

*Araştırma Makalesi - Research Article*

## Maya Hücrelerini Biyoşablon Olarak Kullanarak Poroz SnO<sub>2</sub> Sentezi ve Karakterizasyonu

### Porous SnO<sub>2</sub> Synthesis and Characterization Using Yeast Cell as a Biotemplate

Miraç Alaf<sup>1\*</sup>, Gözde Çağlar<sup>2</sup>, Sema Leblebici<sup>3</sup>

*Geliş / Received: 07/07/2021*

*Revize / Revised: 01/11/2021*

*Kabul / Accepted: 01/11/2021*

#### ÖZ

Bu çalışmada, poroz ve nano yapıları SnO<sub>2</sub>, hidrotermal sentez yöntemiyle biyoşablon kullanılarak sentezlenmiştir. Biyoşablon olarak ekonomik ve kolay bulunan maya hücreleri seçilmiştir. Maya hücrelerinin 3-5 µm çapındaki küreler şeklinde olması üretilen SnO<sub>2</sub> yapısının porlu ve yüksek yüzey alanlı olmasını sağlamıştır. Maya hücrelerinin üzerine SnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O başlangıç malzemesi kullanılarak SnO<sub>2</sub> yapısının biriktirilmesi işleminden sonra kalsinasyon ile maya hücreleri uzaklaştırılmıştır. Üretilen SnO<sub>2</sub>'nin kristal yapısı, kristal boyutu, morfoloji ve yüzey alanı çalışmaları yapılmıştır. Böylelikle 20-25 nm kristal boyutuna sahip SnO<sub>2</sub> tozlar üretilmiştir. 110 m<sup>2</sup>/g BET yüzey alanına sahip ve yüksek poroziteli yapıları elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Poroz SnO<sub>2</sub>, Biyoşablon, Maya Hücresi

#### ABSTRACT

In this study, porous and nanostructured SnO<sub>2</sub> were synthesized by hydrothermal synthesis method using a biotemplate. Low-cost yeast cells were chosen as the biotemplate. The yeast cells were in the form of spheres with a diameter of 3-5 µm ensured that the produced SnO<sub>2</sub> structure was porous and high surface area. SnO<sub>2</sub> was deposited on the surface of yeast cell with using SnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O as a precursor and then particles were calcined to remove yeast cells. The crystal structure, crystallites size, morphology, and surface area of the produced SnO<sub>2</sub> were studied. Hereby, SnO<sub>2</sub> powders with a crystal size of 20-25 nm were produced. High porosity structures with 110 m<sup>2</sup>/g BET surface area were obtained.

**Keywords-** Porous SnO<sub>2</sub>, Bio-template, Yeast Cell

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [mirac.alaf@bilecik.edu.tr](mailto:mirac.alaf@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-4807-3909>)

<sup>2</sup>İletişim: [gozdebeyce@gmail.com](mailto:gozdebeyce@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-2939-095X>)

<sup>3</sup>İletişim: [sema.leblebici@bilecik.edu.tr](mailto:sema.leblebici@bilecik.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-3762-6408>)

*Moleküler Biyoloji ve Genetik, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe Kampüsü Bilecik*

## I. GİRİŞ

SnO<sub>2</sub> farklı üstün özelliklerinden dolayı şarj edilebilir piller, gaz sensörleri, yakıt hücreleri ve güneş hücreleri gibi kritik uygulamalarda kullanım alanı bulmuştur [1–4]. Yüksek teorik spesifik kapasitesi (1494 mAhg<sup>-1</sup>) sebebiyle enerji depolama alanında Li-iyon piller, Na-iyon piller, Li-S pilleri gibi farklı uygulamalarda elektrot aktif malzemesi olarak kullanılır [5–9]. Ayrıca SnO<sub>2</sub> geniş bant aralığına sahip önemli bir n-tipi yarı iletkenidir. 300K'de 3,6 eV bant aralığı, yüksek sensitivitesi, kimyasal kararlılığı ve toksik olmamasından dolayı gaz sensörlerinde kullanılan bir metal oksittir [10]. SnO<sub>2</sub> esaslı gaz sensörleri ile metan, karbon monoksit, etanol, formaldehit, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> gibi çok farklı yanıcı ve yakıcı gazların tespiti yapılabilir [11–16]. SnO<sub>2</sub>'nin diğer bir kullanım alanı yakıt hücreleridir. Polimer elektrolit membran yakıt hücreleri, mikrobiyal yakıt hücreleri ve proton değişimli yakıt hücreleri gibi farklı tip yakıt hücrelerinde yüksek elektriksel iletkenliği ve katalitik kararlılığı gibi özelliklerinden dolayı tercih edilir [17–19]. Bunların yanında SnO<sub>2</sub>'nin iyi optik geçirgenliği ve yüksek elektron mobilitesinden dolayı güneş hücrelerinde de kullanımı yaygındır [20].

Özellikle nano yapıda olmak üzere SnO<sub>2</sub>'nin nanoteller, nanopartiküller, içi boş (hollow) yapılar, nanoküpler ve ince film formunda üretildiğine dair literatürde pek çok örnek vardır [21–25]. Nano yapıları olarak üretim ile SnO<sub>2</sub>'nin yüzey alanının artması yukarıda belirtilen kullanım alanlarında kritik öneme sahiptir. Yüksek yüzey alanı, Li-iyon pillerde elektrolit ile elektrot malzemesinin temasını artırarak iyonların geçişini hızlandırdığı için pil performansında etkilidir [26]. Gaz sensör uygulamalarında ise yüksek yüzey alanı ve porlu yapıya sahip SnO<sub>2</sub>, gazı algılama ve gazın difüzyonunu arttırdığı için nano yapıda üretimi gerçekleştirilmektedir [27]. Bu uygulamalar için bulk malzeme kullanımı nerdeyse imkânsızken asıl gerekli olan yüksek yüzey/hacim oranına sahip malzemelerdir [28].

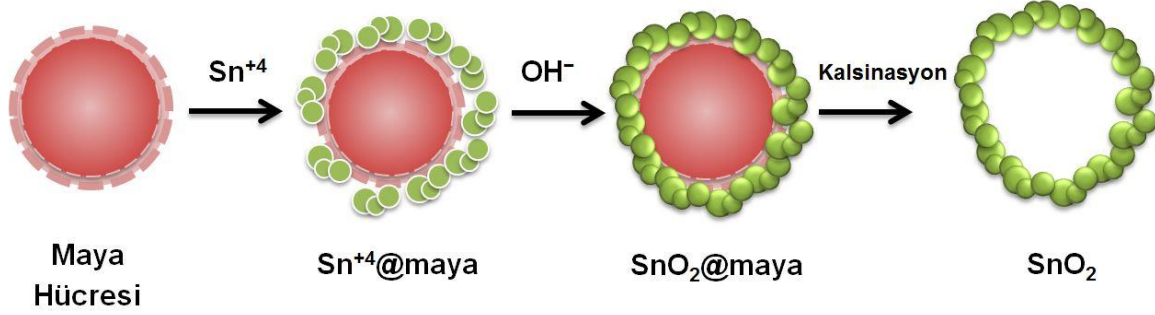
Biyolojik malzemelerin yapısal şablon olarak kullanımı ile malzeme sentezi son yıllarda araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmuştur [29]. Biyolojik malzemelerin nano yapıları basit bir 0-D yapısından kompleks bir 3-D yapısına kadar farklı şekillerde olabilir [30]. Literatürde malzeme sentezi için kullanılan biyoşablonlar virüs, polen, mantar, bakteri, bitki (odun ve yaprak gibi), hayvan (kelebek kanadı gibi), protein, peptit ve maya hücresi gibi çok çeşitlilik göstermektedir [30–32]. Xu ve çalışma arkadaşları biyo aktif maya hücresini kullanarak SnO<sub>2</sub> mikro küreler ve nano teller üretmiş ve gaz sensörü özelliklerini incelemiştir[31,32]. Pomerantseva ve çalışma arkadaşları tütün mozaik virüsünü kullanarak sentezledikleri V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in lityum iyon pillerdeki performansını incelemiş ve fiber şeklinde büyüyen V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in geleneksel olana kıyasla çok iyi özellikler gösterdiğini ortaya koymuşlardır [33]. Wang ve çalışma arkadaşları yeşil alglerden spirogyranın içi boş tüp yapısı sayesinde yüksek yüzey alanına sahip MnO/C mikrotüpleri sentezlemişlerdir [34]. Bir diğer biyoşablon olabilen polenler de Xia ve çalışma arkadaşları tarafından kullanılmıştır. Poroz NiO/C mikro küre kompozitini üretmek için nilüfer çiçeğinin polenlerini hem şablon hem de karbon kaynağı olarak kullanmışlardır [35]. Bitkilerin de biyoşablon olarak kullanıldığı bir çalışmayı da Zang ve çalışma arkadaşları SnO<sub>2</sub> sentezleyerek yapmıştır. Greylfurt kabuğunu kullanarak birbirine bağlı bal peteği şeklinde mikroporları ve nanoboyuttaporları olan SnO<sub>2</sub> yapısını sentezlemişler ve gaz sensörü özelliklerini incelemişlerdir [36]. Pan ve çalışma arkadaşları maya hücresini kullanarak içi boş mikroküreler şeklinde In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üretmiş ve yüksek fotoelektrokatalitik performans sergilediğini rapor etmiştir [37].

Bu çalışmada, yaygın olarak bulunabilen ve ekonomik maya hücreleri biyoşablon olarak kullanılmıştır. Maya hücreleri ile hidrotermal sentez yöntemi kullanılarak SnO<sub>2</sub> yapısı poroz olarak üretilmiştir. Üretilen poroz ve nano yapıları SnO<sub>2</sub>'nin mikro yapı, kristal yapı ve yüzey alanı çalışmaları yapılmıştır.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Biyolojik malzeme olarak tercih edilen maya hücreleri Pakmaya markalı instant mayadır. 2,0 g kuru maya, 100 mL saf su ve 2,0 g glikoz karışımı önce manyetik karıştırıcıda homojen bir dağılım sağlayana kadar tutulmuş sonra üzeri hava almayacak şekilde kapatılarak 36°C'de 30 dk tutulmuş maya hücrelerinin sayılarının artması sağlanmıştır. Ardından bu karışıma 2 mm molariteye sahip olacak şekilde SnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O eklenmiş ve oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda 2 saat karıştırılarak ardından NaOH ilavesi yapılmıştır. Bu karışım 12 saat bekletilmiş ve tüm reaksiyonların tamamlanması beklenmiştir. Sonra santrifüj yardımıyla çözelti süzülüş pH değeri 7 ye gelene kadar saf su ile 4-5 kez yıkanmıştır. Üzerine SnO<sub>2</sub> biriktirilmiş maya hücreleri numuneleri (SnO<sub>2</sub>@maya) etüvde 80°C de kurutulmuştur. Son adım olarak da yüzeyine SnO<sub>2</sub> biriktirilen bu maya hücreleri kalsine edilerek uzaklaştırılmıştır. Geriye sadece poroz SnO<sub>2</sub> yapısı kalması için yapılan kalsinasyon işleminin sıcaklığı yapılan TG analizi ile belirlenmiştir. Karşılaştırma yapılması için 450°C, 550°C ve 650°C olarak seçilen kalsinasyon sıcaklığının da yapıya ve poroziteye etkisi incelenmiştir. SnO<sub>2</sub> yapısını üretmek için kullanılan üretim aşamaları şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Maya hücresi kullanılmadan SnO<sub>2</sub> 'nin üretimi de aynı şekilde yapılmıştır. 2mM molariteye sahip SnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O çözeltisi hazırlanmış ve manyetik karıştırıcıda 2 saat tutulduktan

sonra NaOH ilavesi yapılmıştır. Reaksiyonların gerçekleşmesi için bekletilmiş ve dibe çöken SnO<sub>2</sub> tozları yine santrifüj yardımıyla yıkanarak ayrılmıştır.

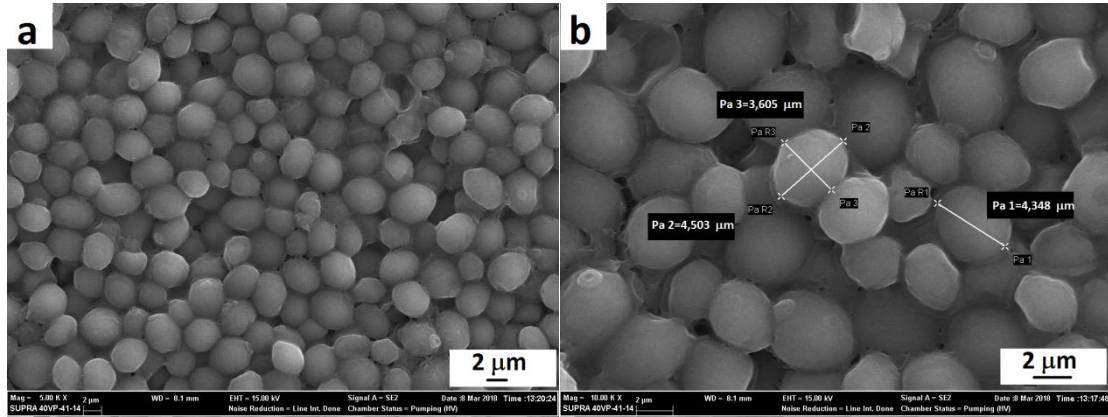


Şekil 1. Maya hücrelerinin biyo-şablon olarak kullanımı ile poröz SnO<sub>2</sub> sentezi

Üretilen numunelerin X ışınları difraksiyon testleri Rigaku D-Max 2000 markalı cihaz ile CuK $\alpha$  radyasyonu ile yapılmıştır. Taramalar 10°<2 $\theta$ <90° aralığında 5° geniş açısı ile ve 2°/dakika hızında yapılmıştır. Taramalar elektron mikroskobu olarak da ZEISS Supra 40 VP ve FEI Quanta FEG 450 marka cihazlar kullanılmıştır. Maya hücrelerinin SEM görüntüleri için yüzey Au-Pt alaşımı ile kaplanmıştır. TG analizi SETARAM LABSYS evo model termal analiz cihazı kullanılmıştır. Testler 5 °C/dk ısıtma hızında açık atmosferde yapılmıştır. Azot adsorpsiyon deneyleri Micromeritics ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey alanı ve por boyut dağılımı için Brunauer-Emmett-Teller (BET) ve Barrete-Joyner-Halender (BJH) metodu ile hesaplanmıştır.

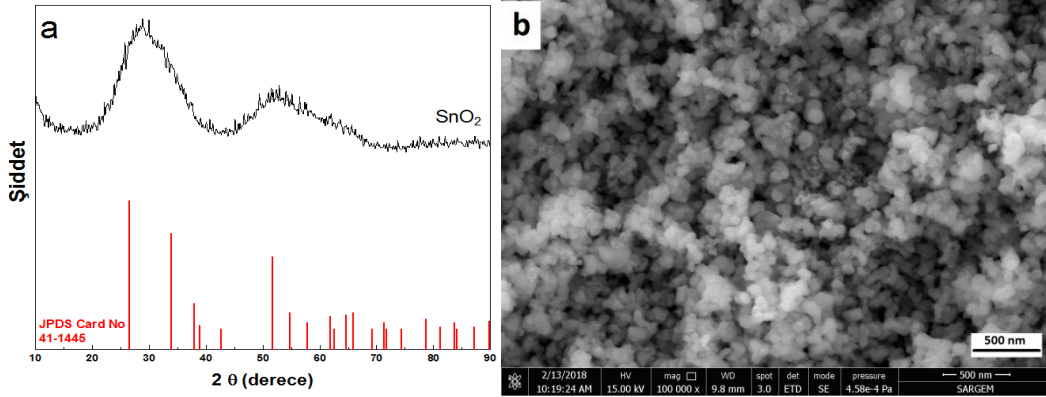
### III. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan maya 3-5  $\mu$ m aralığında homojen boyutlara sahip oval şekilli hücrelerdir. Şekil 2'de farklı büyütme oranlarında (5000 ve 10.000) SEM fotoğrafları çekilen maya hücreleri görülmektedir. Şekil 2 (b)'de hücrelerin boyutları ölçülmüş ve 3,5-4,5  $\mu$ m ölçülerinde oval oldukları görülmektedir.



Şekil 2. Maya hücrelerinin (a) hücrelerin boyut ölçümünü gösteren (b) SEM fotoğrafları

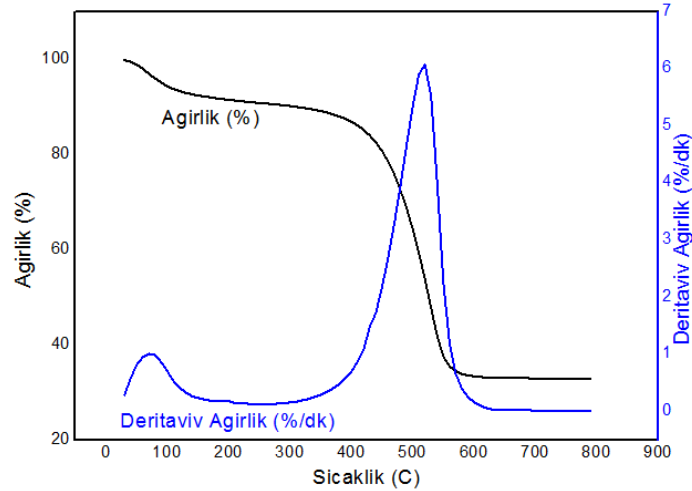
Hidrotermal yöntemi ile üretilen SnO<sub>2</sub> nano tozlara ait XRD paterni Şekil 3 (a)'da verilmiştir. Bu nano SnO<sub>2</sub>'nin üretiminde biyoşablon kullanılmamıştır. XRD paternindeki pikler kristalin rutiltetragonal yapıdaki SnO<sub>2</sub> (JCPDS No. 00-041-1445) fazına aittir. Piklerin şiddetleri nispeten düşük ve geniş olmalarının sebebi Kim ve çalışma arkadaşlarının da belirttiği üzere düşük kristalinite ve çok düşük tane boyutu ile ilgilidir [38]. Saf SnO<sub>2</sub> tozlarına ait SEM fotoğrafı Şekil 3 (b)'de sunulmuştur. SnO<sub>2</sub> yapısının homojen, küresel ve çok ince boyutlu olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Biyoşablon kullanılmadan üretilen nano SnO<sub>2</sub> tozların (a) XRD paterni (b) SEM fotoğrafı

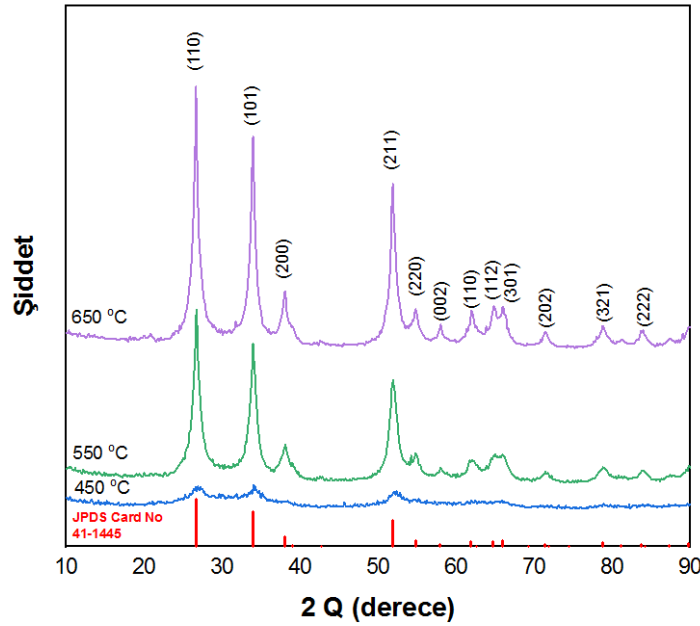
Bu çalışmada öncelikle maya hücrelerinin yüzeyini SnO<sub>2</sub> kaplayarak ardından maya hücrelerinin kalsinasyonla uzaklaştırılması ile poroz SnO<sub>2</sub> yapısı elde edilmiştir. Maya hücrelerinin uzaklaştığı sıcaklığı belirlemek için en etkili ve basit yöntem termogravimetrik analizdir. Hidrotermal sentez yöntemi ile yüzeyi SnO<sub>2</sub> kaplanmış maya hücreleri yani SnO<sub>2</sub>@maya numunesine ait TG grafiği Şekil 4'te sunulmuştur. Analiz sonucuna göre 100-150°C aralığında %3-5 ağırlık kaybı olmuştur. Bu numunenin fiziksel suyunun uzaklaştığını göstermektedir. Daha sonra 400°C'de başlayan ağırlık kaybı maya hücrelerinin uzaklaştığını göstermektedir. Maya hücreleri 600°C'de tamamen yapıdan uzaklaşmış ve bu sıcaklıktan sonra sadece poroz SnO<sub>2</sub> tozları kalmıştır.

Yapılan TG analizine göre mayanın tamamen uzaklaşması için en fazla 600°C yeterli bir sıcaklıktır. Ancak kalsinasyon sıcaklığı arttıkça difüzyon kaynaklı tane yapısında büyüme de gerçekleşeceği için daha düşük sıcaklıklarda da kalsinasyon yapılmıştır. Maya hücrelerinin uzaklaşmaya başladığı sıcaklık 400-420°C aralığındadır. 450°C, 550°C ve 650°C sıcaklıklarda 5 saat süre ile kalsinasyon yapılmıştır. Sürenin uzun seçilmesi mayanın tamamen uzaklaştığından emin olmak içindir.



Şekil 4. Yüzeyi SnO<sub>2</sub> kaplanmış maya hücrelerine (SnO<sub>2</sub>@maya) ait TG grafiği

Şekil 5 kalsinasyon sonrası poroz SnO<sub>2</sub> tozlarına ait XRD paternlerini göstermektedir. 450°C, 550°C ve 650°C sıcaklıklarda kalsine edildikten sonra üç farklı patern şekilde sunulmuştur. Tüm pikler kristalin rutiltetragonal yapıdaki SnO<sub>2</sub>(JCPDS No. 00-041-1445) fazına aittir ve standart kristalografik datalar ile uyumludur. Herhangi bir empürite pikine rastlanmamıştır. Kalsinasyon sıcaklığı arttıkça piklerin şiddetinde artma gözlenmiştir. Bu da artan kristalinite ve tane boyutuna bağlıdır.



Şekil 5. Poroz 450°C, 550°C ve 650°C sıcaklıklarda kalsine edildikten sonraki XRD paternleri

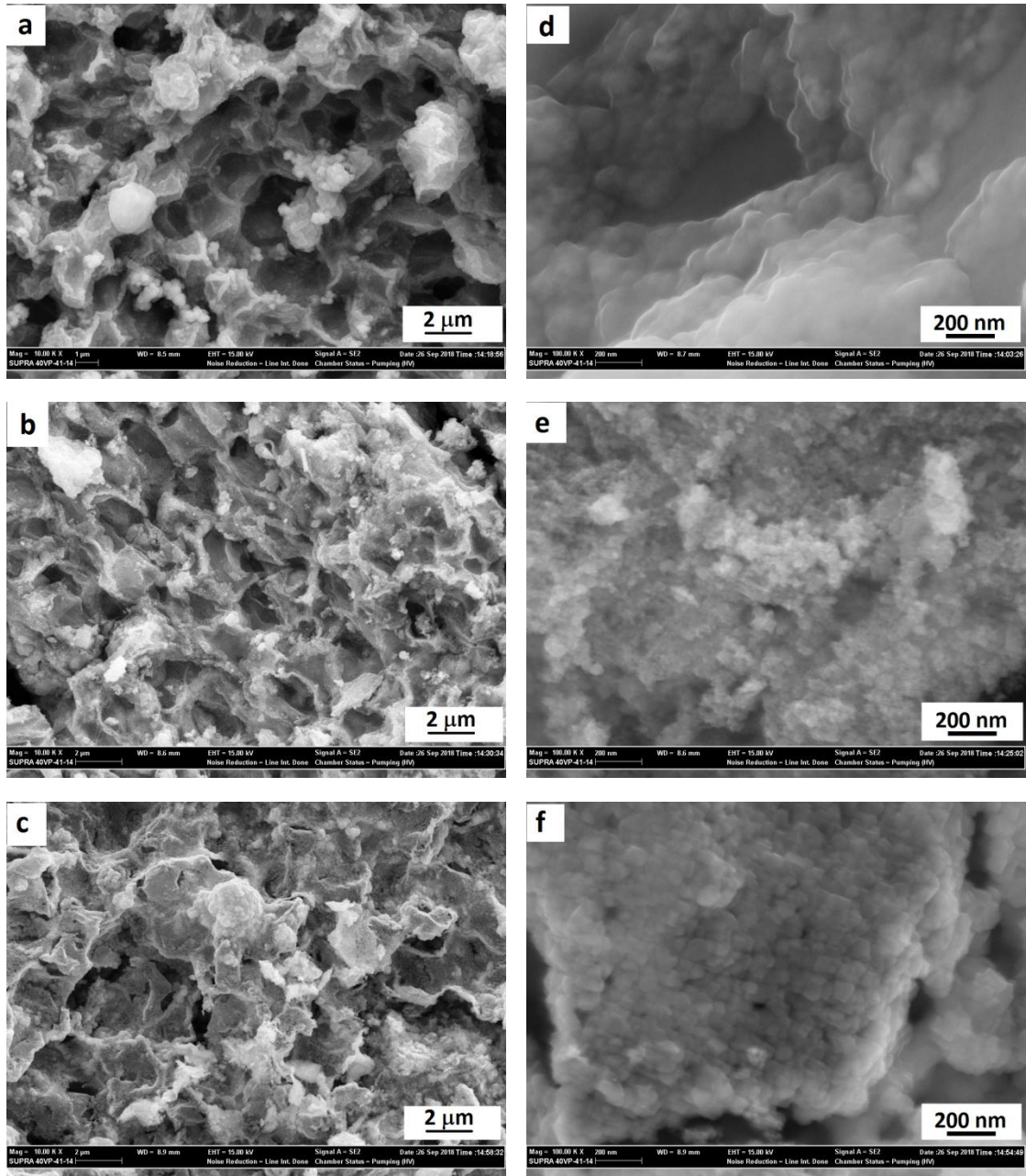
X-ışınları analizlerine göre Denklem (1) de verilen Scherrer formülü ile kristal boyutu tayini yapılmıştır [39]. (1) nolu denklemde verilen D; kristal boyutu,  $\lambda$ ; X-ışını dalga boyu, B; pik genişliği,  $\theta$ ; kırınım açısıdır. Her bir numune için en şiddetli ana pikler seçilmiştir. Denklem (1)'deki Scherer formülü kullanılarak hesaplanan kristal boyutu ile ilgili  $\theta$ (kırınım açısı), FWHM değeri ve hesaplanan kristal boyutu Tablo 1'de yer almaktadır.

$$D = \frac{0,9 \cdot \lambda}{B \cdot \cos\theta} \quad (1)$$

Tablo 1.Kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan kristal boyutları

Numune	2 $\theta$ (derece)	$\theta$ (radyan)	FWHM	Kristal Boyutu (nm)
450	26,503	0,231..	0,688	20,15
550	26,699	0,232..	0,620	22,36
650	26,580	0,231..	0,538	25,77

Şekil 6 Maya@SnO<sub>2</sub> numunelerinin 450°C, 550°C ve 650°C sıcaklıklarda kalsine edildikten maya hücrelerinin yapıdan tamamen uzaklaşması sonrası elde edilen poroz ve nano yapı SnO<sub>2</sub>'lerin SEM fotoğraflarını göstermektedir. 10.000 ve 100.000 büyütme alanan SEM fotoğrafları sırasıyla 450°C (Şekil 6 a-d), 550°C (Şekil 6 b-e) ve 650°C (Şekil 6 c-f) sıcaklıklarda kalsine edilen SnO<sub>2</sub> nano tozlarını göstermektedir. Üretilen SnO<sub>2</sub> tozları Şekil 1'de şematik olarak gösterilen toz üretim şekline benzemektedir. Homojen dağılıma sahip numunelerde içleri boşaltılmış kürelere benzeyen yapı vardır. Bu yapı ile yüzey alanı yüksek ve poroziteli yapı elde edilmiştir. Yüksek büyütme alanan SEM görüntüleri ise yapının ne kadar ince taneli ve eş eksenli yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

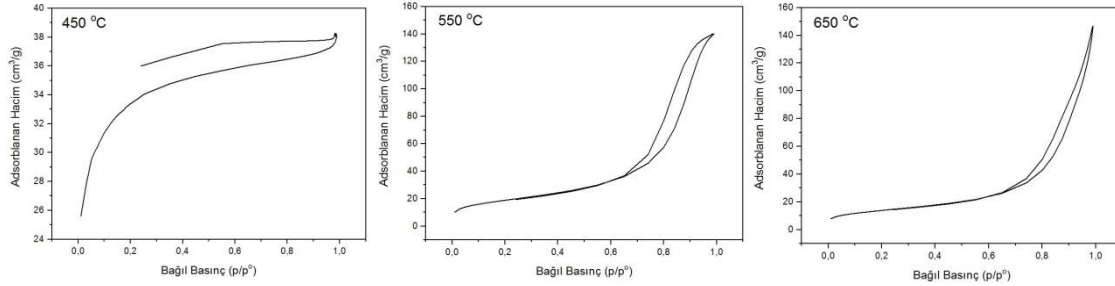


**Şekil 6.** (a) ve (d) 450°C, (b) ve (e) 550°C ve (c) ve (f) 650°C sıcaklıklarda kalsine edilmiş SnO<sub>2</sub> nano tozlarının farklı büyütmelerdeki SEM fotoğrafları

Üretilen SnO<sub>2</sub> nanotozların yüzey alanlarına kalsinasyon sıcaklığının etkisinin anlaşılması için numunelerin BET analizleri yapılmıştır. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak elde edilen BET yüzey alanı, Langmuir yüzey alanı, toplam por hacmi, por genişliği değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek yüzey alanı 450°C’de kalsine edilen numunede elde edilmiştir. Kalsinasyon sıcaklığının artması ile difüzyon hızı arttığından tane boyutunun büyümesi ile de ilişkili olarak yüzey alanının azalması gözlenmiştir. Şekil 7’de ise BET analizi sonucunda elde edilen azot adsorpsiyon-desorpsiyon izotermeleri verilmiştir.

Tablo 2. BET analizinden elde edilen veriler

Numune	BET yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	Langmuir yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	Toplam por hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	Por genişliği (nm)
450	110,98	153,19	0,058	2,10
550	50,00	69,63	0,215	12,66
650	67,98	94,73	0,212	16,98



Şekil 7. Poroz SnO<sub>2</sub> numunelerinin 450°C, 550°C ve 650°C sıcaklıklarda kalsine edildikten sonraki azot adsorpsiyon-desorpsiyon izotermeleri

#### IV. SONUÇLAR

Ekonomik ve yaygın olarak bulunabilen maya hücreleri biyoşablon olarak kullanılarak poroz ve nano yapı SnO<sub>2</sub> sentezi hidrotermal yöntem ile yapılmıştır. 3-5 µm çapında oval maya hücrelerinin yüzeyini SnO<sub>2</sub> kaplayarak ardından maya hücrelerinin kalsinasyonla uzaklaştırılması ile poroz SnO<sub>2</sub> yapısı elde edilmiştir. Kalsinasyon sıcaklığını belirlemek için TG analizi yapılmış ve 400 °C'nin üzerinde maya hücrelerinin uzaklaştığı görülmüştür. Kalsinasyon sonrası elde edilen SnO<sub>2</sub>'lerin XRD analizlerine göre yapı tamamen kristal ve tetragonal rutil SnO<sub>2</sub> ile birebir eşleşmektedir. XRD analizlerine göre yapılan kristal boyut hesaplarına göre SnO<sub>2</sub> nanotozların kristal boyutu 20-25 nm aralığındadır. SEM analizlerine göre porlu yapıya sahip SnO<sub>2</sub>'lerin yapısı net bir şekilde görülmüş ve yüksek büyütmelede alınan görüntüleri de kristal boyutunun ne kadar küçük olduğunu da göstermektedir. BET yüzey alanı analizlerine göre tüm numunelerin yüzey alanı değerleri yüksektir ancak en yüksek yüzey alanına sahip tozlar 450°C'de kalsine edilen numuneye aittir.

Bu çalışma sonrası üretilen poroz SnO<sub>2</sub> nanotozlar yüksek yüzey alanına sahip oldukları için Li-iyon pilleri gibi çeşitli bataryalar için anot malzemesi, güneş pilleri için elektrot malzemesi ve gaz sensörleri için potansiyel malzemedir.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışma için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne 2018-01.BŞEÜ.03-05 nolu proje desteği için teşekkür eder. Ayrıca bu çalışmada TÜBİTAK 116M997 no'lu projesi kapsamında alınan cihazlar kullanıldığı için yazarlar TÜBİTAK'a da teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR

- [1] Alaf, M., Gultekin, D., & Akbulut, H. (2014). Microelectronic Engineering Double phase tin oxide / tin / MWCNT nanocomposite negative electrodes for lithium microbatteries, *Microelectron. Eng.* 126, 143–147.
- [2] Naghadeh, S. B., Vahdatifar, S., Mortazavi, Y., Khodadadi, A. A., & Abbasi, A. (2016). Functionalized MWCNTs effects on dramatic enhancement of MWCNTs/SnO<sub>2</sub> nanocomposite gas sensing properties at low temperatures, *Sensors Actuators, B Chem.* 223, 252–260.
- [3] Kashyap, D., Teller, H., & Schechter, A. (2018). Highly active Pt<sub>x</sub>Pd<sub>y</sub>/SnO<sub>2</sub>/C catalyst for dimethyl ether oxidation in fuel cells, *J. Power Sources.* 396, 335–344.
- [4] Wali, Q., Fakhruddin, A., & Jose R. (2015). Tin oxide as a photoanode for dye-sensitised solar cells: Current progress and future challenges, *J. Power Sources.* 293, 1039–1052.
- [5] Alaf, M. & Akbulut, H. (2014). Electrochemical energy storage behavior of Sn/SnO<sub>2</sub> double phase nanocomposite anodes produced on the multiwalled carbon nanotube buckypapers for lithium-ion batteries, *J. Power Sources.* 247, 692–702.
- [6] Alaf, M., Gultekin, & D., Akbulut, H. (2013). Electrochemical properties of free-standing Sn/SnO<sub>2</sub>/multi-

- walled carbon nano tube anode papers for Li-ion batteries, in: *Appl. Surf. Sci.* 244–251.
- [7] Alaf, M., Tocoglu, U., Kayis, F., & Akbulut H. (2016). Sn/SnO<sub>2</sub>/Mwcnt composite anode and electrochemical impedance spectroscopy studies for Li-ion batteries, *Fullerenes Nanotub. Carbon Nanostructures.* 24.
- [8] Aydin, M., Demir, E., Unal, B., Dursun, B., Ahsen, A. S., & Demir-Cakan R. (2019). Chitosan derived N-doped carbon coated SnO<sub>2</sub> nanocomposite anodes for Na-ion batteries, *Solid State Ionics.* 341, 115035.
- [9] Xiang, Y., Wang, Z., Qiu, W., Guo, Z., Liu, D., Qu, D., Xie, Z., Tang H., & Li, J. (2018). Interfacing soluble polysulfides with a SnO<sub>2</sub> functionalized separator: An efficient approach for improving performance of Li-S battery, *J. Memb. Sci.* 563, 380–387.
- [10] Sun, J., Guo, J., Qi, B., & Liu, T. (2020) Comparisons of SnO<sub>2</sub> gas sensor degradation under elevated storage and working conditions, *Microelectron. Reliab.* 114, 113808.
- [11] Bunpang, K., Wisitsoraat, A., Tuantranont, A., Singkammo, S., Phanichphant, S., & Liewhiran C. (2019). Highly selective and sensitive CH<sub>4</sub> gas sensors based on flame-spray-made Cr-doped SnO<sub>2</sub> particulate films, *Sensors Actuators, B Chem.* 291, 177–191.
- [12] Bahrami, B., Khodadadi, A., Kazemeini, M., & Mortazavi Y. (2008). Enhanced CO sensitivity and selectivity of gold nanoparticles-doped SnO<sub>2</sub> sensor in presence of propane and methane, *Sensors Actuators, B Chem.* 133, 352–356.
- [13] Wang, B. J., & Ma S. Y. (2020). High response ethanol gas sensor based on orthorhombic and tetragonal SnO<sub>2</sub>, *Vacuum.* 177, 109428.
- [14] Myadam, N. L., Nadargi, D. Y., Gurav Nadargi, J. D., Shaikh, F. I., Suryavanshi, S. S., & Chaskar M. G. (2020). A facile approach of developing Al/SnO<sub>2</sub> xerogels via epoxide assisted gelation: A highly versatile route for formaldehyde gas sensors, *Inorg. Chem. Commun.* 116, 107901.
- [15] Ma, X., Qin, Q., Zhang, N., Chen, C., Liu, X., Chen, Y., Li, C., & Ruan S. (2017). Synthesis of SnO<sub>2</sub> nanododecahedrons with high-energy facets and their sensing properties to SO<sub>2</sub> at low temperature, *J. Alloys Compd.* 723, 595–601.
- [16] Zhang, M., Zhen, Y., Sun, F., & Xu C. (2016). Hydrothermally synthesized SnO<sub>2</sub>-graphene composites for H<sub>2</sub> sensing at low operating temperature, *Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol.* 209, 37–44.
- [17] Mehdiinia, A., Ziaei, E., & Jabbari A. (2014). Facile microwave-assisted synthesized reduced graphene oxide/tin oxide nanocomposite and using as anode material of microbial fuel cell to improve power generation, *Int. J. Hydrogen Energy.* 39, 10724–10730.
- [18] Kheradmandinia, S., Khandan, N., & Eikani, M. H. (2016). Synthesis and evaluation of CO electro-oxidation activity of carbon supported SnO<sub>2</sub>, CoO and Ni nano catalysts for a PEM fuel cell anode, *Int. J. Hydrogen Energy.* 41, 19070–19080.
- [19] Kesava, M., & Dinakaran K. (2021). SnO<sub>2</sub> nanoparticles dispersed carboxylated Poly(arylene ether sulfones) nanocomposites for proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) applications, *Int. J. Hydrogen Energy.* 46, 1121–1132.
- [20] Qureshi, A. A., Javed, S., Javed, H. M. A., Akram, A., Mustafa, M. S., Ali, U., & Nisar, M.Z. (2021). Facile formation of SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> based photoanode and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@rGO based counter electrode for efficient dye-sensitized solar cells, *Mater. Sci. Semicond. Process.* 123, 105545.
- [21] Gultekin, D., Alaf, M., Guler, M. O., & Akbulut H. (2012). Synthesis of ZnO, SnO<sub>2</sub> Nanoparticles and Preparation of ZnOSnO<sub>2</sub> Nanocomposites, *J. Nanosci. Nanotechnol.* 12, 9175–9182.
- [22] Kumar, R., Umar, A., Kumar, R., Chauhan, M. S., & Al-Hadeethi, Y. (2020). ZnO-SnO<sub>2</sub> nanocubes for fluorescence sensing and dye degradation applications, *Ceram. Int.* 47, 6201–6210.
- [23] Yuan, Z., Zuo, K., Meng, F., Ma Z., Xu, W., & Dong H. (2020). Microscale analysis and gas sensing characteristics based on SnO<sub>2</sub> hollow spheres, *Microelectron. Eng.* 231, 111372.
- [24] Dai, W., Chen, Y., Tian Q., Xiang, Y., & Sui Z. (2020). Chamber-confined effect of SnO<sub>2</sub> nanorods encapsulated within a porous capsule-like carbon enables high lithium storage, *J. Electroanal. Chem.* 873, 114408.
- [25] Alaf, M., Guler, M. O., Gultekin, D., Uysal, M., Alp, A., & Akbulut H. (2008). Effect of oxygen partial pressure on the microstructural and physical properties on nanocrystalline tin oxide films grown by plasma oxidation after thermal deposition from pure Sn targets, *Vacuum.* 83, 292–301.
- [26] Gultekin, D., Alaf, M., & Akbulut H. (2013). Synthesis and characterization of zno nanopowders and zno-cnt nanocomposites prepared by chemical precipitation route, *Acta Phys. Pol. A.* 123
- [27] Li, G., Zhang, X., & Kawi, S., (1999). Relationships between sensitivity, catalytic activity, and surface areas of SnO gas sensors, *Sensors Actuators, B Chem.* 64–70
- [28] Kang, K., & Kim S.W. (2011). Bio-Inspired Synthesis of Electrode Materials for Lithium Rechargeable Batteries, *Energy Storage Emerg. Era Smart Grids.*



- [29] Wang, C., Jiao, K., Yan, J., Wan, M., Wan, Q., Breschi, L., Chen, J., Tay, F. R., & Niu, L. (2021). Biological and synthetic template-directed syntheses of mineralized hybrid and inorganic materials, *Prog. Mater. Sci.* 116, 100712.
- [30] Krajina, B. A., Proctor, A. C., Schoen, A. P., Spakowitz, A. J., & Heilshorn S. C. (2018). Biotemplated synthesis of inorganic materials: An emerging paradigm for nanomaterial synthesis inspired by nature, *Prog. Mater. Sci.* 91, 1–23.
- [31] Xu, G., Zhang, X., Cui, H., Zhang, Z., Ding, J., & Wu, J. (2016). Facile synthesis of mesoporous SnO<sub>2</sub> microspheres using bioactive yeast cell, *Powder Technol.* 301, 96–101.
- [32] Xu, G., Zhang, X., Cui, H., Cheng, W., Zhang, Z., Ding, J., Zhan, X., & Wu, J. (2016). Facile fabrication of hierarchical structure SnO<sub>2</sub> coatings using bioactive yeast cell, *Mater. Lett.* 172, 137–141.
- [33] Pomerantseva, E., Gerasopoulos, K., Chen, X., Rubloff, G., & Ghodssi R., (2012). Electrochemical performance of the nanostructured biotemplated V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> cathode for lithium-ion batteries, *J. Power Sources.* 206, 282–287.
- [34] Wang, J., Liu, W., Chen, J., Wang, H., Liu, S. & Chen, S. (2016). Biotemplated MnO/C microtubes from spirogyra with improved electrochemical performance for lithium-ion batteries, *Electrochim. Acta.* 188, 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.11.128>.
- [35] Xia, Y., Zhang, W., Xiao, Z., Huang, H., Zeng, H., Chen, X., Chen, F., Gan, Y., & Tao, X. (2012). Biotemplated fabrication of hierarchically porous NiO/C composite from lotus pollen grains for lithium-ion batteries, *J. Mater. Chem.* 22, 9209. <https://doi.org/10.1039/c2jm16935e>.
- [36] Zhang, X., Xu, G., Chen, Z., Cui, H., Zhang, Z., & Zhan, X. (2017). Solvothermal preparation and gas sensing properties of hierarchical pore structure SnO<sub>2</sub> produced using grapefruit peel as a bio-template, *Ceram. Int.* 43, 4112–4118. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.12.015>.
- [37] Pan, D., Ge, S., Zhang, X., Mai, X., Li, S., & Guo Z., (2018). Synthesis and photoelectrocatalytic activity of In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hollow microspheres via a bio-template route using yeast templates, *Dalt. Trans.* 47, 708–715.
- [38] Kim, S. P., Choi, M. Y., & Choi H. C., (2016). Photocatalytic activity of SnO<sub>2</sub> nanoparticles in methylene blue degradation, *Mater. Res. Bull.* 74, 85–89.
- [39] Alaf, M. (2014). *Lityum iyon piller için Sn/SnO<sub>2</sub>/KNT kompozit anotlarının geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya