

## Hidrotermal Karbonizasyon Yöntemi ile Üretilen Aktif Karbonun Mikroyapı Analizi

Nida KATI<sup>1\*</sup>, Ferhat UÇAR<sup>2</sup>, Gözde TOKGÖZ<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup> Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

\*<sup>1</sup> nkati@firat.edu.tr, <sup>2</sup> fucar@firat.edu.tr, gzdecskn1@gmail.com

(Geliş/Received: 27/11/2024;

Kabul/Accepted: 14/12/2024)

**Öz:** Bu çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğundan hidrotermal karbonizasyon ve kimyasal aktivasyon yöntemleriyle üretilen aktif karbonların mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Modern dünyada artan atık yönetimi ihtiyacı kapsamında, biyokütle kaynaklarının değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Çalışmada, kayısı çekirdeği kabukları önce hidrotermal karbonizasyon işlemine tabi tutulmuş, ardından KOH aktivasyonu ile gözenekli yapı geliştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizleri ile malzemelerin yüzey morfolojisi karakterize edilmiştir. Hidrotermal karbonizasyon sonucu üretilen hidrokömürlerde düzensiz morfoloji ve kapalı gözenek yapısı gözlemlenirken, kimyasal aktivasyon sonrası nanometre-mikrometre ölçeğinde hiyerarşik gözenek yapıları oluşmuştur. Aktivasyon sıcaklığının 240°C'den 260°C'ye yükseltilmesi gözenek gelişimini olumlu etkilerken, 300°C'ye çıkılması belirgin bir değişikliğe neden olmamıştır. S-A2 numunesi en yüksek gözenekliliği sergilemiştir. KOH aktivasyonunun düzenli ve homojen dağılımlı mikro gözenekler oluşturduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, kayısı çekirdeği kabuğunun kontrollü gözenek yapısına sahip yüksek performanslı aktif karbon üretimi için uygun bir hammadde olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hidrotermal karbonizasyon, kayısı çekirdeği kabuğu, aktif karbon, mikroyapı.

### Microstructure Analysis of Activated Carbon Produced by Hydrothermal Carbonization Method

**Abstract:** In this study, the microstructural properties of activated carbons produced from apricot kernel shells through hydrothermal carbonization and chemical activation methods were investigated. Within the scope of increasing waste management needs in the modern world, the utilization of biomass resources has gained importance. In the study, apricot kernel shells were first subjected to hydrothermal carbonization, followed by the development of porous structure through KOH activation. Surface morphology of the materials was characterized by scanning electron microscopy (SEM) analyses. While irregular morphology and closed pore structure were observed in hydrochars produced by hydrothermal carbonization, hierarchical pore structures at nanometer-micrometer scale were formed after chemical activation. While increasing the activation temperature from 240°C to 260°C positively affected pore development, increasing to 300°C did not cause a significant change. Sample S-A2 exhibited the highest porosity. It was determined that KOH activation created regular and homogeneously distributed micropores. The results showed that apricot kernel shell is a suitable raw material for producing high-performance activated carbon with controlled pore structure.

**Key words:** Hydrothermal carbonization, Apricot kernel shell, Activated carbon, Microstructure.

### 1. Giriş

Modern dünyada kaynakların sınırlı olması ve değişen toplumsal ihtiyaçlar, çeşitli formlarda atık birikimini beraberinde getirmiştir. Bu atıklar, ekonomik değerlerine göre geri dönüşüm proseslerine tabi tutulmaktadır. Endüstriyel, tıbbi, ticari, hayvansal ve tarımsal kaynaklı atıklar başlıca çevresel atık kategorilerini oluşturmaktadır. Bu atıkların geri kazanımı, hem sınırlı doğal kaynakların korunması hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir [1]. Biyokütle, jeolojik süreçlerle fosilleşmemiş biyolojik orijinli organik materyaller olarak tanımlanmakta olup, kimyasal kompozisyonunda predominant olarak karbon (C) elementi ile birlikte hidrojen (H), azot (N), oksijen (O) ve eser miktarda alkali, toprak alkali elementler ve ağır metalleri içermektedir. Bu terim, karbonhidrat yapısına sahip tüm doğal bitkisel ve hayvansal materyalleri kapsayan geniş bir tanımlamadır. Bu materyallerin enerji eldesi amacıyla kullanılmasıyla elde edilen enerji türü, biyokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Biyokütle kaynakları; karasal ve sucul bitkiler, hayvansal atıklar, gıda endüstrisi yan ürünleri, orman ürünleri ve kentsel atıklar gibi bir yüzyıl içerisinde yenilenebilir özellik gösteren materyalleri içermektedir. Atıkların geri dönüşümü ile elde edilen biyokütle, enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği gibi, çeşitli işlem ve aktivasyonlarla yüksek yüzey alanına sahip aktif karbon gibi adsorban malzemelere de dönüştürülebilmektedir.

Aktif karbonun adsorpsiyon özellikleri, por yapısına (por büyüklüğü ve dağılımı) ve yüzey kimyasına bağlıdır. Karboksil, fenol, lakton, aldehit ve keton gibi yüzey fonksiyonel grupları, karbonun asit-baz özelliklerini

\* Sorumlu yazar: nkati@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0001-7953-1258, <sup>2</sup> 0000-0001-9366-6124, <sup>3</sup> 0000-0001-8102-6410

etkiler. Aktif karbon üretiminde fiziksel (termal) aktivasyon ve kimyasal aktivasyon olmak üzere iki ana yöntem kullanılır. Her iki yöntemde de hedef, yüksek yüzey alanına ve uygun por dağılımına sahip malzemeler üretmektir. Bu süreçte por gelişimi; erişilemeyen porların genişlemesi, yeni porların oluşumu, mevcut porların genişlemesi ve por duvarlarının kırılması ile birleşmelerden oluşur. Termal aktivasyon süreci, karbonlama ve gaz aktivasyonu olarak iki aşamada yapılır. Karbonlama işlemi piroliz temellidir ve 700 °C'de inert bir atmosferde yapılır, karbon içeriği artar. Daha sonra, gaz aktivasyonu ile malzemenin por yapısı geliştirilir [2–4]. Aktif karbon üretiminde termal ve kimyasal aktivasyon gibi geleneksel yöntemler yaygın olarak kullanılırken, hidrotermal karbonizasyon (HTC) süreci de biyokütle atıklarından fonksiyonel karbon bazlı malzemelerin elde edilmesi açısından çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. HTC, yüksek sıcaklık ve basınç altında biyokütleyi, karbon nanotüp, grafit ve aktif karbon gibi ileri malzemelere dönüştürerek karbon verimliliği sağlarken, süreç parametreleri üzerinde kontrol imkânı sunmaktadır. HTC prosesi, biyokütle atıklarından fonksiyonel karbon bazlı malzemelerin sentezinde kullanılan çevre dostu ve sürdürülebilir bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir. Bu termal dönüşüm prosesi, çeşitli biyokütle kaynaklarını yüksek karbon içeriğine sahip dumansız katı yakıtlara dönüştürme kabiliyetine sahiptir. Piroliz teknolojisine benzer prensiplerle çalışan HTC prosesi, yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında karbon nanotüp, grafit ve aktif karbon gibi ileri malzemelerin sentezine olanak sağlamaktadır. Prosesin en önemli avantajlarından biri, organik atıklardaki karbonun neredeyse tamamını biyokömüre dönüştürebilmesi ve yaklaşık %100'lük karbon verimliliğine ulaşabilmesidir. HTC teknolojisi, sulu ortamdaki biyokütlenin katma değeri yüksek ürünlere dönüşümünü sağlayan bir procesdir. Proses parametreleri olarak tipik olarak 200-250°C sıcaklık aralığı ve yüksek basınç koşulları tercih edilmekte olup, reaksiyon ortamının pH'nın kontrolü amacıyla asidik/bazik bileşikler veya spesifik katalizörler kullanılabilir [5,6].

Biyokütleden Aktif karbonların sentezi, karakterizasyonu ve uygulamaları ile ilgili çalışmalar literatürde önemli bir yer bulmaktadır. Hu ve Srinivasan, hindistan cevizi kabuğunu KOH ile aktive ederek yüksek yüzey alanına sahip aktif karbonlar üretmişlerdir [7]. Antep fıstığı kabuklarından KOH aktivasyonu ile hazırlanan aktif karbonların özellikleri üzerine sıcaklığının etkisi Lua ve Yang tarafından incelenmiştir. Sıcaklığın 500 °C'den 800 °C'ye yükseltilmesiyle mikrogözenek hacminin arttığını belirtmişlerdir [8]. Çemrek çalışmasında kayısı çekirdeği kabuğu ve kestane kabuğunun bir enerji kaynağı olarak kullanımını araştırmıştır [9]. Utku, çalışmasında farklı biyokütleler (kayısı çekirdeği kabuğu, ceviz kabuğu, seftali çekirdeği kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, badem çekirdeği kabuğu) kullanarak karbonize edildikten sonra kimyasal aktivasyon yöntemi ile KOH kullanılarak aktif karbon elde etmiş ve tüm aktif karbon örneklerinin adsorpsiyon kapasitelerini incelemiştir [10].

Biyokütleden aktif karbon üretimi üzerine yapılan birçok çalışma literatürde geniş bir yer bulmakla birlikte, bu üretim süreçlerinde elde edilen aktif karbonların mikroyapılarındaki değişimleri doğrudan ve ayrıntılı olarak inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Aktif karbonların mikrogözenek yapısı, adsorpsiyon kapasitesi ve yüzey özellikleri açısından belirleyici olduğundan, bu yapıdaki değişimlerin kapsamlı bir analizini sunan araştırmalara duyulan ihtiyaç büyüktür. Özellikle biyokütle kaynaklarının farklı aktivasyon yöntemleri ile işlenmesi sonucu oluşan mikroyapısal değişimlerin anlaşılması, uygulama alanlarında daha verimli ve optimize edilmiş aktif karbon üretimi için önem taşımaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

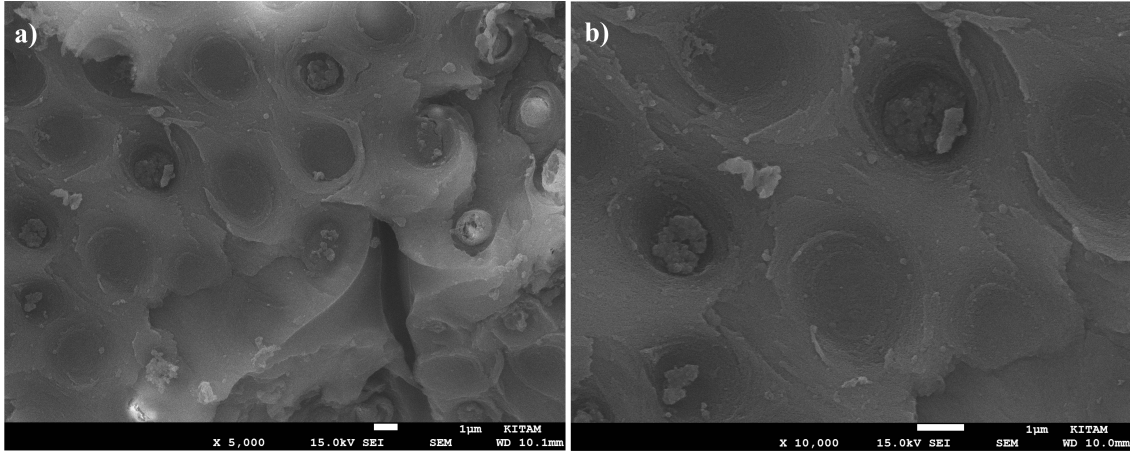
Deneyisel çalışmalarda hammadde olarak Elazığ bölgesinden tedarik edilen kayısı çekirdeği kabukları kullanılmıştır. Kabuklar, laboratuvar ortamında Waring marka blender kullanılarak 60 mesh boyutuna öğütülmüş ve toz formunda cam kavanozlarda depolanmıştır. Aktivasyon prosesinde Kimyalab marka Potasyum hidroksit (KOH, CAS: 1310-58-3) kullanılırken, yıkama işlemlerinde Biorad marka hidroklorik asit (HCl) tercih edilmiştir. Hidrotermal karbonizasyon prosesi için, 4 g kayısı çekirdeği kabuğu tozu (S-OA) 40 mL distile su ile süspanse edilmiştir. Süspanسیون, 70°C'de 4 saat manyetik karıştırıcıda homojenize edildikten sonra 5 dakika ultrasonik sonikatör ile muamele edilmiştir. Hazırlanan süspanسیون, 100 mL kapasiteli teflon kap içeren Fytronix marka FYHT-5000 model paslanmaz çelik reaktöre transfer edilmiştir. Reaktör içeriği 24 saat süreyle 240°C, 260°C ve 300°C sıcaklıklarda hidrotermal karbonizasyona tabi tutularak farklı özelliklerde hidrokömürler sentezlenmiştir. Elde edilen hidrokömürler membran filtre kağıdı kullanılarak filtre edilmiş, deiyonize su ile yıkanmış ve 100°C'de 24 saat etüvde kurutulmuştur. Kurutulan ürünlerin 1/3'ü referans numunesi olarak ayrılmış ve S-H1, S-H2 ve S-H3 kodlarıyla etiketlenmiştir. Kalan hidrokömürler, KOH ile 1:3 (w/w) oranında karıştırılarak 70-80°C sıcaklık aralığında 4 saat boyunca kimyasal aktivasyon prosesine tabi tutulmuştur. Aktivasyon sonrası numuneler filtrasyon ile ayrılmış ve 100°C'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan numuneler seramik kaplara transfer edilerek tüp fırında karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Karbonizasyon prosesi, 300 cm<sup>3</sup>/dk N<sub>2</sub> gazı akışı altında, 10°C/dk ısıtma hızıyla 700°C'de 1 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen aktif karbonlar, pH 6-7 seviyesine ulaşmaya kadar önce HCl çözeltisi ardından deiyonize su ile yıkanmıştır. Yıkanan numuneler filtre edildikten sonra 100°C'de 24 saat kurutulmuş ve S-A1, S-A2 ve S-A3 kodlarıyla etiketlenmiştir.



Taramalı elektron mikroskobu (SEM), yüzey taramak amacıyla yüksek enerjili elektronları küçük bir alana odaklayarak kullanır. Bu yöntem, katı örneklerin yüzeyine yüksek enerjili elektron demetleri göndererek, yüzeydeki atomlarla elektronlar arasında gerçekleşen fiziksel etkileşimler sonucunda sinyaller üretir ve görüntüler oluşturur. SEM, numune yüzeyinden yansıyan elektronlar sayesinde katı yüzeylerin morfolojik ve yüzeyel özelliklerini analiz etmeye olanak tanır. Bu teknik, başlangıç malzemesinin karbon bazlı maddelere dönüştürülmesi sırasında meydana gelen termal ve kimyasal işlemler sonucunda malzemenin morfolojisindeki değişiklikleri incelemek için yaygın olarak kullanılır. Aynı zamanda karbon kürelerin homojenliği, morfolojisi, çapı ve kimyasal bileşimi hakkında bilgi sağlar. Bu çalışmada, hidrokömürler ve aktif karbonların mikroyapı özellikleri SEM analizleriyle karakterize edilmiştir. Analizler, Ondokuz Mayıs Üniversitesi KİTAM Laboratuvarı'nda bulunan JEOL marka JSM-7001F model SEM cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. Mikroyapı Sonuçları

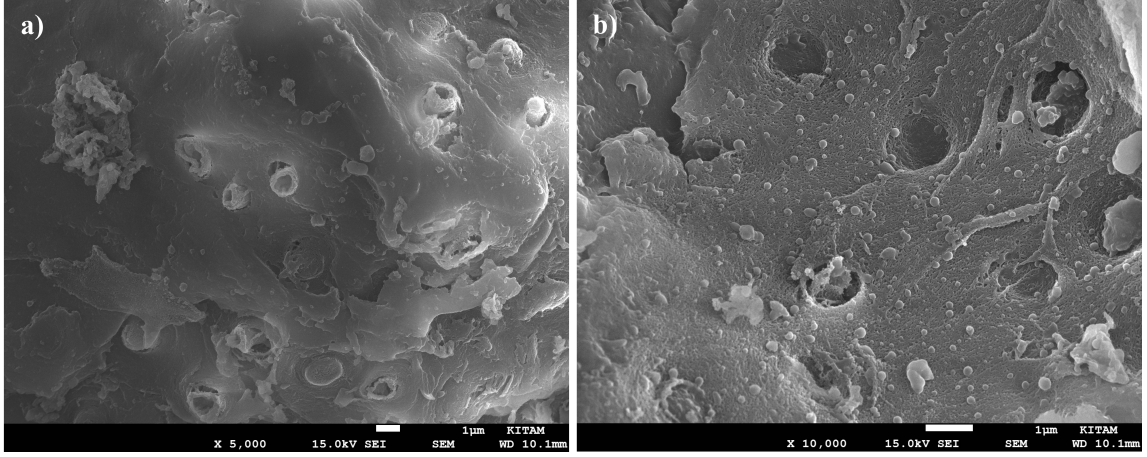
Hidrotermal yöntemle üretilen aktif karbonların mikroyapısal özellikleri, aktivasyon işlemi sürecinde önemli dönüşümler sergiler. Aktivasyon öncesi numuneler, kompakt ve sıkı bir yapıda olup minimal gözenek içerir, bu durum düşük yüzey alanı ve sınırlı adsorpsiyon kapasitesi ile karakterizedir. Buna karşılık aktivasyon yöntemleri uygulandığında, malzemenin iç yapısında radikal değişiklikler meydana gelir. Aktivasyon sonrası elde edilen aktif karbon numuneleri, geniş ve karmaşık bir gözenek ağı, artmış yüzey alanı ve farklı boyutlarda gözenekler içerir. Bu mikroyapısal dönüşüm, malzemenin adsorpsiyon performansını önemli ölçüde geliştirerek, çevre ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğini artırır.



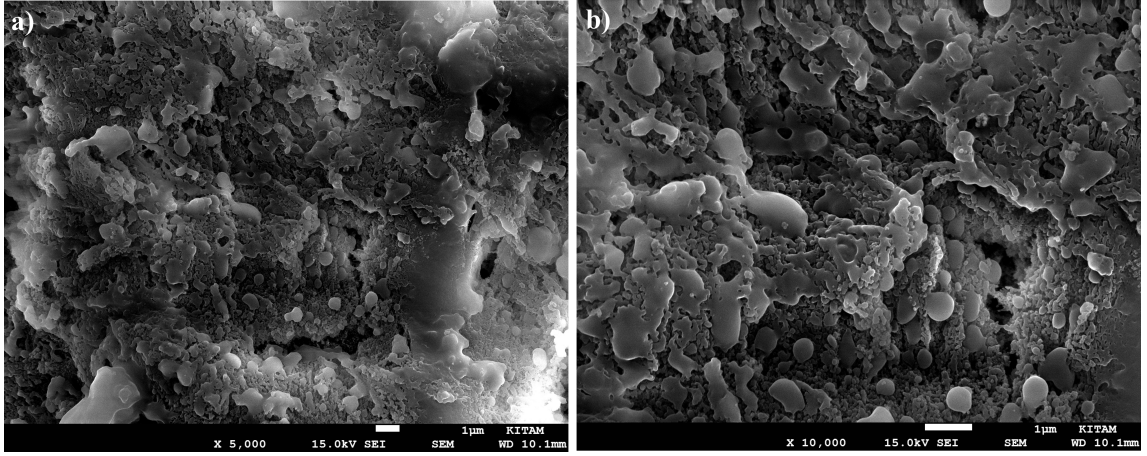
Şekil 1. S-H1 (240 °C) numunesine ait SEM görüntüleri a)5000x b)10000x.

Ham kayısı çekirdeği kabuğunun yapısal karakterizasyonu ve yüzey morfolojisindeki değişimleri detaylı bir şekilde incelemek amacıyla, hidrotermal karbonizasyon öncesi, sonrası ve kimyasal aktivasyon işlemi sonrasındaki aşamalarda kapsamlı taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM görüntüleme tekniği kullanılarak elde edilen mikroyapısal veriler, malzemenin üretim sürecinin her bir aşamasında meydana gelen fiziksel ve morfolojik değişimleri açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Kimyasal aktivasyon işlemine tabi tutulan aktif karbon numunelerinin (S-A1, S-A2 ve S-A3) mikroyapısal karakterizasyonu, taramalı elektron mikroskobu analizi ile detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmuştur. KOH aktivasyon ajanı kullanılarak gerçekleştirilen işlem sonucunda, literatürdeki benzer çalışmalarla [10] uyumlu olarak, nanometreden mikrometreye uzanan geniş bir ölçek aralığında hiyerarşik olarak düzenlenmiş gözenek yapıları olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle S-A2 numunesinin, S-A1 ve S-A3 numunelerine kıyasla daha yüksek gözeneklilik oranı sergilediği ve malzemenin iç bölgelerine doğru daha fazla açık gözenek yapısı geliştirdiği tespit edilmiştir.



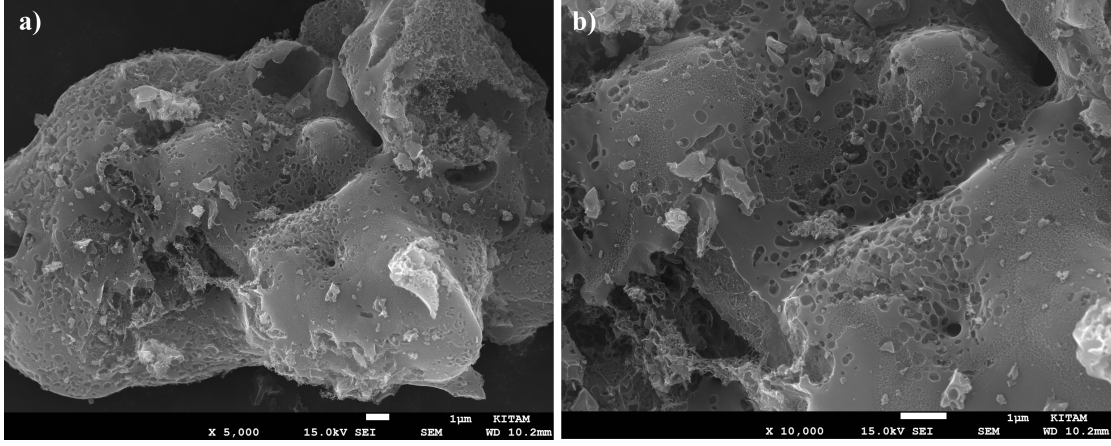
Şekil 2. S-H2 (260 °C) numunesine ait SEM görüntüleri a)5000x b)10000x.



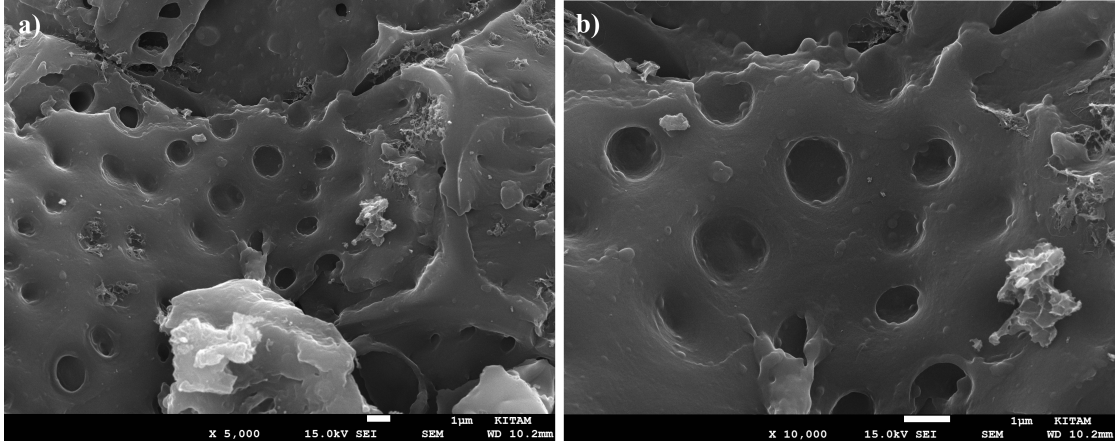
Şekil 3. S-H3 (300 °C) numunesine ait SEM görüntüleri a)5000x b)10000x.

Hidrotermal karbonizasyon sonrası numunelere ait SEM resimleri Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Karbonizasyon işlemi sonrasında ham kayısı çekirdeği kabuğunun başlangıçtaki kompakt ve düzensiz yüzey morfolojisinde önemli değişimler gözlemlenmiştir. Bu süreçte, biyokütle yapısındaki lignin, selüloz ve hemiselüloz bileşenlerinin termal parçalanması sonucunda nanometre ile mikrometre ölçeğinde değişen boyutlarda gözenekli yapıların oluşumu tespit edilmiştir. Özellikle, hidrotermal reaksiyonla üretilen hidrokömür numunelerinde (S-H1, S-H2 ve S-H3) literatürde rapor edilen benzer çalışmalarla [11] uyumlu sonuçlar elde edilmiş olup, aktive edilmemiş hidrokömürlerin SEM görüntülerinde düzensiz morfolojiye sahip mikron boyutlu parçacıklar ve yüzeyde henüz tam olarak gelişmemiş, kapalı gözenek yapıları gözlemlenmiştir.

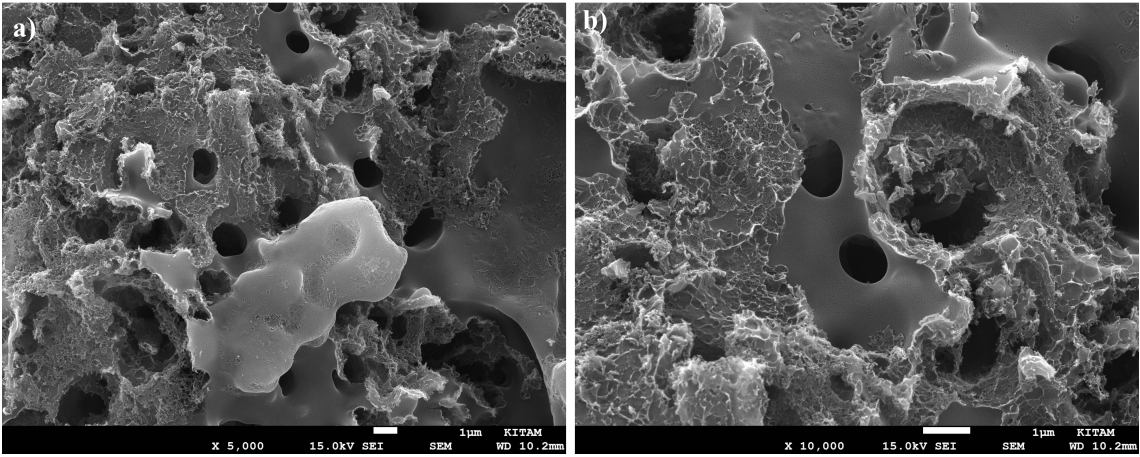
Biyokütle bazlı aktif karbon üretiminde, başlangıç malzemesinin doğası ve yapısal özellikleri, elde edilen son ürünün mikroyapısal karakteristiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Literatürde rapor edildiği üzere, farklı tarımsal biyokütle kaynakları, benzer proses parametreleri altında işlem görseler bile, kendilerine özgü mikroyapısal özellikler sergilemektedir. Örneğin, ceviz kabuğundan üretilen aktif karbonlar daha uniform ve homojen bir yapı gösterirken, zeytin çekirdeğinden elde edilen ürünler belirgin şekilde daha pürüzlü ve heterojen yüzey morfolojisi sergilemektedir [10]. Bu çalışmada incelenen kayısı çekirdeği kabuğundan üretilen aktif karbonların SEM analizleri, malzemenin zeytin çekirdeğine benzer şekilde pürüzlü ve heterojen bir yüzey karakteristiğine sahip olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 4. S-A1 (240 °C ) numunesine ait SEM görüntüleri a)5000x b)10000x.



Şekil 5. S-A2 (260 °C ) numunesine ait SEM görüntüleri a)5000x b)10000x.



Şekil 6. S-A3 (300 °C ) numunesine ait SEM görüntüleri a)5000x b)10000x.

Aktivasyon ajanının seçimi de mikroyapı gelişiminde kritik bir rol oynamaktadır. Yahya ve arkadaşlarının [12] gerçekleştirdiği sistematik çalışmada, farklı aktivasyon ajanlarının karakteristik mikroyapı oluşumlarına yol açtığı detaylı olarak belgelenmiştir.  $ZnCl_2$  aktivasyonu, buharlaşma mekanizması nedeniyle yüzeyde çok sayıda makro boyutlu boşluk ve oyuk oluştururken, KOH aktivasyonu daha düzenli ve homojen dağılımlı mikro gözenekli bir yapı geliştirmekte,  $H_3PO_4$  aktivasyonu ise dış yüzey morfolojisini göreceli olarak daha az etkilemektedir.

Aktivasyon sıcaklığının mikroyapı gelişimi üzerindeki etkisi, Şekil 4 ve Şekil 5'te açıkça görülmektedir. 240°C'de aktive edilen numuneye (Şekil 4) kıyasla, 260°C'de işlem gören numunede (Şekil 5) gözenek boyutlarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum, artan sıcaklığın gözenek genişlemesini teşvik ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, Şekil 5 ve Şekil 6'da görülen numuneler arasındaki mikroyapısal farklılıkların nispeten sınırlı olması, aktivasyon sıcaklığının 300°C'ye yükseltilmesinin yüzey morfolojisinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığını ve S-A3 numunesinin temel yapısal karakteristiğini koruduğunu göstermektedir.

Bu mikroyapı analizi, aktivasyon sıcaklığı ve süresi gibi proses parametrelerinin optimize edilmesinde ve istenilen gözenek karakteristiğine sahip aktif karbonların üretiminde önemli bir rehber niteliğindedir. Kimyasal aktivasyon işlemi sonrasında yüzey morfolojisinde daha belirgin ve kontrollü yapısal modifikasyonlar meydana gelmiştir. Bu aşamada, aktivasyon ajanının etkisiyle karbon iskeletinde meydana gelen kimyasal aşınma ve yeniden yapılanma sonucunda, gözenek boyut dağılımı daha homojen hale gelmiştir. Aktivasyon işlemi sonrası oluşan bu gelişmiş gözenek ağı yapısı, malzemenin adsorpsiyon kapasitesi ve yüzey reaktivitesi gibi önemli fizikokimyasal özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu yapısal dönüşümler, elde edilen malzemenin potansiyel uygulama alanlarının genişletilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu süreçsel değişimlerin sistematik olarak incelenmesi, ham kayısı çekirdeği kabuğundan yüksek performanslı karbonlu malzemelerin üretim parametrelerinin optimize edilmesine ve malzeme özelliklerinin kontrollü bir şekilde tasarlanmasına olanak sağlamaktadır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğundan hidrotermal karbonizasyon ve kimyasal aktivasyon yöntemleriyle üretilen aktif karbonların mikroyapısal özellikleri kapsamlı olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Hidrotermal karbonizasyon işlemi sonucunda üretilen hidrokömür numunelerinde (S-H1, S-H2 ve S-H3) düzensiz morfolojiye sahip mikron boyutlu parçacıklar ve henüz tam gelişmemiş kapalı gözenek yapıları gözlemlenmiştir.
2. KOH aktivasyonu sonrasında numunelerde (S-A1, S-A2 ve S-A3) nanometre ile mikron arasında değişen boyutlarda hiyerarşik düzenli gözenek yapıları oluşmuştur. S-A2 numunesi, diğer numunelere kıyasla daha yüksek gözeneklilik ve iç kısımlara doğru daha fazla açık gözenek yapısı sergilemiştir.
3. Aktivasyon sıcaklığının artırılması (240°C'den 260°C'ye) gözenek genişlemesini teşvik etmiş, ancak 300°C'ye çıkılması yüzey morfolojisinde belirgin bir değişikliğe neden olmamıştır.
4. Proses parametrelerinin mikroyapı üzerindeki etkilerinin sistematik analizi, yüksek performanslı aktif karbon üretimi için optimum koşulların belirlenmesine önemli katkı sağlamıştır.

Bu sonuçlar, kayısı çekirdeği kabuğunun hidrotermal karbonizasyon ve kimyasal aktivasyon yöntemleriyle işlenmesinin, kontrollü gözenek yapısına sahip yüksek performanslı aktif karbon üretimi için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

#### Kaynaklar

- [1] MŞ Akkuş. Endüstriyel Atıktan Hidrotermal Yöntemle Hazırlanan Fonksiyonel Karbon Malzemelerin Çevre Ve Enerji Uygulamalarında Kullanılabilirliğin İncelenmesi, Batman Üniversitesi, 2022.
- [2] A Aygün, S Yenisoy-Karakaş, I Duman, Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties, Microporous Mesoporous Mater. 2003;(66) 189–195.
- [3] AL Cazetta, AMM Vargas, EM Nogami, MH Kunita, MR Guilherme, AC Martins, TL Silva, JCG Moraes, VC. Almeida. NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption, Chem Eng J 2011, 174;117–125.
- [4] OÖ Namal. Sulu Çözeltilerden Modifiyeli Kayısı Çekirdeği Kabuğu ile Metilen Mavisi Boyasının Giderimi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 2017.
- [5] A Boylu, Hidrotermal Karbonizasyon Yöntemiyle Adsorban Geliştirilmesi ve Uygulamaları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2021.

- [6] A Kıvanç. Hidrotermal Karbonizasyon Yöntemiyle Gerçek ve Model Biyokütlelerden Karbon Nanoküre Sentezi ve Karakterizasyonu, Ankara Üniversitesi Fen, 2012.
- [7] Z Hu, MP Srinivasan. Preparation of high-surface-area activated carbons from coconut shell, *Microporous Mesoporous Mater* 1999; (27) 11–18.
- [8] AC Lua, T Yang. Effect of activation temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shell, *J Colloid Interface Sci* 2004;(274) 594–601.
- [9] Ş Çemrek. Kayısı Çekirdeği ve Kestane Kabuklarının Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2011.
- [10] T Utku. Biyokütle karışımlarının farklı sıcaklık ve ısıtma hızlarında karbonizasyonu ile karbonize ürünlerden Koh kullanılarak aktif karbon eldesi ve karakterizasyonu, İnönü Üniversitesi, 2021.
- [11] M Rajesh, R Manikandan, S Park, BC Kim, WJ Cho, KH Yu, CJ Raj, Pinecone biomass-derived activated carbon: the potential electrode material for the development of symmetric and asymmetric supercapacitors, *Int J Energy Res* 2020;(44): 8591–8605.
- [12] MA Yahya, Z Al-Qodah, CWZ Ngah, Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review, *Renew Sustain Energy Rev* 2015;(46) 218–235.