

## Atık Biyokütleden (Acı Kırmızı Biber Sapları) Üretilen Aktif Karbonun Yüzey-Gözenek Yapısına Mikrodalga Yönteminin Etkisi

### The Effect of the Microwave Method on the Surface-Pore Structure of Activated Carbon Produced From Waste Biomass (Hot Red Pepper Stalks)

Dr. Öğr. Üyesi Hacer DOLAS 

Harran University, Hilvan Vocational School, Program of Occupational Health and Safety, Şanlıurfa, Turkey

Öğr. Gör. Hakan YILDIZ 

Harran University, Bozova Vocational School, Program of Environmental Technologies, Şanlıurfa, Turkey

Prof. Dr. Ömer SAHİN 

Istanbul Technical University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Department, İstanbul, Turkey

\* Corresponding author: hacerdolas@harran.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 26.05.2022  
Kabul Tarihi / Accepted: 24.07.2022

Araştırma Makalesi/Research Article  
DOI: 10.5281/zenodo.6948282

#### ÖZET

Aktif karbonun, çevresel kirleticilerin adsorpsiyon işlemi ile giderilmesinde yaygın olarak kullanılan adsorbent malzeme olduğu yapılan birçok çalışma ile kanıtlanmıştır. Son yıllarda atık biyokütle kaynakları kullanılarak aktif karbon üretimi özellikle atık bertarafı ve yüksek gözenekli, ucuz adsorbent eldesi gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Atık biyoküteller doğada bol miktarda bulunan özellikle tarımsal ürünlerin kullanılması ve işlenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de ise özellikle baharat üretiminde yaygın olarak kullanılan acı kırmızı biber (*Capsicum annuum* L.) bu tarımsal ürünlerden biridir. Türkiye’de üretilen biberlerin büyük bir kısmı güneydoğu bölgesinde yetiştirilmektedir. Bu bölgenin en önemli biberi Şanlıurfa ilinde yetişen ve coğrafi işaret yönetmelikleri ile belgelenen *isot* biberidir. *İsot* biberi sap ve tohumları etli kısımlarından ayrılarak baharat üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında atık olarak değerlendirilen *isot* saplarını kullanarak iki farklı yöntem ile aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. İlk yöntemde *isot* sapları % 100 oranında  $ZnCl_2$  (çinko klorür),  $H_3BO_3$  (borik asit) ve  $H_3PO_4$  (fosforik asit) ile 24 saat impregnasyon işlemine tabi tutulmuştur. İkinci yöntemde ise %100 oranında  $H_3PO_4$  (fosforik asit) kimyasalı uygulanan *isot* sapları  $CO_2$  gazı ile inert edilen mikrodalga fırın ortamında 500 W dalga gücünde 15 dk süreyle impregnasyon işlemine tabi tutulmuştur. Her iki yöntem sonrası *isot* sapları  $N_2$  gazı ile inert edilen bir kül fırınında ( $650\text{ }^\circ\text{C}$ , 30 dk) aktivasyon işlemine tabi tutulmuştur. İki farklı yöntemle *isot* saplarından üretilmiş aktif karbonlarının gözenek boyutu ve yüzey alanı tespiti için BET, yapısındaki fonksiyonel grupların tespiti için FT-IR ve yüzey morfolojik görüntülerinin elde edilmesi için SEM analizleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre atık *isot* saplarından ucuz ve çevre dostu adsorbentler üretilerek hem atık bertarafı yapılmış hem de katma değeri yüksek ürün elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık Biyokütle, *İsot* Sapları, Mikrodalga Fırın, Aktif Karbon.

#### ABSTRACT

Activated carbon has been proven by many studies that it is an adsorbent material that is widely used in the removal of environmental pollutants by the adsorption process. In recent years, activated carbon production using waste biomass resources has been preferred due to its advantages such as waste disposal and obtaining high porous, cheap adsorbent. Waste biomass is the result of the use and processing of agricultural products, which are abundant in nature. In Turkey, hot red pepper (*Capsicum annuum* L.), which is widely used in spice production, is one of these agricultural products and most of the peppers produced are grown in the southeast region. The most important pepper of this region is *isot* grown in Şanlıurfa and documented by geographical indication regulations. Within

the scope of this study, activated carbon was produced from *isot* stalks by two different methods. In the first method, *isot* stalks were impregnated with 100%  $ZnCl_2$  (zinc chloride),  $H_3BO_3$  (boric acid) and  $H_3PO_4$  (phosphoric acid) chemicals for 24 hours. In the second method, *isot* stalks with 100%  $H_3PO_4$  (phosphoric acid) chemical were impregnated in a microwave oven at 500 W wave power for 15 minutes in a  $CO_2$  gas environment. Then, *isot* stalks were carbonized in a muffle furnace (650 °C, 30 min). The characterization of activated carbons obtained by two different methods was performed by using BET for the determination of surface area and pore sizes, FT-IR for the determination of functional groups in its structure and SEM for obtaining surface morphological images were performed. According to the results obtained, cheap and environmentally friendly adsorbents were produced from waste *isot* stalks, and both waste disposal was done and a product with high added value was obtained.

**Keywords:** Waste biomass, *Isot* Stalks, Microwave Furnace, Activated Carbon.

## 1. GİRİŞ

Aktif karbonun tarihi M.Ö 3750 yıllarına kadar uzanmaktadır. Bilinen ilk çalışmalar Mısır ve Sümerlilerin bronz üretimi için ortamda bulunan bakır, çinko ve kalay elementlerini azaltmak ve ayrıca dumansız bir yakıt olan odun kömürü olarak kullanmışlardır. Günümüze doğru geldiğimizde ise 19. yy sonlarına doğru sanayi ve endüstri alanında renk giderici materyal olarak ve cıva buharının solunmasını önlemek amacıyla karbon filtreli maskelerde kullanıldığı görülmektedir (Zhuanglei Zou, 2015).

Modern toplumun 20. yy da hızla gelişmesiyle birlikte özellikle ikinci yarısından sonra su kaynakları, temiz gaz uygulamaları ve hava kalitesi kontrolü, enerji depolama gibi daha çok çevresel uygulamalar gerçekleştirilmiştir (Chairunnisa, 2020). Aktif karbonlar son derece geniş yüzey alanına, yüksek geçirgenlik, yeterli gözenek boyutu dağılımı ve fonksiyonel yüzey grupları nedeniyle güçlü etkileşim potansiyeline sahip malzemelerdir.

Geleneksel aktif karbon üretimi, aktivasyon ve karbonizasyon süreçlerinin dahil edilmesi ile fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak hazırlanır. Aktif karbon üretiminde fiziksel aktivasyon süreci karbon dioksit veya su buharı kullanılarak, kimyasal aktivasyon işleminde ise fosforik asit ( $H_3PO_4$ ), çinko klorür ( $ZnCl_2$ ), metal hidroksitler (NaOH ve KOH vb.) gibi kimyasal maddeler kullanılarak süreç gerçekleştirilmektedir (Dolas H, 2010). Kimyasal aktivasyon da yüksek yüzey alanı ve geniş gözenek boyutlarına ulaşmak için aktivasyon sıcaklığı, süresi ve impregnasyon oranı gibi süreci etkileyen birçok parametre vardır (J.Plank, 2010). Bu parametrelerin etkisinin incelendiği birkaç çalışmada uygulanan mikrodalga destekli impregnasyon işlemi ile hızlı ısıtma, daha kısa impregnasyon ve etkin karbonizasyon işlemi gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Ayrıca mikrodalga destekli impregnasyon metodu ile aktif karbon üretiminde, klasik yöntemle göre mevcut yüzey alanı ve gözenek boyutunun iyileştirildiği rapor edilmiştir (Khaled Zoroufchi Benis, 2022).

Son yıllarda karbon kökenli ve doğada bol bulunan tarımsal atıklardan aktif karbon üretimi oldukça yaygınlaşmıştır. Mısır koçanı (Ositadinma Chamberlain Iheanacho, 2021), kestane kabuğu (Iván Costa-Trigo, 2020), güve otu (Sandro Altenor, 2009), Hindistan cevizi kabukları (Wahyu Widanarto, 2022), kahve kabukları (Shuang Zhang, 2022) aktif karbon üretiminde kullanılan atık biyokütlelerden bazılarıdır.

2020 yılında dünyada yaklaşık 2 milyon hektar ekim alanına sahip biberin üretimi 36 milyon ton gerçekleşmiştir. Türkiye’de ise aynı yıl yaklaşık 91 bin hektar ekim alanı ve 2,6 milyon ton civarında üretim olmuştur. Bu miktarın yaklaşık %75’i Türkiye’nin güneydoğusunda bulunan Şanlıurfa ilinde üretilmektedir. Bu bölgede yetiştirilen biberler ağırlıklı olarak *isot* olarak isimlendirilmektedir. Üretilen bu *isot’lar* hem taze olarak tüketilmekte hem de baharat yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Baharat yapımı için *isot’un* etli kısımları tohumundan ve saplarından ayrılarak üretilmektedir (Korkmaz, 2017).

Bu çalışma kapsamında atık biyokütle kaynağı olarak dünya genelinde yaygın tüketimi olan acı biberin atık sapsarı kullanılmıştır. Şanlıurfa yöresine ait *isot* atık sapsarı kullanılarak aktif karbon üretimi ilk defa bu çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Aktif karbon sentezinde atık biyokütlelerden iki farklı yöntem kullanılarak dört farklı aktif karbon elde edilmiştir. İlk yöntemde %100 oranında  $ZnCl_2$ ,  $H_3BO_3$  ve  $H_3PO_4$  uygulanan *isot* sapsarı 24 saat impregnasyon işlemine tabi tutulmuştur. İkinci yöntemde ise %100 oranında  $H_3PO_4$  uygulanan *isot* sapsarına mikrodalga fırında 15 dk süreyle impregnasyon işlemi uygulanmıştır. İki yöntemle elde edilen *isot* sapsarı aktivasyon işleminden önce iyice yıkandıktan sonra kurutulmuştur. Kurutulan *isot* sapsarı  $N_2$  gazı ile inert edilen bir kül fırınında ( $650\text{ }^\circ\text{C}$ , 30 dk) aktivasyon işlemine tabi tutulmuştur. *Isot* sapsarından elde edilen aktif karbonların gözenek dağılımı ve yüzey alanlarını kıyaslayabilmek için BET, yapısındaki fonksiyonel grupların tespiti için FT-IR ve yüzey morfolojik görüntülerinin elde edilmesi için SEM analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre atık *isot* sapsarından ucuz ve çevre dostu adsorbentler üretilerek hem atık bertarafı yapılmış hem de katma değeri yüksek ürün üretilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Atık biyokütle *isot* sapsarının hazırlanması ve aktif karbon üretimi

Aktif karbon üretiminde kullanılacak atık biyokütle kaynağı *isot* sapsarı Şanlıurfa ilinden yerel üreticilerden temin edilmiştir. Tablo 1’de geleneksel ve mikrodalga impregnasyon işlemlerinin ardından aktivasyonu sağlanacak aktif karbonlar için uygulanan aktifleştirici ve yöntem ile kodlamaları verilmiştir.

**Tablo 1.** Aktifleştirici, metot ve elde edilen aktif karbon kodları

Aktifleştirici	Metot	Aktif Karbon Kodu
$ZnCl_2$	Geleneksel Kimyasal Aktivasyon	BSAC1
$H_3BO_3$	Geleneksel Kimyasal Aktivasyon	BSAC2
$H_3PO_4$	Geleneksel Kimyasal Aktivasyon	BSAC3
$H_3PO_4$	Mikrodalga + Aktivasyon	BSAC4

Çalışma kapsamında elde edilen dört farklı aktif karbonların yapılarındaki gözeneklerin tamamen açılması için yıkanmış ve karakterizasyon ölçümleri için hazır hale getirilmiştir.

### 2.2. Karakterizasyon çalışmaları

Aktivasyon işlemleri sonucunda üretilen aktif karbonun gözenek boyut dağılımı ve yüzey alanının tespiti için BET analizi yapılmıştır. Üretilen aktif karbonları BET analizine hazırlamak için gün aşırı  $240\text{ }^\circ\text{C}$ ’de oluşan nemin çekildiği bir ortamda tutulmuştur.

Aktif karbonun yapısındaki fonksiyonel grupların tespiti için FT-IR analizleri yapılmıştır. Bruker Vertex 70 FT-IR cihazı kullanılarak ilgili fonksiyonel grupların görüleceği pikler  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$  aralığında belirlenmiştir.

Son olarak aktif karbonun yüzeyi taranarak görüntüsünün elde edilmesi için SEM analizleri yapılmıştır. ZEISS Evo/LS 10 elektron mikroskobu SEM görüntülerini elde etmekte kullanılmıştır.

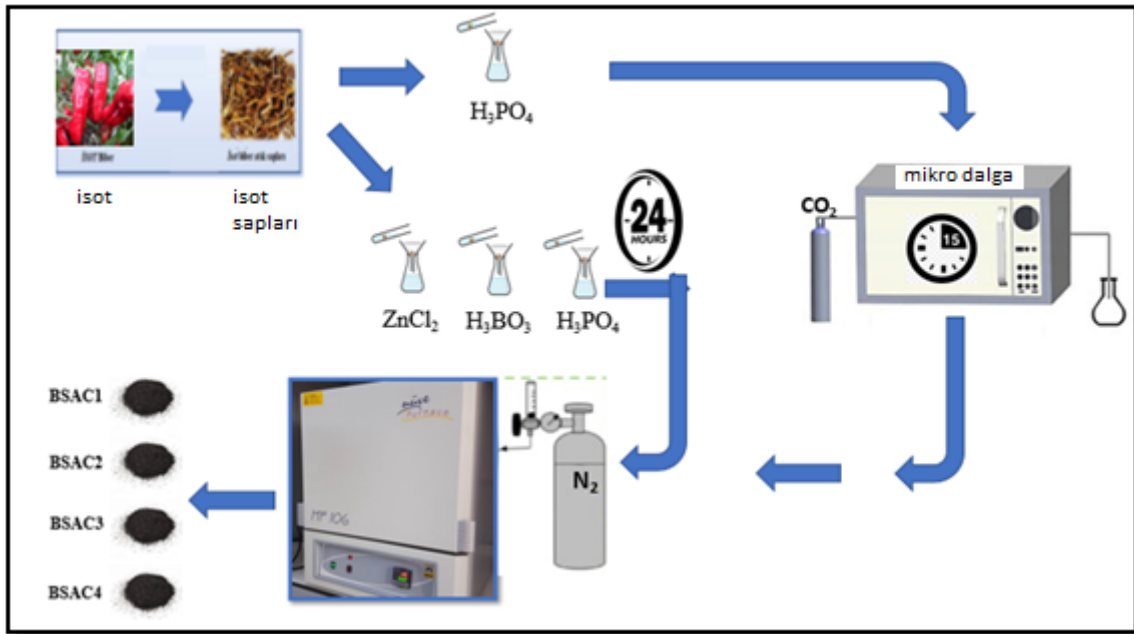
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Aktif Karbonların Üretimi

Aktif karbon üretimi için Tablo 1’de belirtilen üretim aşamaları sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında atık biyokütleler ilk olarak %100 oranında  $ZnCl_2$ ,  $H_3BO_3$  ve  $H_3PO_4$  uygulanan *isot* sapları 24 saat impregnasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise atık biyokütlelere mikrodalga destekli impregnasyon işlemi uygulanmıştır. Bu aşamada %100 oranında  $H_3PO_4$  uygulanan *isot* sapları, yüksek yüzey alanı ve yüksek gözenek hacmi için mikrodalga destekli impregnasyon işlemi uygulanmıştır. Daha etkin impregnasyon işlemi için mikrodalga süresi 15 dk, mikrodalga gücü 500 W ve mikrodalga ortam gazı  $CO_2$  olarak belirlenmiştir.

Her iki yöntemde kimyasal aktifleştiriciler ile impregnasyon işlemi tamamlanan *isot* sapları,  $N_2$  gazı ile inert edilen bir kül fırınında  $650\text{ }^\circ\text{C}$ ’de 30 dk süreyle aktivasyon işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 1).

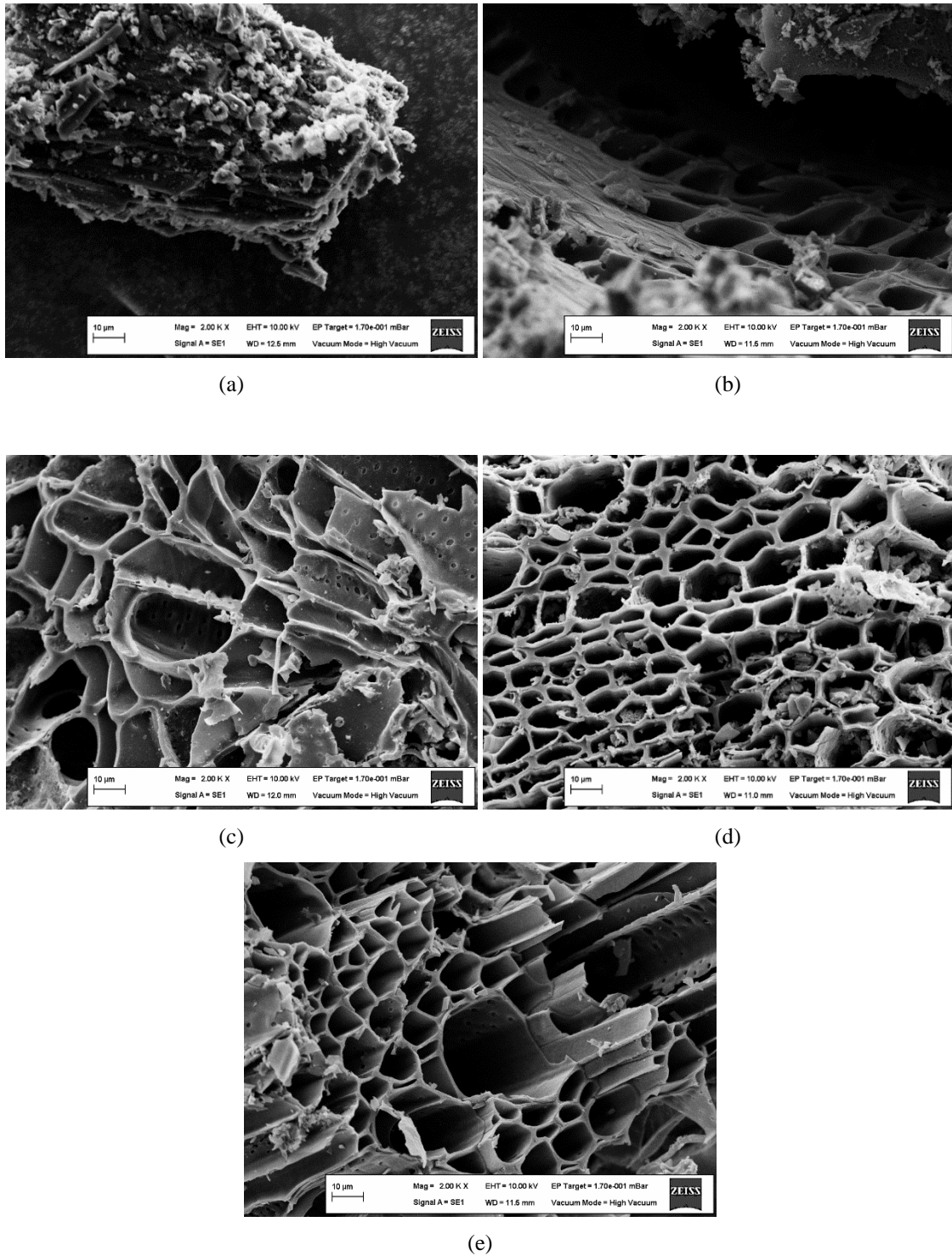


Şekil 1. Geleneksel aktivasyon ve mikrodalga destekli aktivasyon işlemleri kullanılarak *isot* saplarından aktif karbon üretimi şeması

#### 3.2. Aktif Karbonların Karakterizasyonu

##### 3.2.1. SEM Görüntüleri

Şekil 2, işlem uygulanmamış ham *isot* sapları (a) ile BSAC1 (b), BSAC2 (c), BSAC3 (d) ve BSAC4 (e) aktif karbonların SEM görüntülerini sergilemektedir.



**Şekil 2.** SEM görüntüleri. (a) ham isot sapları, (b) BSAC1, (c) BSAC2, (d) BSAC3 ve (e) BSAC4 aktif karbonlar.

Şekil 2 (a)'ya göre ham *isot* saplarının yüzeyi gözeneklerin gözlenmediği sıkı bir yapıdadır. Bunun aksine işlenerek *İsot* biber saplarından elde edilen (BSAC1, BSAC2, BSAC3 ve BSAC4) aktif karbonların SEM görüntüleri incelendiğinde ise koridor şeklinde gözeneklerin oluştuğu ve bu gözeneklerin tamamen açıldığı görülmektedir (Şekil 2 (b, c, d, e)).

### 3.2.2. Yüzey Alanı ve Gözenek Analizi

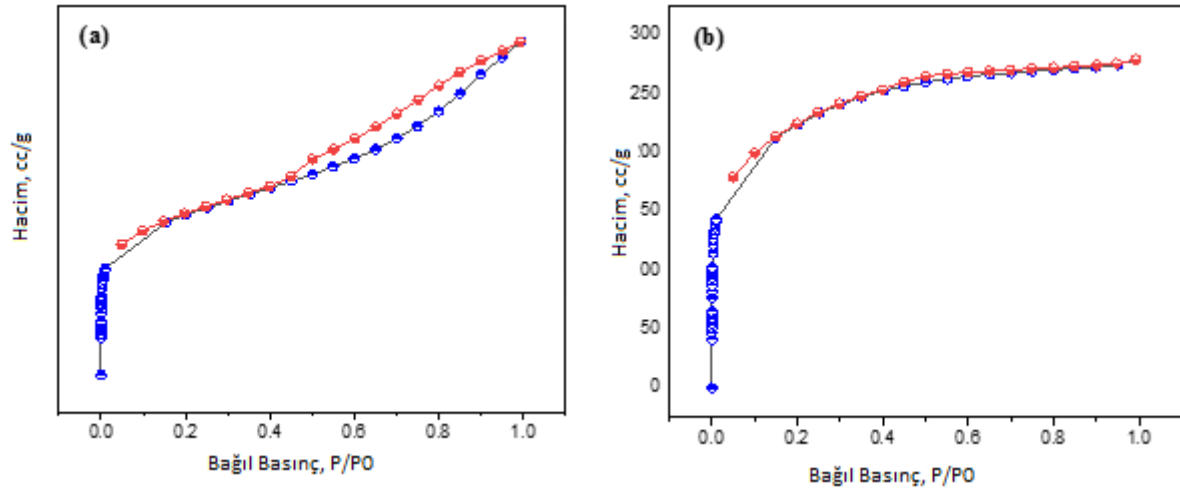
Aktif karbonun yapısında bulunan gözeneklilik oranı ve hacmi ne kadar yüksek olursa elde edilen aktif karbon da o kadar yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olacaktır. Aktif karbonun gözeneklilik

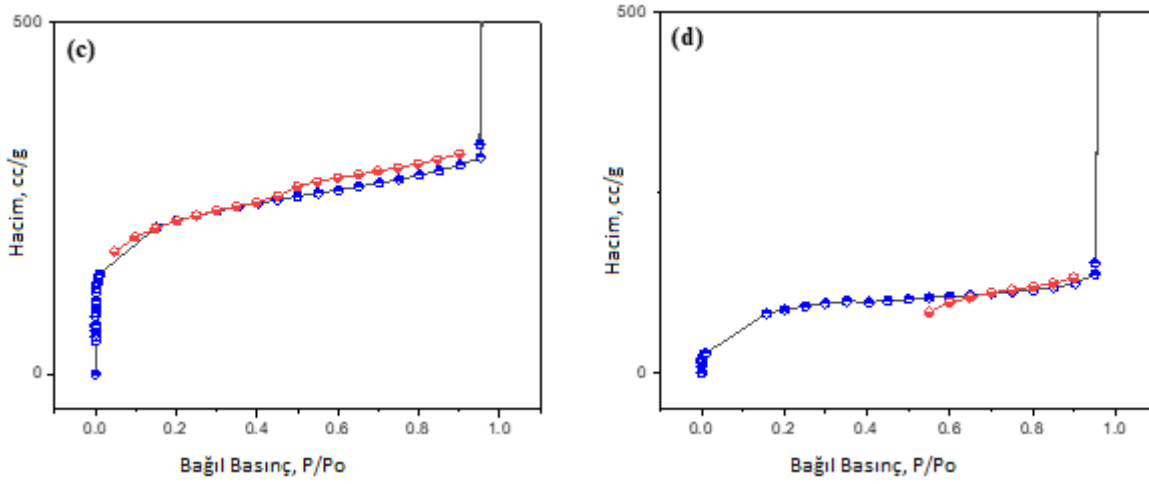
boyut dağılımı ve yüzey alanı, N<sub>2</sub> gazının -196 °C şartlarında aktif karbon yüzeyindeki adsorpsiyonunu temel alan Bruauer-Emmett-Teller (BET) metodu kullanılarak verilmiştir. Atık biyokütle kaynağı *isot* saplarından elde edilen ve Tablo 1’de kodlanan aktif karbonların BET yüzey alanı tespit edilmiştir. Her bir aktif karbonun sahip olduğu yüzey alan ve gözenek hacim dağılımı Tablo 2’de verilmiştir. Tablodaki sonuçlar H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> kullanılarak gerçekleştirilen mikrodalga destekli impregnasyon işlemi sonucu sentezlenen BSAC4 kodlu aktif karbonun (1003,34 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), geleneksel yöntem ile üretilen karbonlara kıyasla yüzey alanının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sonuç; mikrodalga destekli impregnasyon işlemi ile kimyasal aktifleştirici H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>’ün karbon yapısına derinlemesine nüfuz etmesi ve böylece yüksek yüzey alanına sahip bir yapının oluşumuna neden olmasından kaynaklanabilir.

**Tablo 2.** Biber saplarından elde edilen AC’ların Yüzey Alanı ve Gözenek Dağılımı.

Adsorbent	Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )			Gözenek Hacmi (cc g <sup>-1</sup> )		
	Toplam	Mikro	Mezo	Toplam	Mikro	Mezo
BSAC1	624,665	359,335	265,33	0,366	0,114	0,252
BSAC2	898,177	688,876	209,301	0,644	0,243	0,401
BSAC3	839,622	617,033	222,589	0,872	0,414	0,458
BSAC4	1003,34	886,312	117,028	1,216	0,377	0,839

Aktif karbonlara ait -196 °C’de N<sub>2</sub> gazı izotermi Şekil 3’te verildiği gibidir. Aktif karbonların grafikleri incelendiğinde mikro ve mezo gözenekli malzemelerde görülen tip I ve tip IV izotermine uyduğu söylenebilir. Aktif karbonlarının izotermi ilk kısmı tip I’e uymaktadır. Düşük bağıl basınçta (P/P<sub>0</sub> < 0.01), mikro gözenekler ve N<sub>2</sub> molekülleri arasındaki güçlü etkileşim, N<sub>2</sub> adsorpsiyon kapasitesinde keskin bir artışa neden olmaktadır. Orta ve yüksek bağıl basınç (P/P<sub>0</sub> = 0.4-1.0) aşamasında izotermi tip IV’e uyduğu söylenebilir. Bağıl basınç artışı ile birlikte her izoterm aniden sıçraması ve mezo gözenekler ve N<sub>2</sub> moleküllerinin kılcal yoğunlaşmasına atfedilen histerisis döngüsünün oluşumu gözlenmektedir. Aynı zamanda bağıl basıncın artmasıyla, N<sub>2</sub> adsorpsiyon kapasitesi kademeli olarak artar, bu da adsorbentın gözenek yapısının mezo gözenekli olduğunu göstermektedir.

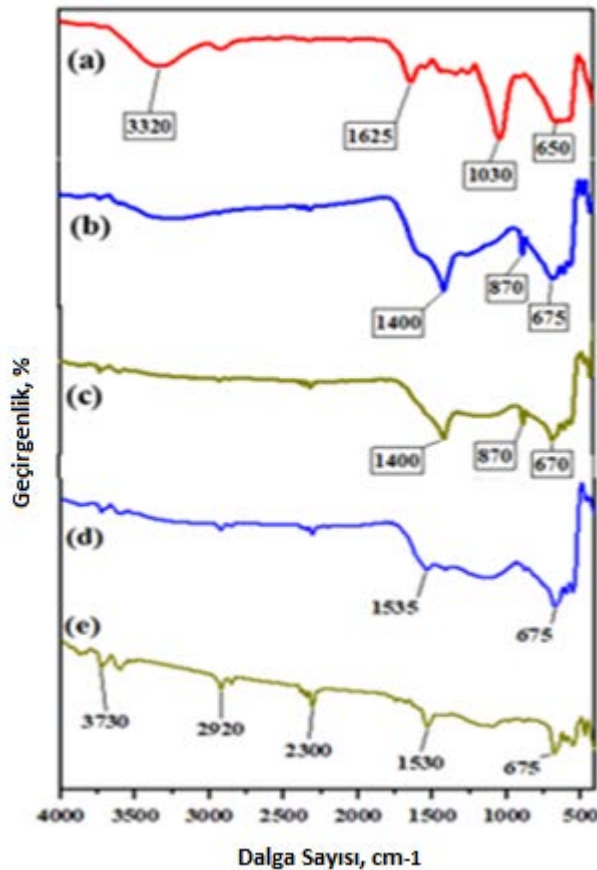




Şekil 3. N<sub>2</sub> adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi. (a) BSAC1, (b) BSAC2, (c) BSAC3 ve (d) BSAC4

### 3.3.3. FT-IR Analizi

Atık biyokütle *isot* saplarının ham hali (a) ile BSAC1 (b), BSAC2 (c), BSAC3 (d) ve BSAC4 (e) kodlu aktif karbonların fonksiyonel gruplarının görülebileceği 4000-400 cm<sup>-1</sup> aralığında alınan FT-IR spektrumları dalga sayısına karşılık geçirgenlik şeklinde grafiğe alınmış ve Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. FT-IR spektrumu. (a) ham biber sapları, (b) BSAC1, (c) BSAC2, (d) BSAC3 ve (e) BSAC4 aktif karbonlar.

Şekil 4’te verilen FT-IR spektrumlarına göre, 3320-3730 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında meydana gelen pikler O-H ve NH fonksiyonel grupların varlığını göstermektedir (Jean-François, 2008). 2920 cm<sup>-1</sup>

civarında görülen pikler C-H fonksiyonel grubunu (metil) ve 2250-2350  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki dalga boylarında oluşan pikler ise -COOH fonksiyonel grubunu göstermektedir. 1625  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyundaki pik benzen halkasının omurga titreşimi olan C=C germe titreşimini göstermektedir. 1530-35  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyları güçlü C=C fonksiyonel grupları ile ilişkilidir. Alifatik ve aromatik bileşiklerde -CH- gruplarının titreşimi sonucu 1400  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda pikler meydana gelmiştir (Zha Wei, 2022). 1030  $\text{cm}^{-1}$  civarlarında oluşan keskin pik C-O-C grubu ile ilişkilidir. Aromatik halka ve/veya inorganik yapıdan kaynaklı grupların varlığı ise 1000  $\text{cm}^{-1}$ 'den küçük olan bölgedeki gözlenen piklerden anlaşılabilir.

İsot saplarının ham halinin karbonizasyon işlemi ile aktif karbonlar elde edilmesi sırasında ham materyalin yapısında bulunan bazı fonksiyonel grupların bozularak yeni fonksiyonel gruplar oluşturduğu FT-IR spektrumundan açık bir şekilde görülmektedir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada atık biyokütle kaynağı *isot* saplarından iki farklı yöntem ile aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. İlk yöntemde  $\text{ZnCl}_2$  ve  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ve  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ile 24 saat impregnasyon süresi ile aktivasyon işlemi uygulanmıştır. Diğer yöntemde ise  $\text{H}_3\text{PO}_4$  kimyasalı ile daha etkin ve hızlı impregnasyon için mikrodalga fırın ortamında 15 dk impregnasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Geleneksel aktif karbon elde etme yöntemi ile üretilen aktif karbonların yüzey alanları ve mikro gözenek hacimleri sırasıyla BSAC1 için 624,665  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  ve 0,114  $\text{cc g}^{-1}$ ; BSAC2 için 898,177  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  ve 0,243  $\text{cc g}^{-1}$ ; BSAC3 için 839,622  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  ve 0,414  $\text{cc g}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre  $\text{H}_3\text{BO}_3$  kimyasalı ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve yüzey alanı değerleri  $\text{ZnCl}_2$  ve  $\text{H}_3\text{BO}_3$  kimyasalı kullanılarak elde edilen aktif karbonlarından daha yüksek bulunmuştur. Mikrodalga destekli impregnasyon işlemi ile üretilen aktif karbondaki ise bulunan yüzey alanı, 1003,34  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  ve mikro gözenek hacmi ise 0,377  $\text{cc g}^{-1}$  'dır. Sonuç olarak, geleneksel yöntemle entegre edilerek mikrodalga ortamında impregnasyon işlemi geleneksel karbonizasyon işlemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Atık biyokütle kaynağı *isot* saplarından yüksek yüzey alanına sahip ucuz ve çevre dostu aktif karbonlar üretilmiştir. Elde edilen tüm aktif karbonlar adsorpsiyon artırım teknolojisinde kullanılacaktır.

#### KAYNAKLAR

- Baytar, O. Ş. (2018). Characterization of Microwave and Conventional Heating on the Pyrolysis of Pistachio Shells for the Adsorption of Methylene Blue and Iodine. *Analytical Letters*, 51(14), 2205–2220. <https://doi.org/10.1080/00032719.2017.1415920>.
- Chairunnisa, F. M. (2020). Enhancing water adsorption capacity of acorn nutshell based activated carbon for adsorption thermal energy storage applicatio. *Energy Reports*, Volume 6, Supplement 7, Pages 255-263, doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.038.
- Dolas H, S. O. (2010). A New Method on Producing of Activated Carbon: The Effect of Salt on The Surface Area and The Pore Size Distribution of Activated Carbon Prepared Pistachio Shell. *Chemical Engineering Journal*, 166, 191-197, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.10.061>.
- Iván Costa-Trigo, A. P.-P. (2020). Detoxification of chestnut burrs hydrolyzates to produce biomolecules,. *Biochemical Engineering Journal*, Volume 159, 107599, doi.org/10.1016/j.bej.2020.107599.
- J.Plank, B. J. (2010). Experimental determination of the thermodynamic parameters affecting the adsorption behaviour and dispersion effectiveness of PCE superplasticizers,. *Cement and Concrete Research*, Volume 40, Issue 5, Pages 699-709. doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.12.002.
- Jean-François, B. A. (2008). On the protonation of oxo- and hydroxo-groups of the goethite ( $\alpha$ -FeOOH) surface: A FTIR spectroscopic investigation of surface O–H stretching vibrations, .



*Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 72, Issues 14, Pages 3338-3357, doi.org/10.1016/j.gca.2008.04.022.

Khaled Zoroufchi Benis, A. S. (2022). A binary oxide-biochar composite for adsorption of arsenic from aqueous solutions: Combined microwave pyrolysis and electrochemical modification,. *Chemical Engineering journal*, Volume 446, Part 2, 137024, doi.org/10.1016/j.cej.2022.137024.

Korkmaz, A. H. (2017). Evaluation of the volatile compounds of fresh ripened *Capsicum annum* and its spice pepper (dried red pepper flakes and isot). *LWT*, 84, 842–850. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.058.

Ositadinma Chamberlain Iheanacho, J. T. (2021). Packed bed column adsorption of phenol onto corn cob activated carbon: linear and nonlinear kinetics modeling,. *South African Journal of Chemical Engineering*, Volume 36, Pages 80-93. doi.org/10.1016/j.sajce.2021.02.003.

Sandro Altenor, B. C.-J. (2009). Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation,. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 165, Issues 1-3, Pages 1029-1039, doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.133.

Shuang Zhang, Y. M. (2022). Clean production of N, O-doped activated carbon by water vapor carbonization/activation of expired coffee for high-volumetric supercapacitor, . *Applied Surface Science* , Volume 589,Pages 153011, doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.153011.

Wahyu Widanarto, S. I. (2022). Improved microwave absorption traits of coconut shells-derived activated carbon, . *Diamond and Related Materials*, Volume 126,109059, doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109059.

Zha Wei, L. B. (2022). Construction of Pingdingshan coal molecular model based on FT-IR and <sup>13</sup>C-NMR,. *Journal of Molecular Structure*, Volume 1262, Pages 132992, doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.132992.

Zhuanglei Zou, M. Y. (2015). Airflow resistance and bio-filtering performance of carbon nanotube filters and current facepiece respirators,. *Journal of Aerosol Science*, Volume 79, Pages 61-71, doi.org/10.1016/j.jaerosci.2014.10.003.