

Kestane kabuğundan aktif karbon üretimi: sıcaklık ve fosforik asit etkisi

Activated carbon production from chestnut shell: temperature and phosphoric acid effect

Emrecan ARPACI¹, Sami İMAMOĞLU¹, Murat ERTAŞ¹

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1278475

Sorumlu yazar / Corresponding author

Emrecan ARPACI

e-mail: emrecan.arpaci@btu.edu.tr

Geliş tarihi / Received

06.04.2023

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

29.09.2023

Kabul Tarihi / Accepted

29.09.2023

Elektronik erişim / Online available

15.10.2023

Anahtar kelimeler:

Aktif karbon

Kestane kabuğu

Kimyasal aktivasyon

Piroliz

Keywords:

Activated carbon

Chestnut shell

Chemical activation

Pyrolysis

Özet

Günümüzde atık yönetimi, atıkların yeniden işlenerek değerli ürün eldesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu kapsamda aktif karbon, hemen hemen her türlü organik maddeden üretilebilmesi ve çok geniş uygulama alanına sahip olması sebebi ile oldukça popüler bir konudur. Bu çalışmada, herhangi bir ön işleme tabi tutulmayan 0.5-1.0 mm parçacık boyutuna sahip kestane kabuğu, 1:1 ve 1:2 (kabuk/fosforik asit) oranında fosforik asit ile aktifleştirildikten sonra 400 °C, 450 °C ve 500 °C sıcaklıkta 100 ml/dk azot gazı akış hızında olacak şekilde sabit yataklı bir reaktörde 30 dakika süreyle piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Maksimum aktif karbon verimi 400 °C piroliz sıcaklığında ve 1:2 aktifleştirme oranında elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen aktif karbon numunelerinin yüzey morfolojik yapısı ve kristal yapısı durumu sırasıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını difraktometre (XRD) ile detaylı bir şekilde karakterize edilmiştir. Elde edilen bulgular kestane kabuğunun aktif karbon yapımı için uygun bir hammadde kaynağı olduğunu göstermektedir.

Abstract

Currently, waste management is focused on recycling waste for the production of valuable products. In this context, activated carbon is a very popular topic due to its ability to be produced from almost any type of organic matter and its wide range of applications. In this study, chestnut shells with a particle size of 0.5-1.0 mm, which were not subjected to any pretreatment, were activated with phosphoric acid at 1:1 and 1:2 (shell/phosphoric acid) ratios, and then subjected to pyrolysis for 30 minutes at a flow rate of 100 ml/min of nitrogen gas in a fixed-bed reactor at temperatures of 400 °C, 450 °C, and 500 °C. The maximum activated carbon yield was obtained at a pyrolysis temperature of 400 °C and an activation ratio of 1:2. Furthermore, the surface morphology and crystal structure of the obtained activated carbon samples were characterized by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD), respectively. The results indicate that chestnut shells are a suitable raw material source for the production of activated carbon.

GİRİŞ

Aktif karbon, mikro poröz yapısı ve yüksek yüzey alanı özelliklerinden dolayı atık suların boyar maddelerin ve ağır metallerin adsorpsiyon tekniği ile uzaklaştırılmasında etkili bir adsorbandır (Thomas 2008, Zhang ve ark. 2014). Aktif karbon su arıtımının yanı sıra buhar faz ayırma işlemlerinde ve bitki besi ortamı hazırlanması gibi birçok kullanım alanına sahip bir malzemedir (Thomas 2008, Özdemir 2009).

Aktif karbon ilk defa M.Ö. 3750 yıllarında Mısır ve Sümerler döneminde karbonlaştırılmış odun veya kömür şeklinde bronz üretiminde kullanılmıştır. Daha sonra, Hippocrates (M.Ö. 400 civarında) suyu odun kömürü ile süzerek kötü tat ve kokuyu gidermek ve epilepsi, kloroz ve antraks gibi çeşitli hastalıkların önüne geçmeyi amaçlamıştır (Sayın ve ark. 2016). Lovits organik madde

içeren asit çözeltisinin rengini açmak/arıtmak için çözeltiyi odun kömürü ile süzmüş ve olumlu sonuçlar elde etmiştir (Küçükgül 2004).

Aktif karbon üretimi iki aşamada gerçekleştirilmekte olup ilk aşama genellikle 400°C ila 500°C sıcaklıkta oksijensiz ortamda gerçekleşen bir piroliz reaksiyonudur. Piroliz reaksiyonundan sonraki aşama ise aktivasyon aşamasıdır. Fiziksel aktivasyon ve kimyasal aktivasyon olmak üzere iki farklı aktivasyon işlemi şeklinde gerçekleştirilebilir. Fiziksel aktivasyon, piroliz sonucu elde edilen katı maddeyi 700 °C ila 1100 °C sıcaklıkta CO₂, su buharı, hava ya da bunların belli bir karışımı olacak şekilde tekrar ısı ile muamele edilerek gerçekleştirilmektedir (Yang ve Qiu 2010). Aktif karbonun adsorpsiyon karakteristiği yüzey alanı ve poröz yapısı ile birlikte yüzeyinde bulunan aktif gruplar ile de doğrudan alakalıdır. P. Burg ve ark. (2002)

özellikle aktif karbon yüzeyinde bulunan oksijen içerikli aktif grupların adsorbsiyon özelliklerini yüksek oranda arttırdığını bildirmişlerdir. Kimyasal aktivasyon ise iki şekilde gerçekleştirilebilir. Birinci yöntemde; piroliz öncesi hammadde NaOH, KOH, FeCl₃, H₂SO₄, H₃PO₄, K₂CO₃, ve ZnCl₂ gibi aktifleştirme ajanları ile düşük sıcaklıklarda muamele edilerek hammaddenin poröz yapısı artırılıp daha sonra piroliz işlemine tabi tutulmaktadır. İkinci yöntemde ise; piroliz sonrası elde edilen karbonsu madde, aktifleştirme ajanları ile muamele edilerek poröz yapısı geliştirilmekte ve yüzeyine aktif gruplar entegre edilebilmektedir (Auta ve Hameed 2011).

Literatürde, zeytin çekirdeği (Akyıldız 2007), kestane kabuğu (Döşemen 2009), mısır koçanı (Sych ve ark. 2012), kabak çekirdeği kabuğu (Şamdan 2013), hindistan cevizi kabuğu (Okman ve ark. 2014) ve fındık kabuğu (Sayın ve ark. 2016) olmak üzere birçok orman ve tarımsal atık/atıklardan aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, kimyasal aktivasyon yolu ile çok yüksek yüzey alanına sahip aktif karbon üretilebildiği görülmektedir (Suzuki 1994, Mohan ve Karthikeyan 1997, Iqbal ve Ashi 2007, Pezoti Jr. ve ark. 2014).

Bu çalışmada, aktif karbon üretiminde bölgesel olarak oldukça yoğun bir potansiyele sahip olan kestane kabuğu atığının kullanılması ile aktifleştirme ajanı (AA) oranı ve sıcaklık parametrelerinin aktif karbon üzerine olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca üretilen aktif karbonların kullanım alanına uygunluğunu belirlemek için elde edilen numunelerin yüzey morfolojisi ve kristal yapısı sırasıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını difraktometresi (XRD) ile karakterize edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Aktif karbon üretiminde hammadde olarak seçilen kestane kabukları Bursa Kardelen Kestane Şekeri firmasından temin edilmiştir. Kestane kabukları laboratuvar ortamında hava kurusu hale getirildikten sonra Fritsch/Pulverisette-19 marka öğütücüde öğütülmüştür. Öğütülen kestane kabukları laboratuvar tipi elek yardımıyla elenerek parçacık boyutu 0.5-1.0 mm

olacak şekilde aktif karbon üretimi için hazır hale getirilmiştir.

Aktif karbon üretiminde uygulanan reaksiyon sıcaklığı, AA (fosforik asit) oranı, ısıtma hızı, azot gazı akış hızı ve karbonizasyon reaksiyon süresi değerleri ve örnek kodları Çizelge 1’de görülmektedir. İşlem görmeyen kestane kabuğu örnekleri bazı analizlerde kontrol olarak kullanılmış olup “K” olarak adlandırılmıştır.

Çizelge 1. Deneyisel parametreler

Örnek kodu	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	AA oranı (Kestane kabuğu/asit) (g/g)
A1	400	1:1
A2	400	1:2
B1	450	1:1
B2	450	1:2
C1	500	1:1
C2	500	1:2

Isıtma hızı: 10 °C/dk, Azot gazı akış hızı 100 ml/dk, Karbonizasyon reaksiyon süresi 30 dakikadır.

Aktivasyon İşlemi

1 litrelik beherler içerisine tam kuru 100 g kestane kabuğu konulmuştur. Ayrıca kütlece 1:1 ve 1:2 (kabuk/asit) olacak şekilde farklı oranlarda fosforik asit ilâve edilmiştir. Diğer yandan reaksiyon için uygun ortamın sağlanması amacı ile toplam karışım hacmi 600 ml olacak kadar saf su ilâve edilmiştir.

Kestane kabuğu örnekleri ile fosforik asit çözeltisinin homojen bir şekilde karışım sağlamak amacıyla çözelti ve kabuklar oda sıcaklığında ilk 5 dakika cam baget kullanılarak elde karıştırılmıştır. Ardından toplam karıştırma süresi 30 dakika oluncaya kadar manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmaya devam edilmiştir. Karıştırma işleminin akabinde homojen karışım kaba süzgeç kâğıdı kullanılarak buhner hunisi ve nuçe erlen sistemi yardımı ile vakum uygulanarak süzölmüştür. Ayrıca asit kalıntısı bulunmaması amacıyla 1 L saf su ile yıkanarak süzme işlemi tamamlanmıştır. Fosforik asit uygulaması ile aktifleştirilmiş kestane kabuk örnekleri, değişmez ağırlığa erişinceye kadar 103±2 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş olup daha sonra gerçekleştirilecek olan karbonizasyon işlemi için hazır hale getirilmiştir.

Karbonizasyon (Piroliz) İşlemi

Piroliz işlemi sabit yataklı bir reaktör/piroliz cihazında (MSE-Pyrolysis-850) sırasıyla 400 °C, 450 °C ve 500 °C sıcaklık uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Aktifleştirilen örneklerden yaklaşık 50 g tartılarak sırası ile belirlenen sıcaklık aralıklarında, 10 °C/dk ısıtma hızında, 100 ml/dk azot akış hızında ve 30 dk reaksiyon süresinde karbonizasyon işlemi yapılmıştır. Azot akışı, örnek sıcaklığı oda sıcaklığına düşünceye kadar kesilmemiştir. Katı ürünler (Aktif karbon) oda sıcaklığına geldikten sonra reaktörden alınarak daha sonra uygulanacak analizlerde kullanılmak üzere kilitli naylon poşetlerde saklanmıştır.

Aktif Karbon Verimi

Piroliz işlemi uygulandıktan sonra reaktörden çıkarılan örnekler analitik bir terazi yardımı ile tartılarak aktif karbon verimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır:

$$\text{Aktif Karbon Verimi (\%)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad [\text{Formül 1}]$$

Bu eşitlikte;

W1: Aktifleştirilmiş kestane kabuğu miktarını (g),

W2: Aktif karbon miktarını (g) göstermektedir.

Taramalı Elektron Mikroskop Analizi

Kestane kabuğu örnekleri ve elde edilen aktif karbon örneklerinin yüzey morfolojisinin karakterizasyon işlemi Carl Zeis/Gemini-301 marka taramalı elektron mikroskop cihazında gerçekleştirilmiştir. Analiz edilecek örnekler etil alkol ile karıştırıldıktan sonra hazırlanan süspansiyon 15 dakika süresince ultrasonik su banyosunda bırakılarak tüm taneciklerin homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Bu sürenin sonunda örnekler süzgeç kâğıdı kullanılarak süzme işlemi gerçekleştirilmiş ve 103±2 °C sıcaklığa ayarlanan etüvde kurutulmuştur. Böylece örneklerin yüzeyinde oluşabilecek elektrostatik alan oluşumu ve buna bağlı analiz aşamasında elektronların saparak düzgün tarama ve algılanmayı engellemesi önlenmiştir. Yüksek çözünürlük ve kontrasta sahip görüntü oluşturulabilmesi için her bir numune yüzeyi vakum uygulanarak yaklaşık 2 nm kalınlığında altın ile

kaplanmıştır. Ölçümler 500× büyütme değerinde incelenerek fotoğraflanmıştır.

X-Işını Difraktometre (XRD) Analizi

Kestane kabuğu ve aktif karbon örneklerinin kristal yapısının incelenmesi işlemi Bruker AXS/Discovery D8 marka XRD cihazında gerçekleştirilmiştir. Tam kuru haldeki aktif karbon örnekleri ve kestane kabuğunun kristal yapısını incelemek ve aktif karbon örneklerinin kristal yapılarını kestane kabuğu kristal yapısı ile karşılaştırılarak daha amorf bir yapı elde edilip edilmediğini tespit etmek amacı ile Bruker AXS/Discovery D8 marka cihazda XRD analizleri yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Aktif Karbon Verimi

Herbir örnek grubu için üretilen aktif karbon verimleri Formül 1'e göre hesaplanmış olup aritmetik ortalamaları Çizelge 2'de verilmiştir. Elde edilen verilere göre A2 kodlu örnek grubu en yüksek aktif karbon verimine (%69.0) sahiptir. C1 grubunun ise en düşük verime (%42.9) sahip olduğu görülmektedir. Piroliz sıcaklığının artması ile aktif karbon veriminin azaldığı açıkça görülmektedir. Bu durum, piroliz sıcaklığının artması ile reaktörde meydana gelen gazlaştırma ve ikincil reaksiyonların daha baskın hale gelmesine atfedilebilir (Ertaş ve Alma 2010). Aktifleştirme işleminde kullanılan fosforik asit oranının 1:1 oranından 1:2 oranına çıkarılması ile aynı sıcaklık değerinde karbonizasyon işlemi görmüş örnek grupları içerisinde aktif karbon veriminin pozitif yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Verim artışı aktifleştirme ajanı olarak kullanılmış olan fosforik asidin karbonizasyon işlemi sırasında hammadde yüzeyinde gözenekli bir karbon birikintisine neden olmasına bağlanabilir (Akyıldız 2007).

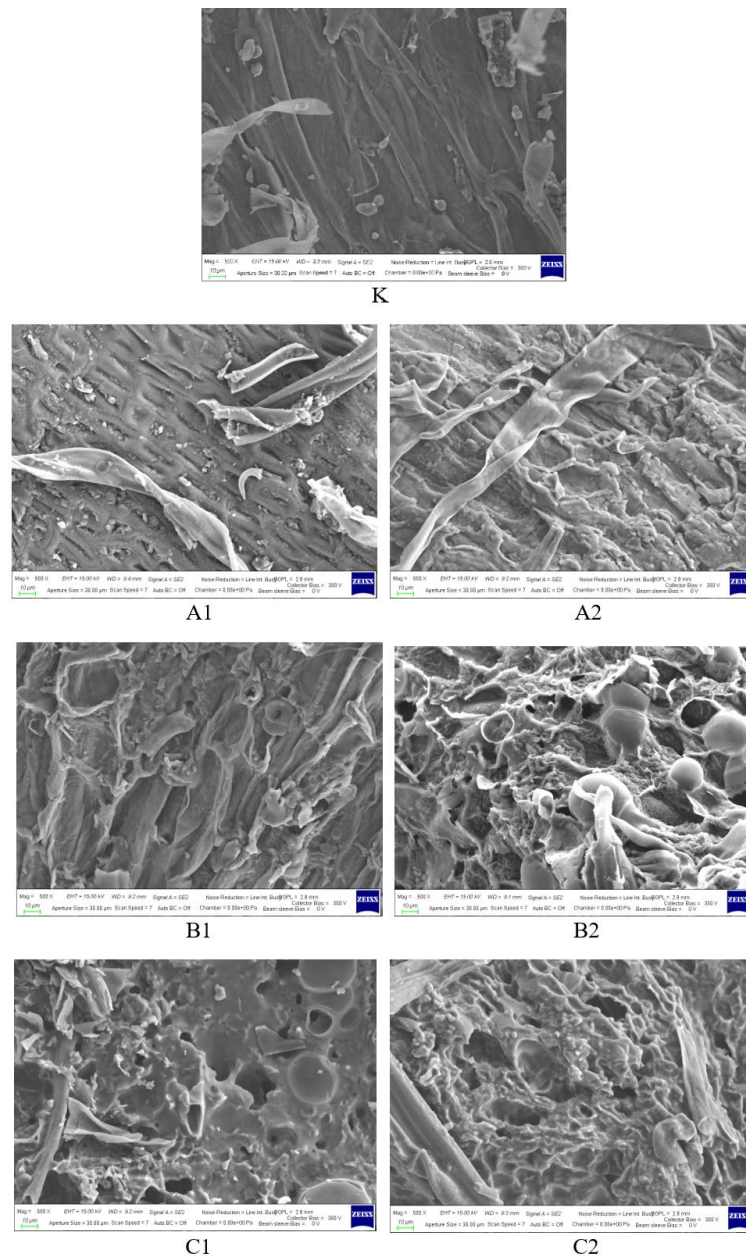
Çizelge 2. Aktif karbon verim değerleri

Örnek kodu	Verim değeri (%)
A1	55.6
A2	69.0
B1	55.0
B2	66.2
C1	42.9
C2	56.5

SEM Analizleri

Uygulanan değişik sıcaklık ve aktifleştirme ajanı oranlarında oluşturulan aktif karbonların gözenekli yüzey yapısını ve formunu karakterize etmek için taramalı elektron mikroskobu analizi gerçekleştirilmiştir. Kestane kabuğu örneği ve farklı deneysel parametrelerde üretilen aktif karbonların SEM görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir. Bilindiği üzere piroliz işlemi sırasında farklı uçucu bileşiklerin aşamalı şekilde hammadde içerisinden uzaklaşması sıcaklık artışına bağlıdır. Piroliz işlemindeki sıcaklık katı maddenin parçacık boyutu ve formunu etkilemektedir. Sıcaklık artışı ile genelde gözenek

boyutlarında ve oranında artış izlenirken hücre çeperi kalınlığında azalma olduğu görülmektedir (Ertaş 2010). Düşük sıcaklık değerlerinde (400 °C) meydana gelen aktif karbonların hücre duvarları kalın ve katran aglomeratları ile kaplı olmasına rağmen daha yüksek sıcaklık değerlerinde (450 °C, 500 °C) meydana gelen aktif karbonların hücre çeperleri ise daha gözenekli ve daha biçimsiz bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 1). Ayrıca yüksek sıcaklıklarda üretilmiş aktif karbonların hücre çeperleri daha ince ve kırılgan bir şekil almıştır. SEM mikroskopundan alınan görüntülere göre piroliz sıcaklığı yükseldikçe aktif karbonun gözenekliliğinin yükseldiği söylenebilir.

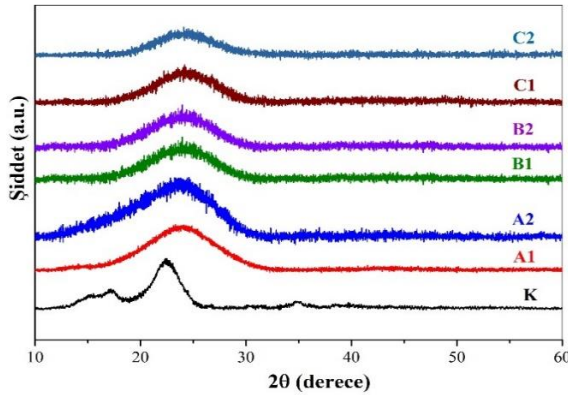


Şekil 1. Kestane kabuğu ve aktif karbon örneklerine ait SEM görüntüleri

Literatürde, fosforik asitin aktifleştirme işlemlerinde ajan olarak kullanıldığını gösteren birçok çalışma mevcuttur. Fosforik asitin aktifleştirme işlemindeki rolü ile ilgili çalışma mekanizması hakkında kesin ve net bilgiler bulunmamasına rağmen, kullanılan fosforik asidin karbonizasyon işlemi sırasında yüzeyde gözenekli bir karbon birikintisine sebep olduğu bildirilmektedir. (Laine ve Calafat 1989). Diğer yandan aktif karbon örneklerinin yüzey alan miktarı mikro gözeneklerin sayısı ile doğru orantılıdır. Ayrıca aktifleştirme işleminde kullanılan fosforik asitin hammadde hücre duvarında bulunan makromoleküllerden selüloz ve lignin yapılarındaki bağların kopmasını hızlandırdığı ve bunun sonucunda çapraz bağlı yeni ürünlerin meydana gelmesine yol açtığı ifade edilmektedir (Jagtoyen ve Derbyshire 1998).

XRD Analizleri

Her bir aktif karbon örneği ve kestane kabuğunun X-ışını kırınım deseni Şekil 2’de gösterilmiştir. X-ışını kırınım desenleri incelendiğinde, hammadde olarak kullanılan kestane kabuğu örneklerinde 16-22 arasında görülen selüloz kırınım piklerinin, elde edilen aktif karbonlarda neredeyse geniş amorf bant yapısına dönüştüğü ve kontrol örneği ile aynı kristal yapıya sahip olmadığı görülmektedir.



Şekil 2. Kestane kabuğu ve aktif karbon örneklerinin X-ışını kırınım deseni

Piroliz sıcaklığının yükselmesiyle örneklerdeki selülozdan ileri gelen kristal yapıların amorf yapılara dönüşmesi neticesinde, başlangıçta görülen kristal pikler yerini amorf bantlara bırakmıştır. Literatürde, bazı lignoselülozik malzemelerden farklı sıcaklık değerlerinde hazırlanan karbon örneklerinde benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür (Ertaş 2010). Diğer yandan X-ışını kırınım

desenleri, örneklerin içermiş olduğu selüloz miktarı hakkında da bilgi vermektedir. Bu oran ne kadar yüksek olursa selülozun kristal pik şiddeti de paralel doğrultuda yüksek olmaktadır (Ertaş 2010). Sonuç olarak kestane kabuğu X-ışını kırınım deseni detaylı bir şekilde incelendiğinde selüloz kristal pikinin aktif karbon numunelerine göre daha şiddetli olduğu görülebilmektedir. Numunelerde sıcaklık yükselişi ile pik şiddeti arasında belirgin bir ilişkinin olduğu görülmesine rağmen aktifleştirmede kullanılmış olan fosforik asit oranının X-ışını kırınım deseninde belirgin bir değişime neden olmadığı görülmüştür.

SONUÇ ve ÖNERİLER

SEM ve XRD analizleri kestane kabuğu örneklerinden 400 °C, 450 °C ve 500 °C sıcaklık değerlerinde farklı yüzey ve kristal özelliklere sahip aktif karbon üretilebileceğini göstermektedir. Aktif karbon veriminin sıcaklık artışı ile ters orantılı olduğu ancak asit oranının artması ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. En yüksek aktif karbon verimi %69.0 olarak 400 °C piroliz sıcaklığında elde edilmiştir. Ayrıca aktifleştirme ajanı olarak kullanılan fosforik asit etkisinin aktif karbon verimini ortalama %13 civarında arttırdığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda sıcaklık ve kullanılan fosforik asit oranının üretilen aktif karbon örneklerinde poröz yapıyı arttırdığı SEM görüntüleri ve XRD desenleri ile desteklenmiştir. Elde edilen bulgular kestane kabuğunun kimyasal aktivasyon ile aktif karbon üretilmesi için uygun bir biyolojik hammadde kaynağı olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yürütülen “Kâğıt fabrikası atık sularındaki boyar maddenin lignoselülozik malzemeden üretilmiş aktif karbon ile giderilmesi” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

Akyıldız H (2007) H₃PO₄ aktivasyonu ile zeytin çekirdeğinden aktif karbon üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Auta M, Hameed BH (2011) Optimized waste tea activated carbon for adsorption of Methylene Blue and Acid Blue 29 dyes using response surface methodology. *Chemical Engineering Journal*, 175:233-243.
- Burg P, Fydruc P, Cagniant D, Nanse G, Bimer J, Jankowska A (2002) The characterization of nitrogen-enriched activated carbons by IR, XPS and LSER methods. *Carbon*, 40(9):1521-1531.
- Döşemen Y (2009) Kestane kabuğundan aktif karbon üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Ertaş M (2010) Bazı artık biyokütlelerin yavaş pirolizi ve piroliz ürünlerinin karakterizasyonu. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kahramanmaraş.
- Ertaş M, Alma MH (2010) Pyrolysis of Laurel (*Laurus nobilis* L.) extraction residues in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and bio-char. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88(1):22-29.
- Iqbal MJ, Ashi MN (2007) Adsorption of dyes from aqueous solutions on activated charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 139(1):57-66.
- Jagtöy M, Derbyshire F (1998) Activated carbons from yellow poplar and White Oak by H₃PO₄ activation. *Carbon*, 36(7-8):1085-1097.
- Küçükgül EY (2004) Ticari aktif karbon üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(3):41-56.
- Laine J, Calafat A (1989) Preparation and characterization of activated carbons from coconut shell impregnated with phosphoric acid. *Carbon*, 27(2):191-195.
- Mohan SV, Karthikeyan J (1997) Removal of lignin and tannin colour from aqueous solution by adsorption onto activated charcoal. *Environmental Pollution*, 97(1-2):183-187.
- Okman I, Karagöz S, Tay T, Erdem M (2014) Activated carbons from grape seeds by chemical activation with potassium carbonate and potassium hydroxide. *Applied Surface Science*, 293:138-142.
- Özdemir B (2009) Aktif karbon üretim sürecinin termogravimetrik analiz ile incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Pezoti Jr O, Cazetta AL, Souza IP, Bedin KC, Martins AC, Silva TL, Almeida VC (2014) Adsorption studies of methylene blue onto ZnCl₂-activated carbon produced from buriti shells (*Mauritia flexuosa* L.). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(6):4401-4407.
- Sayın ZE, Kumaş C, Ergül B (2016) Fındık kabuğundan aktif karbon üretimi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2):409-419.
- Sych NV, Trofymenko SI, Poddubnaya OI, Tsyba MM, Sapsay VI, Klymchuk DO, Puziy AM (2012) Porous structure and surface chemistry of phosphoric acid activated carbon from corncob. *Appl. Surf. Sci.*, 261:75-82.
- Şamdan CA (2013) Kabak çekirdeği kabuğundan kimyasal aktivasyonla aktif karbon üretimi boya ve ağır metal gideriminde değerlendirilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Thomas TD (2008) The role of activated charcoal in plant tissue culture. *Biotechnology Advances*, 26(6):618-631.
- Yang J, 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(1):209-217.
- Zhang YJ, Xing ZJ, Duan ZK, Li M, Wang Y (2014) Effects of steam activation on the pore structure and surface chemistry of activated carbon derived from bamboo waste. *Applied Surface Science*, 315:279-286.