

## Çörek Otu Posasının Aktif Karbon Üretiminde Değerlendirilmesi

Sibel ASLAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye  
\*<sup>1</sup> sibela@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 07/08/2020;

Kabul/Accepted: 23/11/2020)

**Öz:** Çörek otu posası; çörek otundan yağ ekstrakte edildikten sonra geriye kalan kalıntıdır. Bu çalışmada zirai endüstriyel bir atık olan çörek otu posası aktif karbon üretimi amacıyla öncül madde olarak kullanılmıştır. Aktif karbon üretiminde kimyasal aktivasyon işlemi uygulanmıştır. Aktifleştirici madde olarak  $ZnCl_2$  kullanılmıştır. Farklı  $ZnCl_2$  emdirme oranlarında (1:1 ve 2:1) ve 500 °C'lik aktivasyon sıcaklığında aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen aktif karbon örneklerinin yapısal ve morfolojik karakterizasyonu BET, FTIR, XRD ve  $pH_{pzc}$  analizleri ile yapılmıştır. 1:1 (AK1) ve 2:1 (AK2) emdirme oranlarında elde edilen aktif karbon örneklerinin yüzey alanları sırasıyla 505.073 m<sup>2</sup>/g ve 276.563 m<sup>2</sup>/g olarak bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar çörek otu posasının aktif karbon üretimi için uygun bir öncül madde olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çörek otu posası, aktif karbon, kimyasal aktivasyon, çinko klorür ( $ZnCl_2$ ).

### Valorization of Black Cumin Pulp in the Activated Carbon Production

**Abstract:** Black cumin pulp is a residue remaining after oil extraction from black cumin. In this study, black cumin pulp, an agro-industrial waste, was used for the production of activated carbon as a precursor material. In the activated carbon production, the chemical activation process was applied.  $ZnCl_2$  was used as an activating agent. Activated carbon production was carried out at different  $ZnCl_2$  impregnation rates (1:1 and 2:1) and an activation temperature of 500 °C. The structural and morphological characterization of the activated carbon samples obtained were performed by BET, FTIR, XRD, and  $pH_{pzc}$  analysis. BET surface areas of activated carbon samples obtained at impregnation ratios of 1:1 (AC1) and 2:1 (AC2) were found to be 505.073 m<sup>2</sup>/g and 276.563 m<sup>2</sup>/g, respectively. The results from the study demonstrated that the black cumin pulp is an appropriate precursor for activated carbon production.

**Key words:** Black cumin pulp, activated carbon, chemical activation, zinc chloride ( $ZnCl_2$ ).

### 1. Giriş

Aktif karbon büyük yüzey alanı, mikro gözenekli yapı, yüksek gözenek hacmi ve yüksek yüzey reaktivitesine sahip karbonlu bir malzemedir. Aktif karbon çok yönlü ve mükemmel bir adsorbenttir [1-4]. Aktif karbonun önemli uygulama alanları endüstriyel atıksuların arıtılması, içme suyundan renk, koku ve tat ile istenmeyen diğer organik ve inorganik kirleticilerin adsorptif olarak uzaklaştırılması, hava temizleme, birçok kimyasal, gıda ve farmasötik ürünün saflaştırılması, çeşitli gaz fazı uygulamaları, enerji depolama, elektrokimyasal uygulama ve katalizdir [2, 5]. Aktif karbonun maliyetinin yüksek olması araştırmacıları farklı hammaddelerden aktif karbon üretimi ile ilgili çalışmalara yönlendirmiştir. Son yıllarda özellikle tarımsal atıklardan aktif karbon üretimi önem kazanmıştır.

Aktif karbon üretiminde kullanılacak karbonlu öncül maddenin seçiminde göz önünde bulundurulmuş kriterler arasında yüksek karbon ve düşük inorganik madde içeriği, işlenebilirlik, çevresel etki ve yüksek kalitede aktif karbon elde etme potansiyeli bulunmaktadır [6].

Aktif karbon karbonlu materyallerin fiziksel veya kimyasal olarak aktifleştirilmesi ile üretilmektedir. Fiziksel aktivasyon başlangıç materyalinin karbonizasyonunu ve daha sonra buhar veya karbondioksit ile aktivasyonunu kapsar. Kimyasal aktivasyonda ise materyale aktifleştirici kimyasal madde emdirilir [7]. Kimyasal aktivasyonda çinko klorür, fosforik asit, alüminyum klorür, magnezyum klorür, potasyum hidroksit, sodyum hidroksit gibi çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bunlar arasında çinko klorür ( $ZnCl_2$ ) en yaygın kullanılanlardan biridir [8].

Çörek otu (*Nigella Sativa* L.) *Ranunculacea* ailesine ait küçük, siyah bir yıllık otsu bir bitkidir ve aromatik bir koku ve tada sahiptir [9]. Çörek otu Güney Avrupa, Kuzey Afrika ve Güneybatı Asya'ya özgüdür ve Orta Doğu Akdeniz Bölgesi, Güney Avrupa, Hindistan, Pakistan, Suriye, Türkiye, Suudi Arabistan gibi dünyanın birçok

\* Sorumlu yazar: [sibela@firat.edu.tr](mailto:sibela@firat.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup>0000-0003-3454-798X

ülkesinde yetiştirilmektedir [10]. Ülkemizde ise Burdur, Isparta, Afyon, Amasya, İstanbul, Gaziantep, Kahramanmaraş, Bursa, Konya, Samsun, Kütahya, Nevşehir, ve Mersin illerinde çörek otu yetiştiriciliği yapılmaktadır [11, 12]. Bölgenin iklimine bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte çörek otu tohumlarının yapısında, uçucu yağlar (% 0.4-0.45), sabit yağlar (% 32-40) proteinler (% 16-19.9), amino asitler, alkaloidler, tanenler, saponinler, lifler (5.5%), karbonhidratlar (% 33.9), mineraller (% 1.79-3.44), askorbik asit, tiamin, niasin, pridoksin ve folik asit bulunmaktadır [13].

Çörek otunun tohumları ve yağı dünya çapında çeşitli hastalıkların tedavisinde asırlardır yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Ağrı kesici, antienflamatuvar, antialerjik, diüretik, antihipertansif, antidiyabetik, antikanser ve bağışıklık sistemini düzenleyici, antimikrobiyal, antihelmintik, spazmolitik, bronkodilatör, mide koruyucu, karaciğer koruyucu, böbrek koruyucu ve antioksidan özelliklere sahiptir [10, 14, 15]. Tedavi edici özellikleri uçucu yağın başlıca aktif kimyasal bileşimi olan timokinonun varlığı sayesinde [10]. Ayrıca çörek otu tohumları baharat ve gıda koruyucu olarak da kullanılmaktadır [16]. Çörek otu tohumlarından yağın ekstraksiyonu için solvent kullanımı, ısıl işlem, hidrodistilasyon, elektriksel alan/mikrodalga, süperkritik karbon dioksit (sCO<sub>2</sub>) gibi yöntemler mevcut olmakla birlikte, en yaygın olarak kullanılan soğuk pres yöntemidir [17, 18, 19]. Kiani vd. [20] tarafından yapılan çalışmada 2019 yılında İran'ın farklı bölgelerinden toplanan çörek otu tohumlarının yağ içeriklerinin %19.179 ile %30.046 arasında değiştiği bulunmuştur. Matthaus ve Özcan [21] tarafından yapılan çalışmada incelenen çörek otu tohumlarının yağ içerikleri %30.4 ile %36.4 arasında bulunmuştur. Çörek otu yağı üretimi esnasında, kullanılan çörek otu tohumunun bileşimine ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak, işlem gören çörek otu tohumunun yaklaşık %70-80'i posa olarak kalmaktadır [22]. Dolayısıyla büyük miktarda kalan bu posanın uygun şekilde değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Türkiye'de 2012 yılında 2299 da alanda 161 ton çörek otu üretilirken, 2019 yılında 37085 da alanda 3603 ton çörek otu üretilmiştir [23].

Çörek otu tohumları son birkaç yılda adsorbent olarak büyük ilgi görmektedir. Siddiqui vd. [24] yaptıkları çalışmada asitle yıkadıkları çörek otu tohumlarını sulu çözeltiden metilen mavisinin gideriminde adsorbent olarak kullanmışlardır. Thabede vd. [25] çörek otu tohumlarını karbonize etmişler (CBC) ve daha sonra %10 ve %20'lik sülfürik asitle 200 °C'de aktifleştirmişlerdir (ACBC-10 ve ACBC-20). Abdel-Ghani vd. [26] çörek otu atığından hazırladıkları manyetik aktif karbon nanokompoziti üzerinde Coomassie parlak mavi boyasının adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Manyetik aktif karbonun yüzey alanı ve toplam boşluk hacmi sırasıyla 106.4 m<sup>2</sup>/g ve 0.220 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Thabede vd. [27] 300 °C'lik sıcaklıkta karbonize ettikleri çörek otunu daha sonra %10 ve %20'lik sülfürik asitle aktifleştirmişler ve bu üç adsorbenti (BCC, BCAC-10 ve BCAC-20) sulu çözeltiden metilen mavisini ve kurşun iyonlarının adsorpsiyonunda kullanmışlardır. BCC, BCAC-10 ve BCAC-20 örneklerinin BET yüzey alanları sırasıyla 11.67, 20.14 ve 21.54 m<sup>2</sup>/g olarak bulunmuştur. Rakass vd. [28] farklı şartlar altında modifiye ettikleri çörek otu tohumlarını sulu çözeltiden metilen mavisinin gideriminde kullanmışlardır.

Bu çalışmanın amacı çörek otundan yağ ekstrakte edildikten sonra geriye kalan posanın aktif karbon üretiminde değerlendirilmesidir. Bu amaçla çörek otu posası farklı emdirme oranlarında çinko klorür ile kimyasal olarak aktifleştirilmiştir. Elde edilen aktif karbon örnekleri BET, FTIR, XRD ve pH<sub>pzc</sub> analizleri ile yapısal ve morfolojik olarak karakterize edilmiştir.

## 2. 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyaller

Çörek otu posası Elazığ'da bulunan ticari bir işletmeden alınmıştır. Çörek otu posası safsızlıklarını gidermek amacıyla, öncelikle sıcak daha sonra soğuk distile suyla yıkanmış ve nem içeriğini gidermek amacıyla etüvde 105 °C'de 24 sa. kurutulmuştur. Kurutulan çörek otu numuneleri öğütücüde öğütülmüş ve daha sonra 20 meshlik elekten geçirilerek aktif karbon üretiminde kullanılmak üzere saklanmıştır. Çalışmada kullanılan ZnCl<sub>2</sub> Merck firmasından temin edilmiştir.

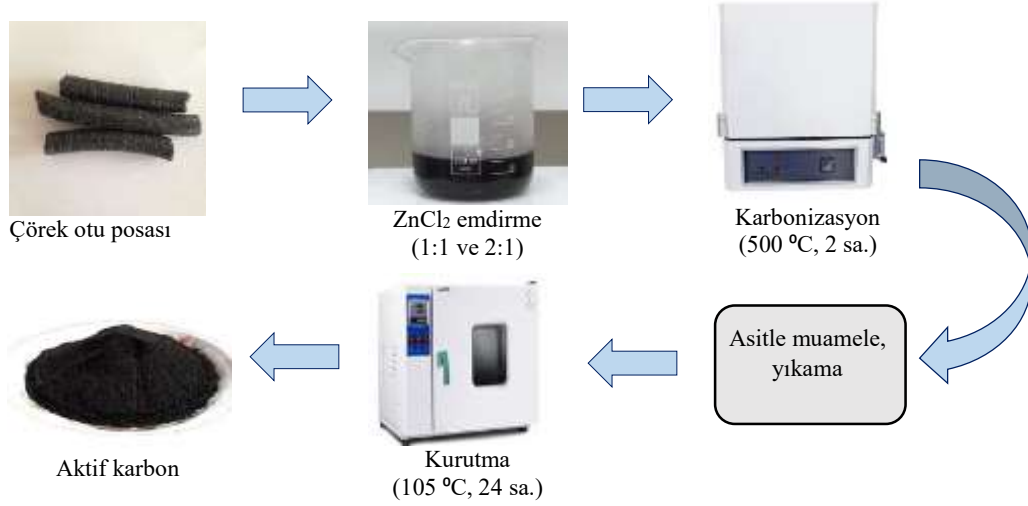
### 2.2. Aktif Karbon Üretimi

Aktif karbon sentezinde Uğurlu vd. [29] tarafından kullanılan yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır. Aktif karbon sentezi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Ön işlemlerden geçirilmiş 40 g çörek otu posasına 1:1 (AK1) ve 2:1 (AK2) oranında ZnCl<sub>2</sub> emdirilmiştir. Emdirme oranı ZnCl<sub>2</sub> ağırlığının çörek otu posasının ağırlığına oranıdır. Emdirme işlemi uygulanan numuneler 70 °C'de su banyosunda 24 saatlik bir temas süresince karıştırılmış ve elde edilen homojen karışım daha sonra etüvde 105 °C'de 24 sa. kurutulmuştur. Kurutulan örnekler paslanmaz çelikten yapılmış silindirik reaktöre yerleştirilmiştir. Kül fırınında 150 cm<sup>3</sup>/dk. azot gazı debisinde 5 °C/dk. sıcaklık artış hızıyla 500 °C'de 2 sa. karbonize edilmiştir. Karbonize edilen numuneler 1 M HCl çözeltisi ile yıkandıktan

sonra distile su ile yıkama çözeltisinin pH'ı nötr oluncaya kadar yıkanmıştır. Daha sonra aktif karbon örnekleri 105 °C'de 24 sa. kurutulmuştur.

### 2.3. Karakterizasyon Çalışmaları

Çörek otu posası ve elde edilen aktif karbon örneklerinin elementel analizi Leco TruSpec Micro elementel analiz cihazı ile yapılmıştır. BET yüzey alanı ve gözenek dağılım tayini Quantachrome Autosorb iQ2 cihazı ile yapılmıştır. X-ışını difraktometre (XRD) analizi SmartLab Rigaku X-ışını difraktometresinde Cu K $\beta$  radyasyonu ( $\lambda= 1.5418 \text{ \AA}$ ) ve D/teX Ultra 250 dedektörüyle yapılmıştır. XRD ölçümleri, 3.0352 derece/dk. tarama hızında sürekli tarama yöntemi uygulanarak yapılmıştır. Çörek otu posasının ve aktif karbon örneklerinin yüzey yapısını ve fonksiyonel gruplarını incelemek amacıyla FTIR analizi yapılmıştır. Analizler Thermo Scientific™ Nicolet™ iS5 model FTIR cihazı ile 600-4000  $\text{cm}^{-1}$  aralığında yapılmıştır. Partikül büyüklüğü analizi Malvern Mastersizer 3000 cihazı ile yapılmıştır.  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  analizinde Bohli vd. [30] tarafından verilen yöntem kullanılmıştır. pH ölçümleri dijital pH metre (XS pH 50+ DHS) ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Aktif karbon hazırlanmasında uygulanan akım şeması.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Aktif Karbon Verimi

Aktif karbonun verimi üretilen aktif karbonun ağırlığının başlangıçta kullanılan malzemenin ağırlığına oranı olarak ifade edilir. Aktif karbon üretim verimi 1:1 ve 2:1 emdirme oranları için sırasıyla %15 ve %16 olarak bulunmuştur. Aljundi ve Jarrah [1] pirinadan kimyasal aktivasyonla ( $\text{ZnCl}_2$ ) aktif karbon üretmişlerdir. 3:1 emdirme oranında verim değerini %18 olarak bulmuşlardır. Aravindhana vd. [31] deniz makroalg biyokütlesinden  $\text{ZnCl}_2$  aktivasyonu ile aktif karbon ürettikleri çalışmalarında,  $\text{ZnCl}_2$  emdirme oranı %10'dan %30'a arttığı zaman verimin %27.35'den %32.42'ye arttığını gözlemlemişlerdir. Verimdeki artış  $\text{ZnCl}_2$ 'nin öncül materyaldeki hidrokarbonlar veya oksijenli organik bileşenlerden ziyade H ve O'ı seçici olarak ayırmasına bağlanmaktadır [31, 32].

### 3.2. Elementel Analiz

Çörek otu posası ve aktif karbon örneklerinin elementel analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Çörek otu posasının karbon içeriği %50.35’tir. Aktif karbon üretimi için uygun karbon içeriği %40-80 arasında olduğundan çörek otu posasının aktif karbon üretimi için uygun bir öncül madde olduğu söylenebilir. Elementel analiz sonuçlarından görülebileceği gibi emdirme oranındaki artışla aktif karbonun karbon içeriği artmıştır. Kimyasal aktivasyonda  $ZnCl_2$  uygulanması selülozik materyalin ayrışmasına, karbonizasyon sırasında dehidrasyona ve aromatik grafitik yapının oluşması sayesinde karbon içeriğinin artmasına yol açar [33, 34].

**Tablo 1.** Çörek otu posası ve aktif karbon örneklerinin elementel analiz sonuçları.

Numune	%C	%H	%N	%S	%O
Çörek otu Posası	50.35	7.38	5.18	-	37.09
AK1	74.13	2.23	3.91	-	19.73
AK2	77.56	2.84	3.11	-	16.49

### 3.3. BET Yüzey Alanı ve Partikül Büyüklüğü

Çörek otu posasından farklı emdirme oranlarında elde edilen aktif karbon örneklerinin BET yüzey alanları ve yapısal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. AK1 ve AK2’nin BET yüzey alanları sırasıyla 505.073 m<sup>2</sup>/g ve 276.563 m<sup>2</sup>/g olarak bulunmuştur. Emdirme oranı 1:1’den 2:1’e artınca BET yüzey alanı azalmıştır. Benzer bir durum hurma çekirdeklerinden kimyasal aktivasyonla aktif karbon üreten El Aboudi vd. [35]’nin çalışmasında da gözlenmiştir.

Şekil 2’de AK1 örneğine ait azot adsorpsiyon-desorpsiyon grafiği verilmektedir. AK1’in adsorpsiyon izotermi International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) sınıflandırmasına göre Tip I ve Tip IV’e uymaktadır. Bu durum aktif karbondaki mikro gözeneklerin ve mezo gözeneklerin varlığını göstermektedir. IUPAC sınıflandırmasına göre Tip I izoterm tipik olarak nispeten küçük bir dış yüzeye sahip mikro gözenekli numunelere özgü iken, Tip IV izoterm mezo gözenekli malzemelerde görülen bir özelliktir [36, 37].

Tablo 2’den görülebileceği gibi emdirme oranı arttıkça toplam gözenek hacmi artmıştır. Kimyasalın girişiminin daha büyük olduğu yüksek emdirme oranlarında aktif karbonun gözenek hacmi de artar [8]. Karbonizasyon sırasında dehidrasyon ajanı olarak davranan  $ZnCl_2$ , karbon iskeletinin kömürleşmesine ve gözenekli bir yapının oluşmasına yol açmaktadır [38]. Yorgun vd. [39]’nin  $ZnCl_2$  aktivasyonu ile Paulownia ağacından aktif karbon ürettikleri çalışmada da emdirme oranı arttıkça gözenek hacmi artmıştır. Her iki aktif karbon örneğinin mikro gözenek alanı mezo gözenek alanından daha yüksektir. AK1 örneğinin mikro gözenek hacmi daha yüksek iken, AK2 örneğinin mezo gözenek hacmi yüksektir. Mikro gözenek alanı ve hacmi artan emdirme oranı ile büyük ölçüde azalmıştır. Mikro gözeneklerin fazla olduğu aktif karbonlar küçük moleküllü kirlenmelerin adsorpsiyonunda kullanılırken, mezo gözeneklerin fazla olduğu aktif karbonlar ise büyük moleküllerin adsorpsiyonunda kullanılır [3]. Artan emdirme oranı ile birlikte mikro gözenek hacmi yüzdesi %72.20’den %21.31’e düşmüştür.

AK1 ve AK2’nin %50 ve %90’ının partikül büyüklüğü sırasıyla 909 µm ve 2160 µm, 443 µm ve 2100 µm olarak ölçülmüştür.

Çörek otunun ve çörek otundan elde edilen aktif karbonların mukayesesi Tablo 3’de verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen aktif karbonların yüzey alanları diğer çalışmalardakine kıyasla oldukça yüksektir.

**Tablo 2.** Aktif karbon örneklerinin BET yüzey alanları ve gözenek yapıları.

Aktif Karbon	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	S <sub>mikro</sub> (m <sup>2</sup> /g)	S <sub>mezo</sub> (m <sup>2</sup> /g)	V <sub>toplam</sub> (cm <sup>3</sup> /g)	V <sub>mikro</sub> (cm <sup>3</sup> /g)	V <sub>mezo</sub> (cm <sup>3</sup> /g)	Ortalama por çapı (Å)
AK1	505.073	424.269	80.804	0.2701	0.195	0.0751	10.6966
AK2	276.563	170.144	106.419	0.3801	0.081	0.2991	22.2785

### 3.4. Yüzeysel Fonksiyonel Gruplar

Çörek otu posası ve aktif karbon örneklerinin FTIR spektrumları Şekil 3’de verilmiştir. Çörek otu posasında gözlenen  $3283\text{ cm}^{-1}$ ’deki pik –OH gerilme frekansına atfedilebilir [24].  $2922\text{ cm}^{-1}$  ve  $2853\text{ cm}^{-1}$ ’deki pikler metil ve metilen grupların varlığından ileri gelir [14, 25, 40, 41,].  $1743\text{ cm}^{-1}$ ’deki ve  $1709\text{ cm}^{-1}$ ’deki pikler ketonik grubun –C=O gerilme titreşimine atfedilir [25, 41].  $1649\text{ cm}^{-1}$  ve  $1540\text{ cm}^{-1}$ ’deki pikler amid gruplarının C=O ve N-H bağlarından kaynaklanır [24].  $1415\text{ cm}^{-1}$ ’deki pik karboksilik grubun –OH eğilme titreşimine işaret eder [41].  $1236\text{ cm}^{-1}$  ve  $1155\text{ cm}^{-1}$ ’deki pikler -CO grubundan dolayıdır [27]. Çörek otunda bulunan bazı pikler aktivasyon işleminden sonra elde edilen aktif karbon örneklerinde gözlenmemiştir.

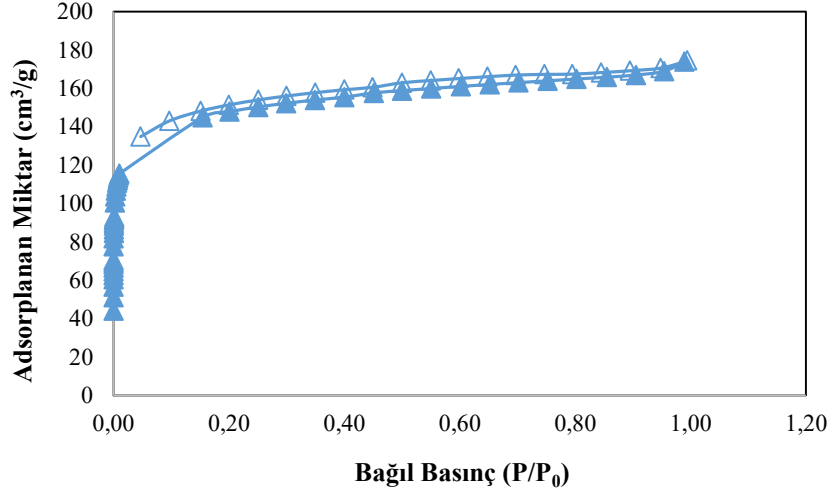
$\text{pH}_{\text{pzc}}$  değeri adsorbentın net yüzey yükünün sıfır olduğu noktadaki pH değeri olarak tanımlanır. Bu değer adsorbentın asidik veya bazik karakterde olduğunu gösterdiği için özellikle adsorpsiyon proseslerinde göz önüne alınmalıdır. Çörek otu posası, AK1 ve AK2 örneklerinin  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  değerleri sırasıyla 7.20, 4.22 ve 3.20 olarak bulunmuştur. Elde edilen aktif karbon örnekleri asidik bir yapıdadır.

**Tablo 3.** Çörek otu bazlı adsorbentlerin özellikleri.

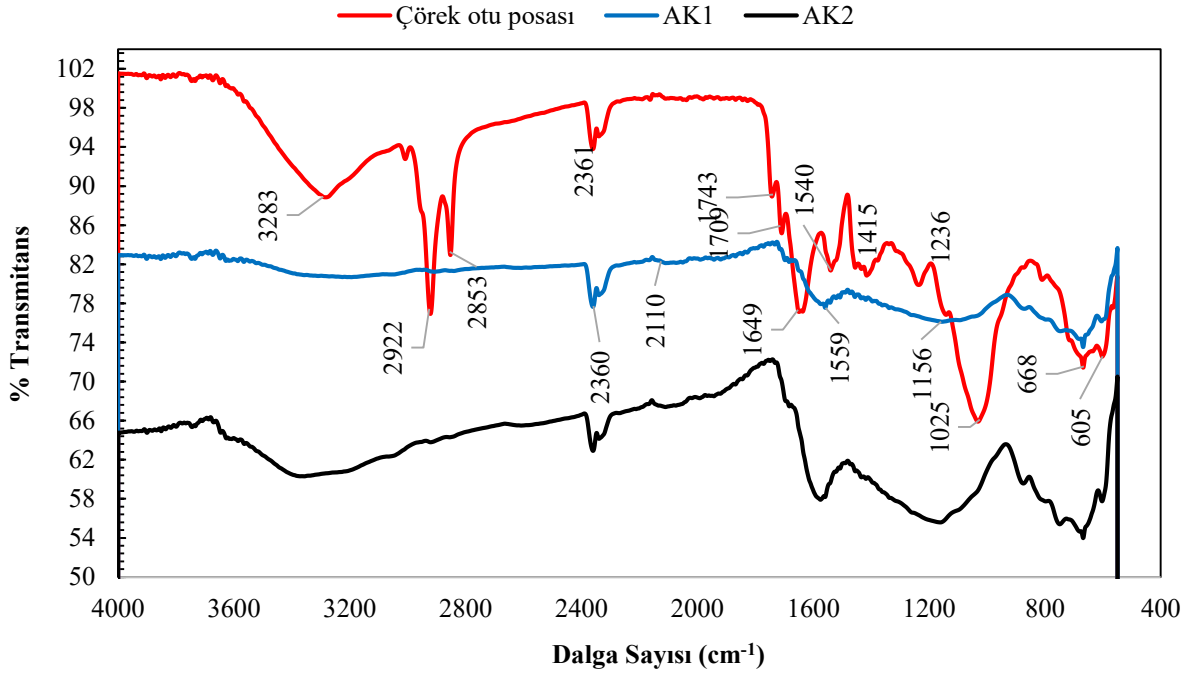
Adsorbent	$S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	$\text{pH}_{\text{pzc}}$	Ortalama por çapı (nm)	Kaynaklar
Asitle yıkanmış çörek otu tohumu	-	2.00	-	Siddiqui vd. [24]
CBC	-	5.7	-	Thabede vd. [25]
ACBC-10	-	2.3	-	
ACBC-20	-	2.3	-	
BCC	11.67	6.22	3.78 nm	Thabede vd. [27]
BCAC-10	20.14	2.10	6.81 nm	
BCAC-20	21.54	2.00	7.13 nm	
Manyetik aktif karbon nanokompozit	106.4	-	-	Abdel-Ghani vd. [26]

### 3.5. XRD Analizi

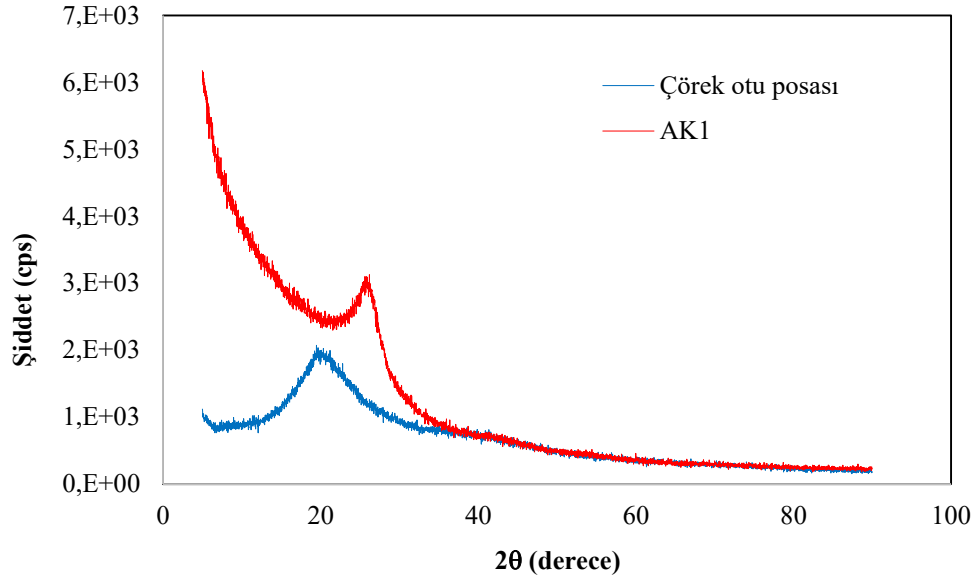
Çörek otu posası ve AK1 örneğinin X-ışını difraksiyon modelleri Şekil 4’de verilmiştir. Çörek otu posasında  $21^\circ$ ’lik  $2\theta$  değerindeki geniş pik çörek otunun selülozik içeriğinin göstergesidir. Bu pik aktif karbondaki kaybolmuştur. Aktif karbondaki  $26^\circ$ ’de gözlenen pik aktif karbonun amorf yapısına işaret eder. Biyokütle atıklarından elde edilen aktif karbonlar genellikle amorf yapıdadır [42-44].



Şekil 2. Çörek otu posasından elde edilen AK1 örneğine ait azot adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi (▲: Adsorpsiyon, Δ: Desorpsiyon).



Şekil 3. Çörek otu posası ve aktif karbon örneklerinin FTIR spektrumları.



Şekil 4. Çörek otu posası ve AK1 örneğinin XRD modelleri.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada çörek otundan yağ ekstrakte edildikten sonra geriye kalan posa aktif karbon üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır. Çörek otu posası  $ZnCl_2$  ile farklı emdirme oranlarında kimyasal olarak aktifleştirilmiştir. 1:1 (AK1) ve 2:1'lik (AK2) emdirme oranlarında elde edilen aktif karbon örneklerinin BET yüzey alanları sırasıyla  $505.073 \text{ m}^2/\text{g}$  ve  $276.563 \text{ m}^2/\text{g}$  olarak bulunmuştur. Ticari aktif karbonun yüzey alanı  $500\text{-}1500 \text{ m}^2/\text{g}$  arasındadır. AK1 aktif karbon örneğinin yüzey alanı da bu aralıktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, atık bir madde olan çörek otu posasının düşük maliyetli aktif karbon üretiminde öncül materyal olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Aljundi IH, Jarrah N. A study of characteristics of activated carbon produced from Jordanian olive cake. J Anal Appl Pyrol 2008; 81: 33–36.
- [2] Rezma S, Birot M, Hafiane A, Deleuze H. Physically activated microporous carbon from a new biomass source: Date palm petioles. CR Chim 2017; 20: 881–887.
- [3] Kumar A, Jena HM. Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by chemical activation with  $H_3PO_4$ . Results Phys 2016; 6: 651–658.
- [4] Annab H, Fiol N, Villaescusa I, Essamri A. A proposal for the sustainable treatment and valorisation of olive mill wastes. J Environ Chem Eng 2019; 7: 102803.
- [5] Bansal RC, Goyal M. Activated Carbon Adsorption. Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis Group, CRC Press, 2005.
- [6] Saleem J, Shadid UB, Hijab M, Mackey H, McKay G. Production and applications of activated carbons as adsorbents from olive stones. Biomass Convers Biorefin 2019; 9: 775–802.
- [7] Yakout SM, El-Deen GS. Characterization of activated carbon prepared by phosphoric acid activation of olive stones. Arab J Chem 2016; 9: S1155–S1162.
- [8] Molina-Sabio M, Rodríguez-Reinoso F. Role of chemical activation in the development of carbon porosity. Colloid Surface A 2004; 241: 15–25.
- [9] Abdel Rahman, HH, Moustafa AHE, Kassem MG. Black cumin (*Nigella sativa*) as low cost biosorbent for the removal of toxic Cu (II) and Pb (II) from aqueous solutions. Int J Eng Technol IJET-IJENS 2015; 15(02): 46–66.
- [10] Ahmad A, Husain A, Mujeeb M, Khan SA, Najmi AK, Siddique NA, Damanhoury ZA, Anwar F. A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*: A miracle herb. Asian Pac J Trop Biomed 2013; 3(5): 337–352.
- [11] Koşar İ, Özel A. Çörekotu (*Nigella sativa* L.) çeşit ve popülasyonlarının karakterizasyonu: I. Tarımsal özellikler. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 2018; 22(4): 533-543.

- [12] Kılıç C, Arabacı O. Çörek otu (*Nigella sativa* L.)'nda farklı ekim zamanı ve tohumluk miktarının verim ve kaliteye etkisi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2016; 13(2): 49–56.
- [13] Bacak Güllü E, Avcı G. Timokinon: *Nigella Sativa*'nın biyoaktif komponenti. Kocatepe Vet J 2013; 6(1): 51–61.
- [14] Ahmad R, Haseeb S. Black cumin seed (BCS): A non conventional adsorbent for the removal of Cu (II) from aqueous solution. Desalin Water Treat 2014; 56(9): 1–10.
- [15] Rezaei-Chiyaneh E, Seyyedi SM, Ebrahimian E, Moghaddam SS, Damalas CA. Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). Ind Crop Prod 2018; 112: 741–748.
- [16] Al-Kayssi AW, Shihab RM, Mustafa SH. Impact of soil water stress on Nigellone oil content of black cumin seeds grown in calcareous-gypsiferous soils. Agr Water Manage 2011; 100: 46–57.
- [17] Bulca S. Çörek otunun bileşenleri ve bu yağın ve diğer bazı uçucu yağların antioksidan olarak gıda teknolojisinde kullanımı. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2014; 11(2): 29 – 36.
- [18] Keykubat B. Tıbbi aromatik bitkiler ve iyi yaşam. İzmir Ticaret Borsası Ar-Ge Müdürlüğü 2016; 1–23.
- [19] Subratti A, Lalghe LJ, Jalsa NK. Efficient extraction of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed oil containing thymol, using liquefied dimethyl ether (DME). J Food Process Preserv 2019; 43(4): 13913.
- [20] Kiani M, Alahdadi I, Soltani E, Boelt B, Benakashan F. Variation of seed oil content, oil yield, and fatty acids profile in Iranian *Nigella sativa* L. landraces. Ind Crop Prod 2020; 149: 112367.
- [21] Matthaus B, Özcan MM. Fatty acids, tocopherol, and sterol contents of some *Nigella* species seed oil. Czech J Food Sci 2011; 29(2): 145–150.
- [22] Şen N, Kar Y. Pyrolysis of black cumin seed cake in a fixed-bed reactor. Biomass Bioenerg 2011; 35: 4297-4304.
- [23] <http://www.tuik.gov.tr>
- [24] Siddiqui SI, Rathi G, Chaudhry SA. Acid washed black cumin seed powder preparation for adsorption of methylene blue dye from aqueous solution: Thermodynamic, kinetic and isotherm studies. J Mol Liq 2018; 264: 275–284.
- [25] Thabede PM, Shooto ND, Xaba T, Naidoo EB. Sulfuric activated carbon of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds for the removal of cadmium(II) and methylene blue dye. Asian J Chem 2020; 32(6): 1361–1369.
- [26] Abdel-Ghani NT, El-Chaghaby GA, Rawwash E-SA, Lima EC. Magnetic activated carbon nanocomposite from *Nigella sativa* L. waste (MNSA) for the removal of Coomassie brilliant blue dye from aqueous solution: Statistical design of experiments for optimization of the adsorption conditions. J Adv Res 2019; 17: 55–63.
- [27] Thabede PM, Shooto ND, Naidoo EB. Removal of methylene blue dye and lead ions from aqueous solution using activated carbon from black cumin seeds. S Afr J Chem Eng 2020; 33: 39–50.
- [28] Rakass S, Mohmoud A, Hassani HO, Abboudi M, Kooli F, Wadaani FA. Modified *Nigella sativa* seeds as a novel efficient natural adsorbent for removal of methylene blue dye. Molecules 2018; 23: 23081950.
- [29] Uğurlu M, Gürses A, Doğan Ç. Adsorption studies on the treatment of textile dyeing effluent by activated carbon prepared from olive stone by ZnCl<sub>2</sub> activation. Color Technol 2007; 123: 106–114.
- [30] Bohli T, Fiol N, Villaescusa I, Ouederni A. Adsorption on activated carbon from olive stones: Kinetics and equilibrium of phenol removal from aqueous solution. J Chem Eng Process Technol 2013; 4(6): 1-5.
- [31] Aravindhan R, Raghava Rao J, Unni Nair B. Preparation and characterization of activated carbon from marine macroalgal biomass, J Hazard Mater 2009; 162: 688–694.
- [32] Hu Z, Srinivasan MP, Ni Y. Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons. Carbon 2001; 39: 877–886.
- [33] Olivares-Marín M, Fernández-González C, Macías-García A, Gómez-Serrano V. Preparation of activated carbon from cherry stones by chemical activation with ZnCl<sub>2</sub>. Applied Surface Science 2006; 252(17): 5967–5971.
- [34] Hock PE, Zaini MAA. Activated carbons by zinc chloride activation for dye removal– A commentary. Acta Chimica Slovaca 2018; 11(2): 99–106.
- [35] El Aboudi I, Annab H, Mdarhri A, Amjoud M, Servant L. Activated carbon synthesis using Moroccan dates stones as precursor and application for wastewater treatment. J Mater Environ Sci 2017; 8(4): 1483–1481.
- [36] Sing KSW, Everett DH, Haul RAW, Moscou L, Pierotti RA, Rouquérol J, Siemieniowska, T. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. Pure Appl Chem 1985; 57(4): 603–619.
- [37] Thommes M, Kaneko K, Neimark AV, Olivier JP, Rodriguez-Reinoso F, Rouquerol J, Sing KSW. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). Pure Appl Chem 2015; 87 (9–10): 1051–1069.
- [38] Liou TH. Development of mesoporous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation. Chem Eng J. 2010; 158:129–142.
- [39] Yorgun S, Vural N, Demiral H. Preparation of high-surface area activated carbons from Paulownia wood by ZnCl<sub>2</sub> activation. Micropor Mesopor Mat 2009; 122: 189–194.
- [40] Oliveira RN, Mancini MC, Oliveira FCS, Passos TM, Quilty B, Thire RMS, McGuinness GB. FTIR analysis and quantification of phenols and flavonoids of five commercially available plants extracts used in wound healing. Matéria (Rio de Janeiro) 2016; 21: 767–779.
- [41] Siddiqui SI, Chaudhry SA. *Nigella sativa* plant based nanocomposite-MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/BC: An antibacterial material for water purification. J Clean Prod 2018; 200: 996–1008.



- [42] Galiatsatou P, Metaxas M, Kasselouri-Rigopoulou V. Mesoporous activated carbon from agricultural byproducts. *Mikrochim Acta* 2001; 136: 147–152.
- [43] Djilani C, Zaghdoudi R, Modarressi A, Rogalski M, Djazi F, Lallam A. Elimination of organic micropollutants by adsorption on activated carbon prepared from agricultural waste. *Chem Eng J* 2012; 189-190: 203–212.
- [44] Djeridi W, Ouederni A, Mansour NB, Llewellyn PL, Alyamanic A, El Mir L. Effect of the both texture and electrical properties of activated carbon on the CO<sub>2</sub> adsorption capacity. *Mater Res Bull* 2016; 73: 130–139.