

## ELEKTROSPİN METODU İLE ÜRETİLEN ZnO NANO PARTİKÜL KATKILI PAN NANOFİBERLERİN ISIL İLETKENLİĞİNİN VE ELEKTRİKSEL İLETKENLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kevser DİNCER<sup>1</sup>, Ahmet KÖSE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Türkiye

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı, Konya Türkiye

kdincer@selcuk.edu.tr, ahmet-ks@yandex.com

### Özet

Bu çalışmada, çinko oksit (ZnO) nano partiküllerle güçlendirilmiş olan Poliakrilonitril (PAN) nanofiberlerin ısı iletkenlikleri ve elektriksel iletkenlikleri incelenmiştir. Öncelikle, PAN+dimetilformamid (DMF) çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltide PAN ağırlıkça % 8 oranındadır. Ağırlıkça % 1, 3 ve 5 oranlarında PAN çözeltisine ZnO nano partiküller eklenmiştir. Hazırlanmış olan bu çözelti ile elektrospın işlemi kullanılarak, ZnO nano partikül katkı ılı PAN nanofiberler üretilmiştir. Elektrospın cihazı, 15 kV gerilimde, iğne ucu ile toplaç arasındaki mesafe 12 cm, besleme hızı 2 mL/h koşullarında çalıştırılmıştır. Saf PAN ve ZnO katkı ılı PAN nanofiberlerin ısı iletkenlikleri ve elektriksel iletkenlikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, en fazla ısı iletim katsayısı ve elektriksel iletkenlik değeri sırasıyla, 5 Watt güç için 0,91 W/mK,  $5.35 \times 10^{-3}$  S/cm'dir. Bu değerler, % 5 ZnO nano partiküllü PAN nanofiberde oluşmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Elektriksel iletkenlik, elektro-eğirme metodu, ısı iletkenlik, nanofiber, nanopartikül, PAN.

## INVESTIGATION OF THERMAL CONDUCTIVITY AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF PAN NANOFIBERS CONTAINING ZnO NANOPARTICLES PRODUCED BY ELECTROSPINNING METHOD

### Abstract

In this study, thermal conductivity and electrical conductivity of polyacrylonitrile (PAN) nanofibers reinforced with zinc oxide (ZnO) nanoparticles were investigated. First, PAN+ dimethylformamide (DMF) solution was prepared. In this solution, PAN is

8 % by weight. ZnO nanoparticles were added to the PAN solution at 1, 3 and 5% by weight. With this solution, PAN nanofibers with ZnO nanoparticles were produced by electrospin process. The electrospin device was operated at a voltage of 15 kV, the distance between the needle tip and the collector was 12 cm, the feed rate was 2 mL/h. Thermal conductivity and electrical conductivity of pure PAN and ZnO doped PAN nanofibers were investigated. In this study, the maximum thermal conductivity and electrical conductivity values are 0.91 W / mK for 5 Watt power and  $5.35 \times 10^{-3}$  S/cm, respectively. These values were obtained in PAN nanofiber with 5% ZnO nanoparticle.

**Keywords:** Electrical conductivity, electro-spinning method, thermal conductivity, nanofiber, nanoparticle, PAN.

## 1. Giriş

Nanofiber üretmek için buhar genişlemesi, ark deşarjı, lazer erimesi ve kimyasal buhar biriktirme gibi yöntemler kullanılır. Fakat bu yöntemler düşük verimi ve pahalı ekipman gerekliliği nedeni ile çok pahalı proseslerdir [1]. Nanofiber üretmek için kullanılan bir diğer yöntem elektrospin yöntemidir. Elektrospin yöntemi ile 10 nm'den, 10 µm'ye kadar nanofiber üretilebilmektedir. Elektrospin yöntemi, çok geniş miktarda üretim, üretimlerde çok yönlülük, verimlilik, fizibilite bakımından diğer nanofiber üretme yöntemlerinden daha avantajlıdır [2].

Bu çalışmada, PAN'dan nanofiber üretimi yapılmıştır. PAN, genel olarak sentetik fiberleri üretmek için kullanılır. PAN nitril gruplarından gelen güçlü zincirleme etkileşimleri nedeni ile oldukça yüksek polariteye sahiptir. PAN nanofiber üretiminde yeterince yumuşamadan dekompose olduğu için eritilerek işlenemez. Bu sebeple, PAN nanofiberleri yüksek polariteye sahip olan DMF, dimetil asetamid ve dimetil sülfoksit gibi solventler ile üretilir [3]. PAN'dan yapılmış film ve membranlar çok iyi mekanik özelliklere sahiptirler. PAN solüsyonlarından elektrospin yöntemi ile nano fiber üretimi çok verimlidir ve yumuşak olması nedeni ile nano lifli malzemelerin hazırlanışını kolaylaştırmaktadır [4].

Polimerlere geniş aktif yüzey alanlara sahip olan inorganik ve metal nano partiküller ilave edilmesi, nano partiküllü nanofiberlere, eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırmaktadır. Nano partiküllü nanofiberlerin bazı avantajları; yüksek mekanik özellikler, alev dayanımı, daha yüksek ısı bozunma sıcaklığı, daha gelişmiş ısı

stabilite, anti bakteriyel direnç ve optik özelliklerini etkilemeyen kimyasal dirençtir. Bu avantajlar nedeniyle organik moleküllerin inorganik nano partiküllerle modifikasyonu, çok dikkat çekici hale gelmiştir [3, 4]. Referans [4]'de PAN solüsyonu içerisine ZnO nano partikül ilave edilmesi ile nanofiberin mekanik özelliklerini iyileştirdiği vurgulanmıştır. ZnO, UV ve mikroorganizmalardan korunmada, foto katalizlerde, fonksiyonel aletlerde, güneş hücrelerinde, kimyasal sensörlerde ve yenilenebilir enerji uygulamalarında yaygın olarak kullanılır [3-5]. ZnO nano partikül, oda sıcaklığında 3,37 eV enerji bant aralığına sahip bir yarıiletkenidir. ZnO nano partikül, katalik, elektrik, optoelektronik ve fotokimyasal özellikleri sebebi ile tercih edilmektedirler. ZnO nano partikül, geniş yüzey alanları ve yüksek katalitik aktivitesi nedeni ile katalitik reaksiyon proseslerine uygulanması büyük avantaj sağlar [6].

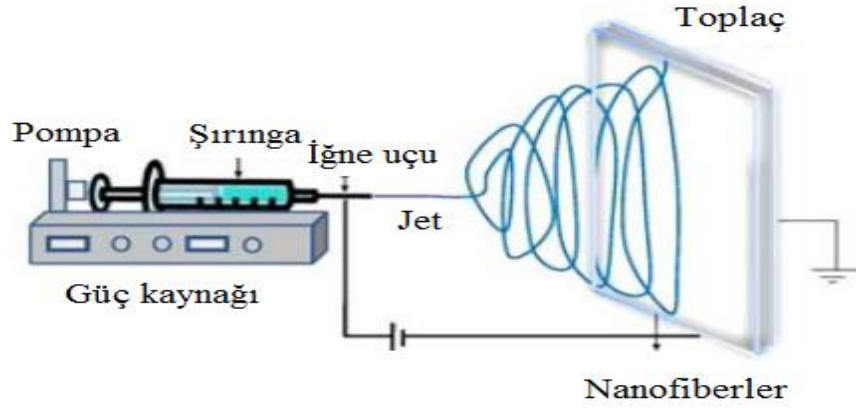
Bu çalışmada, PAN nanofibere ağırlıkça % 1, 3, 5 oranında ZnO nano partikül ilave edilerek, ZnO katkılı PAN nanofiberler üretilmiştir. Üretilmiş olan ZnO katkılı PAN nanofiberlerin, su yüzey temas açıları, ısı iletim katsayıları ve elektriksel iletkenlikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, PAN nanofibere ZnO nano partikül katkısı yapıldığında, PAN nanofiberin, katkısız durumuna göre ısı iletim katsayılarında ve elektriksel iletkenliklerinde iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. Hidrofobik özellik hidrofilik özelliğe dönüşmüştür.

## **2. Materyal ve Yöntem**

Bu çalışmada kullanılan kimyasallar: molekül ağırlığı 150.000 g/mol olan PAN ve % 99,8 saflıkta DMF kullanılmıştır. PAN ve DMF Sigma-Aldrich firmasından tedarik edilmiştir. ZnO nano partiküller % 99,5 saflıkta ve 20 nm boyutundadır. ZnO, Nanografi şirketinden satın alınmıştır.

Elektrospın yöntemi: Elektrospın, sistemi üç temel bileşenden oluşmaktadır. Şekil 1'de elektrospın cihazının bileşenleri sunulmuştur. Bu bileşenler yüksek voltaj kaynağı, metalik iğne ve toplaktır. Metalik iğne içerisinde polimer çözeltisi bulunan bir şırınganın ucunda yer almaktadır. Şırınga pompasının kullanımı ile çözelti iğneye doğru sabit ve kontrol edilebilir bir hızla beslenir. Genellikle 1–30 kV arası yüksek gerilim uygulandığı zaman, iğne ucunda asılı duran polimer damlacığı elektriklenir ve indüklenmiş olan, yük damlacık yüzeyine dağılır. İşlem sırasında iğne ağzından çıkan damlacığa etki eden

kuvvetler; yerçekimi, yüzey gerilmesi ve elektriksel gerilme kuvvetleridir. Bu kuvvetler birbirini dengeleyerek iğne ucunda, Taylor konisi oluşturur ve tüm kuvvetlerin birbirini dengelemesine bağlı olarak damla veya sıvı jet meydana gelir. Bu elektriklenmiş jet hızla uzayarak uzun ve ince ipliksi yapı oluşur. Sıvı jetin devamlı uzaması ve çözücünün buharlaşması sonucunda, fiber çapı mikrometre seviyesinden yüz nanometre gibi küçük değerlere düşer. Böylece nanometre mertebesinde sürekli fiberler elde edilir [7].

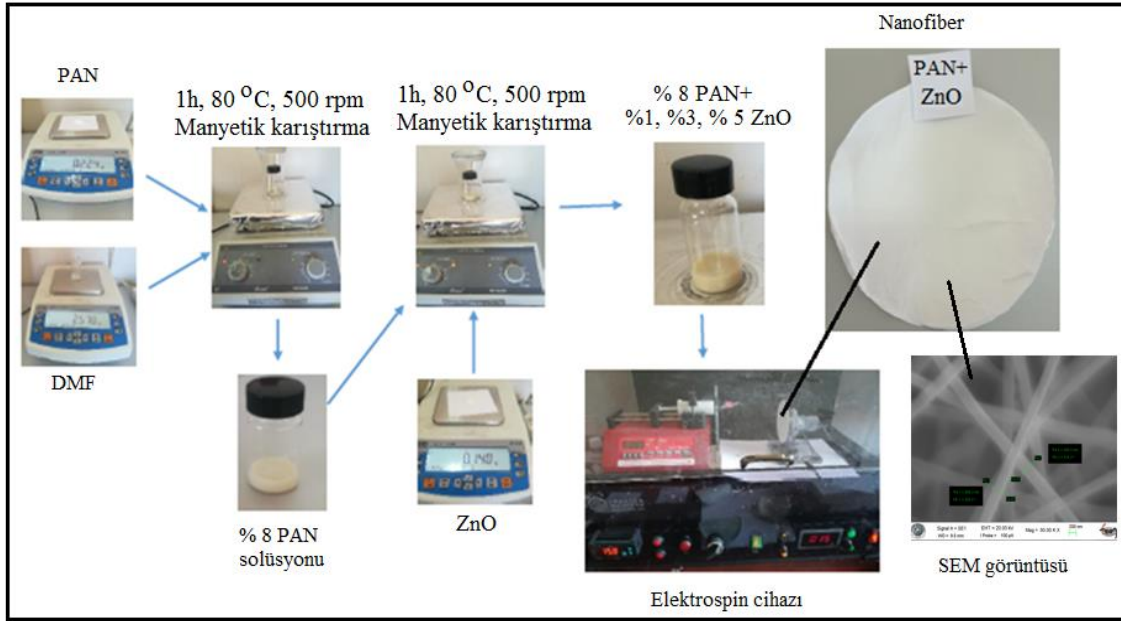


Şekil 1. Elektrospin yöntemi çalışma prensibinin şematik gösterimi [8]

Deneysel çalışma: elektrospin yöntemi ile üretilen PAN ve PAN+ZnO nano partikül katkılı nanofiberlerin üretim aşamaları Şekil 2'de sunulmuştur. Bu çalışmada, PAN konsantrasyonu oranı ağırlıkça (w) % 8'dir. PAN ve DMF hassas terazide tartılarak numune kabının içerisine eklenmiştir. Numune kabı manyetik karıştırıcı üzerine alınarak, 80 °C ve 500 rpm karıştırma hızında solüsyon homojen duruma gelinceye kadar (1 saat) karışması sağlanmıştır. % 8'lik PAN solüsyonu içerisine ZnO nano partiküller ilave edilmiştir. İlave edilen miktarlar, toplam solüsyonun ağırlıkça % 1, 3 ve 5'i olacak şekildedir ve manyetik karıştırıcıda 80 °C ve 500 rpm karıştırma hızında 1 saat homojen bir karışıma ulaşınca kadar karışım yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra, solüsyon oda sıcaklığına kadar soğuması beklenerek (15 dakika) hazırlanan solüsyonlar enjektörün içerisine alınmış ve bu enjektör elektrospin cihazına yerleştirilmiştir. Elektrospin cihazının çalışma koşulları Çizelge 1'de gösterilmiştir. Üretilen nano fiberler; saf PAN nanofiber ve PAN + % 1 ZnO + % 3 ZnO + % 5 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberlerdir.

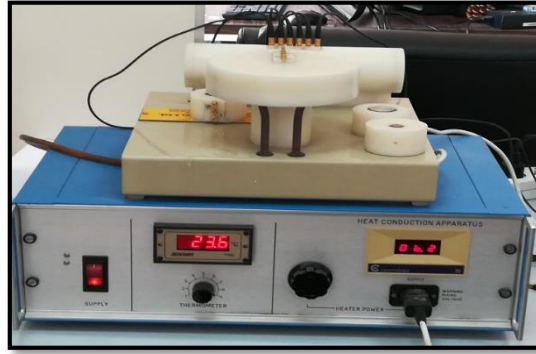
Çizelge 1. Elektroselin cihazının çalışma koşulları

Çözelti konsantrasyon oranı (% wt/wt)	Besleme hızı mL/h	İğne ucu ile topaç arası mesafe (cm)	Gerilim (kV)
% 8 PAN	2	12	15
% 8 PAN + % 1 ZnO	2	12	15
% 8 PAN + % 3 ZnO	2	12	15
% 8 PAN + % 5 ZnO	2	12	15

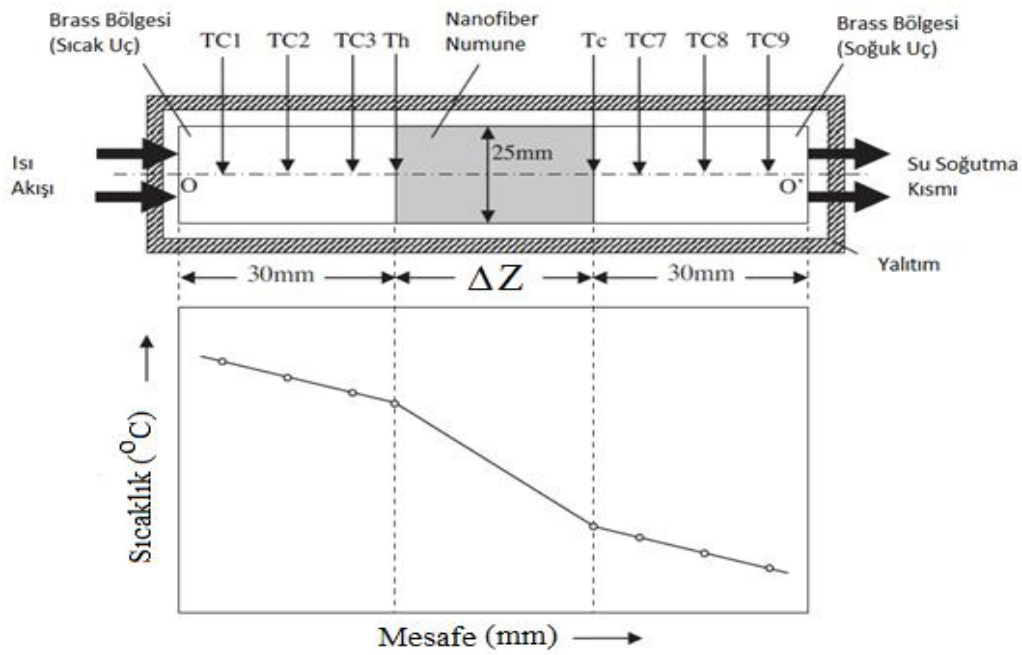


Şekil 2. Elektroselin yöntemi ile ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberlerin üretim aşamaları

Isı iletim katsayısının ölçümü: üretilen nanofiberlerin ısı iletim katsayılarının ölçümü, P.A.Hilton LTD.H940 cihazı ile yapılmıştır ve cihaz Şekil 3’te gösterilmiştir. Ölçüm, soğuk uç ve sıcak uç olarak isimlendirilen 2 pirinç kısım arasında üretilen nanofiberlerin yerleştirilmesi ile gerçekleşir. Numuneler kesit alanını kaplayacak şekilde 25 mm kesilmiştir. Isı iletim katsayısı ölçüm cihazının şematik gösterimi Şekil 4’de sunulmuştur. Sıcaklıklar Pt-100 T<sub>C1</sub>, T<sub>C2</sub>, T<sub>C3</sub>, T<sub>h</sub>, T<sub>c</sub>, T<sub>C7</sub>, T<sub>C8</sub>, T<sub>C9</sub> ısı ölçerlerle silindirik kalıbın merkezinden ölçülmüştür. Sıcaklık ölçer konumları, Çizelge 2’de gösterilmiştir. T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, T<sub>9</sub> ölçümleri kaydedilmiştir. T<sub>h</sub> ve T<sub>c</sub> değerleri sırasıyla T<sub>1</sub>-T<sub>3</sub> ve T<sub>7</sub>-T<sub>9</sub> değerlerinden interpolasyon yapılarak bulunmuştur.



Şekil 3. P.A.Hilton LTD. H940 ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı



Şekil 4. Isı iletim katsayısı ölçüm cihazının şematik gösterimi [9]

Hesaplamalar ASTM: E1225 – 99 standardına göre yapılmıştır [9]

$$K_e = \frac{Q_{avg} \cdot \Delta Z}{S \cdot \Delta T_c} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de,

$K_e$  : Nanofiber malzemelerin efektif ısıl iletkenliği (W/mK)

$Q_{avg}$  : Ortalama ısı girişi (W)

$\Delta Z$  : Nanofiber malzemelerin genişliği (m)

$S$  : Numunenin kesit alanı : m<sup>2</sup>

$\Delta T_c$  :  $T_h - T_c$ : Nanofiber malzeme sıcaklık farkı

$$Q_{avg} = \frac{q_h + q_c}{2} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de,

$$q_h = K_{brass} S \left[ \frac{T_1 - T_3}{Z_1 - Z_3} \right] = \text{Sıcak bölgedeki ısı akışı (W)}$$

$$q_c = K_{brass} S \left[ \frac{T_7 - T_9}{Z_7 - Z_9} \right] = \text{Soğuk bölgedeki ısı akışı (W)}$$

$$K_{brass} = 115 \text{ W/m.K [9]}$$

$T_1 - T_3 = T_1$  ve  $T_3$  arasındaki sıcaklık farkı

$T_7 - T_9 = T_7$  ve  $T_9$  arasındaki sıcaklık farkı

$Z_1 - Z_3 = Z_1$  ile  $Z_3$  arasındaki mesafe (mm)

$Z_7 - Z_9 = Z_7$  ile  $Z_9$  arasındaki mesafe (mm)

Çizelge 2. Isıl ölçer konumları

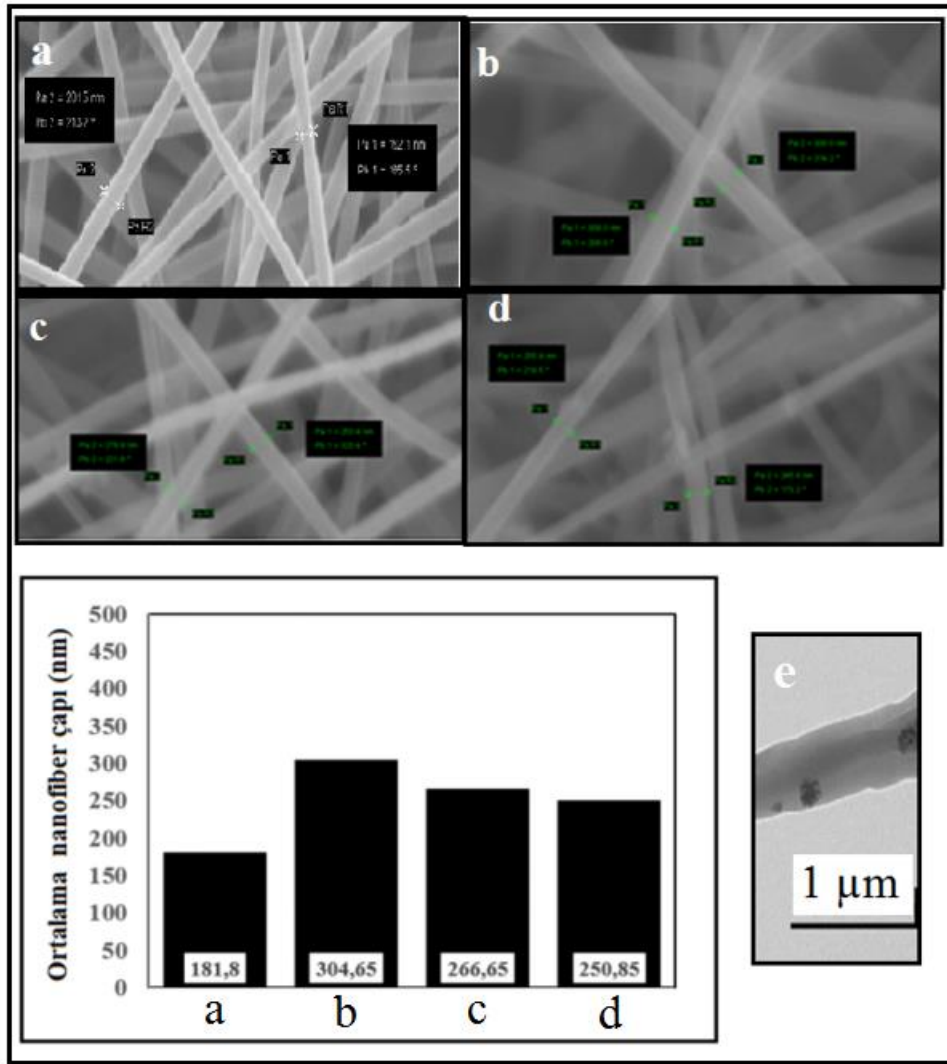
Isıl ölçer	T <sub>C1</sub>	T <sub>C2</sub>	T <sub>C3</sub>	T <sub>C7</sub>	T <sub>C8</sub>	T <sub>C9</sub>
Sıcak uçtan mesafe (mm)	0.005	0.015	0.025	0.035	0.045	0.055

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, PAN ve PAN+ZnO nano partikül katkı (ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında) nanofiberler üretilmiştir. Üretilmiş olan numunelerin SEM ve TEM görüntüleri, ortalama nanofiber çapları Şekil 5’de sunulmuştur.

Şekil 5 incelendiğinde;

- Tüm SEM görüntüleri birlikte analiz edildiğinde, en düşük çap katkısız PAN nano fiberde görülmüştür.
- PAN nanofiber ve ağırlıkça %1, %3, %5 oranlarındaki ZnO nano partikül katkı PAN nanofiberlerin ortalama çapları sırası ile 181,8; 304,65; 266,65; 250,85 nm’dir.
- ZnO nano partikül konsantrasyonu arttığında, nano fiber çaplarında azalma görülmüştür.
- % 1, % 3, % 5 ZnO nano partikül katkı PAN solüsyonlarının viskoziteleri, PAN solüsyonunun viskozitesine göre daha yüksek olduğundan, ZnO nano partikül katkı PAN nanofiberlerin ortalama çapları, PAN nanofibere göre daha yüksek çıkmasına neden olmuştur.



Şekil 5. PAN ve PAN+ZnO nano partikül katkıli nanofiberlerin ortalama çapları

- a) Saf PAN, b) PAN+% 1 ZnO, c) PAN+ %3 ZnO, d) PAN+ %5 ZnO,  
e) PAN+ZnO nano partikül katkıli nanofiberlerin TEM görüntüsü (%5 ZnO)

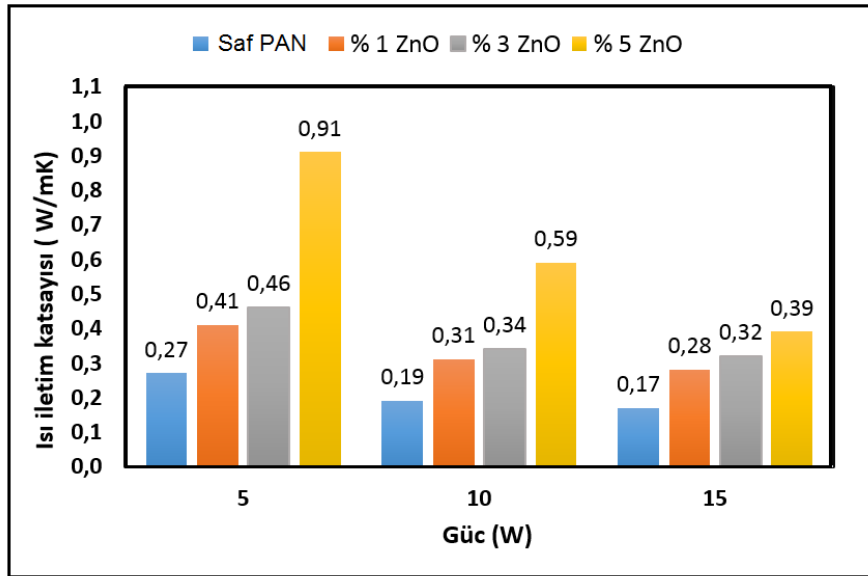
Bu çalışmada, üretilmiş olan numunelerin ısı iletim katsayılarının ölçümü P.A.Hilton LTD.H940 cihazı ile yapılmıştır. 3 tane ısı iletim katsayısı değeri elde edilebilmesi için, ölçümler 5, 10 ve 15 W gücünde yapılmıştır ve ASTM: E1225 – 99 standardına göre ısı iletim katsayıları hesaplanarak Çizelge 3’de sunulmuştur.



Çizelge 3. PAN ve PAN+ ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberlerin ısı iletim katsayısı (k) değerleri

Uygulanan ısı gücü (W)	Konsantrasyon oranı ağırlıkça (% w/w)	k (W/mK)
5	Pure PAN	0.27
5	% 1 ZnO	0.41
5	% 3 ZnO	0.46
5	% 5 ZnO	0.91
10	Pure PAN	0.19
10	%1 ZnO	0.31
10	%3 ZnO	0.34
10	%5 ZnO	0.59
15	Pure PAN	0.17
15	%1 ZnO	0.28
15	%3 ZnO	0.32
15	%5 ZnO	0.39

Şekil 6’da, saf PAN nanofiber ve % 8 PAN’a % 1, 3, 5 ZnO nano partikül ilavesi ile üretilen PAN nanofiberlerin ısı iletim katsayıları sunulmuştur. Şekil 6 incelendiğinde, gücün artması ile ısı iletim katsayısı değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Ancak PAN’a ZnO nano partikül katkısı yapıldığında, ısı iletim katsayısı değerlerinin arttığı, aynı zamanda, % 1, 3, 5 ZnO nano partikül ilavesinin artması ile ısı iletim katsayısı değerlerinde arttığı gözlemlenmiştir. En fazla ısıl iletim katsayısı 5 Watt güçte ve % 5 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberde (0,91 W/mK) olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Isı iletim katsayısının uygulanan güce göre değişimi

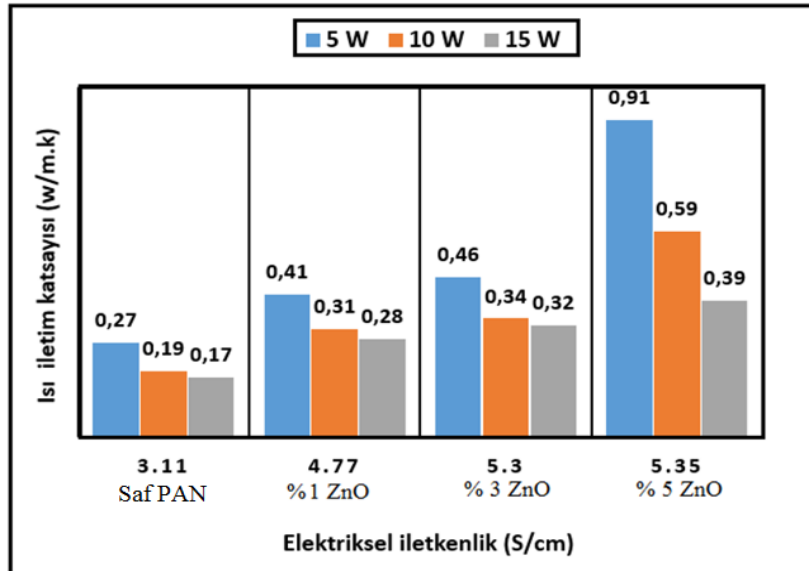
Bu çalışmada, üretilmiş olan saf PAN nanofiber ve PAN+ZnO nano partikül katkılı nanofiberlerin, 4-nokta elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 4’de sunulmuştur.

Çizelge 4. Katkısız PAN ve ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberlerin elektriksel iletkenlikleri

Numune Adı	Elektriksel iletkenlik (S/cm)	Elektriksel iletkenlik miktarındaki artış (%)
% 8 PAN	$3.11 \times 10^{-3}$	-
% 8 PAN + %1 ZnO	$4.77 \times 10^{-3}$	53
% 8 PAN + %3 ZnO	$5.30 \times 10^{-3}$	70
% 8 PAN + %5 ZnO	$5.35 \times 10^{-3}$	72

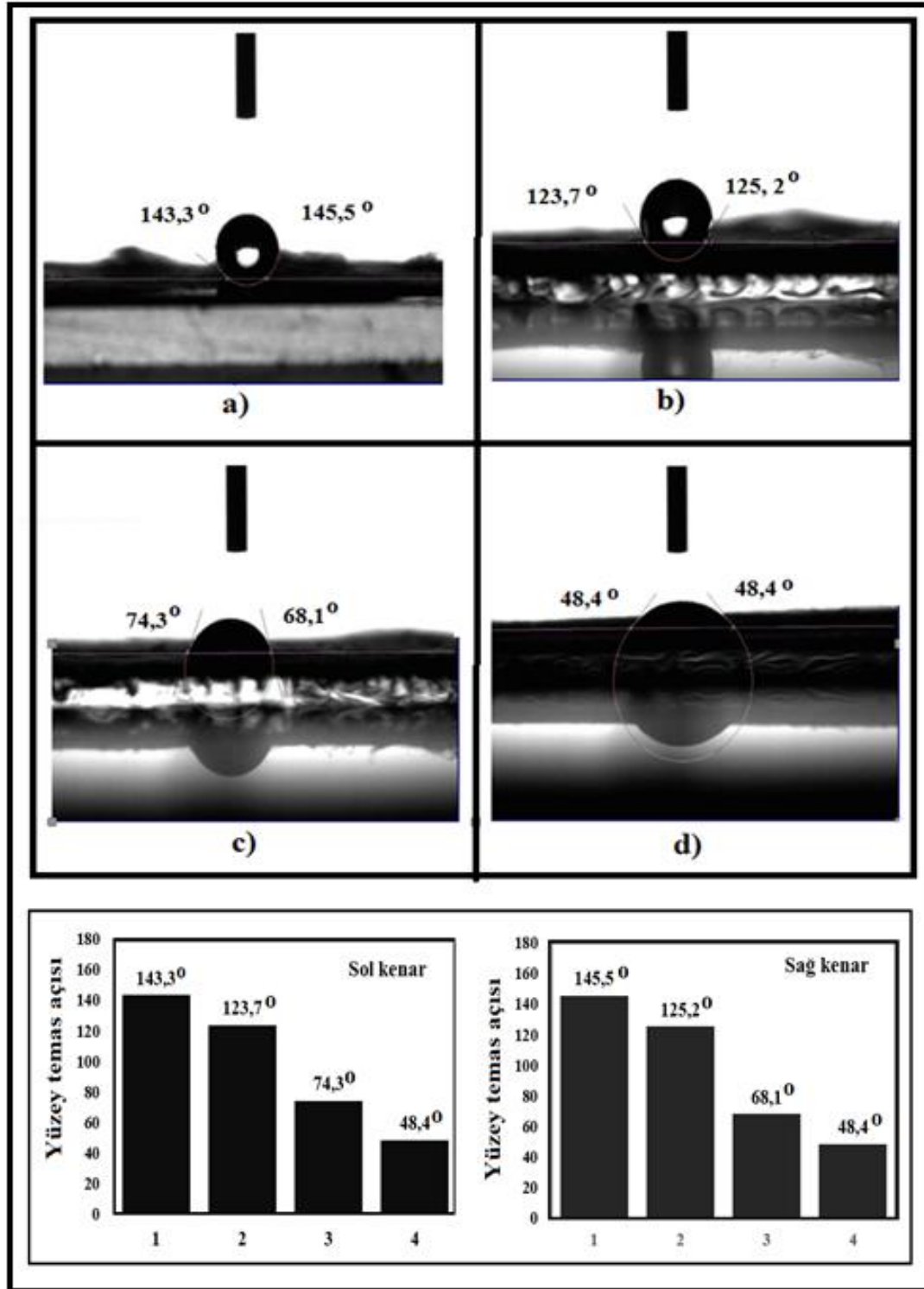
Çizelge 4 incelendiğinde, PAN'a, ZnO nano partikül katkısı yapıldığında, dört nokta elektriksel iletkenlik değerlerinin arttığı gözlemlenmektedir. PAN nanofiber numunesi referans alındığında, elektriksel iletkenliğin % 1 ZnO nano partikül ilavesi ile % 53, % 3 ZnO nano partikül ilavesi ile % 70 ve % 5 ZnO nano partikül ilavesi ile % 72 arttığı tespit edilmiştir. En fazla elektriksel iletkenlik değerindeki artış miktarı % 72 ve % 5 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberde oluşmuştur.

Şekil 7'de ısı iletim katsayısının elektriksel iletkenliğe göre değişimi sunulmuştur. PAN'a, ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında ZnO nano partikül katkısı yapıldığında, ısı iletim katsayısı ve elektriksel iletkenlik değerlerinin artmasına neden olmuştur. Aynı güçlerde, PAN nanofiberlerde, ZnO nano partikül katkı oranının artması, ısı iletim katsayısının yükselmesine neden olduğu görülmüştür. Gücün artması, numunede oluşan direncin artması ve elektriksel iletkenliğin düşmesine neden olduğu kanaatindeyiz.



Şekil 7. Isı iletim katsayısının elektriksel iletkenliğe göre değişimi

Katkısız PAN nanofiber ve ağırlıkça %1, 3, 5 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberlerin statik yüzey temas açıları Şekil 8'de sunulmuştur.

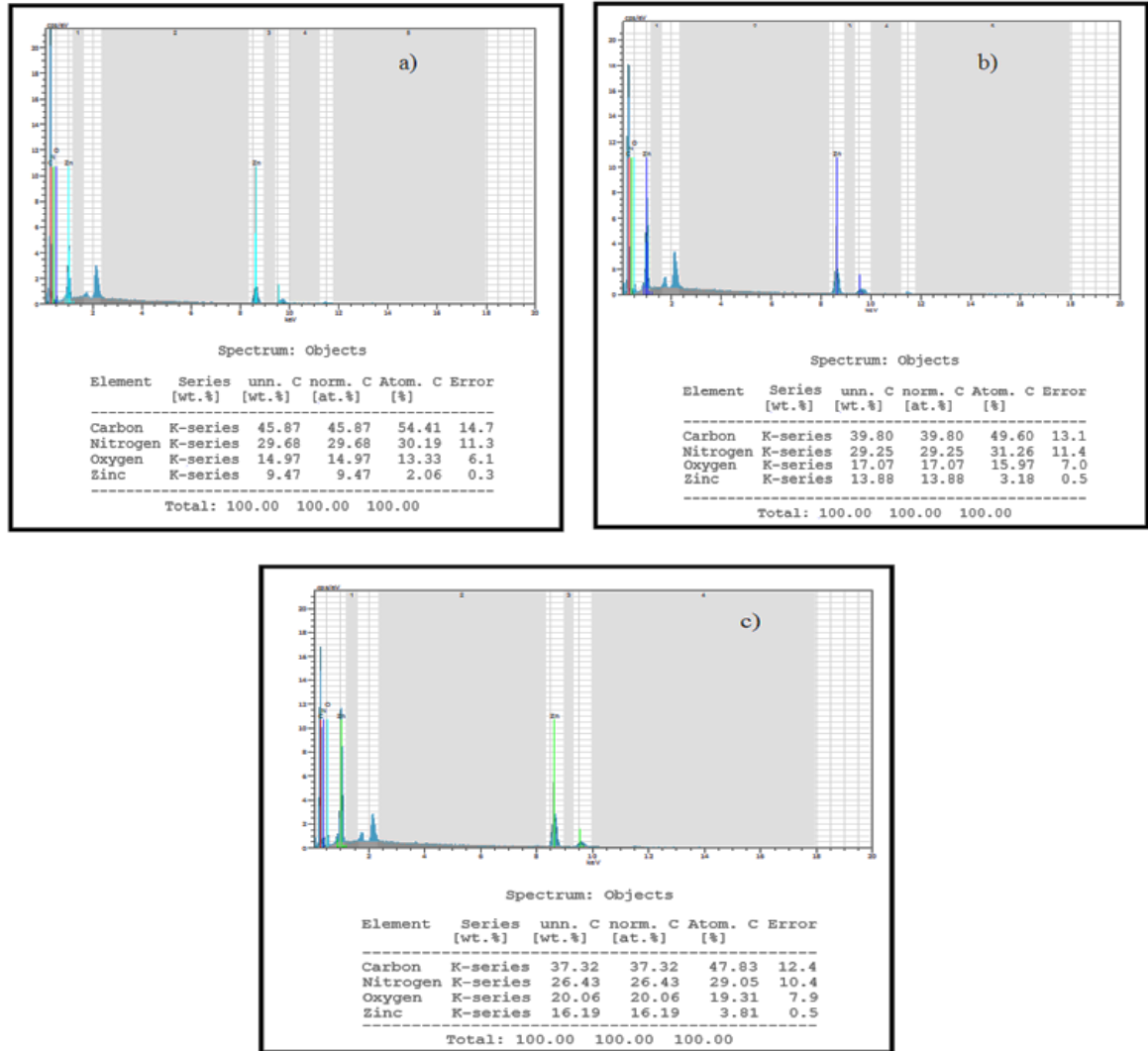


Şekil 8. Numunelerin yüzey temas açısı

- a) Saf PAN, b) Ağırılıkça % 1 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiber  
c) Ağırılıkça % 3 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiber, d) Ağırılıkça % 5  
ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiber

Şekil 8 incelenirse, en yüksek statik yüzey temas açısı saf PAN nanofiberde oluşmuştur. ZnO nano partikül katkı oranı arttıkça, hidrofobik özelliğin, hidrofilik özelliğe dönüştüğü görülmüştür.

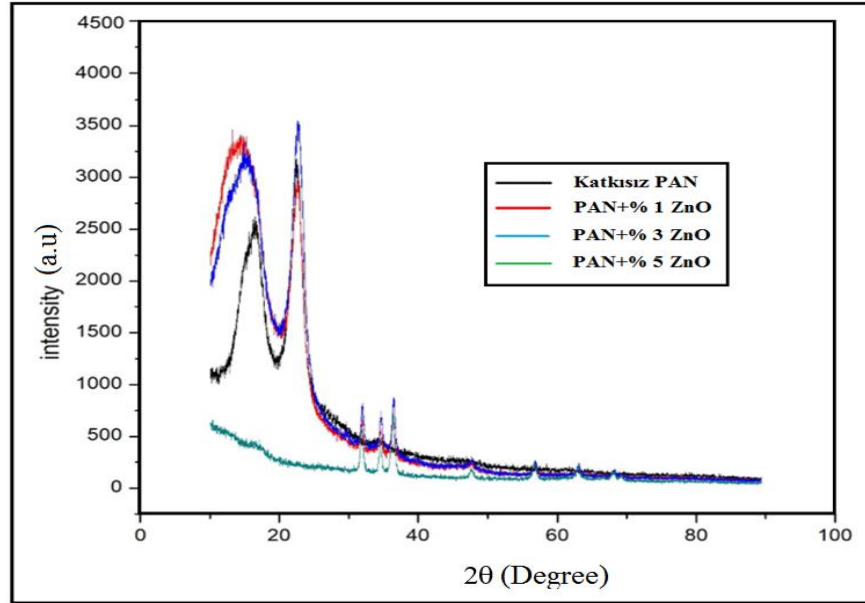
Elektrospın yöntemi ile üretilen, ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberlere ait EDX görüntüleri Şekil 9’da sunulmuştur. EDX analizlerinde C, N, O ve Zn atomlarının varlığı görülmektedir. ZnO konsantrasyon oranı arttıkça, EDX analizlerinde de Zn ağırlıkça yüzde miktarları da artmıştır. Bu sonuçlar, ZnO nano partiküllerin, PAN ile başarılı bir şekilde birleştiğini doğrulamıştır.



Şekil 9. Numunelerin EDX spektrumları

- a) Ağırlıkça % 1 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiber b) Ağırlıkça % 3 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiber, c) Ağırlıkça % 5 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiber

Bu çalışmadaki, XRD ölçümleri için boyutları 1 cm x 1 cm olan numuneler hazırlanmıştır. XRD ölçümleri için Bruker D8 Advance marka cihaz (Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Laboratuvarındaki cihaz) kullanılmıştır. Ölçümler Cu tüpüne 40 kV gerilim ve 40 mA akım uygulanarak  $CuK\alpha$  ışınımı ( $\lambda= 0,15406$  nm) kullanılarak elde edilmiştir. XRD profilleri  $2\theta$  için  $10^\circ$  ila  $90^\circ$  ve  $5^\circ$   $\theta$  /dk tarama hızında kaydedilmiştir. Sonuçlar Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 10. Katkısız PAN nanofiber, PAN+ % 1 ZnO'lü, PAN+% 3 ZnO'lü, PAN+% 5 ZnO'lü nano fiberlerin XRD eğrileri

PAN'a % 1, 3, 5 ZnO nano partikül ilave edildiğinde pik yoğunluklarının artmaya başladığı tespit edilmiştir. PAN'a, % 5 ZnO nano partikül ilave edildiği numunede, katkısız PAN'da  $2\theta= 14^\circ$ 'de ve  $2\theta= 22^\circ$ 'de oluşan geniş piklerin oluşmadığı ve pik yoğunluklarının en çok bu numunede arttığı görülür. PAN'a, ZnO nano partikül katkı miktarının artması, numunelerin yapısının kristal yapıya dönüşmeye başladığı kanaatindeyiz.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrospin yöntemi kullanarak ağırlıkça % 1, 3, 5 ZnO nano partikül katkılı/katkısız PAN nanofiberler üretilmiş ve katkısız PAN nanofiber ile ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberlerin ısı iletim katsayıları, elektrik iletkenlikleri ve hidrofobik/hidrofilik özelliği incelenmiştir. En fazla ısı iletim katsayısı 5 Watt güçte ve

% 5 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberde (0,91 W/mK) ve en fazla elektriksel iletkenlik değeri % 5 ZnO nano partikül katkılı PAN nanofiberde ( $5.35 \times 10^{-3}$  S/cm) oluşmuştur. ZnO nano partikül katkı oranlarının artması ise hidrofobik özelliğin hidrofilik özelliğe dönüştüğü tespit edilmiştir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, 17201084 no'lu proje ile “Selçuk Üniversitesi (S.Ü.), Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP)” tarafından desteklenmiştir. S.Ü. BAP'a teşekkür ederiz.

### **Kaynaklar**

- [1] Nataraj, SK, Yang KS, Aminabhavi TM. Polyacrylonitrile-based nanofibers-A state-of-the-art review, *Progress in Polymer Science* 2012; 37 (3) , 487- 513.
- [2] Othman FEC, Yusof N, Raffi AA, Hasbullah H, Ermala F, Salleh WNW, Ismail AF, Preparation and characterization of different loading of zinc oxide on activated carbon nanofibers, *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 2017; 21 (2), 365 - 371.
- [3] Chae DW, Kim BC, Effects of zinc oxide nanoparticles on the physical properties of polyacrylonitrile, *Journal of Applied Polymer Science*, 2006; 99(4), 1854-1858.
- [4] Kancheva M, Toncheva A, Paneva D, Nevena Manolova N, Rashkov I, Markova N, Materials from nanosized ZnO and polyacrylonitrile: Properties depending on the design of fibers (electrospinning or electrospinning/electrospraying), *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials* 2017, 27 (4), 912–922.
- [5] Nataraj SK, Kim BH, Yun JH, Lee DH, Aminabhavi, TM, Yang KS. Electrospun nanocomposite fiber mats of zinc-oxide loaded polyacrylonitrile, *Carbon Letters* 2008; 9 (2), 108-114.
- [6] Kumar SS, Venkateswarlu P, Rao VR, Rao GN. Synthesis, characterization and optical properties of zinc oxide nanoparticles, *International Nano Letters* 2013; 3 (30), 1-
- [7] Süslü A. Elektro-eğirme yöntemi ile nanofiber ve nanotüp üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [8] Oflaz K. Manyetik nanofiber membranlar, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2016.

[9] Zain-ul-Abdein M, Azeem S, Shah SM. Computational investigation of factors affecting thermal conductivity in a particulate filled composite using finite element method, *International Journal of Engineering Science* 2012; 56, 86–98.