzaklık $1,415 \text{ \AA}$ 'dır. Karbonun 3 elektronu komşu atomlarla düzenli olarak kovalent bağlar yapmakta, geriye kalan bir elektron bağı ise yapılar arasında salınmaktadır. Bu durum karbon atomları arasında çifte bağ oluşumunu sağlamaktadır. Bu, grafit için baskın yapıdır. Aktif karbonun yapısı grafitten biraz farklıdır. Karbonizasyon işlemi süresince, birçok aromatik çekirdek (grafittekine benzer) oluşmaktadır. X-ışını ile yapılan incelemeler, bu yapıların altıgen olarak bağlanmış karbon atomlarını içeren mikro kristal yapısında olduğunu göstermektedir. Düzlemlerin yarıçapı 150 \AA 'dır. Mikro kristaller arasındaki uzaklık $20\text{--}50 \text{ \AA}$ 'dır (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978).

Hazırlama metodundan ve safsızlıkların olmasından dolayı mikrokristal yapıda bazı bozukluklar oluşmaktadır. Garten ve Weiss'a (1957) göre hazırlama işlemi veya hammaddenin doğasından dolayı, düzlemin kenarındaki halka yapılar heterosiklidir. Heterosiklik gruplar, adsorpsiyon, desorpsiyon özelliklerini ve komşu düzlemin uzaklığını etkilemektedir (Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978).

Aktif karbonun yapısı, grafitte göre düzensizdir. Aktivasyon işlemi süresince kristallerin yüzeylerindeki karbon bağlarının düzenli dizilişi bozulmaktadır. Yapının gelişimi karbonizasyon ve aktivasyon sıcaklıklarının bir

fonksiyonudur. Hegzagonal karbon halkaları, bazı molekül kırılmasına uğramış, rasgele sıralanmış, biri diğeriyle doğrudan ilişkili grafit kristallerden oluşmaktadır. Bütün yapı bundan dolayı çok düzensizdir. Aktif karbonlardaki yüksek mertebeden yapısal bozukluklar nedeniyle, düzlemsel katmanların köşelerindeki karbon atomları için birçok tepkime olasılığı vardır.

2.3. Aktif Karbon Üretim Yöntemleri

2.3.1. Genel bakış

Karbon içeren bütün maddeler aktif karbon üretiminde kullanılabilir (Gerhartz, 1986). Günümüzde aktif karbon yüksek karbon ve düşük inorganik madde içeriğine sahip birçok bol ve ucuz maddeden üretilmektedir.

Bunlar arasında kömür, petrol kalıntısı, odun, fındık ve hindistan cevizi kabuğu, meyve çekirdekleri gibi birçok atıl biyokütle, fosil yakıtların pirolizinden elde edilen ziftin yanı sıra, polimer bazlı sentetik hammaddeler de aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır. Başlangıç malzemesinin seçimi, kolay elde edilebilmesine ve safiyetine bağlıdır (Kroschwitz, 1992).

Karbon içeren hammaddeden aktif karbon üretimi sırasında, karbon içermeyen kısımların bünyeden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem esnasında karbon içeren malzemeden de bir kısım okside olarak uzaklaştırmaktadır. Bu işlem sonucu yeni bağlar oluşur ve yüksek miktarda gözenek içeren yapı elde edilir. Günümüzdeki uygulamalarda yabancı maddelerin uzaklaştırılması ve bölgesel oksidasyonlar yeterli kalmamakta, nihai ürün eldesi için aktivasyon işlemine gerek duyulmaktadır (Aygün, 2002).

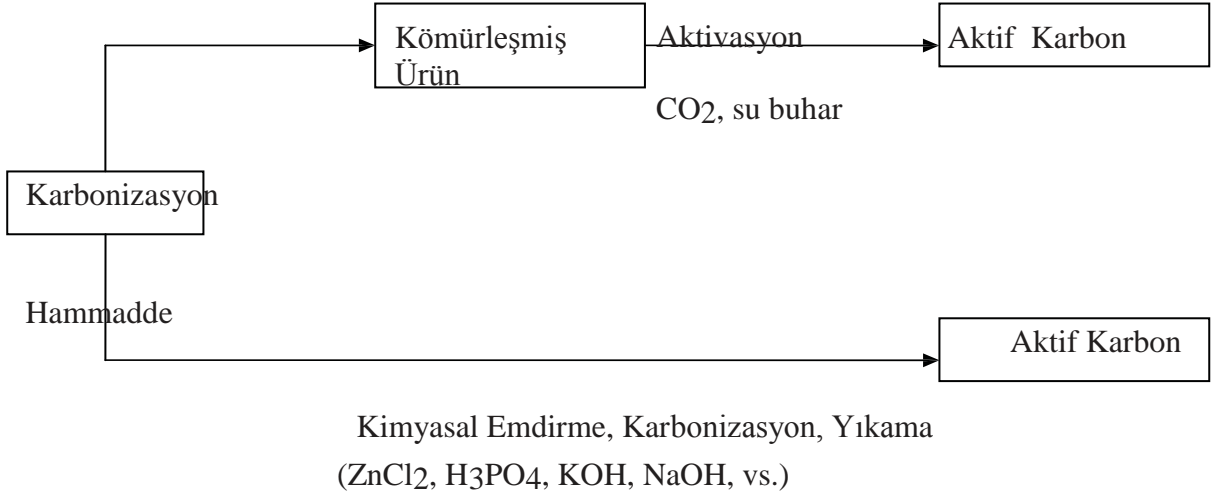
Aktif karbon, seçilecek uygun başlangıç malzemesinden toz, tanecikli, küresel şekillerde üretilmektedir (Patrick, 1995). Üretim süreci fiziksel ve kimyasal aktivasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Kroschwitz, 1992). Şekil 2.2'de aktivasyon süreçleri şematik olarak gösterilmiştir (Marsh et al., 1997).

Genel olarak aktivasyon süreci aşağıdaki adımlar içermektedir;

1. Bünyedeki bütün suyun uzaklaştırılması (dehidrasyon).
2. Organik maddelerin elementel karbona dönüşümü, karbon olmayan kısımların uzaklaştırılması (karbonizasyon).
3. Katranın yanması ve gözenek (por) genişlemesi (aktivasyon) (Cheremisinoff and Ellerbush, 1978).

Fiziksel (gaz) aktivasyonda; su buharı veya CO₂ gibi oksijen bileşiği içeren gazlar kullanılır. Bu gazlar sıcak haldeki kömürleşmiş malzeme üzerinden üflenmektedir. 800–1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda karbonlu başlangıç malzemelerinin bir kısmı ayrışıp sayısız gözenek ve çatlak oluşturmaktadır (Aygün, 2002).

Kimyasal aktivasyon ise ağaç, turba ve benzeri esaslı malzemelere çinko klorür, potasyum hidroksit, soydum hidroksit, fosforik asit, potasyum karbonat gibi dehidrasyon özelliği olan çözeltilerin emdirilmesi işlemiyle gerçekleşmektedir (Ullmann's Encyclopadie der Technischen Chemie, 1957). Başka bir deyişle kimyasal aktivasyon, çinko klorür, fosforik asit, sodyum hidroksit gibi kimyasalların başlangıç malzemesinden su giderme işlemine bağlıdır. İşlemler 400–1000 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Kimyasalların özütleme (ekstraksiyon) işlemiyle uzaklaştırılmasından sonra geriye gözenekli aktif karbon yapısı kalmaktadır. Aktif karbon üretimi döner fırın, çok kamaralı fırın, dikey şaft veya akışkan yatak tipindeki fırınlarda gerçekleştirilebilmektedir (Gerhartz, 86).



Şekil 2.2. Aktivasyon yöntemlerinin şematik gösterimi.

Kullanılan hammaddeye göre elde edilen aktif karbonun özellikleri değişmektedir. Hammaddenin uçucu madde içeriği ve yoğunluğu elde edilen aktif karbonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Odun ve lignin gibi düşük yoğunluklu maddeler yüksek uçucu madde içermektedir. Bunlardan üretilen aktif karbon, düşük yoğunluklu ve büyük gözenek hacimli olması nedeniyle, gaz adsorpsiyonu için uygun olmaktadır.

Hammadde, gerekli olduğu durumlarda asit çözeltisiyle, çözücülerle veya sadece saf su ile yıkanarak aktivasyon sürecini etkilemesi muhtemel safsızlıklardan arındırılır. Yıkama işlemleri ardından hammadde üzerindeki nemin giderilmesi amacıyla kurutma yapılır. Hammaddenin aktivasyon öncesi geçirdiği adımlardan biri de boyutlandırma'dır. Bu işlem istenen boyutta ve gözenek yapısında aktif karbon üretilmesi için gereklidir. Hammaddenin tanecik boyutunun üretilen aktif karbonun yüzey alanı, mikro gözenek hacmi gibi önemli özellikleri üzerine etkisi olabilmektedir.

2.3.2. Hammaddeler

Yeterli miktarda karbon içeren, kolay elde edilebilen ve düşük maliyete sahip hemen her madde, aktif karbon hammaddesi olarak kullanılabilir. Kullanılacak olan hammaddenin;

- Üretilecek aktif karbon veriminin iyi olması
- İnorganik madde içeriğinin düşük olması
- Maliyetinin düşük ve kolay elde edilebilir olması
- Depolama sürecinde bozulmaması
- Kolay aktive edilebilmesi

kriterlerini sağlaması gerekmektedir (Marsh et al., 1997).

Aktif karbon üretimi için uygun karbon içeriği %40–80 arasındadır. Teknik uygulamalarda odun talaşı, odun, odun kömürü, linyit kullanılmaktadır. Meyve ve yemiş kabukları (hindistan cevizi, fındık, vs.), meyve çekirdekleri, kağıt fabrikas atıklar ve bunların yanı sıra petrol rafinasyon atıklar da nadir olarak geniş yüzey alanına sahip aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır (Aygün 2002). Aktif karbon başlangıç maddeleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Kullanılan başlangıç maddesine göre, aktif karbonun fiziksel ve adsorpsiyon özellikleri değişkenlik göstermektedir. Başlangıç malzemesi seçimi, o malzemenin maliyeti, elde edilebilirliği, kalitesi, mineral madde ve kükürt içeriğine göre belirlenmektedir (Patrick, 1995).

Çizelge 2.1. Ticari olarak aktif karbon üretiminde kullanılan başlangıç maddeleri

Başlangıç Maddesi	Kullanım (%)
Odun	35
Kömür	28
Linyit	14
Hindistan Cevizi Kabuğu	10
Diğer	13

Odun ve selüloz içeren diğer maddeler genellikle kimyasal aktivasyonla aktive edilirler. Talaş ve diğer ağaç esaslı malzemelerde de bu şekilde işlem görülmektedir. Pirinç ve mısır sapı ile ilgili pilot ölçekte bir takım çalışmalar yapılmış ancak ekonomik yönden değerli ürün eldesi mümkün olmamıştır.

Kimyasal aktivasyon yöntemiyle üretilen malzemelerin, aktivasyon işleminde kullanılan çözelti içinde çözünebilen kül miktarlarının düşük olması istenmektedir. Bunun sebebi, yıkama sonrası geri kazanıma tabi tutulan aktivatörün temizlenmesinin mümkün olmamasıdır.

Mikro gözenekli aktif karbon üretiminde genellikle yüksek yoğunluğa sahip hammaddeler kullanılmakta ve uzun sürede yavaş bir şekilde aktivasyon işlemi uygulanmaktadır. Makro gözenekli aktif karbon ise hızlı aktivasyon işlemiyle elde edilmektedir. Kimyasal aktivasyon işleminde emdirilen malzemenin özelliklerine bağlı olarak nihai ürün olan aktif karbonun yapısı belirlenebilmektedir.

Gaz maskelerinde veya sürekli adsorpsiyona tabi tutulan alanlarda, yüksek yoğunluk ve mukavemete ihtiyac nedeniyle yüksek mekanik dayanıma sahip çekirdek kabuklarından elde edilen kömürler kullanılmaktadır. Bu tür işlemlerde Hindistan cevizi kabuğundan elde edilen koklar veya yoğunluğu artırmak için basınç altında şekillendirilmiş, ince öğütülmüş hammaddeler kullanılmaktadır. Parça veya pres ürünü hammaddeler aktivasyon sonrası parçalanmak suretiyle kullanılmaktadır. Renk giderme işlemlerinde kullanılan aktif karbonlar genellikle düşük yoğunluklu malzemelerden (odun kömürü, turba, talaş vb.) üretilmektedir (Aygün, 2002).

Genel olarak aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddelerin özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Marsh et al.,1997).

Çizelge 2.2. Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddelerin özellikleri (Marsh et al.,1997)

Hammadde	Karbon (%)	Uçucu Miktar (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kül Miktarı (%)	Üretilen Aktif Karbon Özellikleri
Yumuşak Odun	40-45	55-60	0,4-0,5	0,3-1,1	Yumuşak, Toplam gözenek hacmi büyük
Sert Odun	40-42	55-60	0,55-0,80	0,3-1,2	Yumuşak, Toplam gözenek hacmi Büyük
Selüloz	35-40	58-60	0,3-0,4	-	Yumuşak, Toplam gözenek hacmi büyük
Kabuklar	40-45	55-60	1,4	-	Sert, Toplam mikro gözenek hacmi büyük
Linyit	55-70	25-40	1,0-1,35	5-6	Sert, Toplam gözenek hacmi küçük
Yumuşak Kömür	65-80	20-30	1,25-1,5	2-12	Orta sertlikte, Toplam gözenek hacmi orta büyüklükte
Petrol Koku	70-85	15-20	1,35	0,5-0,7	Orta sertlikte, Toplam gözenek hacmi orta büyüklükte
Sert Kömür	85-95	5-10	1,5-1,8	2-15	Sert, Toplam gözenek hacmi büyük

Aktif karbon hazırlanması fiziksel ve kimyasal aktivasyon olmak üzere başlıca iki yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Hammadde, başlangıç özelliklerine bağlı olarak aktivasyon öncesi çeşitli işlemlere de tabi tutulabilmektedir.

2.3.3. Fiziksel aktivasyon

Fiziksel aktivasyon işlemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir; karbonizasyon ve aktivasyon.

2.3.3.1. Karbonizasyon

Karbonizasyon, hammadde içerisindeki nemin ve uçucu maddenin inert ortamda giderilmesi sonucunda temel gözenek yapısının oluştuğu bir işlemdir. Karbonizasyon sonucunda, ürünün karbon içeriği ve mineral maddenin özelliğine göre kül içeriği göreceli olarak artmaktadır.

Kaliteli ve verimli karbonize ürün elde etmek için önemli parametreler; ısıtma hızı , sonuç sıcaklık, sonuç sıcaklıkta kalma süresi, hammaddenin doğal ve fiziksel durumudur. Çünkü dehidrasyon artmakta ve polimerik bileşenler daha kararlı olmaktadır. Char'ın mikro gözenekliliğinin, piroliz işlemindeki ısıtma hızından ve hammaddenin bileşiminden bağımsız olduğu görülmüştür (Mackay and Roberts, 1982). Temel mikro yapı 500 °C'de oluşmaktadır. Bu gözeneklerin bazıları oluşan piroliz ürünleri yüzünden başlangıçta kullanılamaz hale gelmekte, ancak yüksek sıcaklık uygulanarak tekrar kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Yukarıda bahsedilen faktörler sonuç ürünün kalitesini ve aktivasyonunu etkilemektedir.

Karbonizasyon süreci şu özellikleriyle dikkate alınır;

- a) Hetero atomların ve uçucu bileşenlerin giderimi ile karbonla zenginleşmesi,
- b) İç alanın genişletilmesi veya uçucu maddenin uzaklaştırılması ile alan açılması ,
- c) Karbonca zenginleşen maddede çapraz bağların oluşarak maddenin sertlik ve dayanıklılığının (rijitlik) gelişmesi.
- d) Sınırlı iki boyutlu grafit yapısının artan sıcaklıkla birlikte gözenek gelişimine son vermesi.

2.3.3.2. Aktivasyon

Aktivasyon işleminde, karbonizasyon süresinde oluşumu gerçekleştiren gözeneklerin hacmi ve yarıçapı artar ve yeni gözenekler oluşur. Gözeneklerin yapısını ve gözeneklerin boyut dağılımını karbonizasyonun koşulları ve hammaddenin yapısı belirler.

Aktivasyon amacıyla kullanılan maddenin aktif oksijen içeriği, karbon iskeletin reaktif kısmını etkilemektedir. Aktivasyon işleminde sağlanan aktivasyon derecesi, aktivasyon sıcaklığına ve kullanılan gazın yapısına bağlıdır. Karbon iskeletin bozunması, söz konusu yüzeyin farklı bölümlerinde farklı hızlarda meydana gelmektedir.

Fiziksel aktivasyonda, genellikle su buharı , CO₂ ve yanma gaz ürünleri olan klor, kükürt buharları , SO₂, amonyak gibi gazların yanında diğer bazı gazlar da nadiren de olsa aktivasyon amacıyla kullanılabilir. Endüstriyel uygulamalarda su buharı ve CO₂ en çok karşılaşılan fiziksel aktive edici maddelerdir.

Buhar ile gerçekleştirilen aktivasyonda, karbonun su buharı ile olan en temel tepkimesi endotermiktir ve stokiyometrik tepkime denklemi şu şekilde yazılabilir:



Bu tepkime, sadece aktivasyon açısından değil, su gazı üretimini de kapsamaması nedeniyle oldukça geniş ölçüde incelenmiştir. Ancak, mekanizma tam olarak aydınlatılmamıştır. Karbonlu maddenin önemli ölçüde farklılıklar gösterebilmesi ve karbonlu malzeme içerisindeki safsızlıkların katalitik etkiler yapması, maddenin gözenekliliğinin farklı olması gibi sebeplerden ötürü, bu konu ile ilgili elde edilen sonuçlar önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir.

Buhar ile aktivasyon, oksijensiz ortamda 750–950 °C

sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Ortamda oksijen olmasının istenmemesinin nedeni, bu sıcaklıklarda oksijenin karbon yüzeyine şiddetle hücum etmesi ve yüzey kütle azalımı ile ürün miktarını azaltmasıdır. Karbonun buhar ile tepkimesi, alkali metal oksit ve karbonatlar ile katalizlenebilmektedir.

Karbondioksit ile gerçekleştirilen aktivasyonda ise, karbonun CO₂ ile olan en temel tepkimesi endotermiktir ve stokiyometrik tepkime denklemi şu şekilde yazılabilmektedir (Merameri et al., 2000):



Bu tepkimenin, aşağıda belirtilen tepkime mekanizmalarına göre gerçekleştiği belirtilmektedir. (Smisek and Cerny, 1970).

Mekanizma- I



Mekanizma – II



Bu iki mekanizmanın arasındaki temel farklılık, CO'in olumsuz etkisinin açıklanmasından kaynaklanmaktadır. CO, hem aktif merkezler tarafından kimyasal olarak adsorplanmakta, hem de geri tepkimenin hızını artırmaktadır. Tepkime hızı, serbest aktif kısımların sayısına bağlıdır.

Birinci mekanizmada (2.1) nolu denklemi geri tepkime hızının ihmal edilebilir düzeyde olduğu ve CO'in olumsuz etkisinin, aktif kısımların

denklem (2.5)'te gösterildiği, şekilde adsorplanmış CO ile bloke edilmesinden kaynaklandığı ileri sürülmektedir. 2. mekanizmaya göre, (2.2) tepkimesinin geri tepkime hızının önemli olduğu ve CO'in etkisinin (2.6) nolu denkleme göre tepkimenin denge durumu ile açıklanmaktadır. (2.4) nolu tepkimenin çok yavaş ilerlediği hemen hemen konu ile ilgili araştırma yapan bütün çalışmacılar tarafından kabul edilen bir durumdur.

CO₂ ile aktivasyon, buhar ile gerçekleştirilen aktivasyondan daha yüksek sıcaklık gerektirmektedir (850-1100 °C). CO₂ ile tepkimesinde kullanılabilir katalizörler alkali metal karbonatlardır. CO₂ ile aktivasyonun endüstriyel uygulamalarında, aktivasyonda kullanılan gaz, içerisine bir miktar buhar ilave edilmiş baca gaz karışımıdır.

2.3.4. Kimyasal aktivasyon

Kimyasal aktivasyon işlemi, genel olarak, kimyasal aktifleyici bir madde ile hammaddenin belirli bir sıcaklıkta bozundurulması esasına dayanmaktadır.

Kimyasal aktivasyon sürecinde hammadde dehidrasyon maddesi ve oksitleyici ortam olarak fonksiyon gösteren bir aktive edici madde ile karıştırılır. Kimyasal aktivasyon sürecinde çinko klorür, fosforik asit, alüminyum klorür, magnezyum klorür, potasyum hidroksit, sodyum hidroksit gibi birçok madde aktivasyon maddesi olarak kullanılabilir, fakat bunlardan en sık kullanılanlar çinko klorür, potasyum hidroksit ve fosforik asittir.

Lignoselülozik yapıların karbonizasyonu sırasında yapıda büzülme meydana gelmektedir. Karbonizasyon sırasında meydana gelen bu boyut değişimi kimyasal aktivasyon sürecinde daha büyük önem kazanmaktadır. Çünkü aktivasyon maddesi yapıların içerisine nüfuz ederek artan sıcaklıkla birlikte beklenen büzüşmenin olmasını engeller. Yani aktivasyon maddesi mikro gözeneklilik oluşumu sırasında bir kalıp gibi davranış gösterir (Monolina-Sabio and Rodriguez-Reinoso, 2004).

Kimyasal aktivasyon sürecinde oldukça düşük süreç sıcaklığının bir

sonucu olarak grafitik bazal yüzeyler bulunmaz. Onun yerine her tanecik, kısmen aromatik, kısmen alifatik organik molekül ya da neredeyse sonsuz sayıda farklı monomerlerden oluşan çapraz bağlı polimerler olarak bulunabilir. Böylece mikro gözeneklerdeki duvarlar bile düzgün olmayıp pürüzlü bir durum gösterir ve çok miktarda farklı cinsten atomlar (en çok oksijen) içerir (Küçükgül, 2004).

Kimyasal aktivasyon sürecinin mekanizması kullanılan aktivasyon maddesine göre farklılık göstermektedir. Dolayısıyla kimyasal aktivasyon sürecine etki eden parametreler de kullanılan aktivasyon maddesine bağlı olmaktadır. Örneğin lignin ile yapılan çalışmalarda $ZnCl_2$ ve H_3PO_4 için en uygun aktivasyon sıcaklığı $500-600^\circ C$ arasında belirlenirken; $NaOH$, KOH , K_2CO_3 ve Na_2CO_3 gibi alkali metal içeren aktivasyon maddeleri için bu değer $500-800^\circ C$ arasında olduğu belirlenmiştir.

Alkali metal içeren bileşiklerle yapılan aktivasyon işlemlerinde elde edilen aktif karbonların yüzey alanı $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ civarındadır ve bu değerler ticari aktif karbondan oldukça yüksektir (Hayashi et al., 2000).

Kimyasal aktivasyon yönteminin üstünlükleri:

1. Aktivasyon genel olarak tek adımda gerçekleştirilmektedir,
2. Fiziksel aktivasyona oranla daha düşük aktivasyon sıcaklığı gerektirmektedir,
3. Fiziksel aktivasyona oranla daha düşük aktivasyon süresi gerektirmektedir,
4. Daha yüksek katı ürün verimi,
5. Gelişmiş mikro gözenek hacmi, Daha büyük yüzey alanı oluşturabilmektedir.

Olumsuz yönleri ise;

1. Kullanılan aktivasyon maddesinin çevreye etkisi

2. Aktif karbon içerisinde kullanılan aktivasyon maddesinden kaynaklanan safsızlıklar oluşması,
3. Aktivasyon işlemi sonrasında yıkama sürecine gerek duyulmasıdır.

Kimyasal aktivasyon işleminde önemli bir faktörde susuz aktivasyon maddesinin, başlangıç kuru maddeye ağırlıkça oranı şeklinde tanımlanan emdirme derecesidir. Hammadde ile aktive edici madde, karbonizasyon sürecinden önce aşağıdaki şekillerde muamele edilebilmektedir.

1. Hammadde ile aktive edici maddenin fiziksel olarak doğrudan karıştırılması
2. Hammadde ile aktive edici maddenin belirli bir derişimindeki çözeltilisinin karıştırılması
3. Hammadde ile aktive edici maddenin birlikte yoğrularak hamur haline getirilmesinden sonra 110 °C’de kurutulması .

Hammadde ve aktive edici maddenin doğrudan olarak karıştırılması, daha ziyade toz aktif karbon üretimi sürecinde uygulanır. Tanecikli aktif karbon üretiminde genellikle çözeltiden emdirme yöntemi tercih edilir. Zira bu tür aktif karbon üretiminde aktive edici madde ve tanecik teması daha büyük önem kazanmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışmada (Monolina-Sabio and Rodriguez-Reinoso, 2004) hammadde tanecikleri aktive edici madde çözeltilisi ile 85°C’de buharlaşma olmadan karıştırılmış ve böylece taneciklerin hidrasyonu sağlanmıştır. Bu sayede aktive edici maddenin hammaddenin iç kanallarına girişi daha etkin şekilde sağlanmıştır. Bu işlemin ardından çözeltilinin kısmi veya tam buharlaştırılması ile aktive edici maddenin taneciklerin iç yüzeyini kaplanması sağlanmıştır.

Aktive edici madde çözeltilisi ve hammadde taneciklerinin oda sıcaklığında karıştırılarak bir süre bekledikten sonra ısı işleme tabi tutulması da uygulanan emdirme yöntemleri arasındadır (Budinova et al., 2006)

2.4. Fiziksel Özellikleri

2.4.1. Yüzey alanı

Aktif karbonun en önemli fiziksel özelliği yüzey alanıdır. Aktif karbonun yüzey alanı, BET (Brunauer–Emet–Teller) yöntemiyle belirlenir (Kroschwitz, 1992). Bu yöntemde adsorplanan madde olarak genellikle azot gazı kullanılmaktadır. BET, gazların katı malzemelerin yüzeylerine fiziksel adsorpsiyon karakteristiğini kullanarak yüzey alanı hakkında bilgi veren bir yöntem olup, gazın bir katı yüzeyinde oluşturduğu fiziksel olarak soğurulmuş tek tabaka prensibini temel alır. Farklı basınçlarda katı numune yüzeyine soğurulan gaz karışımı miktarlarından sonuca gidilir (Suzuki, 1989).

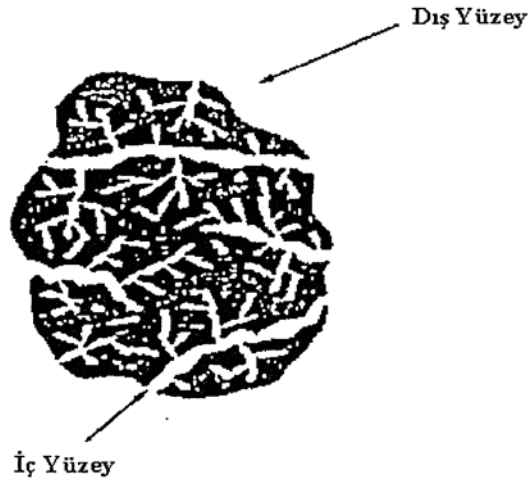
2.4.2. Gözeneklilik (Porozite)

Aktif karbonun diğer bir önemli özelliği olağanüstü yaygın gözenek yapısıdır (Kroschwitz, 1992). Aktif karbonun porozitesinin belirlenmesinde en fazla kullanılan yöntemler gaz adsorpsiyonu ve civalı porozimetredir.

Aktif karbonda gözenek boyutu aralığı moleküler boyuttan büyük taneciklerde mm boyutuna kadar değişebilmektedir (Aygün, 2002). Mikro gözenekler (<2 nm) aktif karbonların daha yüksek yüzey alanına sahip olmasına katkıda bulunmakta, gazlar ve yaygın kullanılan çözücüler gibi küçük boyutlu moleküller için yüksek adsorpsiyon kapasitesi sağlamaktadır. Bu sayede bir gaz karışımından küçük molekülü gaz fraksiyonunu seçici olarak filtre etmek mümkündür. Mezo gözenekler (2-50 nm) renkli moleküller gibi daha geniş moleküllerin adsorplanması için önemlidir ve aktif karbon yapısında büyük oranda bulunmaktadır. Makro gözeneklerin (>50 nm) adsorpsiyon için önemsiz olduğu düşünülür. Makro gözeneklerin asıl görevleri adsorplanan moleküllerin geçişini sağlayan ana yollar olarak hizmet etmektir (Patrick, 1995). Şekil 3.3'te aktif karbonun şematik olarak gözenek yapısı görülmektedir (Marsh et al., 1997). Tanecikli aktif karbonun kesit görüntüsü şekil 3.4'te verilmiştir (Roy, 1995)



Şekil 2.3. Aktif karbonun gözenek yapısı (şematik olarak) (Roy, 1995).



Şekil 2.4. Tanecikli aktif karbonun kesiti (Roy, 1995).

Aktif karbonun diğer önemli özelliklerinden biri de tane boyut dağılımıdır (Gerhartz, 1986). Adsorpsiyon hızı tane boyutuyla ters orantılıdır, bununla birlikte tane boyutu küçüldüğünde akışkan yataklarda basınç düşüşü artar (Grayson, 1978). Öte yandan toprak veya taneciklerin belirli bir kırılma

dayanımına sahip olmaları gerekmektedir (Gerhartz, 1986).

Yüzey alanı , gözenek boyut dağılımı ve tane boyut dağılımına ek olarak gözenek hacmi, yoğunluğu, aşınma dayanımı ve sertlik ticari aktif karbonun diğer önemli özellikleridir (Kroschwitz, 1992).

2.5. Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

Aktif karbon, oksijen ve hidrojenle bağ yapmış elementleri içermektedir. Bu elementler hammaddeden gelebilmekte veya ideal olarak gerçekleştirilemeyen karbonizasyon sonucunda ortaya çıkmakta ve aktivasyon sürecince yüzeyle kimyasal bağ yapmaktadır. Mineral madde yapısı, aktif karbonun özelliklerini etkilemektedir. Mineral madde yapısı, aktif karbonun cinsine ve bileşimine göre değişmektedir. Aktif karbonlar yaklaşık %20 mineral içerebilir. Elektrolit olmayan çözeltilerin adsorpsiyonunda mineral maddenin küçük miktarları bile önem taşımaktadır.

Aktif karbonun x-ışın difraksiyon paterni, onun grafit yapılı çok küçük kristallerden oluştuğunu göstermiştir. Bununla beraber karbonun grafit yapısındaki tipik üst üste olan tabakalar yoktur. Aktif karbon yapısında kristaller sadece 0,7–1,1 nm kalınlığında ve 2 – 2,5 nm genişliğindedir ki bu da grafitte gözlenen yapıdan oldukça küçüktür. Kristaller arası boşluklar ise amorf yapıdaki karbonlar tarafından doldurulmaktadır. Bu atomlar diğer atomlarla (özellikle oksijen) üç boyutlu bağlar kurmuş haldedir. Karbonun düzensiz dizilişi sayısız çatlak ve yarıkla parçalanmıştır ki bu parçalanmalar genellikle silindirik yapıdaki gözeneklerin (porların) oluşumunu sağlar. Bünyede bulunan büyük miktardaki mikro gözenekler, aktif karbona geniş bir iç yüzey alanı sağlar. Bu da adsorpsiyon özelliklerinin temelini oluşturmaktadır (Gerhartz, 1986). Bu maddeler kül veya yanma sonrası kalan madde olarak da tanımlanmaktadır. Aktif karbonun yapısı , kullanılan başlangıç maddelerine göre farklılıklar göstermektedir. Bunlara bağlı olarak aktif karbon yapısında silika, alkali ve toprak alkali bileşikler bulunabilir.

Aktif karbonun üretiminin bir parçası olan yüzey oksidasyonu, hidroksil, karbonil ve karboksilik gruplar aracılığıyla karbona amfoterik özellik sağlar ki bu da yüzeyi aside karşı bazik veya baza karşı asidik karakterli yapar (Kroschwitz, 1992).

2.6. Aktif Karbonun Sınıflandırılması

Aktif karbonun özellikleri, yüzey karakteristikleri ve davranışları göz önünde bulundurularak sınıflandırılması karmaşık bir işlemdir. Zira sadece, örneğin yüzey alanı gibi tek bir özelliğe göre sınıflandırma yapmak aktif karbonun kalitesi hakkında yeterli fikir vermez. Çünkü adsorplanan molekülün büyüklüğü değiştiğinde, kullanılabilir yüzey alanı da değişmektedir. Buna rağmen, yüzey alanı ve gözenek yapısı ile ilgili bilgiler, karşılaştırma amacıyla kullanılabilir. Aslında adsorpsiyon kapasitesi, aktif karbonun kalitesi hakkında fikir verebilecek tek parametre olarak değerlendirilebilmektedir.

2.6.1. PAC (Toz aktif karbon)

PAC yaygın olarak 0,18 mm'den daha küçük boyutlarda öğütülmüş karbonlardır. Başlıca sıvı faz uygulamalarda ve baca gazı arıtımında kullanılır. Bu tip aktif karbonunun geniş yüzey alanı ve küçük yayılım mesafesi vardır. Bundan başka çözelti fazı adsorpsiyonu için de kullanılmaktadır. Kullanımı oldukça kolaydır. Karbon, çözeltiliye eklenir, karıştırılır, kısa bir süre temas ettirilir (5–30 dak.) ve filtrasyonla ayrılır. Bu gruba giren aktif karbonlar ayrıca tıbbi uygulamalar ve renk giderme için kullanılmaktadır.

2.6.2. GAC (Tanecikli (granüler) aktif karbon)

0,2–5 mm aralığındaki boyutlardaki düzensiz şekillerdeki parçacıklar halindedir. Sıvı ve gaz fazı uygulamalarında kullanılır. Toz aktif karbona göre daha büyük tanecik boyutu ve daha küçük dış yüzey alanına sahiptir. Gaz ve sıvı adsorpsiyonu uygulamalarında tercih edilmektedir.

2.6.3. Pellet AC (Topak (pellet) aktif karbon)

Basınçla sıkıştırılmış ve 0,8–5 mm çapında silindirik yapıdadır. Yüksek basınç gerektirmediğinden, yüksek mekanik dayanıklılığından ve düşük toz içeriğinden dolayı başlıca gaz fazı uygulamalarında kullanılır (Küçükgül, 2004).

2.6.4. Küresel aktif karbon

Katori ve çalışma arkadaşları ile Nagai ve çalışma arkadaşlar katrandan küresel aktif karbon üretmişlerdir. Katran, naftalin ve tetralin içerisinde eritilerek küresel aktif karbon elde edilmektedir. Bu küreler nafta çözücüsü ile temas ettirilmekte ve naftalin ekstrakte edilmektedir. Bu şekilde gözenek yapısı oluşturulmaktadır. Bu gözenekli küreler ağırlıkça %30 oksijen içeren oksidasyon gazlarının varlığında 373 – 673 K arasındaki bir sıcaklığa ısıtılmaktadır. Katran küreler, oksijenin %10'unu kimyasal olarak adsorplar. Okside küreler, amonyak ile 423 – 973 K sıcaklıklar arasında ısıtılır. Daha sonra CO₂ veya buharla aktive edilir. Bu karbonların yüksek mekanik dayanıklılığı vardır ve SO₂, NO₂ adsorpsiyon kapasitesi çok yüksektir (Katori et al., 1977; Nagai et al., 1975)

2.6.5. Polimer kaplanmış aktif karbon

Fennimore ve çalışma arkadaşlarının, pürüzsüz ve geçirgen bir “biocompatible” polimeri, gözenekli karbonların etrafına ince tabaka halinde kaplayarak polimer kaplanmış aktif karbon üretmişlerdir. (Fennimore et al., 1978).

2.6.6. Karbon moleküler elek (KME)

Aktif karbon düzgün ve dar bir mikro gözenek yapısında üretildiğinde karbon moleküler elek etkisine sahip olmaktadır. Bu tür aktif karbon üretiminde hammadde ve aktivasyon koşullarının seçimi büyük önem kazanmaktadır. En yaygın uygulama alanı ayırma işlemleridir. Özellikle havadaki oksijen ve azot gazının ayrılması küçük mikrogözenekler üzerinde farklı hızlarla difüzyonundan faydalanılarak sağlanabilmektedir (Suzuki, 1990).

KME gözenekleri birkaç Årgstrom çapındaki gözeneklerden oluşur. Zeolitlerle karşılaştırıldığında KME, birkaç avantajlı özellik gösterir;

1. Düzlemsel olarak moleküller için mükemmel şekil seçiciliğe sahiptir.
2. Yüksek hidrofobik özellik gösterir.
3. Yüksek sıcaklık ve korozyon dayanımına sahiptir.

Bu nedenle zeolit kullanılmayan yerlerde KME kullanılabileceği düşünülmektedir. Önemli olan nokta istenen gözenek boyutunda KME hazırlanabilmesidir. KME'in gözenek oluşumu tamamıyla anlaşılamadığından ve günümüzdeki KME üretim teknolojisi kesin gözenek kontrolü sağlayamadığından KME kullanımı zeolit kullanımı kadar yaygın değildir (Kyonati, 1999).

2.6.7. Aktif karbon lifi

Aktif karbon lifleri; fenolik reçine, poliakrilik reçine, viskon gibi sentetik liflerin yüksek sıcaklık ve inert atmosferde karbonizasyonu ve ardından dikkatlice aktivasyonu ile elde edilen yapılardır. Elde edilen bu yapının diğer aktif karbonlara göre başlıca üstünlükleri;

1. Dar ve düzgün mikro gözenek yapısı ile soğurulacak faz ile daha kolay etkileşim sağlaması ,
2. Küçük ve düzgün lif yarıçap ile daha hızlı adsorpsiyon ve desorpsiyon sağlaması ,
3. Grafitik yapısı sayesinde daha yüksek elektrik iletkenliğine ve daha yüksek sıcaklık dayanımına sahip olması ,
4. Daha kuvvetli ve elastik yapısıyla kağıt ve giysi gibi farklı uygulama alanlarında kullanılabilmesi (Yang, 2003).

Tüm bu özellikleriyle aktif karbon liflerinin gelecekte çok geniş kullanım alanlarına sahip olacağını düşünülmektedir.

2.7. Aktif Karbonun Uygulama Alanları

2.7.1. Gaz faz uygulamalar

Gaz faz uygulamalarında 1000–2000 m²/g yüzey alanına sahip, sıvı faz uygulamalarında kullanılan aktif karbonlardan daha yüksek yoğunluğa sahip tanecikli halde veya şekillendirilmiş aktif karbonlar kullanılmaktadır. Gaz fazı uygulamalarında kullanılan aktif karbonlarda bulunan küçük gözenekler, gazlar ve organik buharlar için seçicilik ve yüksek adsorpsiyon kapasitesi sağlamaktadır (Grayson, 1978). Gaz faz uygulamaları , toplam aktif karbon kullanımının %20'sini oluşturmaktadır (Kroschwitz,1992). En geniş uygulama alanları ; çözücü geri kazanımı , koruyucu filtreler ve otomobillerdeki emisyon kontrol ekipmanlarıdır (Patrick, 1995; Grayson, 1978).

Çizelge 2.3. Farklı uygulama alanları için aktif karbon özellikleri (Aygün, 2002)

ÖZELLİKLER	UYGULAMA ALANLARI					
	Gaz ve Buhar Geri Kazanımında	Gaz Maskeleri için	Suyun Temizlenmesi için		Renk Gidermede	Katalizör Olarak
Yığın Yoğunluğu (g/L)	320-400	350-500	300-400	350-500	300-650	350-500
Gözeneklilik	Makro, Mezo ve Mikro	Mezo ve Mikro	Mikro	Mikro	Makro, Mezo ve Mikro	Makro, Mezo ve Mikro
Özgül iç Yüzey Alan (m ² /g)	600-1200	500-1000	300-800	300-800	400-1200	600-1200
Benzol Adsorplama Kapasitesi (20°C'de %90 Buhar Yoğunluğunda g/100 g Karbona Kapasite)	50-80	50-80	20-50	20-50	40-100	50-80
Melas Faktörü (Renk Değiştirme Gücü)	-	-	3-7	3-7	0,7-5	-
Fenol Adsorplama (1 mg Fenol/L Çözeltide % Fenol/g Karbon)	-	2	2-5	2-5	1-3	-
Metilen Mavisi Testi (100 g Karbon kullanılarak 5 dakikada tamamen renksizleştirilebilen %0,15'lik metilen mavisi çözeltisi hacmi)	4-10	4-20	4-8	4-8	4-40	-

2.7.2. Sıvı faz uygulamaları

Yeryüzündeki su kaynakları kısıtlı olduğundan, suyun insan hayatındaki önemi çok büyüktür. Bu nedenle, kullanılmış suların tekrar kullanımı söz konusu olmaktadır. Su arıtımının temel amacı , insanların kullanımı için kimyasal ve bakteriyolojik açıdan temiz suyun elde edilmesidir. Eğer atık suların verildikleri kaynaklardan, daha sonraları endüstriyel ve içme suları sağlanıyor ise, son derece dikkatli ve hassas olmak gerekmektedir. Başta ilaç ve gıda sanayileri olmak üzere, tüm sanayi suları ve özellikle de içme suları berrak, kokusuz, lezzetli olmalı ve sağlığa zarar verecek organizmalardan, metal iyonlarından arındırılmış olmalıdır.

Suya istenilen özellikleri verebilmek amacıyla, atık suların en ileri yöntemlerle arıtılarak doğaya verilmesi gerekmektedir. Atık sular, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtmaya tabi tutulmaktadır. Bu işlemlerden biri, birkaçı veya hepsi birden uygulanabilmektedir.

Atık sular, arıtma teknolojisi açısından;

- Ön arıtma
- Birincil arıtma,
- İkincil arıtma,
- İleri arıtma aşamalarından geçirilmelidir.

Ön arıtma, birincil ve ikincil arıtma aşamalarından geçmiş , ancak yine de istenilen özelliklere sahip olmayan suların arıtımında tersiyer arıtma ünitelerine gerek duyulur. Bu aşamada karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi, azot, fosfat giderilmesi, dezenfeksiyon işlemleri ve membran süreçleri kullanılır.

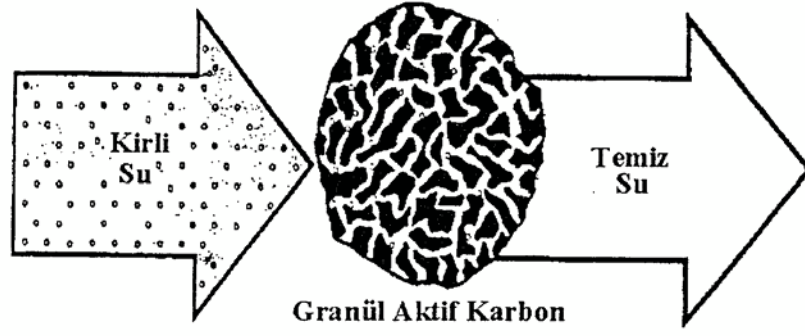
Endüstriyel atıkların pek çoğu bugün için bilinen ve uygulanan biyolojik arıtma yöntemleri ile giderilemeyecek kadar düşük derişimlerde organik madde

içermektedir. Suda çözünmüş ve değişik kökenli organik veya inorganik atık maddelerin giderilmesi için en uygun yöntemlerden bir tanesi adsorpsiyondur.

Su ve atık suda çözünmüş halde bulunan ve biyolojik çürüme olasılığı az olan çeşitli kokulu, doğal veya yapay organik hidrokarbonlu maddeler, soğurgan ve adsorplanan arasındaki elektrostatik ve yüzey aktif güçlerin sayesinde, soğurgan ara yüzeyinde birikmektedir. Soğurgan madde olarak en yaygın olarak kullanılan madde, aktif karbondur. Sıvı faz adsorpsiyonunda kullanılan aktif karbonlar tanecikli, toz veya şekilli formlarda olabilmektedir (Bölüm 2.7 Aktif Karbonun Sınıflandırılması). Toz haldeki aktif karbonlar 0,18 mm'den küçük boyutlarda, tanecikli veya ekilli aktif karbonlarda parçacık boyu 0,2 – 5,0 mm arasındaki boyutlardadır (Kroschwitz, 1992). Sıvı faz uygulamaları için üretilen aktif karbonların %60' ı toz formundaki aktif karbonlardan oluşmaktadır (Grayson, 1978).

Tanecikli ve şekilli aktif karbonlar genellikle sıvının sabit bir yataktan geçirildiği sürekli sistemlerde kullanılmaktadır. Bileşikler, adsorpsiyon bölgesindeki karbon yatak tarafından soğurulur. Yatakta bulunan karbon soğurganlarla doymun hale geldiğinde, adsorpsiyon bölgesi akış yönünde ilerler. Süreç, kolondaki tüm aktif karbonlar doymun hale gelene kadar devam eder. Bu sistemde normal şartlarda en az iki kolon seri halde kullanılmaktadır. İlk kolon doymun hale geldiğinde servis dışı kalır ve serinin sonuna taze karbon içeren kolon ilave edilir (Kroschwitz, 1992).

Toz aktif karbonun en çok karıştırma tanklarının kullanıldığı sistemlerde uygulama alanı bulmaktadır. Kullanılan karbonun tipi, değme zamanı ve karbon miktarı, istenilen saflaştırma miktarına göre değişim göstermektedir. Bu sistemlerde karbon, sistemden filtrasyon veya çökeltme yoluyla ayrışmaktadır (Kroschwitz, 1992). Aktif karbonların sıvı faz uygulamalarında kullanımına örnek olarak atık su saflaştırma mekanizması şekil 2.5'te verilmiştir (Berger, 1987).



Şekil 2.5. Atık su saflaştırma mekanizması (Berger, 1987).

Adsorpsiyon (su, atık su saflaştırma) işlemi, su arıtımında; çözülmüş halde, tat ve kokuya sebep veren klorlu – hidrokarbon bileşikleri ve bazı ağır metallerin giderimi ve son zamanlarda, atık su arıtımında çürümeyen biyolojik atıkların, yüzey aktif maddelerin, tarım ilaçları ve bazı zehirli metal iyonları gibi atıkların giderimi için uygulanmaktadır (Gür, 1994).

Adsorpsiyonun pratik uygulama alanları ; içme suyun arıtımı , yer altı suyu iyileştirmeleri, sanayi ve evsel atık su arıtımı, deterjan, gıda, meşrubat, fenol, petrokimya, hidrokimya, hidroksil türevleri ve klorlu hidrokarbonlu atık sular vb. olarak verilebilir (Hassler, 1967).

Çizelge 2.4. Aktif karbonun sıvı faz uygulamaları (Hassler, 1967)

ENDÜSTRİ	TANIMI	TİPİK KULLANIMI
İçilebilir Su işlemleri	Tanecikli aktif karbon filtreleri kullanılır.	Organik bileşiklerin uzaklaştırılması , kötü koku ve tadın
Alkolsüz içecekler	İçilebilir su işlemleri, klor ile sterilizasyon	Organik bileşiklerin uzaklaştırılması ve klorun giderilmesi
Altının Geri Kazanımı	Cevher özütleme (leaching) işlemleri	Sodyum siyanürde çözülmüş altının geri kazanımı
Petrokimya	Kullanılan buharın temizlenmesi	Yağ ve hidrokarbonların uzaklaştırılması
Yer Altı Suları	Yeralt sularındaki istenmeyen maddelerin uzaklaştırılması	Kloroform, tetrakloroetilen ve trikloroetan içeren adsorplanabilir organik halojenlerin ve toplam organik halojenlerin azaltılması
Endüstriyel Atık Sular	İşlemler sırasında açığa çıkan suların çevre için uygun hale getirilmesi	Biyolojik oksijen içeriğinin, kimyasal oksijen içeriğinin ve toplam organik halojenlerin azaltılması
Yüzme Havuzlar	Organik içeriklerin uzaklaştırılması için ozon enjektisi	Kloramin seviyesinin kontrolü ve kalan ozonun uzaklaştırılması
Yarı İletkenler	Yüksek saflıkta su	Toplam organik karbonun azaltılması
Alkoller	İçilebilir su işlemleri	Fenol ve trihalometanların uzaklaştırılması

2.8. Aktif Karbonun Tarihçesi

Eski çağlarda karbon sadece yakıt olarak değil farklı amaçlar için de kullanılmıştır. Mısır papirüslerinde karbonun tıbbi amaçlarla kullanıldığına rastlanmıştır (MÖ 1500). Hipokrates zamanında, odun “char”lar çeşitli hastalıklar için kullanılmıştır. Eski Hintliler içme sularını kok kömüründen geçirip filtre etmişlerdir (McDouGall, 1991).

Japonya’da MS 13. yüzyılda Kashiwara Jingu, Nara’da inşa edilmiş eski bir türbenin içerisinde kok kömürü filtresi kullanılan bir kuyu bulunmuştur.(Stavitskaya, 2000).

1773’te, Scheele tarafından aktif karbonun gaz adsorpsiyon özelliği keşfedilmiştir. 1785’te Lowitz, odun kömürünün birçok sıvıların rengini giderme özelliği olduğunu gözlemlemiştir. 1808’de, şeker pancarı ve şeker kamışı endüstrilerinde hammaddesi kemik olan aktif karbon kullanılarak ağartma işlemi gerçekleştirilmiştir.

İlk uygulamalarda, toz halindeki kemik karbonları bir kullanımdan sonra atılmaktaydı, fakat daha sonra bu kullanılan karbonların tekrar kullanılabilceği saptanmıştır. 1828 yılında granül halindeki kemik karbonlar geliştirilmiş. Günümüzde şeker kamışı endüstrisinde renk giderme işleminde halen aktif karbon kullanılmaktadır.

19. yüzyılda, farklı hammaddelerden, ağartma özelliğine sahip aktif karbonların üretimi konusunda çalışmalar yapılmıştır. 1822’de, Bussy, kemik karbonlarının (yalnızca yüzde 10 oranında **karbon** içeren **kemik** kömürüdür) kandaki potasyum bileşikleri (potasyum hidrat, potasyum karbonat vb.) ile birlikte ısıtılması durumunda ağartma gücünün 30 kat arttığını tespit etmiştir. Laboratuvarında hazırlanan kan kömürleri modern anlamdaki aktif karbonunun ilk örnekleridir (Hassler, 1967).

Avrupa’da odun kömürü ve daha sonra kok kömürü, şeker pancarını

rafine etmek için kullanılmıştır. Bu işlem Napolyon zamanında Avrupa Kıtasına karşı ambargo nedeni ile Fransa’da başlatılmıştır (Stavitskaya, 2000).

Klorür çözeltilisinden altının adsorpsiyonunda aktif karbon kullanımı ilk olarak 1847 yılında gerçekleşmiştir. Davis bu fikirden yola çıkarak 1880 yılında klorürlü çözeltiliden altının alınması işleminde odun kömürünü kullanmıştır. Bu yöntem, Avustralya’da yaygın olarak kullanılmaktadır (McDouGall, 1991).

1865’te Hunter, Hindistan cevizi kömürlerinin gaz adsorpsiyon kapasitesinin oldukça yüksek olduğunu saptamıştır. Hindistan cevizi kömürlerinin o zamana kadar geliştirilen kömürlere göre daha iyi özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Stenhouse 1856’da, un, katran ve magnezyum karbonat karışımını ısıtarak ağartıcı char; Lee 1863’te, turbay, hava ve buhar ile ısıtarak, koku giderici özelliğe sahip aktif karbon hazırlamışlardır. Fakat bu ürünlerin ticari boyutta üretimleri olmamıştır (Hassler, 1967). 1894 yılında Johnson, siyanür çözeltilisinden altın eldesinde odun kok kömürünün kullanılması patentini almıştır (McDouGall, 1991).

1900 ve 1901’de Ostrejko, modern ticari aktif karbonun patentini almıştır. Bu süreçte, bitkisel kaynaklı maddeler metal klorürle karıştırılıp uygun sıcaklıkta karbonize edilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada, bitkisel odun CO₂ gazı atmosferinde yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak aktive edilmiştir(Hassler, 1967).

İlk ticari toz aktif karbon, Eponit, 1909’da Ostrejko’un patenti kullanılarak odun ile hazırlanmıştır. Norit, 1911 yılında şeker endüstrisinde kullanılan aktif karbonu Hollanda’da üretmiştir. Amerika’da ilk aktif karbon üretimi soda kağıt hamuru (pulp) üretiminde açığa çıkan atık ürün olan siyah külün değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarla gerçekleştirilmiştir. Siyah kül fabrikalarda pigment olarak kullanılmaktaydı. Fabrikadaki bir çalışan tesadüfen siyah külün ağartma özelliğini fark etmiştir. Günümüzde bu ürün “Filtchar” olarak bilinmektedir. Bu ürünün özelliklerinin her parti üretimi esnasında değişiklik göstermesi, istikrarlı bir ürün kalitesi göstermemesi nedeniyle bu ürünün

pazarlanmasında güçlüklerle karşılaşmıştır. Geliştirilen yeni metotlar ile Filtchar'ın özellikleri eskiye göre daha iyi karakterize edilmeye ve tüketim için daha üniform özellikler gösteren aktif karbonlar üretilmeye başlanmıştır(Hassler, 1967).

1915'te I. Dünya Savaşı sırasında Almanlar klor gazını silah olarak kullanmışlardır. Bu gaz insanların nefes almalarını engelleyip, boğulmalarına sebep olmaktadır. Rüzgarla dağılan bu gaza karşı her iki taraf da korunma yolunu bilmiyordu. Bu durum, zaman zaman Alman askerlerinin de ölmesine neden olmaktadır. Almanların bu gaza karşı korunmak için aktif karbon içeren gaz maskeleri kullanmaya başlaması, aktif karbonunu ilk olarak savunma amaçlı kullanımını gündeme getirmiştir.

Aktif karbonun en önemli uygulama alanı sudan tat, koku, renk verici ve istenmeyen organik kirliliklerin uzaklaştırılması işlemidir. Birçok ecza ve kimya ürünlerinin saflaştırılmasında gaz faz uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda aktif karbonunu hidrometalurji alanında altın, gümüş ve molibdenin geri kazanımındaki uygulamalar giderek artmaktadır. Günümüzde aktif karbonlar doğrudan veya dolaylı yollarla da olsa gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir (Hassler, 1967).

Hidrometalurji: Cevherler, cevher konsantreleri ve diğer malzemelerden yaş yöntemle metallerin geri kazanılması

Turbay: Gelişmesini tamamlamamış olan (bitki, hayvan).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada pamuk sapından ve mısır sapından kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kimyasal madde türü, bekleme süresi ve aktivasyon sıcaklıklarının verime etkisi incelenmiştir. Elde edilen aktif karbonların verim oranları hesaplanmıştır.

3.1. Kullanılan Hammadde ve Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılan pamuk sapı ve mısır sapı atıkları Şanlıurfa'nın Harran bölgesinden temin edilmiştir.

- Pamuk ve Mısır sapı uygun parçacıklar haline getirildi.
- Yıkayıp etüvde kurutulan hammaddeler 5'er gr şeklinde paketlenildi.
- Hammaddeler KOH , H₂SO₄ , HNO₃ ve ZnCl₂ ile kimyasal aktivasyona tabi tutuldu.
- Elde edilen karışım 40 °C , 50 °C ve 60 °C sıcaklıktaki etüvlerde 24 ,48 ve 72 saatlik periyotlarda bekletildi.
- Etüvden çıkarılan karışımlar süzöldü.
- Süzölerek sıvıdan ayrılan katı hammadde 600 °C , 700 °C ve 800 °C ' deki fırında yakıldı.
- Yakma sonucunda elde edilen ürün tartılarak verim hesaplamaları yapıldı.

3.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar

Kimyasal aktivasyon işlemlerinde KOH , ZnCl₂ , HNO₃ ve H₂SO₄ kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda; aktivasyon işlemleri için Protherm fırın ve etüv kullanılmıştır.

Ayrıca çalışma esnasında kullanılan laboratuvar malzemeleri aşağıda listelenmiştir.

- Yüzey alanı ölçme cihazı



Şekli 3.1 Yüzey alanı ölçümünde kullanılan cihaz

- Protherm marka fırın
- Kromdan yapılmış dört hazneli reaktör
- Çeşitli büyüklüklerde beherler
- H₂SO₄ (%95-98), HNO₃ (% 55) , ZnCl₂ (%50) ve KOH (% 50)
- Hammadde olarak pamuk sapı ve mısır sapı
- Süzgeç kağıdı

- Saklama kapları
- Terazî
- CO₂ gazı

3.3. Aktif Karbon Üretimi

Pamuk sapı ve mısır sapı atıklarından kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Kimyasal aktivasyonda KOH, ZnCl₂, HNO₃ ve H₂SO₄ kullanılmıştır. 10 mm - 20 mm boyutundaki 5 gr pamuk sapı ve mısır sapı örneği ve kimyasal madde karışımlar 24, 48 ve 72 saat süre 40 °C, 50 °C, ve 60 °C ' deki sıcaklıklarda etüvde bekletilip emdirme sağlanmıştır. Bu süre sonunda karışım süzülerek emdirilen örnek etüde kurutulduktan sonra paketlenip kaldırılmıştır.

İkinci aşamada kimyasal madde emdirilen örnek farklı sıcaklıklarda (600 °C , 700 °C ve 800 °C) karbondioksit gazı ortamında karbonizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ürünün miktar ölçümü yapılarak verim hesaplama sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra Bu çalışmada elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanları, N₂ BET yüzey alanı ölçer cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 3.1)

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde farklı kimyasal maddeler kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

4.1 ZnCl₂ Kullanılarak 5 gr ‘lık Pamuk Sapından Elde Edilen Aktif Karbonların Verim Analizi

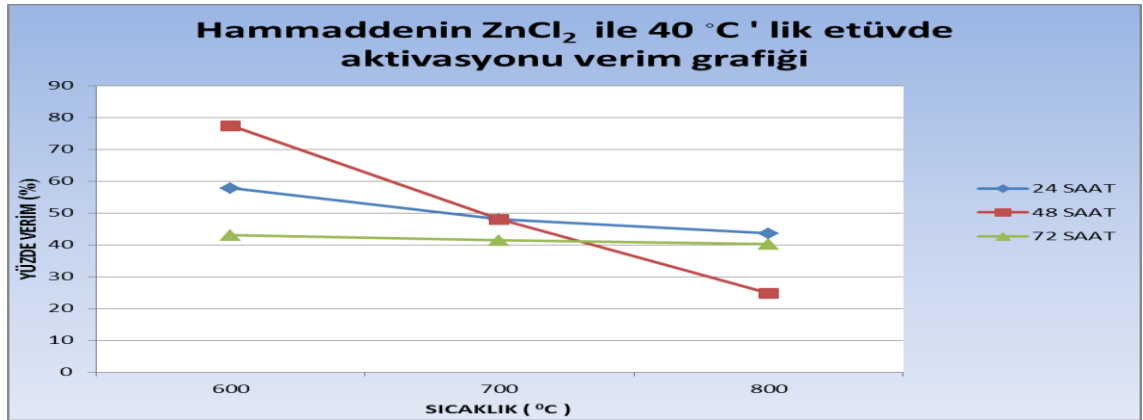
ZnCl₂ kullanılarak farklı bekleme süreleri ve karbonizasyon sıcaklıklarında pamuk sapından elde edilen aktif karbonların verim analiz sonuçları aşağıdaki çizelge ve şekillerde gösterilmiştir.

4.1.1 ZnCl₂ ile 40 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.1. Hammaddenin ZnCl₂ ile 40 °C lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	2,89 gr	57,80%	3,87 gr	77,40%	2,15 gr	43%
700 °C	2,4 gr	48%	2,4 gr	48%	2,07 gr	41,40%
800 °C	2,18 gr	24,80%	1,24 gr	24,80%	2,01 gr	40,20%

ZnCl₂ 40 °C etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



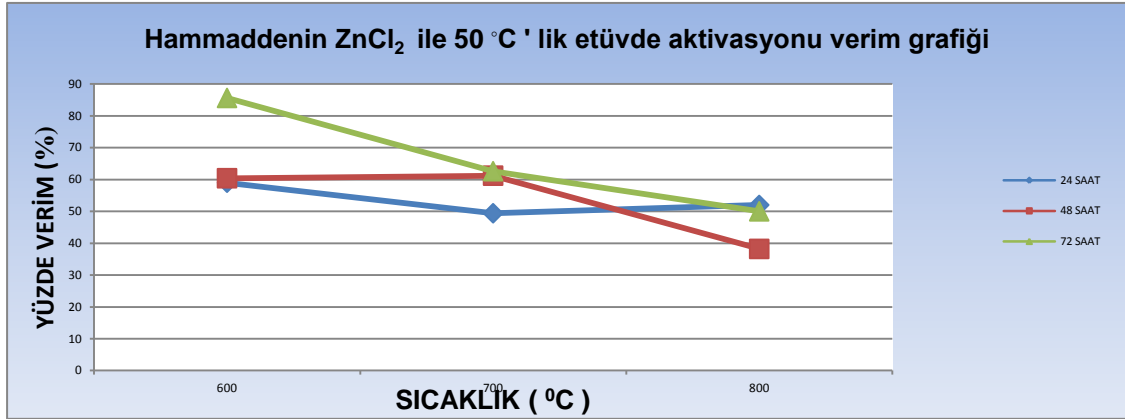
Şekil 4.1. 5 gr ' lık numunenin ZnCl₂ ile 40 °C lik etüvde 24, 48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C , 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

4.1.2 ZnCl₂ ile 50 °C'lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.2. Hammaddenin ZnCl₂ ile 50 °C'lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700°C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAKLIĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	2,95 gr	59%	3,02 gr	60,40%	4,28 gr	85,60%
700 °C	2,47 gr	49,40%	3,06 gr	61,20%	3,13 gr	62,60%
800 °C	2,6 gr	52%	1,91 gr	38,20%	2,5 gr	50,00%

ZnCl₂ ile 50 °C 'lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



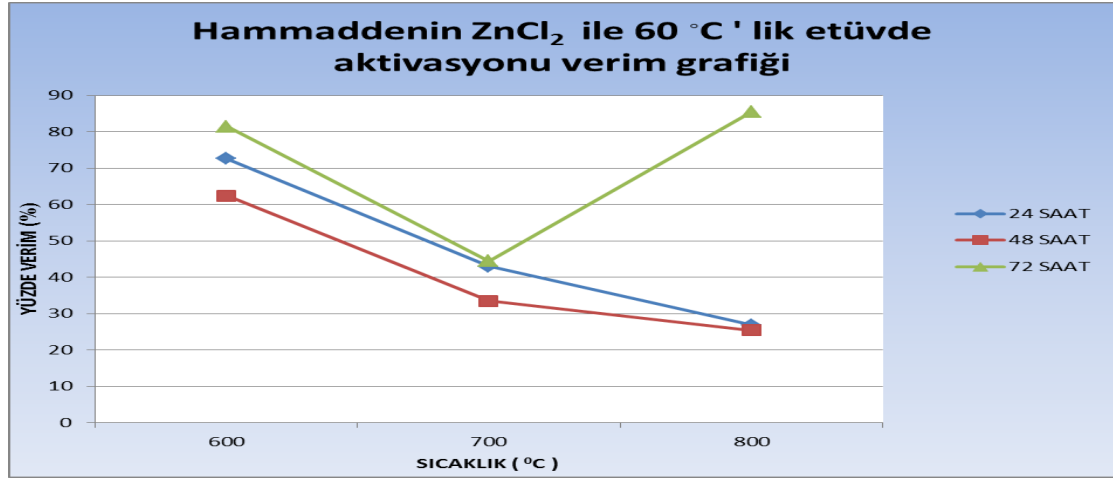
Şekil.4.2. 5 gr ' lık numunenin ZnCl₂ ile 50 °C lik etüvde 24,48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C , 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

4.1.3. ZnCl₂ ile 60 °C 'lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.3.. Hammaddenin ZnCl₂ ile 60 °C lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAKLIĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	3,63 gr	72,60%	3,12 gr	62,40%	4,07 gr	81,40%
700 °C	2,15 gr	43,00%	1,67 gr	33,40%	2,22 gr	44,44%
800 °C	1,34 gr	26,80%	1,27 gr	25,40%	4,27 gr	85,40%

ZnCl₂ ile 60 °C 'lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



Şekil 4.3. 5 gr 'lık numunenin ZnCl₂ ile 60 °C lik etüvde 24,48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C , 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

4.2 HNO₃ Kullanılarak 5 gr 'lık Pamuk Sapından Elde Edilen Aktif Karbonların Verim Analizi

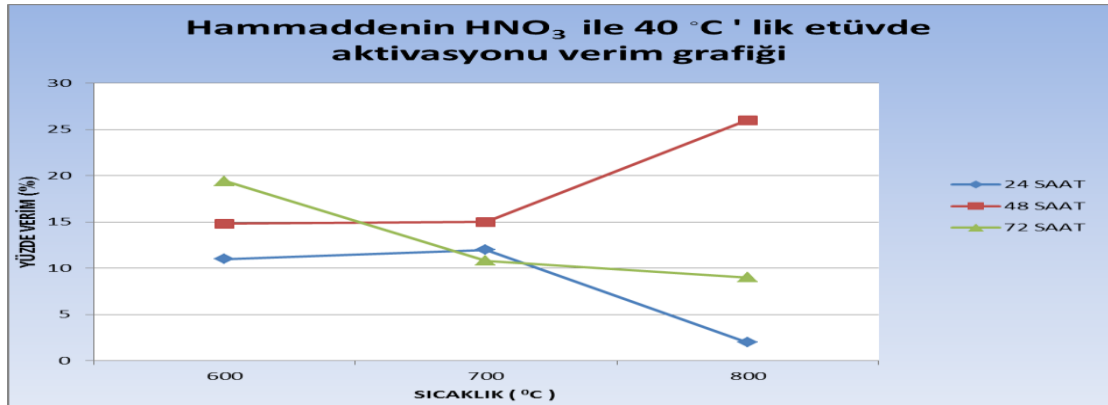
HNO₃ kullanılarak farklı bekleme süreleri ve karbonizasyon sıcaklıklarında pamuk sapından elde edilen aktif karbonların verim analiz sonuçları aşağıdaki çizelge ve şekillerde gösterilmiştir.

4.2.1 HNO₃ ile 40 °C' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.4. Hammaddenin HNO₃ ile 40 °C lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAKLIĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	0,55 gr	11,00%	0,74 gr	14,80%	0,97 gr	19,40%
700 °C	0,6 gr	12,00%	0,75 gr	15,00%	0,54 gr	10,80%
800 °C	0,1 gr	2,00%	1,3 gr	26,00%	0,45 gr	9,00%

HNO₃ ile 40 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



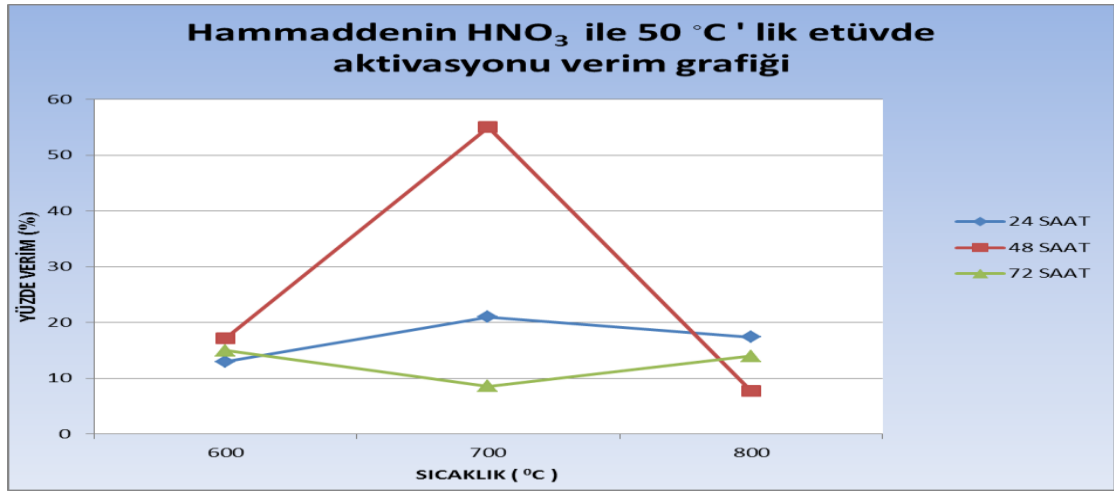
Şekil 4.4. 5 gr ' lık numunenin HNO₃ ile 40 °C lik etüvde 24, 48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C , 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

4.2.2 HNO₃ ile 50 °C' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.5. Hammaddenin HNO₃ ile 50 °C lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAKLIĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	0,65 gr	13,00%	0,86 gr	17,20%	0,75 gr	15,00%
700 °C	1,05 gr	21,00%	2,75 gr	55,00%	0,43 gr	8,60%
800 °C	0,87 gr	17,40%	0,39 gr	7,80%	0,7 gr	14,00%

HNO₃ ile 50 °C' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



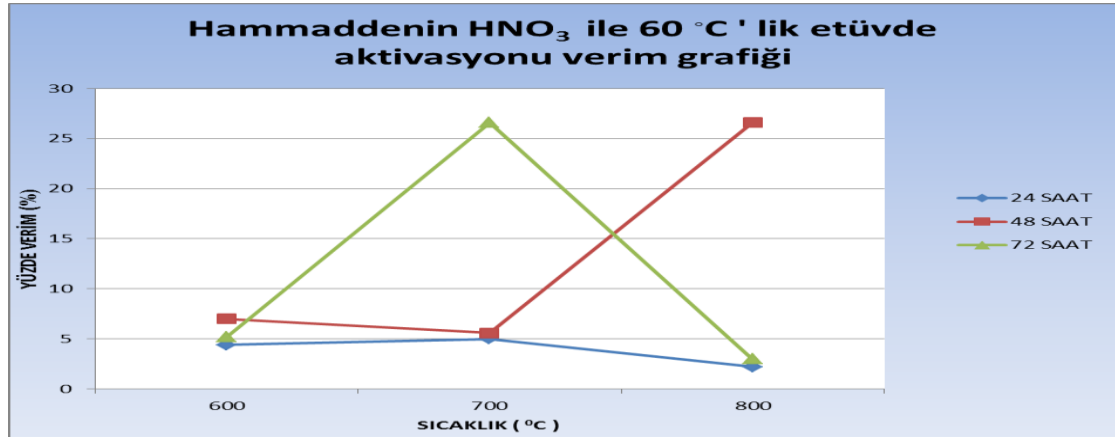
Şekil 4.5. 5 gr ' lık numunenin HNO₃ ile 50 °C lik etüvde 24, 48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C , 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

4.2.3 HNO₃ ile 60 °C lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.6.) Hammaddenin HNO₃ ile 60 °C lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	0,22 gr	4,40%	0,35 gr	7,00%	0,26 gr	5,20%
700 °C	0,25 gr	5,00%	0,28 gr	5,60%	1,33 gr	26,60%
800 °C	0,11 gr	2,20%	1,33 gr	26,60%	0,15 gr	3,00%

HNO₃ ile 60 °C' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



Şekil 4.6. 5 gr 'lık numunenin HNO₃ ile 60 °C lik etüvde 24, 48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C , 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

4.3 H₂SO₄ Kullanılarak 5 gr 'lık Pamuk Sapından Elde Edilen Aktif

Karbonların Verim Analizi

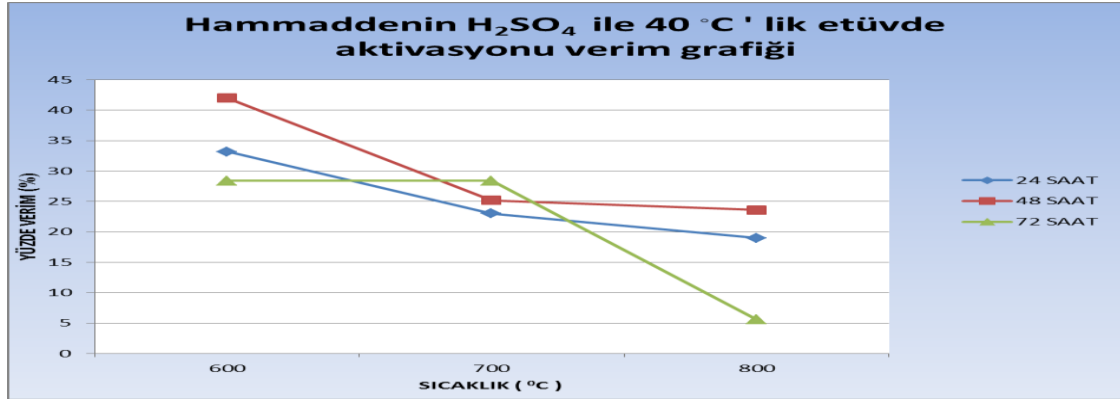
H₂SO₄ kullanılarak farklı bekleme süreleri ve karbonizasyon sıcaklıklarında pamuk sapından elde edilen aktif karbonların verim analiz sonuçları aşağıdaki çizelge ve şekillerde gösterilmiştir.

4.3.1 H₂SO₄ ile 40 °C' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.7. Hammaddenin H₂SO₄ ile 40 °C lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAKLIĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	1,66 gr	33,20%	2,1 gr	42,00%	1,42 gr	28,40%
700 °C	1,15 gr	23,00%	1,26 gr	25,20%	1,42 gr	28,40%
800 °C	0,95 gr	19,00%	1,18 gr	23,60%	0,28 gr	5,60%

H₂SO₄ ile 40 °C ' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



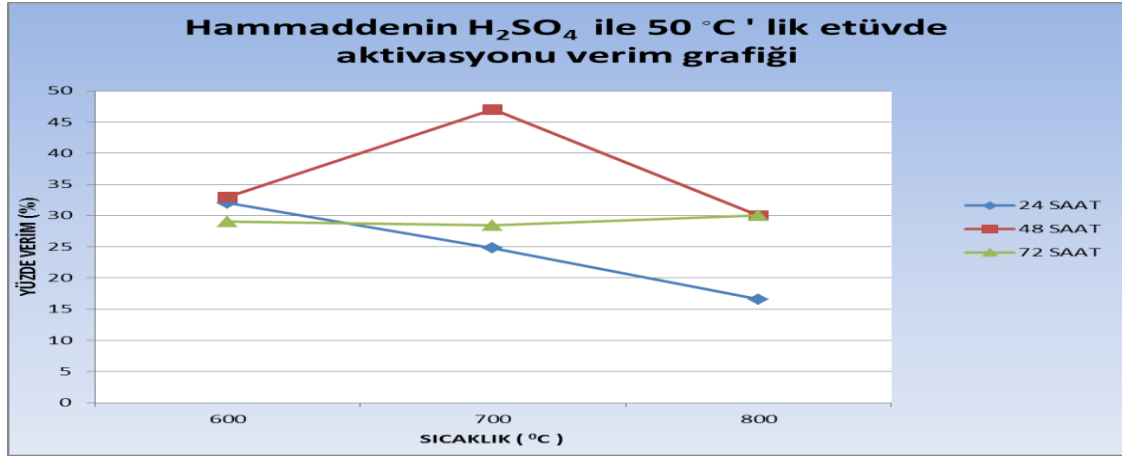
Şekil 4.7. 5 gr ' lık numunenin H₂SO₄ ile 40 °C lik etüvde 24, 48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

4.3.2 H₂SO₄ ile 50 °C ' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.8. Hammaddenin H₂SO₄ ile 50 °C lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAKLIĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	1,6 gr	32,00%	1,65 gr	33,00%	1,45 gr	29,00%
700 °C	1,24 gr	24,80%	2,35 gr	47,00%	1,25 gr	28,40%
800 °C	0,83 gr	16,60%	1,87 gr	30,00%	1,5 gr	30,00%

H₂SO₄ ile 50 °C ' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



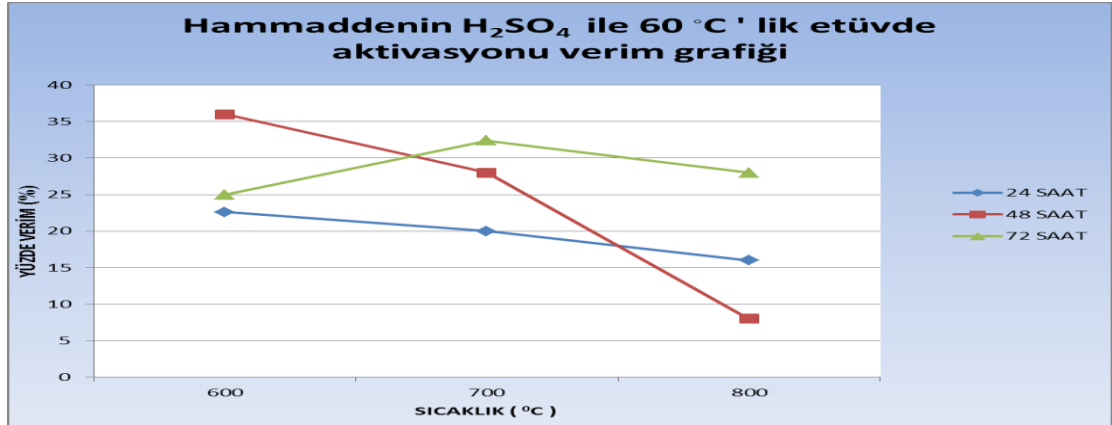
Şekil 4.8. 5 gr ' lık numunenin H₂SO₄ ile 50 °C lik etüvde 24, 48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

4.3.3 H₂SO₄ ile 60°C ' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz çizelgesi

Çizelge 4.9. Hammaddenin H₂SO₄ ile 60 °C lik etüvde 24 , 48 ve 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAKLIĞI	ETÜVDE BEKLEME SÜRESİ					
	24 SAAT		48 SAAT		72 SAAT	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	1,13	22,60%	1,8	36,00%	1,25	25,00%
700 °C	1	20,00%	1,4	28,00%	1,62	32,40%
800 °C	0,8	16,00%	0,4	8,00%	1,4	28,00%

H₂SO₄ ile 60°C' lik etüvde bekletilerek elde edilen ürün verim analiz grafiği



Şekil 4.9. 5 gr ' lık numunenin H₂SO₄ ile 60 °C lik etüvde 24,48 ve 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

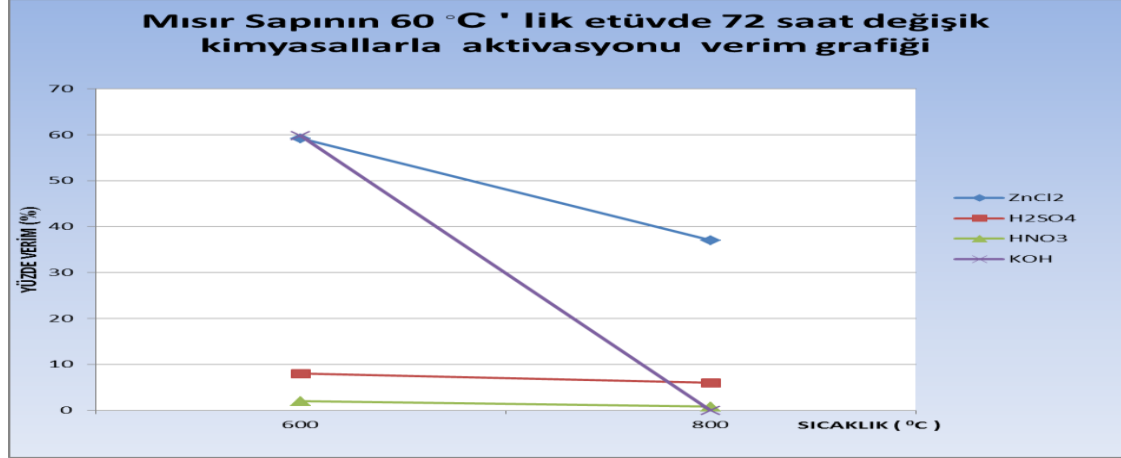
4.4 ZnCl₂ , H₂SO₄ , HNO₃ ve KOH Kullanılarak 5 gr ' lık Mısır Sapından Elde Edilen Aktif Karbonların Verim Analizi

ZnCl₂ , H₂SO₄ , HNO₃ ve KOH kullanılarak 72 saat emdirme süresi ve farklı karbonizasyon sıcaklıklarında mısır sapından elde edilen aktif karbonların verim analiz sonuçları aşağıdaki çizelge ve şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Hammaddenin ZnCl₂ , H₂SO₄ , HNO₃ ve KOH ile 60 °C lik etüvde 72 saat süre ile aktivasyonunda elde edilen ürünün 30 dk süre ile değişik sıcaklıklarda (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim değerleri tablosu

FIRIN SICAKLIĞI	KULLANILAN KİMYASAL MADDELER							
	ZnCl ₂		H ₂ SO ₄		HNO ₃		KOH	
	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM	MİKTAR	% VERİM
600 °C	2,96 gr	59,20%	0,4 gr	8,00%	0,1 gr	2,00%	2,99 gr	59,80%
800 °C	1,85 gr	37,00%	0,3 gr	6,00%	0,04 gr	0,80%	0 gr	0,00%

ZnCl₂ , H₂SO₄ , HNO₃ ve KOH Kullanılarak 5 gr ' lık Mısır Sapından Elde Edilen Aktif Karbonların Verim Grafiği



Şekil 4.10. 5 gr ' lık numunenin ZnCl₂ , H₂SO₄ , HNO₃ ve KOH ile 60 °C lik etüvde 72 saat bekletildikten sonra değişik sıcaklıklarda (600 °C ve 800 °C) karbonizasyonu sonucunda elde edilen ürünün verim grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sonuç olarak kimyasal aktivasyon yöntemi ile pamuk ve mısır sapından yüksek verime sahip aktif karbonlar üretilerek, tarımsal atıkların etkin bir şekilde değerlendirilmesi yolu açılmıştır.

5.1. Sonuçlar

Pamuk ve Mısır sapından farklı koşullarda aktif karbon üretiminin gerçekleştirildiği ve üretilen aktif karbonun verim analizinin yapıldığı bu çalışmada, aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir:

- 1) Üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen (600 °C, 700 °C ve 800 °C) karbonizasyon ve aktivasyon deneylerinin sonucunda; sıcaklığın artması ile, katı ürün veriminin düştüğü saptanmıştır.
- 2) Karbonizasyon ve aktivasyon deneylerinde incelenen diğer bir değişken de emdirme sıcaklığıdır. 40°C, 50°C ve 60°C emdirme sıcaklıklarına gerçekleştirilen denemelerde, 40°C ve 50°C sıcaklıklarındaki verim analiz sonuçlarının 60°C sıcaklığındaki verim analiz sonucuna göre daha olumlu sonuçlandığı gözlenmiş olup 60°C sıcaklıktaki emdirme işleminin uygun bir emdirme sıcaklığı olmadığı saptanmıştır.
- 3) 24 saat, 48 saat ve 72 saat olmak üzere 3 farklı bekleme süresinde gerçekleştirilen karbonizasyon ve aktivasyon deneyleri neticesinde, bekleme sürelerinin verim açısından değerlendirildiğinde gözle görünür bir farklılığının olmadığı saptanmıştır.
- 4) Pamuk sapı ve Mısır sapı hammaddelerinden elde edilen aktif karbonları yüzey alanları açısından (bu değerler tablo 4.6 ve tablo 4.7 verilmiştir.) değerlendirecek olursak 60 °C ve 72 saat bekleme sürecinden sonra 800 °C yakma işlemi sonucunda elde edilen aktif karbonların yüzey alanları ölçüldüğünde en yüksek BET yüzey alanına sahip numunenin 123 m²/g yüzey alanıyla Mısır sapının H₂SO₄ kimyasalıyla emdirme yapılan numunenin sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen yüzey alanı değerleri bu alanda yapılan araştırma sonuçları ile karşılaştırıldığında düşük çıktığı görülmektedir.

60 °C ve 72 saat bekleme sürecinden sonra 600 °C sıcaklıktaki yakma işlemi sonucunda elde edilen aktif karbonların yüzey alanları ölçüldüğünde ise 234,184 m² /g yüzey alanıyla Pamuk sapının H₂SO₄ kimyasalıyla emdirme yapılan numunenin en yüksek yüzey alanına sahip olduğu görülmüştür.

5) KOH ile yapılan aktivasyonlarda K elementinin selülozik yapıdaki mevcut olan C ve O elementleri ile yüksek sıcaklıkta kararlı olan K₂CO₃ bileşimini oluşturarak aktif karbon yapıdan uzaklaştırılamaması nedeniyle ürün madde veriminin % 100 ' den daha büyük olmasına sebep olduğunu düşünmekteyiz. K₂CO₃ maddesinin erime noktası 890 °C olup bu sıcaklığın üstünde K₂CO₃ sıvılaşmadan buhar fazına geçmektedir. KOH ile aktifleştirme yapılan deneylerin başarısız deneyler olduğu görülmüştür ve deneylerin sonuçlarına tezde yer verilmemiştir.

6) KOH ile kimyasal aktivasyonu yapılan numunelerin verim analizlerinde elde edilen ürünün miktar olarak kullanılanıdan daha fazla çıkması numunenin oksitlenmesi ve yakma işleminde kullanılan reaktör maddesi ile etkileşimi olduğu düşünülmüştür.

7) Bu çalışmada kimyasal aktivasyon için ZnCl₂, HNO₃, KOH ve H₂SO₄ maddeleri kullanılmış olup en iyi verim için en uygun maddenin ZnCl₂ olduğu görülmüştür.

8) Yapılan çalışmalar sonucunda; pamuk ve mısır sapı aktif karbon üretiminde kullanılabilir potansiyel bir hammadde kaynağı olduğu tespit edilmiştir.

9) Kullanılan kimyasalların ekonomik değerlerine bakıldığında H₂SO₄ kilogram fiyatı ile en uygun kimyasal madde olarak tespit edilmiştir. En pahalı kimyasal maddenin de ZnCl₂ olarak tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

- 1) Çalışmalarda incelenecek değişken sayısının sınırlı tutulması daha hassas ölçüm ve sonuç elde edilmesine yardımcı olabilir.
- 2) Kullanılan reaktörün kimyasallarla reaksiyona girmeyecek maddelerden yapılması daha faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ADİNATA, D., DAUD, W.M.A.W.D and AROUNA, M.K., 2007. Preparation and characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with K_2CO_3 . *Bioresource Technology*, 98: 145-149.
- ALAYA, M.N., GIRGIS, B.S., and MOURAD, W.E., 2000. Activated Carbon from Some Agricultural Wastes Under Action of One-Step Steam Pyrolysis, *J. Porous Mat*, 7:509-517.
- ALCENÍZ-MONGE, J., and ILLAN-GOMEZ, M.J., 2008. Insight into hydroxides-activated coals: Chemical or physical activation?. *Journal of Colloid and Interface Science*, 318:35-41.
- ALVAREZ, P., BLANCO, C., and GRANDA, M., 2007. The adsorption of chromium (IV) from industrial wastewater by acid and base-activated lignocellulosic residues, *Journal of Hazardous Materials*, 144: 400-405.
- ÖZKAN, Z.C., 1997. Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunu Taksonlar, 2. Baskı, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 124 s.
- AYGÜN, A., 2002. yerli doğal hammaddelerden aktif karbon üretimi ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi. T.Ü., Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 65 s.
- BANSAL R.C., DONNET J.B. and STOECKLİ F., 1988. *Active Carbon*, Marcel Dekker. New York. 57 p.
- BERGER, B.B., 1987. *Control of Organic Substances in Water and Wastewater*, Park Bridge, Noyes Data Corp., N.J., USA. 125 p.
- BERKEM, A.R., BAYKUT, S. and BERKEM, M.L., 1994. *Fizikokimya, İ.Ü. İletişim Fakültesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul*. 112 s.
- BUDİNOVA T., EKİNCİ E., YARD M F., GRİMMA., BJÖRNBOM E., MİNKOVA V., and GORANNOVA M., 2006. Characterization and application of activated carbon produced by H_3PO_4 and water vapor activation, *Fuel Processing Technology*, 2:45-47.
- BUTT, J.B. and PETERSEN, E.E., 1988. *Activation, Deactivation and Poisoning of Catalysts*, Academic Pres, Inc.
- CHEREMİSİNOFF, P.N. and ELLERBUSCH F., 1978. *Carbon adsorption Handbook*, Ann Arbor Science Publisher, Inc., New York. 152 p.
- CARVALHO, A.P., GOMES, M., MESTRE, A.S., PİRES, J., and BROTAS DE CARVALHO, M., 2004. Activated carbons from cork waste by chemical activation with K_2CO_3 , Application to adsorption of natural gas components. *Letters to the Editor / Carbon*, 42: 667 – 691.
- ÇİÇEK, 1998. *Tarımsal Kaynaklı Atıklardan Aktif Karbon Üretimi*. T.Ü., Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 134 s.
- DİETZ, V.R. and BLACHLY, C.H., 1977. U.S. Patent, No:40408029 dated 1977.
- DUBİNİN, M.M., PLAVNİK G.M. and ZAVERİNA E.F., 1964. Integrated Study of the Porous Structure of activated Carbons form Carbonized Sucrose, *Carbon*, 2: 261-265.
- ERDOĞAN, S., ÖNAL, Y., AKMİL – BAŞAR, A., BİLMEZ – ERDEMOĞLU, S., SARIC – ÖZDEMİR, Ç., KÖSEOĞLU, E., and İÇDUYGU, G., 2005. Optimization of nickel adsorption from aqueous solution by using activated carbon prepared from waste apricot by chemical activation. *Applied Surface Science*, 252: 1324 – 1331.

- EL-HENDAWY, A.N.A., SAMRA, S.E., and GİRĞİS, B.S., 2001. Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs, *Colloids Surf*, 180: 209-221.
- FENNİMORE, J., and RUDER, G. SİMMONİTE, D., 1978. U.S. Patent, No: 4076892 dated 28.02.1978.
- FİERRO, V., TORNE-FERNANDEZ, V., and CELZARD, A., 2007. Methodical study of chemical activation of kraft lignin with KOH and NaOH. *Microporous and Mesoporous Materials*, 101: 419-431.
- FİERRO, V., FERNANDEZ, V.T., MONTANE, D., and CELZARD, A., 2008. Adsorption of phenol onto activated carbons having different textural and surface properties, 111: 1256-1267.
- GARTEN N.A. and WEİS D.E., 1957. the ion an electron-exchange properties of activated karbon in relation to its behavior as a catalyst and adsorbent, *Rev Pure Appl. Chem.*, 7: 69-75.
- GASPARD, S., ALTENOR, S., DAWSON, E.A., BARNES, P.A., and QUENSANGA, A., 2007. Activated carbon from vetiver roots: Gas and liquid adsorption studies, *J. Hazard. Mater*, 144: 73-81.
- GERHARTZ, W(ED.), 1986. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol.A5., 124-140. VCH, Almanyaa.
- GRAYSON, M. (Ed.), 1978. Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.4, 561-569
- GREGG, S.J., and SİNG, K.S.W., 1982. Adsorption, Surface Area and Porosity, Academic Press Inc., London, 303.
- GIRGIS, B.S., KHALİL L.B., and TAWFİK T.A.M., 2002. Porosity development in carbons derived from olive oil mill residue under steam pyrolysis, *Journal of Porous Materials*, 9: 105-113.
- GÜR N., 1994. Pestisitlerin Bentonitle Adsorpsiyonu, Bitirme Ödevi, TÜ Kimya-Metalurji Fak., İstanbul, 124 s.
- HAYASHİ, J., HORİKAWA, T., MUROYAMA, K., and GOMES, V.G., 2002. Activated carbon from chickpea husk by chemical activation with K_2CO_3 : preparation and characterization. *Microporous and Mesoporous Materials*, 55: 63 – 68.
- HAYASHİ, J., YAMAMOTO, N., HORİKAWA, T., MUROYAMA, K., and GOMEZ, V.G., 2005. Preparation and characterization of high – specific – surface – area activated carbons from K_2CO_3 – treated waste polyurethane. *Journal of Colloid and Interface Science*, 281: 437 – 443.
- HAYASHİ J.I., KAHEZYA A., MUROYANA K., and WATKİNSON A.P., 2000. Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation, *Carbon*, 38: 1873-1878.
- HAYASHİ, J., HORİKAWA, T., TAKEDA, I., MUROYAMA, K., and ANİ F.N., 2002. Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with K_2CO_3 , *Carbon*, 40: 2381-2386.
- HASSLER J., 1967. Activated Carbon, Chemical Publishing Co. Inc, Leonard Hill-London.
- KADİROVA, Z., Y.KAMESHİMA, Y., NAKAJİMA, A., and OKADA, K., 2006. Preparation and sorption properties of porous materials from refuse paper and plastic fuel(RPF). *Journal of Hazardous Materials*, B137: 358.
- KATORİ K., NAGAI, H. And SHÜK., Z., 1977. U.S. Patent, No:4045368 dated 30.08.1997.
- KOUTCHEİKO, S., MONREAL, C.M., KODAMA, H., MCCRACKEN, T., and

- KOTLYAR, L., 2007. Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermo- chemical conversion of chicken manure, *Bioresource Technology*, 98: 2459-2464.
- KROSCHWITZ, J.I.(ED), 1992.,*Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th Ed., Vol, 4: 1015-1035.
- KÜÇÜKGÜL, E.Y., 2004. Ticari aktif karbon üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6: 41-56.
- KYONATİ T., 1999. Control of poer Structure in carbon, *Carbon*, 269-286.
- LİN, Y-R.,and TENG, H., 2002. Mesoporous carbons from waste tire char and their application in wastewater discoloration, *Micropor. Mesopor. Mat.* 54: 167-174.
- LUSSIER, M.G., SHULL, J.C. and MILLER, D.J., 1994. Activated carbon from cherry stones, *Carbon*, 32: 1493-1498.
- MACÍ-AGULLO, J.A., MOORE, B.C., CAZORLA-AMOROS, D., and LÍNARES-SOLANO, A., 2004. Activation of coal tar pitch carbon fibres: Pyhsical activation vs. chemical activation. *Carbon*, 42: 1367-370.
- MACKAY, D.M. and ROBERTS, P.V., 1982. *Carbon*, 20: 95-98.
- MARSH H., 1987. Adsorption methods to study microporosity in coals and carbons- a critique, *Carbon*, 32: 49-58.
- MARSH, H., HEİNTZ, E.A. AND RODRÍGUEZ-REİNOSO, F., 1997. *Introduction to Carbon Technologies*, University of Alicante, Scretariado de Publicaciones.
- MCDUGALL, G.J., 1991. The Physical nature and manufacture of activated karbon, *Journal of The South African Institute of Mining and Matellugary*, 109-120.
- MERAMERİ N., AİOUECHE F., BELHOCİNE D, GRİP H., LOUNİCİ H., PİRON D.L., and YAHİAT Y.,2000. Preparation of activated carbon from olive mill solid residue, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 75: 625-631.
- MESTRE, A.S., PİRES, J., NOGUERÍA, J.M.F., and CARVALHO, A.P., 2007. Activated carbons for the adsorption of ibuprofen. *Carbon*, 45: 1979-1988.
- MONOLİNA-SABİO M., and RODR GUEZ-REİNOSO F., 2004. Role of chemical activation in the deveelopment of carbon porosity, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 241-250.
- NAGAI, H., KATORİ, K., SHÜKİ, Z. And AMAGİ, Y., 1975. U.S. Patent, No:3909449 dated 30.11.1975.
- NOWICKİ, P., PİETRZAK R., and WACHOWSKA, H., 2008. Siberian antracite as a precursor material for microporous activated carbons. *Fuel*, 87: 2037-2040.
- OKADA, K., YAMAMOTO, N., KAMESHİMA, Y., and YASUMORİ, A., 2003. Porous properties of activated carbons from waste newspaper prepared by chemical and phys cal activation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 262: 179 – 193.
- ÖNER, N. ve ASLAN, S., 2002. Titrek Kavak (*Populus tremula L.*) Odununun Teknolojik Özellikleri ve Kullanım Yerleri, *S.D.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 1, Isparta, 135-146.
- PATRİCK, P.J.W.(Ed.), 1995. *Prorsity in Carbons*, EDWARD ARNOLD, 209-253, Great Britain.
- PİCCİONE, S. And URBANİC, J.E., 1966. US Patent, No:32944572227dated

- 12.1966.
- ROUQUEROL, J., AVNİR, D., FAİR BRİDGE, C.W., EVERETT, D.H., HAYNES J.H., PERNİCONE, N., RAMSEY, J. D.F., SİNG, K. S., and UNGER, K.K., 1994. Recommendations for the Characterization of Porous Solids, technical paper, *Pure & Applied Chemistry*, 66:1739-1758.
- ROY, G.M., 1995. Activated Karbon Applications In The Food And Pharmaceutical Industries, Lancaster, Technomic Pub.
- STAVİTSKAYA, S.S., 2000. Catalytical properties of active carbon and the mean factors determining them, 1st Carbon Confeence on Carbon Vol. II, Berlin-Germany.
- STERP, K., WİRTH, H., ROTTİNGER, G. And HOHMANN, V., 1978. U.S. Patent 4, No:07528221 dated 02.1978.
- SİNG, K.S.W., EVERET, D.H. 1987. T. *Pure Appl. Chem*, 27-603.
- SMİSEK, M. CERNY, S., 1970. Active Carbon Manufacture, Properties and Aplication, Elsevier Publishing Company, Amsterdam-London-Ner York.
- STAVROPOULOS, G.G., and ZABANIOTOU, A.A., 2005. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue, *Micropor. Mesopor. Mater.* 82:79-85.
- SUDARYANTO, Y., HARTONO, S.B., IRAWATY, H., HİNDARSO, H., and ISMADJİ, S., 2006. High surface area activated carbon prepared from cassava peel by chemical activation, *Bioresource Technol.*, 97: 734-739.
- SUZUKİ, M., 1989. *Adsorption Engineering*, Elsevier Sience Publishing Compny Inc. SUZUKİ, M., 1990. *Adsorption Engineering*, Elsevier, Tokyo.
- TSENG R.L., 2007. Pyhsical and chemical properties and adsorption type of activated carbon prepared from plum kernels by NaOH activation, 147: 1020-1027.
- URBANİC, J.E. and SUTT, R. F., 1973. U.S. Patent, No: 396244111 dated 1973.
- WEBB, P.A. ORR, C. 1997. *Analytical Methods in Fine Particle Technology*, Micromeritics Ins. Corp., USA.
- WU, F.C., and TSENG, R.L., 2008. High adsorption capacity NaOH-activated carbon for dye removal form aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 152: 1256-1267.
- YALTIRIK, F., 1993. *Dendroloji Ders Kitab II Angiospermae (Kapal Tohumlular)*, Bölüm I, 2. Baskı, İstanbul.
- YANG, T.Y., 2003. *Adsorbent: Fundamnetals and Aplications*, A. Jhon Wilwy&Sons Inc Publications, New Jersey.
- ZHANG, T., WALAWENDER, W.P., FAN, L.T., FAN, M., DAUGAARD, D., and BROWN, R.C., 2004. Preparation of activated carbon from forest and agricultural residues through CO2 activation, *Chem. Eng. J.* 105: 53-59.
- ZALL, D.M., 1975. U.S. Patent, No: 3874518 dated 04.1975.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Diyarbakır' ın Çermik ilçesinde dünyaya geldi. İlk ve Orta Öğrenimini Çermik'te tamamladı. 1995-1996 eğitim öğretim yılında Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği Bölümüne yerleşti. 2000 yılında mezun olup aynı yıl Milli Eğitim Bakanlığında öğretmen olarak göreve başladı. Halen Milli Eğitim Bakanlığına bağlı bir kurumda Kimya Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

ÖZET

Aktif karbon; yüksek karbon içeriğine sahip maddelere uygulanan aktivasyon süreci ile iç yüzey alanı ve gözenek hacmi oldukça geliştirilmiş adsorbent malzeme olarak tanımlanabilmektedir. Büyük yüzey alanı, yüksek yüzey reaktivitesi, büyük gözenek hacmi ve uygun gözenek dağılımı aktif karbonda aranılan özelliklerdir. Bu çalışmanın amacı, ülkemizde yaygın olarak bulunan mısır sapı ve pamuk sapının artıklarından kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretilmesidir. Kimyasal aktivasyonda kimyasal madde türü, emdirme oranı ve aktivasyon sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Kimyasal aktivasyon aracı olarak $ZnCl_2$, KOH , H_2SO_4 ve HNO_3 kullanılmıştır. Yapılan aktivasyonda karbonizasyon sıcaklıkları $600\text{ }^{\circ}C$, $700\text{ }^{\circ}C$ ve $800\text{ }^{\circ}C$ olarak uygulanmıştır.

Bu çalışmada, Pamuk sapından aktif karbon üretimi, karbonizasyon ve aktivasyon kademeleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Karbonizasyon prosesinde; inert ortam CO_2 kullanılmış; etüvde bekleme süresi ve farklı kimyasal ortamlarının etkisi incelenmiştir. Farklı yakma sıcaklıkları ve farklı aktive edici maddelerin aktif karbon üretiminde verime etkisi incelenmiştir.

SUMMARY

Activated carbon is defined as an absorbent substance that its inner surface and pinhole volume are developed considerably with the process of activation applied for substances that are contented high carbon. The characteristics of activated carbon are big surface area, high surface reactivity, big pinhole volume and suitable pinhole distribution. The purpose of this study is the production of activated carbon with the chemical activation method by using the wastes of corn and cotton stem that are widely found in our country. Chemical substance type, absorption rate and the effect of the activation temperature are analysed in the chemical activation. ZnCl_2 , KOH , H_2SO_4 and HNO_3 are used as chemical activation instruments. $600\text{ }^\circ\text{C}$, $700\text{ }^\circ\text{C}$ and $800\text{ }^\circ\text{C}$ are applied as carbonization temperatures in the activation.

In this study, the production of activated carbon from cotton and corn stem was carried out in two stages including carbonization and activation. In carbonization process, an inert atmosphere of CO_2 was used; waiting period in sterilizer and the effect of different chemical environments to the output were analysed. When the results are examined, ZnCl_2 was detected as the most suitable substance that could be used and different temperatures that applied had no clear effect on the production of activated carbon.