

Yeni bir hammaddeden üretilmiş karbonlu malzemenin yapısal, morfolojik ve gözenek özellikleri üzerine çalışmalar

Hasan SAYĞILI^{*,1}

¹ Batman Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, 72100, Türkiye

Makale Gönderme Tarihi: 09.11.2016

Makale Kabul Tarihi: 18.11.2016

Öz

Endüstrinin birçok alanı için vazgeçilmez olan aktif karbon, herhangi bir şekilde yapısal formül veya kimyasal analiz ile karakterize edilemeyen, oldukça yüksek gözenek ve iç yüzey yapısına sahip karbonlu malzemedir ve laboratuvar ölçekli olarak çok sayıda malzemeden üretilebilmektedir. Ancak hammadde maliyeti ve üretim proseslerinin yüksek enerji tüketimi, aktif karbon üretim maliyetini oldukça arttırmaktadır.

Aktif karbonların ucuz, bol miktarda ve kolay bulunabilen, endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atık değeri yüksek bitkisel hammaddelerden elde edilmesi son yıllarda bu alandaki çalışmaların merkezinde yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yenedünya (Eriobotrya japonica) çekirdeklerinden (YÇ) ZnCl₂ kimyasal aktivatörü kullanarak düşük maliyetli ve yeni bir aktif karbon (YÇAK) üretmektir. Aktif karbon hazırlanması için üretim koşulları şu şekilde seçildi: karbonizasyon sıcaklığı, 500°C; hammaddeye karşılık aktivatörün kütle oranı, 1:1; ve karbonizasyon süresi, 60 dk. Hammadde ve karbonlu malzemenin fizikokimyasal karakteristikleri BET, FT-IR, SEM ve XRD analizleri kullanılarak incelendi. Sonuçlar gösterdi ki yenedünya çekirdeği aktif karbon (YÇAK) sırasıyla 1193 m²/g ve 1.16 gr/cm³ yüksek spesifik yüzey alanı ve gözenek hacmine sahiptir. Bu çalışmadan üretilen yenedünya çekirdeği aktif karbonunun (YÇAK) çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilceği sonucuna varılabilir.

Anahtar Kelimeler: Yenedünya çekirdeği; Karbonlu malzeme; Üretim; Kimyasal aktivasyon; Karakterizasyon;

Giriş

Aktif karbon dünya genelinde çeşitli endüstrilerde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Gazların saflaştırma, depolama ve arıtımında, koku ve kirliliklerin uzaklaştırılmasında, gıda sanayisinde saflaştırma işlemlerinde, su ve atık su arıtımında, metal sanayisinde karbon katkısı, savunma sanayisinde koruyucu giysi yapımında, silah sanayisinde patlayıcı ve elektronik sistemleri susturmak için bomba yapımında ve sağlık sektöründe olmak üzere çok geniş bir alanda aktif karbon kullanılmaktadır. Kısacası günlük yaşamda çeşitli amaçlarla kullandığımız aktif karbon vazgeçilemez bir malzemedir (Stoekli ve Kraehenbuehl, 1984). Aktif karbonun yüzey ve yapısal özellikleri, hazırlanmasında kullanılan başlangıç hammaddesi ve üretim metoduna bağlıdır. Günümüzde aktif karbon, yüksek karbon ve düşük inorganik içeriğe sahip bol bulunan ve düşük maliyetli çok sayıda malzemenin üretilmektedir (Olivares-Marín vd., 2006).

Esas olarak, aktif karbon fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri ile ve nadiren de olsa bu iki yöntemin birlikte uygulanmasıyla hazırlanabilmektedir. Fiziksel aktivasyon yöntemi iki basamakta gerçekleştirilmekte olup, ilk olarak hammaddede inert atmosfer altında 600-800°C aralığında karbonize edilmekte ve daha sonra su buharı ve CO₂ kullanılarak yine aynı sıcaklık aralıklarında aktivasyon sağlanmaktadır. Kimyasal aktivasyon yöntemi ise ZnCl₂, H₃PO₄, KOH, H₂SO₄ veya NaOH gibi kimyasal aktivatörlerle etkileştirilen hammaddenin değişik sıcaklık aralıklarında tek basamakta karbonizasyonu ve aktivasyonu sağlanmaktadır (Karacan vd., 2007). Fiziksel aktivasyon yöntemiyle kıyaslandığında kimyasal aktivasyon yönteminin iki önemli avantajı söz konusudur. Birinci avantajı işlemin düşük sıcaklıklarda gerçekleştiriliyor olmasıdır. İkinci avantajı ise yapılan işlemin toplam veriminin yüksek olmasıdır (Sahu vd., 2010).

Kimyasal aktivasyon yöntemi, ZnCl₂ ile üzüm ve domates posaları (Saygılı vd., 2015; Saygılı ve Güzel 2016), H₃PO₄ ile Hindistan cevizi

kabukları (Gratuito vd., 2008), KOH ile zeytin posası (Demiral vd., 2008), K₂CO₃ ile fıstık kabukları (Hayashi vd., 2002) gibi çeşitli kimyasal aktivatörlerin değişik tarımsal atıklarla etkileştirilmesiyle elde edilen aktif karbonların üretilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sayısız dehidrate (nem çekme) özelliğine sahip kimyasal aktivatörler arasında ZnCl₂ aktif karbon üretiminde en yaygın kullanılan kimyasal aktivatördür. Bilindiği üzere kimyasal aktivasyon işlemi süresince farklı işlem parametreleri arzu edilen yüksek kalitede bir aktif karbonun yüzey alanı ve gözeneklilik gibi yapısal özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bir hammaddenin ZnCl₂ ile emdirilmesi, karbonizasyon süresince hammaddenin selülozik yapısının bozulmasına, gözenekliliğinin düzenlenmesine ve dehidratasyona (nem giderimi) neden olmaktadır. Bu işlemler, karbon iskeletini çarlaşma ve aromatisasyona uğratarak gözenekli yapının ortaya çıkmasıyla sonuçlanmaktadır (Olivares-Marín vd., 2006).

Aktif karbonların ticari olarak üretilmesindeki temel zorluklardan biri ucuz, erişilebilir ve bol miktarlarda bulunabilen bir hammaddenin belirlenebilmesidir. Uzun yıllardır odun, meyve kabuğu ve çekirdekleri gibi çok sayıda lignoselülozik malzemeler aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır. Meyvelerin işlenmesi ve tüketilmesi sonucunda oluşan kabuk ve çekirdek gibi atıklar aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. Fazla miktarda çekirdek içeren çok sayıda meyve bulunmaktadır. Bu meyvelerden biri de yenidoğya (*Eriobotrya japonica*) dir. Ülkemizde özellikle Akdeniz Bölgesinde, yenidoğya için uygun ekolojik koşullar mevcut olduğundan üretimin büyük bölümü bu bölgede yapılmaktadır. Toplam üretimin yaklaşık %97'si Akdeniz bölgesinden geri kalan az miktar ise Ege ve Doğu Karadeniz bölgelerinden karşılanmaktadır. Toplam yenidoğya üretimimiz 15 milyon tona yaklaşmıştır (Uzun 2012).

Şimdiye kadar, yenidoğya çekirdeklerinin aktif karbon üretiminde kullanıldığına ilişkin herhangi bir çalışma bulunmamakla birlikte

yapılan literatür çalışmalarında da bununla ilgili bir referansa rastlanılmamıştır. Bu yüzden, bu çalışmada $ZnCl_2$ kimyasal aktivasyonu ile yeni bir hammadde olan yenedünya çekirdeklerinden aktif karbonun üretilmesine odaklanmıştır. Elde edilen aktif karbonun (YÇAK) yapısal, morfolojik ve gözenek karakteristikleri spektroskopik olarak aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Hammadde olarak kullanılan yenedünya çekirdekleri (YÇ) evsel tüketimler sonucunda temin edildi. Kirlilik ve tozlarından arındırmak için çeşme suyu ile defalarca yıkandı. Gün ışığında kurutulduktan sonra bitki öğütücü ile 1410 μm parçacık boyutuna getirildi. Daha sonra, ultra saf su ile yıkanıp etüvde 70°C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek kurutuldu. Karbonizasyon ve aktivasyon işlemlerinde kullanılan yüksek saflıktaki azot gazı MSG Medikal Sanayi Gazlar firmasından, aktivasyon işleminde kullanılan çinko klorür ($ZnCl_2$) ise Sigma-Aldrich firmasından temin edildi.

Aktif karbonun hazırlanması

Mevcut çalışmada, yenedünya çekirdeklerinin kimyasal aktivasyonu $ZnCl_2$ kullanılarak gerçekleştirildi. Aktif karbon hazırlanması için üretim koşulları şu şekilde seçildi: karbonizasyon sıcaklığı, 500°C; hammaddeye karşılık aktivatörün kütle oranı, 1:1; ve karbonizasyon süresi, 60 dk. 25 gr öğütülmüş yenedünya çekirdeği tartılıp bir behere konuldu. Üzerine 25 gr $ZnCl_2$ ilave edildi ve 5 ml su eklenip karıştırılarak karışım çamurumsu hale getirildi. Çamurumsu karışım 110°C deki etüvde 24 saat bekletilerek kurutuldu.

Emdirme işlemi gerçekleştirilen örneğin karbonizasyon işlemi 7 cm çapında ve 100 cm uzunluğundaki paslanmaz çelik tüp reaktörün bulunduğu tüp fırın (Protherm PZF 12/105/750) içine yerleştirilerek 100 ml/dk akış hızında azot (N_2) gazı geçirilerek 500°C'de 1 saat 10°C/dk hızında ısıtılması sağlandı. Üretilen aktif karbon, azot atmosferi altında oda koşullarına soğutuldu ve 0.2 M 500 ml HCl çözeltisine

eklenip yaklaşık 1 saat kaynatılıp süzüldü. Süzülen aktif karbon $AgNO_3$ ile Cl^- iyonları reaksiyon vermeyene kadar defalarca sıcak saf su ile yıkandı ve 105°C'de 24 saat kurutulup 177 μm -400 μm aralığındaki tanecik boyutuna gelecek şekilde elendi.

Karakterizasyon çalışmaları

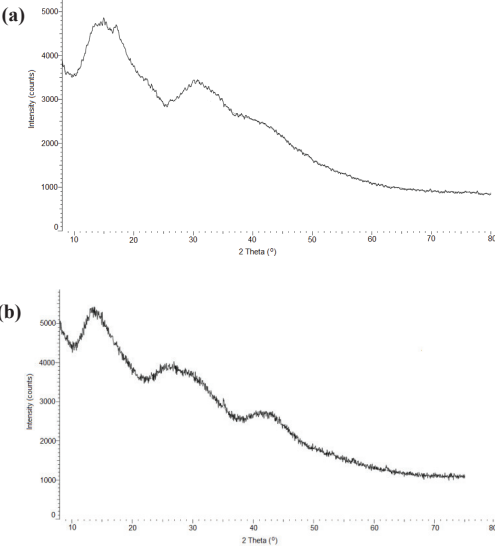
YÇ ve YÇAK'ın kristalografik karakterizasyonu XRD ölçümleri ile yapıldı ve monokromatik bakır radyasyonu (Cu K α , $\lambda=0.1541$ nm), 40 kV, 40 mA ve $2\theta = 0-80^\circ$ koşulları kullanılarak Bruker D8 Discovery EVA difraktometresinde gerçekleştirildi. YÇ ve YÇAK'ın yüzey fiziksel morfolojileri SEM tekniği (JEOL/JSM-6335F) kullanılarak aydınlatıldı. Üretilen aktif karbonun (YÇAK) gözenek karakteristikleri yüzey alanı ve gözenek boyut dağılım cihazı (Micromeritics ASAP 2020) kullanılarak 77 K'deki azot (N_2) adsorpsiyon-desorpsiyonu ile belirlendi. YÇ ve YÇAK'ın yüzey fonksiyonel gruplarının kalitatif olarak belirlenmesi için FT-IR analiz metodu uygulandı. Bunun için, örneklerin %5'inin potasyum bromür ile preslenmiş pelletleri hazırlanarak 4000-450 cm^{-1} frekans aralığında FT-IR (Perkin Elmer spectrum 100) spektrofotometresinde analizi yapıldı.

Bulgular

Kristalografik analiz

XRD, aktif karbon gibi malzemelerin yapısal karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Karbonizasyon/aktivasyon işlemi biyokütlelerin moleküler ve kristalin yapılarında önemli değişikliklere neden olabilir ve buna bağlı olarak biyokütlenin değişen yapısını anlamada XRD yöntemi önemli bilgiler sağlamaktadır (Khan vd., 2011). Genelde aktif karbonlarda kristalin yapının oluşumu beklenmedik bir durumdur. Şekil 1'de YÇ'ye ait $2\theta=15^\circ$ ve $2\theta=32^\circ$ 'deki pikler amorf selüloz yapısının varlığına işaret etmektedir (Zhang vd., 2015). $2\theta=15.1^\circ$ 'deki yayvan pik elde edilen aktif karbonun kısmen de olsa grafitize karbon olarak kabul edilmesini güçlendirmektedir. $2\theta=28^\circ$ ve $2\theta=43^\circ$ 'deki geniş pikler sırasıyla turbostratik karbonun (002) difraksiyonuna;

düzensiz ya da amorf yapıda grafitik tip karbonun (100) difraksiyonuna aittir (Wang vd., 2015; Ding vd., 2015). Ayrıca $2\theta=32^\circ$ ’de görülen keskin pikin varlığı elde edilen aktif karbonun defalarca yıkanmasına rağmen yapıda ZnO varlığını ortaya koymaktadır (Danish vd., 2013). Açıkçası spektrumlardan elde edilen sonuçlar 500°C , 1:1 ve 1 saat ZnCl_2 karbonizasyon/aktivasyonu YÇ’ye grafitte benzer bir örgü yapısı kazandırmıştır.

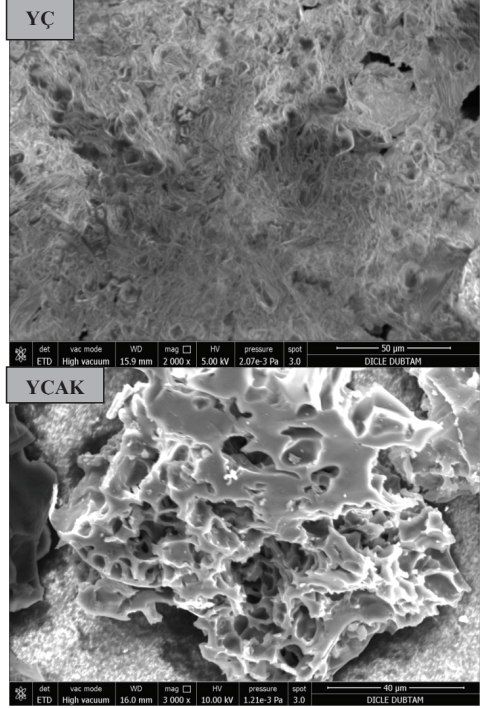


Şekil 1. Hammadde (YÇ) (a) ve aktif karbonun (YÇAK) (b) X-ray difraksiyon analizi

Morfolojik analiz

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) tekniği malzemelerin yüzey fiziksel morfolojilerinin aydınlatılması için uygulanan bir tekniktir. YÇ ve YÇAK’ın SEM görüntüleri Şekil 2’de gösterilmektedir. YÇ’nin SEM görüntüsüne bakıldığında dış yüzeyinin oldukça pürüzlü, girinti ve çıkıntılara sahip olduğu görülmektedir. YÇAK’ın SEM görüntüsünde ise dış yüzeyinin, ZnCl_2 ile yapılan karbonizasyon/aktivasyon etkisiyle uçucu bileşenlerin uzaklaşması sonucunda çukurların oluştuğu görülmektedir. Buradan karbonizasyon/aktivasyon işlemi süresince gözeneklerin gelişerek yüzeyin heterojenliğe

kavuştuğu ve aktif karbona dönüşümün gerçekleştiği sonucu çıkarılabilmektedir (Saygılı, 2015).



Şekil 2. Hammadde (YÇ) ve aktif karbonun (YÇAK) taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılım analizi

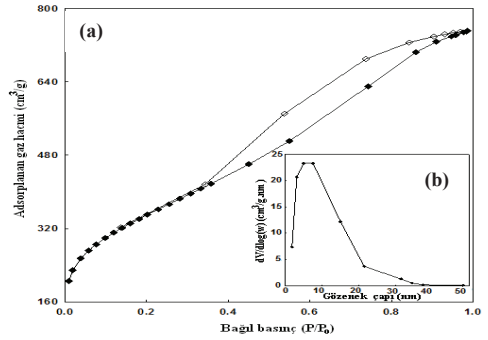
Şekil 3(a-b), yenedünya çekirdeklerinden hazırlanan aktif karbonun (YÇAK) N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi ile gözenek boyut dağılımını göstermektedir. Tablo 1 ise adsorpsiyon-desorpsiyon izotermilerinden belirlenen gözenek karakteristiklerini içermektedir. Şekil 3(a)’dan, YÇAK’ın azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterminde adsorplanan gaz hacminin düşük bağıl basınçlarda ($P/P_0 < 0.4$) hızlı bir şekilde arttığı ve yüksek bağıl basınçlarda izotermi yatay bir seyir izlediği görülmektedir. Yüksek bağıl basınçlarda ($P/P_0 > 0.4$) histerezis ilmeğinin (hysteresis loop) görülmesi gözeneklerde kılcak

yoğunlaşmanın başladığının göstergesidir (Qian vd., 2008). Buradan YÇAK'ın azot adsorpsiyon izoterminin IUPAC'ın sınıflandırmasına göre tanımlanmış B.D.D.T (Brunauer, Deming, Deming ve Teller) sınıflandırmasında yer alan Tip I ve Tip IV izotermelerinin birleşimine uyduğu söylenebilir (Sing vd., 1985). Bu, hazırlanan YÇAK'ın daha az oranda gelişmiş mikro gözenek ve daha fazla oranda ise az gelişmiş mezo gözeneklere sahip olduğunu göstermektedir. Bunu, Tablo 1'deki gözenek karakteristikleri özellikle mikro gözeneklilik (% V_m) ve mezo gözeneklilik (% V_M) değerleri de desteklemektedir. Ayrıca YÇAK'a ilişkin izotermin, çok tabakalı adsorpsiyon ve kılcak yoğunlaşma etkisi nedeniyle $P/P_0 > 0.4$ 'lerde yükseldiği görülmektedir. Bu dar gözeneklerin geniş gözeneklere doğru geliştiğini ve/veya mikro gözeneklerin yanı sıra büyük oranda mezo gözeneklerin birlikte varlığını göstermektedir. İzotermin desorpsiyon kısmındaki histerezis ilmeğinin, IUPAC'ın histerezis sınıflandırmasına göre H3 tipine benzediği görülmektedir. Bu da, gelişmiş mikro gözenekler ve/veya mezo gözeneklerin birlikte varlığını desteklemektedir. Şekil 3(b) (iç kısım)'da hazırlanan aktif karbonun gözenek boyut dağılımını içeren grafik yer almaktadır. IUPAC'ın sınıflandırmasına göre; adsorplayıcı gözeneklerini üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlar mikro gözenek (çap < 2nm), mezo gözenek (2 < çap < 50nm) ve makro gözenek (çap > 50nm) tir. YÇAK'ın gözenek boyut dağılım grafiği incelendiğinde, karbonlu malzemenin gözenek dağılım değeri 1-50 nm arasındadır. Gözenek boyut dağılım eğrisinden YÇAK için gözenek çapı (D_p) değeri, Tablo 1'den görüldüğü üzere 3.89 nm olarak belirlendi. YÇAK için belirlenen bu değer, gelişmiş mikro gözeneklere sahip olmasının yanı sıra ağırlıklı olarak mezo gözenekli yapıda olduğu sonucunu teyit etmektedir.

Yüzey fonksiyonel grup analizi

FT-IR spektrumları, yüzey fonksiyonel gruplarının nitel analizinde kullanılan ve yüzeydeki fonksiyonel grupların dağılımları hakkında faydalı bilgiler sağlayan önemli bir yöntemdir. Şekil 4, hammadde (YÇ) ve aktif

karbonun (YÇAK) FT-IR spektrumlarını göstermektedir. YÇ hammaddesi, hazırlanan aktif karbonundan daha fazla sayıda sinyal içermektedir.



Şekil 3. Yenidünya çekirdeğinden üretilen aktif karbonun (YÇAK) azot adsorpsiyon desorpsiyon izoterm çizimi (a) ve gözenek boyut dağılımı (b)

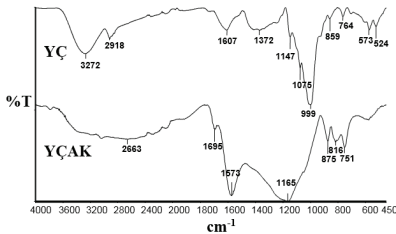
Tablo 1. Hazırlanan karbon yapı malzemenin (YÇAK) gözenek karakteristik değerleri

Gözenek karakteristikleri	Değer
Mikro gözenek yüzey alanı (S_m (m ² /g))	88.37
Mezo gözenek yüzey alanı (S_M (m ² /g))	1105.25
BET yüzey alanı (S_{BET} (m ² /g))	1193.62
Mikro gözenek hacmi (V_m (cm ³ /g))	0.058
Mezo gözenek hacmi (V_M (cm ³ /g))	1.102
Toplam gözenek hacmi (V_T (cm ³ /g))	1.160
Mikro gözeneklilik (%)	5.00
Mezo gözeneklilik (%)	95.00
Ortalama gözenek çapı (D_p (nm))	3.89

YÇ'ye ait olan spektrum incelendiğinde 3272 cm⁻¹ bandı civarında yer alan pik hidrojen bağlanmasını içeren yüzeylerindeki alkol, fenol ya da karboksilik asitlerin varlığından kaynaklanan hidroksil fonksiyonel grubuna ait -OH gerilmesine (Yargıç vd., 2015); 2918 cm⁻¹'deki pik alifatik metil (-CH₃) ve metilen (-CH₂) fonksiyonel gruplarına ait asimetric ve simetric -C-H gerilmesine; 1607 cm⁻¹ bandı poliaromatik matriksle bir hayli konjuge olmuş kinonlar gibi karbonil gruplarının varlığına; 1372 cm⁻¹'de görülen pik oldukça konjuge C=O gerilmesi, karboksilik gruplardaki C-O gerilmesi ve karboksilat fonksiyonel gruplarında gözlenen oksijen fonksiyonelliğine; 1147 ve 1075 cm⁻¹'deki sinyaller asit, alkol, fenol, eter

ve ester gruplarındaki C-O gerilme titreşimlerine (Selvaruji ve Abu Bakar 2017); 999 cm^{-1} 'de görülen güçlü pik yapıda polisakkaritin varlığına (Tan vd., 2010); 524-859 cm^{-1} dalga boyu aralıklarındaki zayıf bantlar benzer türevlerindeki düzlem dışı C-H bağlanmalarına aittir (Selvaruji ve Abu Bakar 2017).

YÇAK'a ait olan spektrum incelendiğinde ise YÇ'ye göre daha az absorpsiyon bantlarına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum YÇ'de mevcut çok sayıda fonksiyonel grubun karbonizasyon/aktivasyon basamağından sonra kaybolduğuna işaret etmektedir (Martins vd., 2015). 1695 cm^{-1} deki görünen zayıf absorpsiyon bandı aktif karbonunda aromatik halkaların varlığını; 1695 cm^{-1} 'de yer alan pik olefinik C=C gerilme titreşimleri veya karbonil gruplarındaki C=O gerilme titreşimlerinden (Demiral vd., 2008); 1573 cm^{-1} 'de gözlenen pik ise karboksil ve aromatik halkalarda bulunan C=O gerilmesinden; 1165 cm^{-1} 'de görülen bant olası yapılarda var olan karboksilik asit, alkol, fenol ve esterlerde yer alan C-O gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır (Hesas vd., 2013). YÇ ve YÇAK'ın yüzey fonksiyonel grupları arasındaki bu değişimler karbonizasyon/aktivasyon işlemi süresince organik maddelerin dekompoze olduğunu ve aktif karbonun oluşumunun tamamlandığını kanıtlamaktadır.



Şekil 4. Hammadde (YÇ) ve Aktif Karbonun (YÇAK) Yüzey Fonksiyonel Grup (FT-IR) Analizi

Sonuç ve Öneriler

Yukarıda elde edilen sonuçlardan, hammadde olarak yenedünya çekirdeklerinin, aktivasyon yöntemi olarak kimyasal yöntemin ve aktivatör olarak ZnCl_2 'nin kullanılmasının, hazırlanan aktif karbonun yapısal, morfolojik, yüzey ve

gözenek özelliklerinin gelişmesinde etkili olduğu sonucunu çıkarmak mümkündür. XRD spektrumu, hazırlanan karbon yapı malzemenin grafitik tip karbon olduğunu, SEM görüntüleri karbonizasyon/aktivasyon etkisiyle yenedünya çekirdeklerinin gözenekliliğinin gelişerek aktif karbona dönüştüğünü, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi elde edilen aktif karbonun yüksek yüzey alan ve gözenek hacmine, mezo yapı ve geniş gözenek boyut dağılımı olduğunu, FT-IR spektrumu hammadde var olan farklı oksijen içerikli grupların karbonizasyon/aktivasyon periyodu boyunca karbon yapının aromatisasyona uğradığını ve oksidatif bozunma sonucunda hazırlanan aktif karbonunda bazı karbonil gruplarının dekompoze olduğunu göstermiştir.

Yenedünya çekirdeklerinden üretilen karbonlu malzeme sahip olduğu yüksek spesifik yüzey alanı ve mezo gözenekliliğinden dolayı endüstriyel atık gaz ve atık suların tehlikeli bileşiklerin uzaklaştırılmasını içeren değişik çevresel uygulamalar için adsorpları olarak kullanılabilir. Ülkemizde endüstriyel faaliyetler sonucu atık olarak oluşan ve ilk kez tarafımızdan aktif karbon üretiminde kullanılan yenedünya çekirdeklerinin, bundan elde edilen karbonlu malzemenin gözenek karakteristikleri, morfolojik, kristalografik ve yüzey fonksiyonel özellikleri ve üretim maliyeti dikkate alındığında, ucuz ve adsorplama kapasitesi yüksek ticari aktif karbon üretiminde kullanılabilirliği önerilmektedir.

Kaynaklar

- Danish, M., Hashim, R., Mohamad Ibrahim, M.N., Sulaiman, O., (2013). Effect of acidic activating agents on surface area and surface functional groups of activated carbons produced from *Acacia mangium* wood. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 104, 418-425.
- Demiral, H., Demiral, I., Tumsek, F., Karabacakoglu, B., (2008). Adsorption of chromium (VI) from aqueous solution by activated carbon derived from olive bagasse and applicability of different adsorption models. *Chem. Eng. J.*, 144, 792-795.
- Ding, J., Wang, H., Li, Z., Cui, K., Karpuzov, D., Tan, X., Kohandehghan, A., Mitlin, D., (2015).

- Peanut shell hybrid sodium ion capacitor with extreme energy-power rivals lithium ion capacitors. *Energy Environ. Sci.*, 8, 941-955.
- Gratuito, M.K.B., Panyathanmaporn, T., Chumnanklang, R.A., Sirinuntawittaya, N., Dutta, A., (2008). Production of activated carbon from coconut shell: optimization using response surface methodology. *Bioresour. Technol.*, 99, 4887-4895.
- Hayashi, J., Horikawa, T., Takeda, I., Muroyama, K., Ani, F.N., (2002). Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with K_2CO_3 . *Carbon*, 40, 2381-2386.
- Hesas, R.H., Niya, A.A., Daud, W.M.A.W., Sahu, J.N., (2013). Preparation of granular activated carbon from oil palm shell by microwave-induced chemical activation: optimisation using surface response methodology. *Chem. Eng. Res. Des.*, 91, 2447-2456.
- Karacan, F., Ozden, U., Karan, S., (2007). Optimization of manufacturing conditions for activated carbon from Turkish lignite by chemical activation using response surface methodology. *Appl. Therm. Eng.*, 27, 1212-1218.
- Khan, M. M. R., Ray, M., Guha, A.K., (2011). Mechanistic studies on the binding of Acid Yellow 99 on coir pith. *Bioresour. Technol.*, 102, 2394-2399.
- Martins, A.C., Pezoti, O., Cazetta, A.L., Bedin, K.C., Yamazaki, D.A.S., Bandoch, G.F.G., Asefa, T., Visentainer, J.V., Almeida, V.C., (2015). Removal of tetracycline by NaOH-activated carbon produced from *macadamia* nut shells: Kinetic and equilibrium studies. *Chem. Eng. J.*, 260, 291-299.
- Olivares-Man'ın, M., Ferna'ndez-Gonza'lez, C., Maci'as-García, A., Go'mez-Serrano, V., (2006). Preparation of activated carbon from cherry stones by chemical activation with $ZnCl_2$. *Appl. Surf. Sci.*, 252, 5967-5971.
- Qian, Q.R., Sunohara, S., Kato, Y., Zaini, M.A.A., Machida, M., Tatsumoto, H., (2008). Watervapor adsorption onto activated carbons prepared from cattle manure compost (CMC). *Appl. Surf. Sci.*, 254, 4868-4874.
- Sahu, J.N., Acharya, J., Meikap, B.C., (2010). Optimization of production conditions for activated carbons from tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology. *Bioresour. Technol.*, 101, 1974-1982.
- Saygılı, H., Güzel, F., (2016). High surface area mesoporous activated carbon from tomato processing solid waste by zinc chloride activation: process optimization, characterization and dyes adsorption. *J. Clean. Prod.*, 113, 995-1004.
- Saygılı, H., (2015). Bazı Bitkisel Posalardan Nano-Gözenekli Aktif Karbonlar Üretilmesi ve Bazı Adsorpsiyon Uygulamalarında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Doktora tezi, Dicle Üniv., Fen Bil. Ens.
- Saygılı, H., Güzel, F., Onal, Y., (2015). Conversion of grape industrial processing waste to activated carbon sorbent and its performance in cationic and anionic dyes adsorption. *J. Clean. Prod.*, 93, 84-93.
- Selvaraju, G., Abu Bakar, N.K., (2017). Production of a new industrially viable green-activated carbon from *Artocarpus integer* fruit processing waste and evaluation of its chemical, morphological and adsorption properties. *J. Clean. Prod.*, 141, 989-999.
- Sing, K.S.W., Everett, D.H., Haul, R.A.W., Moscou, L., Pierotti, R.A., Rouquerol, J., Siemieniowska, T., (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *Pure Appl. Chem.*, 54 (4), 603-619.
- Stoeckli, H.F., Kraehenbuehl, F., (1984). The External Surface of Microporous Carbons, derived from Adsorption and Immersion Studies. *Carbon*, 22, 297-299.
- Tan, G., Yuan, H., Liu, Y., Xiao, D., (2010). Removal of lead from aqueous solution with native and chemically modified corncobs. *J. Hazard. Mater.*, 174, 740-745.
- Uzun, A., (2012). Yenidünya Yetiştiriciliği. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Alata Bahçe Kùltürleri Araştırma İstasyonu Erdemli-Mersin.
- Wang, K., Zhao, N., Lei, S., Yan, R., Tian, X., Wang, J., Song, Y., Xu, D., Guo, Q., Liu, L., (2015). Promising biomass-based activated carbons derived from willow catkins for high performance supercapacitors. *Electrochim. Acta*, 166, 1-11.
- Yargıç, A.S., Yarbay Şahin, R.Z., Özbay, N., Önal, E., (2015). Assessment of toxic copper(II) biosorption from aqueous solution by chemically-treated tomato waste. *J. Cleaner Prod.*, 88, 152-159.
- Zhang, L., Wang, Q., Wang, B., Yang, G., Lucia, L.A., Chen, J., (2015). Hydrothermal carbonization of corncob residues for hydrochar production. *Energy Fuels*, 29 (2), 872-876.

Studies on structural, morphological and porous properties of carbonaceous material made from a novel precursor

Extended abstract

In order to contribute to the studies related to the preparation of activated carbon that never loses its importance due to its high surface area and porosity, the preparation of new kinds of low cost activated carbon constitutes the basis of this work. Activated carbon is defined as a substance that its inner surface and pore 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 pore volume and suitable pore distribution.

Activated carbon is indispensable for many fields of industry and a generic term for a family of highly porous carbonaceous materials, none of which can be characterized by chemical analysis and prepared in the laboratory from a large number of materials. However, high cost of raw materials and energy consumption of its production processes substantially increase the cost of activated carbon production. The production of activated carbons from abundant and easily available wastes that release to the environment as a result of industrial activities is located in the center of the works performed in this area in recent years.

*The objective of this study was to produce the low-cost and novel activated carbon (LSAC) from the loquat (*Eriobotrya japonica*) stones (LS) using $ZnCl_2$ as a chemical activation agent. The production conditions for activated carbon preparation were selected as follows: carbonization temperature, $500^\circ C$; mass ratio of activating agent to precursor, 1:1; and carbonization time, 60 min. Physicochemical characteristics of the precursor and carbonaceous material were investigated using BET, FT-IR, SEM and XRD analysis. The BET analysis shows that the LSAC has a high specific surface area and pore volume up to $1193\text{ m}^2/\text{g}$ and $1.16\text{ gr}/\text{cm}^3$, respectively. The pore structure of the activated carbon is mainly composed of mesopore. The XRD results revealed that the chemical activation with $ZnCl_2$ has given LS a graphitic structure. After carbonization/activation of LS, the SEM micrographs indicated that the pores have developed and the surface has become heterogeneous and the transformation to LSAC has been realized. FT-IR analyses results show that changes between surface functional groups of LS and LSAC show that during the carbonization/activation process organic matter is decomposed and the formation of activated carbon is complete. The results obtained in this study indicated that the LSAC developed in this work can be satisfactorily used in a wide range of applications.*

Keywords: Loquat stones; Carbonaceous material; Production; Chemical activation; Characterization;