

NiO/ZnO Nanokompozit Partiküllerinin Sol-Jel Tekniği İle Üretimi

Duygu Yeşiltepe ÖZÇELİK^a, Sebahattin GÜR MEN^{*,a}

^a İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL 34469, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 10.01.2018
Kabul: 13.03.2018

Anahtar Kelimeler:

Nanokompozit,
NiO/ZnO, Sol-Jel.

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
gurmen@itu.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda yeni nesil ve kritik malzemelere duyulan ihtiyaç, nano boyutlu malzemeleri modern araştırmaların odağına taşımıştır. Bu çalışmada, petrokimya ve enerji sektöründeki kullanımına yönelik olarak NiO/ZnO nanokompozit partiküllerin sol-jel yöntemiyle üretimi araştırılmıştır. Yüksek safiyetteki nikel nitrat [Ni(NO₃)₂.6H₂O] ve çinko nitrat [Zn(NO₃)₂.6H₂O] tuzlarından molce % (50:50) ve % (30:70) hazırlanan 0,1 M konsantrasyona sahip başlangıç çözeltilerinde farklı çöktürme reaktifleri (1 M NaOH; NH₄OH) ve şelat yapıcının (0,1 M C₆H₈O₇) birlikte kullanılmasıyla başlayan üretim sürecinin son adımındaki kalsinasyon işlemi (700 °C, 2 saat) ile NiO/ZnO nanokompozit partikülleri üretilmiştir. NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinin yapısal karakterizasyon çalışmaları kapsamında; X-ışınları faz analizi (XRD, Rigaku), partiküllerin boyut-morfolojilerinin ve bileşimin kalitatif olarak tanımlanması için taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılım spektroskopisi (FEG SEM-EDS, Jeol) ve yapıda var olan bağların tespiti için Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre (FTIR) teknikleri kullanılmıştır. Sol-jel yönteminde, başlangıç çözeltilisinin stokiometrisi ile üretim aşamasında kullanılan çöktürme reaktifinin NiO/ZnO nanokompozit partikül üretimindeki etkisi incelenmiştir.

DOI: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2018.04.01.002>

Production of NiO/ZnO Nanocomposite Particles by Sol-Gel Technique

ARTICLE INFO

Received: 10.01.2018
Accepted: 13.03.2018

Keywords:

Nanocomposite,
NiO/ZnO, Sol-Gel
Technique.

***Corresponding**

Authors

e-mail:
gurmen@itu.edu.tr

ABSTRACT

In recent years, the need for new generation and critical materials has brought the nanoscale materials to the center of modern research. In this study, the production of NiO/ZnO nanocomposite particles by sol-gel method was investigated for using in the petrochemical and energy sectors. In the initial solutions having a 0.1 M concentration prepared from the high purity nickel nitrate [Ni(NO₃)₂.6H₂O] and zinc nitrate [Zn(NO₃)₂.6H₂O] salts in mol (50:50)% and (30:70)%, NiO/ZnO nanocomposite particles were produced by the calcination process (700 °C, 2 hours) in the final step of the production process, which started with the use of different precipitation reagents (1 M NaOH; NH₄OH) and chelating agent (0.1 M C₆H₈O₇). Within the scope of structural characterization studies of NiO/ZnO nanocomposite particles: phase analysis by X-ray diffractometry (Rigaku, XRD); the size and morphology and to determine the qualitative proportions of the contained elements of the particles with scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy (Jeol FEG SEM-EDS); and Fourier Transform Infrared Spectrometry (Bruker/Alpha-T) to determine the bonds that were present, was used. In the sol-gel method, the effect of the stoichiometry of the prepared starting solution and the precipitation reagent used in the production step on NiO/ZnO nanocomposite particle production were investigated.

DOI: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2018.04.01.002>

1. Giriş

Modern malzemeler en geniş anlamı ile metaller, seramikler, polimerik, elektronik ve bunların karışımı olan kompozit malzemeler şeklinde gruplandırılabilir. Son yıllarda yeni nesil ve kritik malzemelere duyulan ihtiyaç, nano boyutlu malzemeleri modern araştırmaların odağına taşımıştır. Genel tarife göre nanokompozit, en az bir fazın nano boyutta olduğu çok fazlı bileşiklerdir. Nanokompozitler ise, içerdiği farklı yapı ve bileşimler sebebiyle nanomalzemelerden farklı yeni malzemeler oluşturarak eşsiz özellikler sağlarlar. Bu üstün özellikler elektrik-elektronik, mekanik, optik, manyetik, biyolojik, fotoaktif ve katalitik özellikler olarak kendini gösterir. Ayrıca sahip oldukları farklı yapı ve özellikler sebebiyle bu malzemeler multifonksiyoneldir [1].

Nanomalzeme üretiminde ve işlevsel olarak kullanımında ise son gelişmeler nanokompozit yapıların tasarımı üzerine odaklanmıştır. İki farklı fonksiyonel içeriğe sahip olan nanokompozitler her iki nanoyapılı malzemenin özelliklerinin kombinasyonu sonucu beklenmedik fiziksel, kimyasal, mekanik, manyetik, elektriksel ve optik davranış sergilemektedirler. Alışıldan farklı ve üstün malzeme özellikleri, üretim süreçlerinin elde edilmesi, daha dayanıklı, daha hafif ve daha hızlı yapılar, daha az malzeme ve enerji kullanımı bu alandaki en önemli çıktılardan bazılarıdır. Nanokompozit partiküller; solvotermal, hidrotermal, sprey piroliz, katı hal reaksiyonu, elektrospinning, termal buharlaştırma, yüksek enerjili mekanik bilyalı öğütme ve sol-jel gibi çeşitli yöntemler ile üretilmektedir. Farklı üretim tekniklerinde kontrol edilebilen özellikler; partikül boyutu, şekli, bileşimi ve aglomerasyon derecesi olmakla birlikte, aglomerasyondan kaçınmak için stabilize edici reaktifin kullanılması da sözkonusudur [2,4-6]. Nikel oksit (NiO) 3,6-4,0 eV arasında geniş bir bant aralığına sahip olan önemli bir p-tipi yarı iletkenidir. Nano boyutta NiO, katalist, elektrokromik filmler, yakıt hücresi elektrotları, süperkapasitörlerde, elektrot olarak şarj edilebilir lityum iyon pillerde, manyetik kayıt, fotokatalizör, adsorbanlar vb. gibi çok çeşitli potansiyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Çinko oksit (ZnO), oda sıcaklığında 3,37 eV geniş bant aralığına sahip bir n-tipi yarı iletken malzemedir [7]. ZnO nanopartiküller eşsiz fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğu için elektronik, piezoelektrik ve optik cihazların yanı

sıra gaz sensörleri, biyosensörler, güneş pilleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır [4].

NiO/ZnO nanokompozit partikülleri ise, başta enerji (piller) ve petrokimya sektörleri (kükürt tutucu) olmak üzere pek çok uygulama alanında kullanım bulmaktadır [6,8].

Literatürde, sol-jel yöntemiyle NiO/ZnO üretimi yapılan çalışmalarda başlangıç malzemesi olarak asetatlardan yola çıkılmış olup, başlangıç malzemesi olarak nitrat tuzlarının kullanıldığı çalışmalarda ise sol-jel yönteminden farklı üretim tekniklerinin kullanıldığı belirlenmiştir [9-11]. Bu çalışmada, nitrat tuzlarından yola çıkılarak farklı çöktürücü ajanlar (NaOH, NH₄OH) kullanılarak sol-jel yöntemiyle NiO/ZnO nanokompozit partikülleri üretilmiştir. Hem çöktürme reaktifinin hem de stokiyometrinin partikül üretimi üzerine etkisi incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda, yüksek safiyette nikel nitrat [Ni(NO₃)₂.6H₂O] ve çinko nitrat [Zn(NO₃)₂.6H₂O] tuzlarından farklı sitokiyometrik oranlarda (Tablo 1) çözeltiler saf su kullanılarak hazırlanmıştır. Başlangıç çözeltilerine çöktürücü ajan (100 ml NaOH, 25 ml NH₄OH) ve şelat yapıcının (5 ml C₆H₈O₇) ilave edilmesiyle elde edilen çözeltiler, manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında 2 saat süreyle karıştırılmıştır. Hidroliz/kondenzasyon reaksiyonları ile jel oluşumu, kondenzasyon, çekirdeklenme ve büyüme adımlarını takiben, jel/çözelti ayrımı gerçekleştirilmiştir. Hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonlarıyla sol yapıdan jelin oluşmasından sonra yaşlandırma aşamasında ağ yapısının bağlanabilirliğini artırmak için oda sıcaklığında kurutma işlemi yapılmıştır.

Sol-jel tekniği ile üretilen jellerin kalsiyonasyon işlemine yönelik termal davranışını öngörmek amacıyla DTA-TG (Perkin Elmer) analizi gerçekleştirilmiş olup, kalsiyonasyon sıcaklığı 700 °C olarak belirlenmiştir. Üretilen ara ürün alümina kayıkçıklar içerisinde Nabertherm marka kül fırınında 700°C' de 2 saat kalsiyonasyon işlemine tabii tutularak NiO/ZnO nanokompozit partikül üretimi gerçekleştirilmiştir. NiO/ZnO nanokompozit partikülleri, X-ışınları difraktometresi (Rigaku, XRD), FTIR (Bruker/Alpha-T), taramalı elektron

mikroskobu (Jeol, FEG SEM-EDS) ile karakterize edilmiştir.

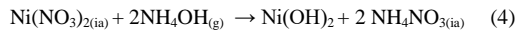
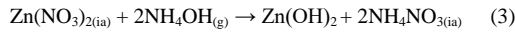
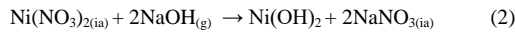
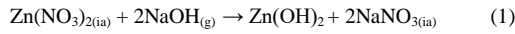
Tablo 1. NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinin üretim parametreleri.

Numune	Molce% Ni(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	Molce% Zn(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	Çöktürücü Ajan	Şelat Yapıcı
1	50	50	NaOH	C ₆ H ₈ O ₇
2	50	50	NH ₄ OH	
3	30	70	NaOH	
4	30	70	NH ₄ OH	

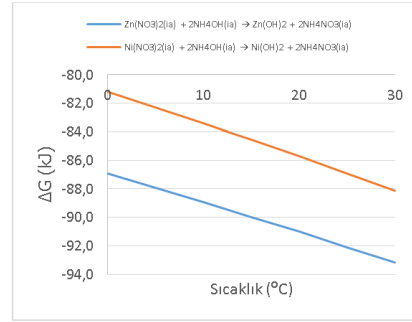
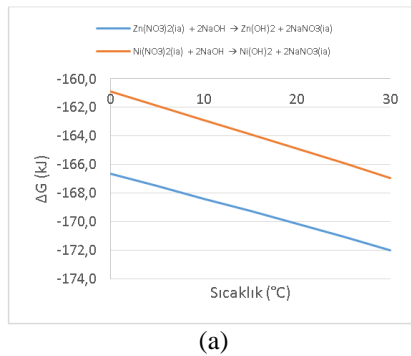
3. Deneysel Sonuçları ve İrdemeler

3.1. Termodinamik Analiz

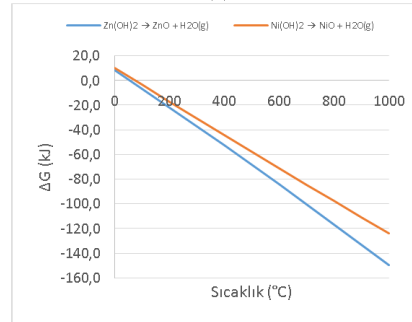
Farklı stokiyometri oranlarında nikel nitrat ve çinko nitrat tuzlarından hazırlanan başlangıç çözeltilerinden farklı çöktürücü ajanlar ile NiO/ZnO nanokompozit partiküllerin optimum üretim koşullarının tanımlanmasına yönelik termodinamik yazılım ile hesaplanmıştır. Sol-jel tekniğine ait kimyasal reaksiyonlar 1-4, kalsinasyon işlemi için kimyasal reaksiyonlar ise 5 ve 6 numaralı eşitliklerde verilmiştir.



Şekil 1' de termodinamik yazılım ile hesaplanmış olan Gibbs Serbest Enerji (ΔG°)-Sıcaklık değişimi grafikleri verilmiştir (a- Nikel nitrat ve çinko nitrat'ın NaOH ile reaksiyonu, b- Nikel nitrat ve çinko nitrat'ın NH₄OH ile reaksiyonu, c- Ni(OH)₂ ve Zn(OH)₂'nin termal parçalanma reaksiyonu).



(b)



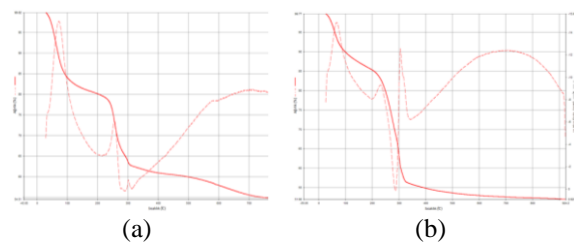
(c)

Şekil 1. Serbest enerji-sıcaklık değişim grafikleri

Termodinamik analiz sonuçları doğrultusunda, sol-jel işleminin oda sıcaklığında, kalsinasyon işleminin ise 700 °C' de yapılabileceği belirlenmiştir.

3.2. DTA-TG Analizi

NiO/ZnO nanokompozit partikül üretiminde, termal parçalanma (kalsinasyon) sıcaklığının belirlenmesine yönelik 10 °C/dak. ısıtma hızıyla Azot atmosferinde DTA-TG analizleri yapılmıştır (Bknz. Şekil 2, a- Çöktürücü reaktif 1M NaOH, b- Çöktürücü reaktif 1M NH₄OH).



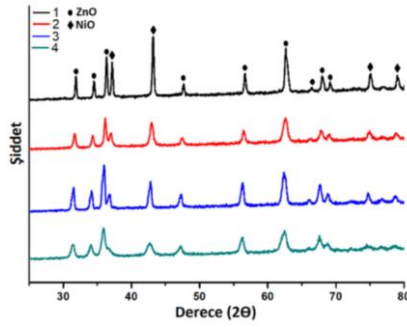
Şekil 2. DTA-TG analiz diyagramları.

Şekil 2a'da çöktürücü ajan olarak NaOH' nin kullanıldığı numunede; ~70 °C' de yapıdaki nemin, ~250 °C' de ise yapıdaki kristal suyun buharlaşmasıyla meydana gelen endotermik reaksiyonlar görülmektedir. ~300 °C' de meydana gelen endotermik pikin sebebi ise jelleşme aşaması sırasında oluşan ara bileşiğin parçalanmasından kaynaklandığı ve ~700 °C' den itibaren dikkate değer

bir kütle kaybı gözlemlenmediği belirlenmiştir. Şekil 2b' deki NH_4OH çöktürücü ajanın kullanıldığı yapıda; $\sim 70^\circ\text{C}$ ve 230°C ' de gerçekleşen endotermik reaksiyonların sebebinin yapıda bulunan nem ve kristal suyun buharlaşmasından kaynaklandığı, jelleşme esnasında oluşan amonyaklı ara bileşiğin parçalanma reaksiyonunun ise $\sim 300^\circ\text{C}$ ' ye kadar tamamlandığı belirlenmiştir [12,13]. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda NiO/ZnO nanokompozit partikül üretimi için kalsinasyon sıcaklığı 700°C olarak tanımlanmıştır.

3.3. X-Işınları Difraksiyonu Faz Analizi

Tablo 1' de tanımlanmış olan 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelere ait NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinin X-ışınları difraksiyon paternleri Şekil 3' de verilmiştir.



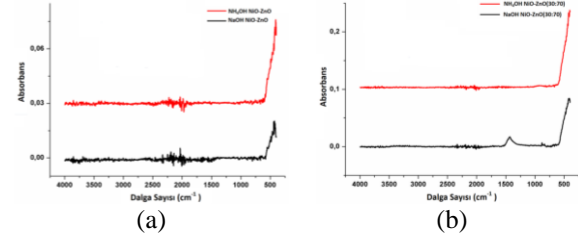
Şekil 3. NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinin X-ışınları difraksiyon paternleri.

NiO/ZnO nanokompozit partiküllerine ait difraksiyon paternleri incelendiğinde; NiO (JCPDS no: 00-047-1049) ve ZnO (JCPDS no: 00-005-0664) pikleri tanımlanmıştır. NiO piklerinin kristal yapısı kübik olup Fm-3m uzay grubuna aittir. ZnO' ya ait olan piklerin kristal yapısı ise hegzagonaldır ve P63mc uzay grubundadır. Başlangıç çözeltisinin stokiometrik bileşimine ve kullanılan çöktürme reaktifine bağlı olarak pik şiddetlerinde değişim gözlenmiştir.

3.4. Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi Analizi

Kalsinasyon sonrası NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinin FTIR analizi; $4000-400\text{ cm}^{-1}$ spektral aralığında çekilmiş ve sonuçlar Şekil 4' de verilmiştir [a- NiO/ZnO (50:50), b- NiO/ZnO (30:70)]. FTIR grafiklerinde, $400-500\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısındaki piklerin Ni-O ve Zn-O bağ vibrasyonuna ait olduğu belirlenmiştir [14-17]. NaOH çöktürücü reaktifıyla hazırlanan partiküllerin $\sim 1500\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı civarındaki piklerin O-H ve C-O bağ titreşimlerine

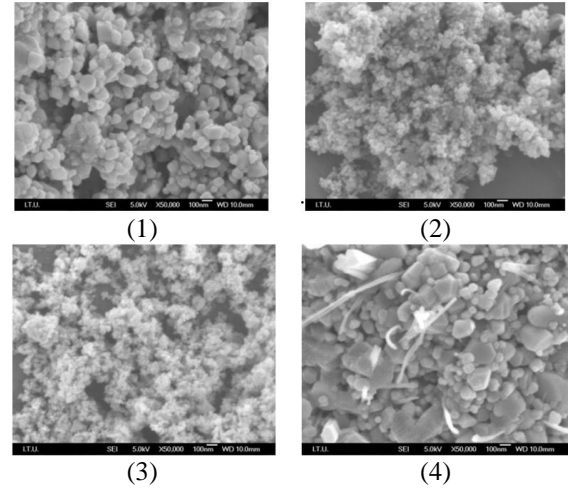
ait oldukları ve bu pik varlığının NiO/ZnO (30:70) nanokompozit partikülün FTIR analizi sonucunda belirgin bir şekilde ortaya çıktığı belirlenmiştir [14, 16]. $\sim 2300\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı civarındaki pikin C-H arası bağ vibrasyonuna ait olduğu belirlenmiştir [16].



Şekil 4. FTIR diyagramları.

3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri (SEM-EDS)

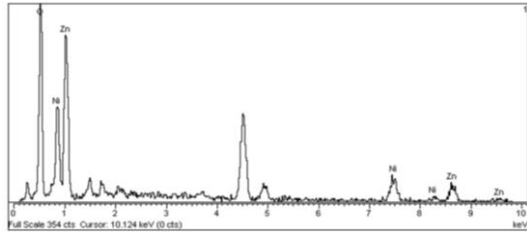
NaOH ve NH_4OH çöktürme reaktifleri ile üretilen NiO/ZnO nanokompozit partiküllerine ait SEM görüntüleri Şekil 5' de verilmiştir.



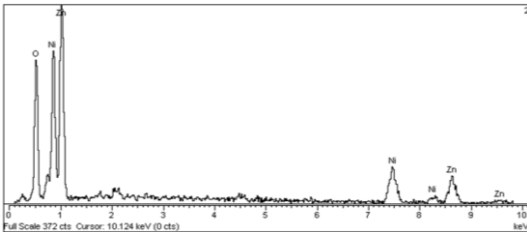
Şekil 5. NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinin SEM analiz sonuçları

NiO/ZnO nanokompozit partiküllerin SEM analizi sonuçları incelendiğinde; Tablo 1' de tanımlanmış 1 numaralı numunenin $40-200\text{ nm}$ aralığında geniş bir partikül boyut dağılımına sahip küresel morfolojide, 2 numaralı numuneye ait partiküllerin ise $20-50\text{ nm}$ aralığında daha dar bir partikül boyut dağılımına sahip ve küresel morfolojide oldukları tespit edilmiştir. 3 numaralı numunede; NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinin boyut dağılımının ise $10-30\text{ nm}$ olduğu küresel yapıda partiküller tespit edilmiştir. 4 numaralı numuneye ait olan NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinde küresel yapının yanı sıra çubuksu ve

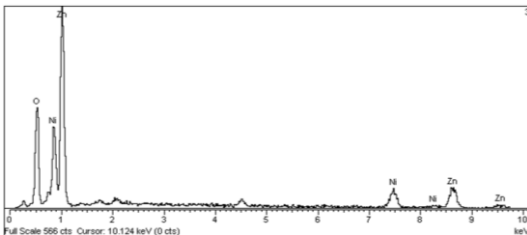
köşeli yapılar rastlanmıştır. Şekil 6'da NiO/ZnO nanokompozit partiküllerine (Bknz. Tablo 1.) ait elementel analiz sonuçları ve Tablo 2' de ise elementel (%Ağırlık) dağılımı yer almaktadır. 4 numaralı numunede oluşan morfolojideki değişimin sebebini anlamak için, küresel (4-1) ve çubuksu (4-2) tanelerde iki ayrı EDS analizi yapılmıştır.



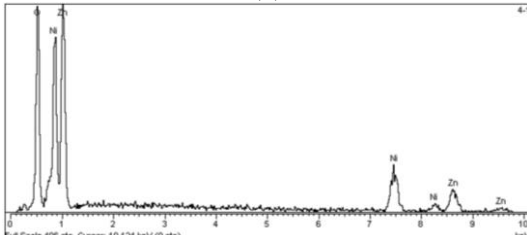
(1)



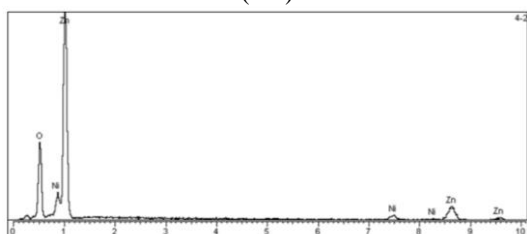
(2)



(3)



(4-1)



(4-2)

Şekil 6. NiO/ZnO nanokompozit partiküllerine ait EDS analizi sonuçları.

Tablo 2. NiO/ZnO nanokompozit partiküllerine ait EDS analiz sonuçları.

Numune	Element (% Ağ.)		
	O	Ni	Zn
1	35,07	25,52	39,41
2	21,54	29,66	48,80
3	23,36	19,36	57,28
4 – 1	27,05	32,49	40,47
4 – 2	28,57	7,53	63,90

Tablo 2' de yer alan elementel (% Ağırlık) dağılım incelendiğinde, küresel (4-1) morfolojide Ni ve Zn birlikte görülürken, çubuksu (4-2) yapılarda Zn oranının yüksek, Ni oranının ise çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Molce %Zn deki artış NH_4OH çöktürücü reaktifi ile yapılan üretimde morfoloji değişimine sebep olurken NaOH reaktifi kullanımında morfolojiyi değiştirmedeği gözlenmiştir.

4. Sonuçlar

Yüksek safiyetteki Ni-Zn nitrat tuzlarından hazırlanan 0,1 M başlangıç çözeltilerinden sol-jel yöntemi ile üretilen NiO/ZnO nanokompozit partiküllerinin XRD faz analizi sonucunda elde edilen XRD paternlerinden nanokompozit partiküllerin yapısında kübik NiO ve hegzagonal ZnO fazları tespit edilmiş olup, FTIR analizi ile Ni-O ve Zn-O arasındaki bağların varlığı tanımlanmıştır. Molce eşit oranda (% 50:50) hazırlanan başlangıç çözeltilerinden elde edilen nanokompozit partiküllerin SEM analizinden, NaOH çöktürme reaktifinin partikül boyut ve dağılımını arttırdığı (40–200 nm), NH_4OH reaktifinin ise daha homojen dağılım oluşturduğu (20–50 nm) belirlenmiştir.

Molce farklı oranda (% 30:70) hazırlanmış çözeltiden NaOH ile üretilen nanopartiküllerde ise molce % Zn' deki artıştan kaynaklı daha küçük boyut ve homojen dağılım (10–30 nm) elde edilmiştir. NiO/ZnO nanokompozit partiküllerin morfolojileri incelendiğinde; genel olarak küresel morfolojinin tüm numunelerde gözlemlendiği, bunun yanısıra molce (% 30:70) hazırlanan başlangıç çözeltilerinden NH_4OH ile üretilen numunede çubuksu, köşeli ve iğnesel yapılar da gözlemlenmiştir. Yapıda çeşitli morfolojilerin görülme sebebini çöktürme reaktifi ve stokiometri olduğu EDS analiz sonuçları ile desteklenmiştir. Küresel morfolojide NiO/ZnO yapısı birlikte görülürken, çubuksu ve köşeli yapıların ZnO' e ait olduğu belirlenmiştir. Hazırlanan başlangıç çözeltilerinin stokiometrisi ile üretim aşamasında

kullanılan çöktürme reaktifinin NiO/ZnO nanokompozit partikül üretiminde, partikül boyut ve dağılımı ile morfolojiyi değiştirdiği gözlenmiştir. NiO/ZnO nanokompozit partikülleri, nano yapılarının getirdiği avantajdan (partikül boyut, morfoloji, yüzey alan) dolayı petrokimya alanında kükürt tutucu olarak potansiyel kullanım alanına sahiptir ve ihtiyacı karşılamak için uygun üretim yöntemleri geliştirilmektedir.

Teşekkür

Karakterizasyon çalışmalarındaki yardımlarından dolayı; Prof. Dr. Gültekin Göller, Prof. Dr. Kürşat Kazmanlı, Araştırma Görevlileri Fatma Ünal, Elif Emil ve Meltem Bolluk ile Teknisyen Hüseyin Sezer' e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Dahman, Y., Javaheri, H., Chen, J., Alchikh-Sulaiman, B. (2017). DOI: 10.1016/B978-0-323-51256-5.00005-8 In book: Nanotechnology and Functional Materials for Engineers Chapter 5, 93-119.
- [2] Shin, W.-K., Cho, J., Kannan, A.G., Lee, Y.-S., Kim, D.-W. (2016). Cross-linked composite gel polymer electrolyte using mesoporous methacrylate-functionalized SiO₂ nanoparticles for lithium-ion polymer batteries. *Sci. Rep.* 6, 26332. <http://dx.doi.org/10.1038/srep26332>.
- [3] Ibrahim Khan, Khalid Saeed, Idrees Khan (2017). Nanoparticles: Properties, applications and Toxicities, *Arabian Journal of Chemistry*, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>.
- [4] Yeşiltepe, D. (2017). NiO/ZnO ve NiO/ZnO/Al₂O₃ Nanokompozit Partiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz (Usp) Yöntemiyle Üretimi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Yılmaz, S., McGlynn E., Bacaksız, E., Cullen, J., Chellappan, R. K. (2012). Structural, Optical and Magnetic Properties of Ni-doped ZnO Micro-rods Grown by The Spray Pyrolysis Method. *Chemical Physics Letters*, 526, 72-76.
- [6] Kim, K. H., Yoshihara, Y., Abe, Y., Kawamura, M., Kiba, T. (2017). Morphological Characterization of Sphere-like Structured ZnO-NiO Nanocomposites with Annealing Temperatures. *Materials Letters*, Vol. 186, 364-367.
- [7] K. Prasad, Anal K. Jha (2009). ZnO Nanoparticles: Synthesis and Adsorption Study. *Natural Science* Vol.1, No.2, 129-135.
- [8] Yeşiltepe, D., Koç, İ., Gürmen, S. (2016). Ultrasonik Sprey Piroliz Tekniği: NiO/ZnO ve Ni/ZnO Nanokompozit Partiküllerinin Üretimi. *Metalurji Dergisi*, 182, 26-31.
- [9] Dorneanu, P. P., Airinei, A., Oлару, N., Homocianu, M., Nica, V., Doroftei, F. (2014). Preparation and characterization of NiO, ZnO and NiO-ZnO composite nanofibers, by electrospinning method, *Materials Chemistry and Physics*, 148, 1029-1035.
- [10] Hameed, A., Montini, T., Gombac, V., Fornasiero, P. (2009). Photocatalytic decolourization of dyes on NiO-ZnO nano-composites, *Photochemical&Photobiological Sciences*, 8, 677-682.
- [11] Juma, A. O., Matibini, A. (2017). Synthesis and structural analysis of ZnO-NiO mixed oxide nanocomposite prepared by homogeneous precipitation, *Ceramics International*, 43, 15424-15430.
- [12] Chen, W. F., Wang, C. H., Sasaki, K., Marinkovic, N., Xu, W., Muckerman, J. T., Zhu, Y., Adzic, R. R. (2013). Highly active and durable nanostructured molybdenum carbide electrocatalysts for hydrogen production, *Energy & Environmental Science* 6, 943-951.
- [13] Yan, X., Li, Z., Chen, R., Gao, W. (2008). Template Growth of ZnO Nanorods and Microrods with Controllable Densities, *Crystal Growth & Design*, Vol. 8, No. 7.
- [14] El-Kemary, M., Nagy, N., El-Mehasseb, I. (2013). Nickel oxide nanoparticles: Synthesis and spectral studies of interactions with glucose, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16, 1747-1752.
- [15] Shokry, H. H., Elkady, H., M. F., El-Shazly, A. H., Bamufleh, H. (2014). Formulation of Synthesized Zinc Oxide Nanopowder into Hybrid Beads for Dye Separation, *Journal of Nanomaterials*, 1-14.

[16] Sharma, A., Kumar, P.S. (2011), Synthesis and Characterization of NiO-ZnO Nano Composite, 3, 112-115.

[17] Alagiri, M., Ponnusamy, S., Muthamizhchelvan, C. (2012). Synthesis and characterization of NiO nanoparticles by sol-gel method, J Mater Sci: Mater Electron, 23, 728-732.

Duygu YEŞİLTEPE ÖZÇELİK

Duygu YEŞİLTEPE ÖZÇELİK, 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Mühendisliği Programı'nda 2017 yılında yüksek lisansını tamamlamış ve Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı'nda doktora eğitimine başlamıştır. 2014 yılında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak başladığı görevine 2016 yılında görevlendirildiği İstanbul Teknik Üniversitesi'nde halen devam etmektedir. Nanopartikül, nanokompozit üretim karakterizasyonu ve üretim yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapmaktadır.

Sebahattin GÜR MEN*

Sebahattin GÜR MEN, 1989 yılında İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Metalurjisi Programı'nda 1992 yılında yüksek lisansını, 1999 yılında da doktora eğitimini tamamlamıştır. 2003-2005 yılları arasında DAAD ve AvH bursiyeri olarak İME/RWTH Aachen Üniversitesi'nde planlanmış ortak çalışmalarda bulunmuştur. Metalurjik Prosesler, Demir-Dışı Metal Üretimi, Refrakter Metaller, Enerjitik Malzemeler, Modelleme-Simülasyon ve Nanopartiküller/ Nanoteknoloji başlıca araştırma ve çalışma konularıdır.