



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ELEKTRO-EĞİRME METODUYLA  
ÜRETİLEN Ag VEYA Pt NANOPARTİKÜLLÜ  
PVA NANOFİBERLERİN ELEKTRİKSEL  
İLETKENLİKLERİNİN VE  
HİDROFOBİK/HİDROFİLİK ETKİLEŞİMİNİN  
İNCELENMESİ**

**Fevzi KURUL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Fevzi KURUL tarafından hazırlanan "Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag Veya Pt Nanopartiküllü PVA Nanofiberlerin Elektriksel İletkenliklerinin Ve Hidrofobik/Hidrofilik Etkileşiminin İncelenmesi" adlı tez çalışması 04/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç Dr. Necati ATABERK

#### Danışman

Doç. Dr. Kevser DİNCER

#### Üye

Doç. Dr. Mustafa Esen MARTI

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması, Konya Teknik Üniversitesi BAP tarafından 18201098 no'lu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Fevzi KURUL

Tarih: 04.07.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# ELEKTRO-EĞİRME METODUYLA ÜRETİLEN Ag VEYA Pt NANOPARTİKÜLLÜ PVA NANOFİBERLERİN ELEKTRİKSEL İLETKENLİKLERİNİN VE HİDROFOBİK/HİDROFİLİK ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ

**Fevzi KURUL**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Kevser DİNCER**

**2019, 94 Sayfa**

**Jüri  
Doç. Dr. Kevser DİNCER  
Doç. Dr. Necati ATABERK  
Doç. Dr. Mustafa Esen MARTI**

Bu çalışmada, elektro-eğirme metoduyla üretilen Ag veya Pt nanopartikül (ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında) katkılı/katkısız PVA nanofiberlerin morfolojik yapıları, elektriksel iletkenlikleri, ısı iletkenlikleri, hidrofilik/hidrofobik etkileşimi, PEM yakıt hücresi performansı incelenmiştir. Ag veya Pt nanopartikül katkılı/katkısız PVA nanofiberlerin EDX analizi sonuçlarına göre, ilave edilen Ag veya Pt nanopartikül miktarının artışıyla, ağırlıkça yüzde Ag veya Pt oranlarında EDX’de arttığı görülmüştür. PVA nanofibere ağırlıkça % 5 oranında Ag nanopartikül katkısı yapıldığında, Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği saf PVA nanofibere göre % 33,3 artarken, PVA nanofibere ağırlıkça % 5 oranında Pt nanopartikül katkısı yapıldığında, Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği saf PVA nanofibere göre % 15,5 artmıştır. Ag veya Pt nanopartikül katkılı/katkısız PVA nanofiberlerin ısı iletkenlikleri, PVA nanofibere ağırlıkça % 5 oranında Ag nanopartikül katkısı yapıldığında, Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin ısı iletim katsayısı saf PVA nanofibere göre % 28,13 artarken, PVA nanofibere ağırlıkça % 5 oranında Pt nanopartikül katkısı yapıldığında, Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin ısı iletim katsayısı saf PVA nanofibere göre % 43,32 azalmıştır. Ag veya Pt nanopartikül katkılı/katkısız PVA nanofiberlerin hidrofobik/hidrofilik özelliği incelendiğinde, PVA nanofibere Ag veya Pt nanopartikül katkısı yapıldıkça (ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında) hidrofilik özelliğinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek elektriksel iletkenliğe sahip numune % 5 Ag nanopartiküllü PVA nanofiberde olduğu tespit edilmiştir. % 5 Ag katkılı/katkısız PVA nanofiber numuneleri için PEM yakıt hücresi performansı (güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi) incelenmiştir. Ag nanopartiküllü PVA nanofiberin performansı saf PVA nanofiberin performansından daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ag/Pt Nanopartikül, Elektro-eğirme Metodu, Hidrofobik/Hidrofilik, Nanofiber, PEM Yakıt Hücresi, PVA Nanofiber.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND HYDROPHOBIC/HYDROPHILIC INTERACTION OF PVA NANOFIBERS WITH Ag OR Pt NANOPARTICLE PRODUCED BY ELECTROSPINNING METHOD**

**Fevzi KURUL**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kevser DINCER**

**2019, 94 Pages**

**Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Kevser DINCER  
Assoc. Prof. Dr. Necati ATABERK  
Assoc. Prof. Dr. Mustafa Esen MARTI**

In this study, the morphological structures, electrical conductivity, thermal conductivity, hydrophilic/hydrophobic interaction, PEM fuel cell performance of Ag or Pt the doped/pure PVA nanoparticles (1, 3, 5% by weight) produced by electrospinning method were investigated. According to the results of EDX analysis of Ag or Pt nanoparticle doped/pure PVA nanofibers, it was observed that the increase in the Ag or Pt nanoparticle amount increased and the Ag or Pt percent increase for EDX. The electrical conductivity of the PVA nanofiber with Ag nanoparticle increases by 33.3 % compared to the pure PVA nanofiber, while the Pt nanoparticle additive increases by 5 % compared to the pure PVA nanofiber, the electrical conductivity of the Pt nanoparticle additive PVA nanofiber increased by 15.5 % compared to the pure PVA nanofiber. Ag or Pt nanoparticle doped/pure nanofibers of the thermal conductivities of PVA, PVA nanofibers 5 % by weight when the contribution is made Ag nanoparticle, Ag nanoparticle doped PVA nanofibers, pure PVA nanofibers thermal conductivity % 28.13 increased, while PVA nanofibers 5 % by weight when the contribution is made Pt nanoparticle, Pt nanoparticle doped PVA nanofibers, pure PVA nanofibers thermal conductivity % 43.32 decreased. When the hydrophobic/hydrophilic properties of Ag or Pt nanoparticle doped/pure PVA nanofibers were examined, it was determined that the hydrophilic properties of PVA nanofiber Ag or Pt nanoparticle were increased (in the proportions of 1, 3, 5 % by weight). The highest electrical conductivity of sample was determined PVA nanofibers with 5 % Ag nanoparticles. Performance of PEM fuel cell was examined (power density to current density) for the doped/pure PVA nanofiber samples with 5 % Ag nanoparticle. The performance of PVA nanofibers with Ag nanoparticle better than pure PVA nanofiber.

**Keywords:** Ag/Pt Nanoparticle, Electrospinning Method, Hydrophobic/Hydrophilic, Nanofiber, PEM Fuel Cell, PVA Nanofiber

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarımda desteğini ve sabrını üzerimden hiç eksik etmeyen, deneysel çalışmalarımın yapılması için beni bilimsel olarak yönlendiren, akademik alanda edinmiş olduğu bilgi ve tecrübeleriyle desteklerini hiç esirgemeyen, bilimsel çalışmalarımı aydınlatan, çalışmalarımı motive eden ve çalışma sevgisi sağlayan danışmanım, değerli hocam sayın Doç. Dr. Kevser DİNCER'e;

Yüksek lisans çalışmalarımın, finansal desteğini (18201098 numaralı tez projesi ile) sağlayan, Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne;

Bugünlere gelmemde üzerimde emeği en fazla olan bana desteklerini, yardımlarını hiç esirgemeyen iyi ve kötü günde her anımda yanımda olan sevgili aileme;

Bu aşamaya gelmemi sağlayan, isimlerini tek tek burada sayamayacağım kadar çok olan ilköğretimden üniversiteye kadar birbirinden değerli tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve yakınlarıma;

Sonsuz şükran duygularıyla sevgi ve saygılarımı sunar hepsine tek tek teşekkür ederim.

Fevzi KURUL

KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3. TEORİK BİLGİLER.....</b>	<b>15</b>
3.1. Nanoteknoloji ve Nanofiber .....	15
3.1.1. Çizme yöntemi .....	16
3.1.2. Kendiliğinden tutunma .....	16
3.1.3. Faz ayırma.....	17
3.1.4. Nano-kalıp yöntemi .....	18
3.1.5. Eriyik püskürtme.....	19
3.1.6. Lazer buharlaştırma yöntemi .....	20
3.1.7. Kimyasal buhar çöktürme yöntemi .....	20
3.2. Elektrosin Cihazı ile Nanofiber Üretme İşlemi.....	21
3.2.1. Elektrosin ile nanofiber üretimine etki eden parametreler.....	23
3.3. Hidrofilik/Hidrofobik Etkileşim.....	24
3.4. PEM Yakıt Hücresi .....	26
3.4.1. PEM yakıt hücresinin avantajları.....	28
3.4.2. PEM yakıt hücresinin dezavantajları .....	29
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>30</b>
4.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihaz ve Malzemeler.....	30
4.1.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler .....	31
4.1.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar .....	35
4.2. Deneysel Çalışmalar.....	42
4.2.1. PVA nanofiberin üretimi .....	42
4.2.2. Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin üretimi .....	44
4.2.3. Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin üretimi .....	47
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>49</b>
5.1. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Saf PVA Nanofiberlerin SEM Analizleri .	49
5.2. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Katkılı PVA Nanofiberlerin EDX ve SEM Analizleri .....	56
5.3. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin Elektriksel İletkenlikleri .....	70

5.4. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin Isı İletim Katsayılarının Tespiti.....	72
5.5. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin Hidrofilik/Hidrofobik Etkileşiminin Tespiti.....	74
5.6. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin X-Işını Kırınım (XRD) Analizleri .....	77
5.7. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen En iyi yapıdaki Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin Polimer Elektrolit Membran (PEM) Yakıt Hücresi Performansı .....	79
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>83</b>
6.1. Sonuçlar .....	83
6.2. Öneriler .....	85
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>86</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>91</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>94</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

Ag	: Gümüş
AgNO <sub>3</sub>	: Gümüş nitrat
Au	: Altın
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon dioksit
Cu	: Bakır
CuO	: Bakır monoksit
E	: Elastiklik modülü
Fe	: Demir
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	: Manyetit
Hz	: Hertz
J	: Joule
J/m <sup>2</sup>	: Yüzey enerjisi birimi
K	: Kelvin
kPa	: Kilopaskal
kV	: Kilovolt
kW	: Kilowatt
m <sup>2</sup>	: Metrekare
MHz	: Megahertz
mL	: Mililitre
mL/h	: Mililitre/saat
mm	: Milimetre
MnO <sub>2</sub>	: Mangan Dioksit
Ni	: Nikel
nm	: Nanometre
°C	: Santigrat
Ph	: Potansiyel hidrojen
Pt	: Platin
S/cm	: Elektriksel iletkenlik birimi
SiO <sub>2</sub>	: Silika
T	: Sıcaklık (°C veya K)
TiO <sub>2</sub>	: Titanyum Dioksit
Zn	: Çinko
σ <sub>ç</sub>	: Çekme dayanımı

## Kısaltmalar

CVD	: Kimyasal buhar çöktürme yöntemi
DCB	: Çift konsol giriş
DMF	: Dimetilformamid
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
EDX	: Enerji yayımlı X-ışını analizi
EG	: Etilen glikol
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GA	: Glutaraldehit
GDL	: Gaz difüzyon tabakası
GK	: Doğal sakız karaya
HAp	: Hidroksiapatit
HNT	: Halloysite nanotüp
İLTEK	: İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
MEA	: Membran elektrot birimi
MPL	: Hidrofobik mikro gözenekli tabaka
MWCNT	: Çok cidarlı karbon nanotüp
NDIR	: Yayılmayan kızılötesi dedektör
NP	: Nanopartikül
PEFC	: Polimer elektrolit yakıt hücresi
PEM	: Polimer elektrolit membran
PEMFC	: Polimer elektrolit membran yakıt hücresi
PIL	: Poliiyonik sıvı
PLGA	: Polilaktikasitkoglikolik asit
PTFE	: Politetrafloroetilen
PVA	: Polivinil alkol
RK	: Ahududu ketonu
SDS	: Sodyum dodesil sülfat
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SLJ	: Tek taraflı bindirme
SWCNT	: Tek cidarlı karbon nanotüp
TEM	: Geçirimli elektron mikroskobu
XRD	: X-ışınları difraksiyonu

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin artan nüfusları, hızla daha çok sanayileşen dünya ve gelişen yaşam şartları, enerjiyi hayatımızın olmazsa olmazı haline getirmiştir. Bugün ülkelerin gelişmişlik düzeyleri, enerji kullanım oranları ve enerjinin etkin kullanımıyla ölçülmektedir. Enerjinin bu denli merkezi bir hale gelmesi, daha ucuz ve daha bol enerji kaynaklarının bulunarak kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir (Köse ve ark., 2015).

Enerji ihtiyacımızın karşılanmasında petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil kökenli enerji kaynakları yoğun olarak kullanılmaktadır. Fosil enerji kaynakların üretilmesi ve tüketilmesinin insan ve çevre üzerinde birçok zararı bulunmaktadır. Fosil yakıtlar ısınmak, güç üretmek, motorlu taşıtlar yakıtı üretmek ve sanayide değişik proseslerde kullanılması hava kirliliğinin temel sebeplerindedir. Bu yakıtların kullanılmasından dolayı sera etkisi meydana getirmekte, son yüzyıl içinde dünya ortalama sıcaklığını 0,7 °C yükseltmiştir. Bu durum iklim değişikliklerinin habercisi niteliğindedir (Keçebaş ve ark., 2010).

Bugün enerji sadece ekonomik bir güç olmaktan çıkarak uluslararası sahnede ülkelerin hem rekabet gücünü hem de siyasi ve ekonomik hâkimiyetini belirleyen bir güç olarak görülmektedir. Böylece enerjinin güvenli olarak temin edilmesi, sürekliliği ve enerjiye erişim kolaylığı ülkeler için büyük önem taşımaktadır. Teknolojinin hızla gelişmesiyle enerjiye olan ihtiyaç artarken, enerjide öz kaynaklarımızın kullanımı ve dışa bağımlılığı azaltıcı politikaların hayata geçirilmesi hayati önem kazanmıştır. Türkiye enerji konusunda büyük oranda dışa bağımlı bir ülkedir, bu sebepten dolayı enerji üretim teknolojisini geliştirerek maliyetleri düşürücü çalışmalara hız vermeli ve ülkemizde potansiyeli çok fazla olan temiz ve sürdürülebilirliği yüksek olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmalıdır (Köse ve ark., 2015).

Geçmişte kullanılan cihazlar makro yapılara sahip olmasına rağmen günümüzde çok küçük yapıları cihazlar ve malzemelerin kullanımı artmış ve bu da nanomalzemeye artan oranda bir ihtiyaç oluşturmuştur. Nanomalzemelerin üretimini gerçekleştirebilmek için ise geleneksel yöntemlerden farklı olarak çok daha gelişmiş yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Şu an ulaşılan üretim teknikleri ile çok farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip nanomalzemeler elde edilebilmektedir (Tüylek, 2016).

Son yıllarda nanomalzemelere artan ilgi, bu malzemeye olan araştırma ihtiyacını artırmıştır. Artan popülaritesi sayesinde nanomalzeme bilimi hızlı bir gelişme

göstermiş ve çok daha kaliteli, yüksek mukavemetli, hafif ve gelişmiş fiziksel özelliklere sahip malzemeler elde edilmiştir. Nano boyutlarda çalışmalar yapabilmek için ise modern görüntüleme tekniklerinden faydalanılmaktadır (Tüylek, 2016).

Bu çalışmada, üniform (homojen) yapıdaki PVA nanofiberi üretmek için farklı üretim parametreleri kullanılarak 9 adet deney yapılmıştır ve deneyler PVA1-PVA9 olarak kodlanmıştır. Üretim parametreleri konsantrasyon oranı, gerilim, besleme miktarı ve mesafe olarak belirlenmiştir. Yapılmış olan deneysel çalışma sonuçları SEM analizleri ile en iyi (homojen) yapıdaki numunenin PVA4 kodlu numune olduğu tespit edilmiştir. Homojen yapıdaki PVA4 kodlu numuneye Pt ve Ag nanopartikül (ağırlıkça % 1, 3, 5) eklenip PVA4 kodlu numunenin parametreleriyle katkıli kompozit nanofiberler üretilmeye çalışılmıştır. Ancak bu parametrelerle Pt ve Ag nanopartikül katkıli PVA homojen yapıdaki nanofiberlerin üretilmediği tespit edilmiştir. Bundan sonra Ag veya Pt katkıli PVA nanofiberleri üretmek için üretim parametreleri değiştirilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Değiştirilen bu parametrelerle Ag veya Pt katkıli PVA nanofiberlerin üretilmediği gözlemlenmiştir.

SEM analizleri ile Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberlerin çapları incelendiğinde en yüksek nanofiber çapı % 5 Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberde olduğu ve bu değer 297,62±23,81 nm olduğu belirlenmiştir. En düşük nanofiber çapı ise % 1 Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberde olduğu ve bu değer 280,75±25 nm olduğu saptanmıştır. Pt nanopartikül katkıli PVA nanofiberlerin çapları incelendiğinde en yüksek nanofiber çapı % 1 Pt nanopartikül katkıli PVA nanofiberde olduğu ve bu değer 220±13,9 nm olduğu belirlenmiştir. En düşük nanofiber çapı ise % 5 Pt nanopartikül katkıli PVA nanofiberde olduğu ve bu değer 144,3±10,9 nm'dir. EDX sonuçları incelendiğinde, Ag nanopartikülün en yüksek değeri % 5 Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberde olduğu ve bu değer ağırlıkça % 18,03'dür. Ag nanopartikülün en düşük miktarı ise % 1 Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberde olduğu ve bu değer ağırlıkça % 6,49'dur. Pt nanopartiküllü PVA nanofiberin ise en yüksek Pt nanopartikül miktarı % 5 Pt nanopartikül katkıli PVA nanofiberde olduğu ve ağırlıkça % 28,19 olduğu ve en düşük Pt nanopartikül miktarının ise % 1 Pt nanopartikül katkıli PVA nanofiberde (ağırlıkça % 13,11) olduğu belirlenmiştir.

Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberin en yüksek elektriksel iletkenliği % 5 Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberde olduğu gözlemlenmiştir. Bu nanofibere ait en yüksek elektriksel iletkenlik değeri 16,8 S/cm olduğu ve en düşük elektriksel iletkenlik değeri % 1 Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberde (15,5 S/cm) olduğu belirlenmiştir.

Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin en yüksek elektriksel iletkenliği % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olduğu tespit edilmiştir. Bu nanofibere ait en yüksek elektriksel iletkenlik değeri 14,9 S/cm olduğu ve en düşük elektriksel iletkenlik değeri % 1 Pt katkılı PVA nanofiberde (13,8 S/cm) olduğu belirlenmiştir. En yüksek ısı iletim katsayısı ise % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olduğu tespit edilmiş ve bu nanofibere ait ısı iletim katsayısı 1,535 W/mK olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada üretilen nanofiberlere statik yüzey temas açısı ölçümü analizi yapılmış ve statik yüzey temas açısının en yüksek olduğu değer Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberi üretmek için kullanılan saf PVA numunesinde tespit edilmiştir ve bu değerlerler sırasıyla sağ ve sol kenar için 76,38-76,07° olduğu belirlenmiştir. Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber numunelerinde en yüksek yüzey temas açısı % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberdir ve bu değer sağ ve sol yüzey için sırasıyla 36,96-36,98° olduğu tespit edilmiştir. Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber numunelerinde en yüksek yüzey temas açısı % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olduğu ve bu değer sağ ve sol yüzeyleri için sırasıyla 43,09-43,94° olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberde nano Ag'nin ve nano Pt'nin varlığını belirlemek için XRD analizi yapılmıştır. Ag ve Pt miktarı arttıkça PVA nanofiberlerdeki yapının kristal yapıya dönüştüğü gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, en yüksek elektriksel iletkenliğe sahip kombinasyondaki yapının PEM yakıt hücresi için (güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre) test edilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Enil ve Köseoğlu (2016), Fen Bilimleri öğretmen adaylarının nanoteknoloji farkındalık düzeyleri, ilgileri ve tutumlarının araştırılması üzerine yapmış oldukları çalışmalarında Fizik, Kimya ve Biyoloji alanında öğretmenlik eğitimi alan öğretmen adaylarının nanoteknoloji dersi alıp almadıklarını, nanoteknolojiye dair ilk bilgilerini nereden öğrendiklerini ve cinsiyet farkının nanoteknolojiye dair farkındalık açısından etkilerinin olup olmadığını araştırmışlardır. Çalışmalarında 60 'ı biyoloji, 58 'i fizik ve 36 'sı kimya öğretmen adayı olmak üzere toplam 154 öğretmen adayı (85 kadın, 69 erkek) ile yüz yüze görüşme yöntemiyle anket çalışması yapmışlardır. Anket sonucunda cinsiyet farkının nanoteknoloji farkındalık düzeyi açısından anlamlı bir fark tespit edilememiş olsa da Fizik ve Biyoloji alanında öğretmenlik eğitimi alan öğretmen adaylarının farkındalık düzeylerinin Biyoloji alanında öğretmenlik eğitimi alan öğretmen adaylarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi incelendiğinde ise Fizik ve Biyoloji alanlarında nanoteknoloji seçmeli dersi verilmesinin etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada öğretmen adaylarının nanoteknoloji terimini ilk nereden duydukları sorusuna verdikleri cevaplar göz önüne alındığında Radyo ve televizyonun nanoteknoloji farkındalık açısından çok önemli bir paya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ge ve ark. (2006), gaz difüzyon tabakası (GDL) sıkıştırmasının PEM yakıt hücresi performansına etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında GDL sıkıştırmasının yakıt hücresi performansı üzerindeki etkilerini incelemek için yakıt hücresini sökmeden, GDL'nin sıkıştırmasını değiştiren değişkenleri ve sıkıştırma miktarını ölçecek bir deney düzeneği tasarlamışlardır. Bu özel yakıt hücresi armatürünü kullanarak, GDL sıkıştırmasının çeşitli anot ve katot akış hızları altında PEM yakıt hücresi performansı üzerindeki etkilerini incelemeye çalışmışlardır. Çalışmaları sonucunda yakıt hücresi performansının artan sıkıştırma ile azaldığı ve bu etkinin artan akım yoğunluğu veya hücre voltajının azalmasıyla arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ancak yakıt hücresinde sızdırmazlığın sağlanabilmesi için aşırı sıkıştırmanın gerektiği ama yine de sızdırmazlık sağlandıktan sonra sıkıştırma oranı azaldıkça yakıt hücresi performansının artacağını da ayrıca çalışmalarında belirtmişlerdir.

Kamarudin ve ark. (2006), yaptıkları çalışmalarında yakıt hücresi sistemindeki ortak birim süreçler ve uygulamalar için ekonomik modeller geliştirmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında bir polimer elektrolit membran yakıt hücresi (PEMFC) sistemini dikkate

almışlardır. Sistem, hidrojen üretmek için kullanılan bir yakıt işleme ünitesinden ve bir hidrojen arıtma ünitesinden oluşmaktadır. Çalışmaları sonucunda bir PEMFC sisteminin kW başına yatırım maliyetini hesaplamışlar ve PEM yakıt hücresi maliyetinin geleneksel içten yanmalı motorlar ile karşılaştırılabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Maass ve ark. (2008), polimer elektrolit yakıt hücrelerinde katot karbon katalizör desteğinin oksidasyonu üzerine yaptıkları çalışmalarında platin katkılı elektrotları ve saf karbon elektrotları hava ve nitrojen atmosferde test etmişlerdir. Katottaki CO ve CO<sub>2</sub> oranlarını ölçmek için ise yayılmayan kızılötesi dedektör (NDIR) kullanmışlardır. Bu potansiyodinamik ölçümler sonucunda karbon korozyon oranının dinamik çalışma sırasında daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ancak elektrot karakteristiğinin korozyon oranına etkisini tam olarak belirleyememişlerdir. Yine de karbon katkılarındaki platin katalizörlerde korozyon oranının arttığını başarılı bir şekilde göstermişlerdir.

Paipitak ve ark. (2011), elektrospin yöntemi ile hazırlanan PVA/Kitosan nanoliflerin karakterizasyonu üzerine yaptıkları çalışmalarında PVA/Kitosan nanokompozit elyafı, elektrospinleme yöntemi ile hazırladıktan sonra kitosanın ağırlık oranını, % 2 asetik asit içerisinde 80:20'de sabitlemişlerdir. Öncü çözeltinin viskozitesini, Ubbelohde viskozimetre ile ölçtüklerinde elde ettikleri sonuçlar, karışım çözeltisi viskozitesinin, konsantrasyonuyla doğru orantılı olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarında PVA/Kitosan nanokompozit liflerinin morfolojisini ve çapını elektron mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobu ile belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda viskozitenin konsantrasyon oranıyla bağıntılı olduğu ve konsantrasyon oranı arttıkça nano malzemenin viskozitesinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Pirzada ve ark. (2012), Sol-Jel elektrospin yöntemi ile hibrit Silika-PVA nanofiberlerin üretimi üzerine çalışmışlardır. Elektrospin işlemi için ise yüksek voltajlı bir güç kaynağı, yüzey özellikleri ve fiber çapını ölçmek için ise elektron mikroskobu kullanmışlardır. Bütün fiberler 20 kV gerilimle ve sabit uç ile kolektör arası mesafe 10 cm'ye ayarlanarak üretilmiştir. Besleme miktarı ise 0,5 mL/h olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda yüzey pürüzlülüğü ile beraber malzemenin elektrik iletkenliği ve yüzey gerilmeleri de ölçülmüştür. Silika prekürsörünün jelleşmesinden kaynaklanan yüksek viskozitenin, elektrospin yöntemiyle ile nanofiber üretmek için tek başına yeterli olmadığı çalışma sonunda açıkça görülmüştür.

Hong ve ark. (2006), Ag nanopartikülleri içeren polivinil alkol (PVA) nanofiberleri, PVA/gümüş nitrat (AgNO<sub>3</sub>) sulu solüsyonlarının elektrospinlenmesi

işlemiyle elde etmiş ve ardından kısa süreli ısıtma işlemiyle hazırlamışlardır. Elektrospin işlemi sırasında Ag iyonlarının azaltılmasını önlemek için bir plastik ucu ve bir grafit elektrodu kullanılmış ve PVA/AgNO<sub>3</sub> çözeltisinin pH değeri 4'e ayarlanmıştır. PVA/AgNO<sub>3</sub> nanofiberleri ısıtma işlemi tabii tutulduktan sonra çözünmez hale gelmiştir. Ardından antimikrobiyal aktivitesini yara pansuman uygulamaları için araştırmışlardır. Ag nanoparçacıkları içeren PVA nanofiberler çok kuvvetli antimikrobiyal aktivite gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Jin ve ark. (2007), Ag nanopartikülleri içeren PVA nanofiberlerin kolay ve kontrollü hazırlanması için iki pratik yöntemi araştırmışlardır. PVA nanofiberlerde elektrospin işlemi esnasında üretilen artık Ag<sup>+</sup> iyonları ve Ag nanopartikülleri tavlama işlemi sırasında daha büyük Ag nanopartiküllerinin toplandığını gözlemişlerdir. Ag nanoparçacıklarının tamamı, iki yöntemle hazırlanan PVA nanofiber içinde küre biçiminde ve eşit şekilde dağıtılmıştır. PVA/AgNO<sub>3</sub> sulu çözeltilerindeki Ag<sup>+</sup> iyonları, herhangi bir kimyasal indirgeme maddesi olmaksızın geri akış işlemi yoluyla indirgenmiştir. 80 °C'de 1 saat süreyle geri akışa tabii tutulduktan sonra % 0, 0.5, 1 ve 2 ağırlıkça AgNO<sub>3</sub> ile elektrospin edilmiş ve PVA nanofiberlerin ortalama çapları sırasıyla 200, 170, 160 ve 120 nm olduğunu tespit etmişlerdir. PVA çözeltilerinin iletkenlikleri arttıkça ortalama çaplarının azaldığını belirtmişlerdir.

Pan ve ark. (2006), eksenel olarak hizalı elektrospin elyafların mikrometre altı çaplar ile üretilmesinde elektrospinlenmeye dayanan yeni ve basit bir teknik tarif etmişlerdir. Bu yöntemle üretilen liflerin sürekli olduğunu ve iyi hizalandığını vurgulamışlardır. Çözeltinin konsantrasyonunun ve sarım hızının elyafların hizalanmasındaki etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca bu yöntemin çeşitli uygulamalar için geliştirilebilir ve kullanılabilir olduğunu vurgulamışlardır.

Frenot ve Chronakis (2003), elektrospin işleminin polimer esaslı, yüksek fonksiyonel ve yüksek performanslı nano elyaf oluşturmada malzeme dünyasında devrim yaratabilecek çok basit ve çok yönlü bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Elektrospin işlemi ile çapı 100 nm'nin altında polimer nanoliflerin üretilebileceğini çalışmalarında belirtmişlerdir.

Baji ve ark. (2010), ilk kez, mikro yapıların fiber deformasyon davranışı üzerindeki rolünü eleştirel bir şekilde gözden geçirip değerlendirmişler ve nano elyafların gelişmiş özellikleri için olası açıklamalar sunmuşlardır. Bu inceleme ile elektrospin liflerin yapılarının ve morfolojisinin arkasındaki kavramlar tartışılmış, mekanik özellikler üzerindeki etkileri vurgulanmış ve gelecekteki çalışmalar



belirlenmiştir. Liflerin yapısal ve gerilme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Örneğin, elastik modül ve mukavemet gibi gerilme özellikleri azalan fiber çapı ile arttığını tespit etmiştir.

Park ve ark. (2012), PEM yakıt hücreleri için tek ve çift katmanlı gaz difüzyon tabakalarının son gelişmelerini ve yeni GDL'nin geliştirilmesinde kullanılan çeşitli materyalleri ve yaklaşımları incelemiştir. Çeşitli karbon ve metal bazlı makro gözenekli substratlar sunmuşlardır. Farklı florlanmış polimerler kullanılarak yapılan hidrofobik işlemleri ele almışlardır. Karbon işlemi, ıslanabilirlik, kalınlık ve mikroyapı gibi mikro gözenekli tabakanın performansını kontrol eden mühendislik parametrelerini de incelenmiştir. Ek olarak, yeni GDL gelişimi için gelecek beklentileri tartışılmıştır.

Thenmozhi ve ark. (2017), çalışmalarının ana hedefi, elektrospin tekniğinin çalışma prensibini anlayarak, nano liflerin parametrelerini ve uygulamalarını farklı yaşam alanlarına etkileyerek elektrospin tekniğine bir bakış açısı sağlamaktır. Elektrospin tekniğinin endüstriyel ölçekli gelişimi hakkında detaylar, mevcut senaryo ve gelecekteki gelişmeler de bu çalışmada ele alınmıştır.

Lim (2017), nanofiber teknolojisinin mevcut durumunu ve gelecekteki gelişimini, sentezlerine ve uygulamalarına vurgu yaparak incelemiştir. İlk olarak, nano liflerin sentezlenmesinde kullanılan mevcut ve ortaya çıkan stratejileri vurgulamıştır. Çeşitli nanofiber sentez tekniklerini, özellikle de elektrospin yöntemini kısaca tanıtmıştır. Daha sonra, nanofiber teknolojisinin ortaya çıkan uygulamalarını çeşitli alanlarda, özellikle enerji üretimi ve depolanması, su arıtma, çevresel iyileştirme, sağlık ve biyomedikal mühendisliği olmak üzere ele almıştır. Bununla birlikte, nanofiber sentez stratejilerinin geliştirilmesinde, nanofiber teknolojisinin olgunlaşacağını belirtmiştir.

Litster ve McLean (2004), PEM yakıt hücresi için etkili elektrotlar ürettiği gösterilen ve gelecekteki potansiyeli yüksek olduğu düşünülen üretim yöntemlerine genel bir bakış sunmuşlardır. Elektrotların nispi performansları, tasarım metodolojileri arasında karşılaştırmayı kolaylaştırmak için karakterize edilmiştir. En yaygın elektrot biçiminin, ince bir film katalizör tabakasına sahip olduğu bulunmuştur

Wang ve ark. (2003), farklı çalışma parametrelerinin proton değişim membranı yakıt hücresinin performansı üzerindeki etkileri, anot tarafında saf hidrojen ve katod tarafında hava kullanılarak deneysel olarak incelemiştir. Farklı yakıt hücresi çalışma sıcaklıkları, farklı katod ve anot nemlendirme sıcaklıkları, farklı çalışma basınçları ve bu parametrelerin çeşitli kombinasyonları ile deneyler yapılmıştır. Yeterli nemlendirme

sağlandığında, PEM yakıt hücresinin performansı çalışma sıcaklığının artmasıyla iyileştiğini vurgulamışlardır. Yakıt hücresi çalışma sıcaklığı, gaz akımı nemlendirme sıcaklıklarından yüksek olduğunda, yakıt hücresinin performansının düşebileceğini vurgulamışlardır. Bu durumun, özellikle düşük akım yoğunluğu bölgesinde geçerli olduğunu açıklamışlardır. Anot nemlendirme sıcaklığı, yakıt hücresi performanslarında önemli etkiye sahip olduğunu, düşük akım yoğunluğu bölgesinde, nemlendirme derecesi ne kadar düşük olursa, yakıt hücresi performansları o kadar düşük olacağını söylemişlerdir.

Ekrem (2017), elektro-eğirme metodu kullanılarak ağırlıkça % 1, 3 ve 5 oranlarında çok cidarlı karbon nanotüp (MWCNT) ilaveli/ilavesiz polivinilalkol nanoelyaf keçelerin üretimi gerçekleştirmiştir. Takviyeli/takviyesiz üretilen nanoelyaf keçeler, statik yükleme altında çekme deneyleri yapılarak çekme dayanımı, elastiklik modülü ve uzama miktarlarını incelemiştir. % 1 MWCNT takviyeli PVA nanoelyaf keçe,  $\sigma_c$  (çekme dayanımı), E (elastiklik modülü) ve toklukları PVA nanoelyaf keçe ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 50, 88 ve 12 artış olduğunu gözlemiştir. Üretilen nanoelyaf keçelerin PVA ve MWCNT ile bir araya gelmesi ile oluşan sistemde meydana gelen kimyasal değişimleri ve etkileşimleri Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizlerini yapmıştır. Ayrıca nanoelyaf keçelerin özelliklerinin belirlenmesinde takviyeli/takviyesiz PVA çözeltilerinin fiziksel özellikleri ve ağ yapılı polimerlerin yüzey gözenekliliğinin izlenebilmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerini de incelemiştir.

Son ve ark. (2005), Ph'in, elektrospin PVA'nın morfolojisi ve çapı üzerindeki etkisini araştırmak için, 2.0 ila 12.9 arasında çeşitli pH değerlerinde ağırlıkça % 7 PVA çözeltileri elektrospin edilmiştir. Ph 7.2'de elektrospin yapılan PVA elyaf çapı ortalama 290 nm olduğu bulunmuştur.

Padil ve Černík (2015), PVA ve doğal sakız karaya (GK) hidrokoloidden oluşan nanofiber membranlar elektrospin kullanılarak hazırlamışlardır. PVA/GK'nin elektrospinle üretilen membranları ısı ile işlemle çapraz bağlanmış ve sonra bir hidrofobik membran elde etmek için metan plazması kullanılmıştır. Doğal hidrokolloid GK, elektrospin ile nanofiber üretmek için PVA ile çeşitli oranlarda karıştırılmıştır. Nano fiberlerde 200 nm'lik düzgün dağılım elde etmek için optimum PVA (ağırlıkça % 10) ve GK (ağırlıkça % 1,0) oranı 80/20 veya 90/10'dur. Elektrospin PVA/GK nanofiberler hidrofobikliğini arttırmak için metan plazma ile muamele edilmiştir. Membran, sulu bir

çözeltiden (Ag, Au, Pt, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve CuO) nanopartiküllerin çıkarılması için başarıyla kullanılmıştır.

Fu ve ark. (2013), oda sıcaklığında yeni geliştirilen bir ıslak-kimyasal yöntemle kontrol edilebilir bir şekilde gümüş-altın (Ag-Au) bimetalik nanoteller sentezlemiştir. Bu çalışma, mükemmel katalitik etkinliğe sahip diğer bimetalik nanoyapılar üretmek için yeni yollara ışık tutabileceği vurgulanmıştır. Ortam koşulları altında Ag-Au nanoyapılarının sentezi için kolay ve etkili bir yaş-kimyasal yöntem gösterilmiştir. Bimetalik nanoyapıların morfolojisi ve boyutu, gümüş nanotelleri ve vanadyum oksit nanopartiküllerini içeren süspansiyonda altın iyonlarının miktarları (Au'dan Ag'ye molar oranı  $\leq$  % 5) ayarlanarak kontrol edilmiştir. Bu çalışma ile farklı kullanımlar için diğer bimetalik katalizörlerin hazırlanması için uygulanabilecek yeni bir strateji sunulmuştur.

Eksik (2009), gümüş nanoparçacıkların elektron transfer reaksiyonu ile oluşturulduğu trigliserid yağ esaslı polimer/gümüş nanokompozitin insitu sentezi için iki strateji tarif etmiştir. Polimer/gümüş nanokompozitler, termal olarak indüklenen ve fotokimyasal olarak indüklenen polimerizasyon işlemleri ile hazırlanmıştır. Bu çalışmada, termal olarak indüklenen ve fotokimyasal olarak indüklenen polimerizasyon proseslerinde elde edilen kompozitler, makroskopik aglomerasyon olmaksızın ağ içinde homojen olarak dağılmış gümüş nanopartiküller içermiş ve antibakteriyel özellikli organik kaplama olarak iyi film sergilemiştir.

Yang ve ark. (2007), Jelatin/PVA bikomponentli nanofiberleri elektrospin ile hazırlamışlardır ve ahududu ketonunun (RK) kontrol salınımını araştırmışlardır. PVA oranı arttıkça önemli çap artışı, çekme mukavemeti ve kopma gelişiminde uzama gözlenmiştir. RK salınım hızı, GEL/PVA oranı, yüklenmiş RK içeriği ve glutaraldehit buharının çapraz bağlanma zamanı tarafından ayarlanabilmiştir.

Ekrem ve Avcı (2018), bağlantıların mekanik performansını artırmak için elektrospin PVA nanoelyaf mat, epoksi yapıştırıcı bağlantı bölgesi içerisine yerleştirilmiştir. Epoksi reçine ıslatılmış elektrospin PVA nanofiber mat, alüminyum yapışkanları arasına yerleştirilmiş ve hava kabarcıklarını ve uçucu maddeleri gidermek için belirsiz vakum koşullarını iyileştirmişlerdir. Güçlendirilmiş alüminyum derzlerin mekanik performansı, tek taraflı bindirme (SLJ) ve çift konsol kiriş (DCB) kullanılarak araştırılmıştır. Nanofiber takviyelerinin nano ve mikro ölçekli sertleşme mekaniklerini ortaya çıkarmak için, kırılma yüzeyleri SEM kullanılarak analiz edilmiştir. Elektrospin nanofiberlerle güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcının DCB bağlantılarında çatlak büyümesinin hızını azalttığı da görülmüştür. Yapışkan bağlanmış bağlantıların kırılma

tokluğu ve kayma mukavemeti, PVA nanofiber matların epoksi yapıştırıcıya eklenmesi ile arttığı bulunmuştur. Epoksi yapıştırıcıya PVA nanofiber matların eklenmesi, epoksi yapıştırıcıya kıyasla ortalama kırılma tokluğunu 252 J/m<sup>2</sup>'den 497 J/m<sup>2</sup>'ye yükseltmiştir.

Zhao ve ark. (2018), çalışmalarında, plazma işleminin elektrospin tekniği ile üretilmiş PVA nanofiber kompozit kumaşların yapışması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Polivinil alkol (PVA) nano elyaf matlar, polyester-tafta ve naylon-tafta kumaşların üzerine, spiral disk iplikçiklerine ihtiyaç duyulan bir elektrospinleme düzeninde elektrospinlenmiştir. Aerosol partiküllerinin koruyucu performansı ve giyilebilirliği, elektrospinlenmiş PVA nanofiber matın kalınlığının bir fonksiyonu olarak da araştırılmıştır. Sonuçlar, alt tabaka kumaşının yüzey nano ölçekli iç bükey, dış bükey pürüzlülüğünün oksijen plazma işleminden sonra oluştuğunu göstermişlerdir. Aerosol partikül filtrasyon verimi, elektrospinleme süresinin artmasıyla artmış ve PVA/naylon tafta kalite faktörü, on dakika boyunca elektrospin ile en yüksek değere ulaştığı sonucuna ulaşmışlardır. Aynı zamanda, PVA/naylon-taftanın hava geçirgenliği ve su buharı iletim hızı, elektrospin süresinin artması ile azalırken dökümlülük katsayısı artmıştır.

El-aziz ve ark. (2017), farklı konsantrasyonlarda PVA nanofiber kompozitleri elektrospin işlemiyle başarıyla üretmişlerdir. Farklı konsantrasyonlarda (% 5, 8, 10) elyaf çaplarının karşılaştırması, ağırlıkça % 10 PVA nanofiber çaplarının, ağırlıkça % 5 ve 8 PVA nanofiber ile karşılaştırıldığında en küçük fiber çapına ( $231.5 \pm 80$  nm) sahip olduğunu göstermişlerdir. Bu tür liflere dayalı potansiyel uygulamalar, özellikle atık su arıtımında adsorban olarak kullanımı gerçekleştirilmektedir. Polimerik nanofiberlerin glutaraldehit (GA) ile çapraz bağlanmasından sonra, simüle edilmiş bir sudan  $Zn^{2+}$  'nin çıkarılması için kullanılmıştır.

Gaaz ve ark. (2015), polivinil alkol-halloysite nanotüplerin (PVA-HNT) ve bunların nanokompozitlerinin sentezi, özellikleri ve uygulamaları üzerinde araştırma yapmışlardır. PVA gibi sentetik polimerler, alginat, nişasta, kitosan gibi doğal polimerler veya bu bileşenlere sahip herhangi bir malzeme, biyo uyumluluk özelliklerine sahip önemli ve bozunabilir malzemeler olarak ön plana çıkmıştır. Tıbbi ve biyomedikal kullanım için PVA-HNT'nin özellikleri yara bandajları, ilaç verme, hedefli doku taşıma sistemleri ve yumuşak biyomateryal implantlar gibi tıbbi uygulamalar için artan miktarda ilgi çekmektedir. Alternatif polimerik tıbbi cihazlara olan talep de dünya genelinde önemli ölçüde artmıştır. Bu makale ile çeşitli biyomedikal uygulamalar için PVA'nın çapraz bağlanması ile birlikte HNT ilavelerini tek tek incelemiştir.

Bai ve ark. (2007), altın nanopartikülleri içeren polivinil alkol nanofiber altın nanopartiküller içeren bir solüsyonun diğer stabilize edici birşey eklenmeden elektrospinleme ile elde etmişlerdir. PVA sulu solüsyonundaki altın nanopartikülleri optik özelliği, UV-görünür absorpsiyon spektrumu ile gözlenmiştir. Au/PVA nanofiberlerinin morfolojisi ve altın nanoparçacıklarının dağılımı transmisyon elektron mikroskopisi (TEM) ile karakterize edilmiştir. Yapı dönüşümü, PVA'dan PVA/Au bileşiğine Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR) ile karakterize edilmiştir.

Oh ve ark. (2003), gözenekli PLGA/PVA yapı iskeleleri, doku mühendisliği uygulamaları için yapı iskelelerin hidrofiliğini ve hücre uyumluluğunu arttırmak amacıyla polilaktikglikolik asit (PLGA) polivinil alkol (PVA) ile karıştırmak suretiyle imal etmişlerdir. Farklı PVA kompozisyonlarına sahip PLGA/PVA karışım iskeleleri, ağırlıkça % 20'ye kadar farklı PVA bileşimleri ile eriyik kalıplı bir partikül süzme yöntemi (çözücü olmayan yöntem) ile imal edilmiştir. Hazırlanan iskeleler, SEM, cıva porozimetresi, su temas açıları ve çift eksenli çekme mukavemetleri incelenmiştir. PLGA/PVA karışım yapı iskelelerini imal etmek için PLGA'ya % 5 PVA ilavesinin , yapı iskelelerinin hidrofiliğini ve hücre uyumluluğunu geliştirmek için yeterli olduğunu tespit etmişlerdir.

Kitahara ve ark. (2012), katottaki nemlendirme altında polimer elektrolit yakıt hücresi (PEFC) performansının daha da artırılması için yeni bir hidrofilik ve hidrofobik mikro gözenekli tabaka MPL kaplı GDL geliştirmişlerdir. Karbon kağıdı ve politetrafloroetilen (PTFE)'den oluşan hidrofobik MPL, karbon kağıdı substratı üzerine kaplanmıştır. Karbon kağıdı ve PVA'dan oluşan hidrofilik tabaka, hidrofobik MPL üzerine de kaplanmıştır. Hidrofilik tabaka, katalizör tabakasındaki nemli muhafaza etmek için etkili olurken, hidrofilik tabaka ve tabaka arasındaki hidrofobik ara tabaka, tabandaki kuru hava vasıtasıyla hidrofilik tabaka içindeki suyun uzaklaştırılmasını önlemiştir. Katottaki nemlendirme altında PEFC performansını artırmak için yeni bir hidrofilik ve hidrofobik çift MPL kaplı GDL geliştirilmiştir. Çift MPL için kalınlık, gözenek çapı ve hidrofilik ve hidrofobik özelliklerin PEFC performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Rozik ve Ward (2018), ana polimer matrisi olarak polivinil alkol bazlı polimer elektrolitleri ve poliyonik sıvı (PIL) hidrofilik/hidrofobik olan çözelti döküm tekniği ile hazırlanan ve FTIR, SEM, mekanik, iletkenlik, dielektrik spektroskopisi ve termogravimetrik analize dayanmaktadır. PIL varlığının polimer elektrolitlerin hem mekanik hem de elektriksel özelliklerini olumlu etkilediği bulunmuştur. Hidrofobik ve

hidrofilik PIL, gelişmiş malzemeler ve polimerik ürünlerin hazırlanması için bir çok işleve sahip çok yönlü bir polimer elektrolit elde etmek için PVA ana matrisine farklı oranlarda eklenmiştir. Çalışılan mekanik özellikler, PIL dispersiyonunun PVA için plastikleştirici olarak kullanılabilceğini göstermiştir. PVA/PIL dispersiyonu veya PIL-katı malzemesinin dielektrik özellikleri ve iletkenlik ölçümleri 0.1 Hz - 1 MHz frekans aralığında ve 50-150 °C sıcaklık aralıklarında incelenmiştir. PIL ilavesinin, dielektrik sabitini ve dielektrik kaybını arttırdığı ve PVA/PIL dispersiyonunun iyonik iletkenliğini, PVA/PIL katıya kıyasla geliştirdiği bulunmuştur.

Zamri ve ark. (2011), elektrospin işlemi kullanılarak sentezlenen PVA, çok katlı karbon nanotüp (MWCNT)'ler ve mangan dioksit ( $MnO_2$ ) içeren nanofiber bileşiklerinin sentezi ve karakterizasyonunu araştırmışlardır. Bu çalışmada PVA nanofiber içindeki MWCNT ve  $MnO_2$ 'nin elektriksel iletkenliği ve morfolojisi araştırılmıştır. Nanofiber bileşiklerinin FTIR analizi, PVA'ya MWCNT- $MnO_2$  nanokompozitin eklenmesinin bileşik yapıda bir etkileşim oluşturduğunu ortaya koymuştur. GEIS tekniği ile elde edilen nanofiber bileşiklerinin elektriksel iletkenliği PVA'nın MWCNT- $MnO_2$  ile elektron etkileşimini kanıtlamıştır. MWCNT- $MnO_2$  miktarı arttıkça, elektrik iletkenlikde, kademeli olarak artmıştır. Diğer araştırma çalışmalarıyla karşılaştırıldığında, PVA/MWCNT nanofiber için elektriksel iletkenlik değeri, Zhang tarafından geliştirilen PVA/MWCNT nanokompozit ile karşılaştırıldığında daha düşük çıkmıştır.

Barakat ve ark. (2008), elektrospin tekniği kullanılarak gümüş metal nanofiberleri başarıyla hazırlamışlardır. Gümüş nanofiberler, PVA ve gümüş nitrattan oluşan bir sol-jel elektrospin ile üretilmiştir. Kurutulmuş nanofiber matlar, argon atmosferi altında 850 °C'de kalsine edilmiştir. Elde edilen nanofiberlerin elektriksel iletkenlik davranışlarının incelenmesi ısıl histerez göstermiştir. Bununla birlikte, elde edilen nanofiberlerin elektriksel iletkenliği termal histerez davranışına sahip olmuştur. Elektrik iletkenliği sıcaklık arttıkça artmış ve soğutma işlemi sırasında aynı yolla geri dönmemiştir.

Sheikh ve ark. (2010), potansiyel sert doku mühendisliği uygulamaları için yüksek saflıkta hidroksiapatit (HAp) nanopartiküller (NP) ile birleştirilmiş elektrospin PVA nanofiberlerden oluşan bir diskin mekanik özelliklerini incelemiştirler. Hem doğal HAp hem de PVA polimerinin gereksiz biyolojik özelliklerinin yanı sıra, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, sert doku mühendisliği uygulamalarında önerilen PVA/HAp'yi kullanmayı şiddetle tavsiye etmiştir.

Celep ve Koç (2007), nanoteknolojinin literatürdeki yeri hakkında bilgi vererek bu alanda elde edilen gelişmeleri değerlendirdikten sonra nanoteknolojinin tekstil alanındaki uygulamalarını incelemişlerdir. Çalışma içerisinde nanoteknoloji kullanılarak üretilmiş olan tekstil ürünlerinin üstünlükleri değerlendirilmiş ve güncel çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Kiyak ve Cakmak (2014), çalışmalarında farklı nanofiber üretim yöntemleri tekniklerini kısaca gözden geçirmişlerdir. Bunlardan elektrospın yöntemini detaylı olarak incelemiştir. Elektrospın ile nanofiber üretme tekniğinin diğer yöntemlere göre daha ucuz, yüksek mukavemetli ve yüksek katma değerli nanolifler üretildiğini vurgulamışlardır. Temel elektrospın tekniği, erime elektrospın tekniği, gaz destekli elektrospın tekniği, kabarcık elektrospın tekniği, manyetik alan elektrospın tekniği, birleşik elektrospın tekniği, koaksiyel elektrospın tekniği, iğnesiz elektrospın tekniği, santrifüj elektrospın tekniği ve diğer tekniklerden kısaca bahsetmişlerdir.

Roch ve ark. (2015), tek cidarlı karbon nanotüplerin (SWCNT) ağlarının elektriksel iletkenliğinin ortam koşullarındaki oksijen ve hava neminden büyük oranda etkilendiğini göstermişlerdir. Daha sonra, kasıtlı olarak iyot ile fonksiyonizasyon ile elektriksel iletkenliği modifiye edilerek ve optik absorpsiyon spektroskopisi ile bant yapısındaki değişiklikleri araştırmışlardır.

Penide ve ark. (2014), çok uzun nanofiber üretmek için yeni bir teknik olan lazer iplikçilik tekniğinin 2007'de kullanıma sunulmasından bu yana elde edilen ana sonuçları toplamışlardır. Sonuç olarak lazer iplikçiliği birkaç seramik nanofiber üretmek için uygun bir teknik olduğu kanıtlanmıştır. Bu teknik karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) adsorpsiyon filtreleri, optik nanofiberler ile bilginin iletimi, yanmaz kumaşların üretimi veya doku mühendisliği uygulamaları gibi farklı amaçlar için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Li ve ark. (2004), elektrospın sistemi çeşitli bileşimlere ve özelliklere sahip nanofiberlerin üretilmesi için basit ve çok yönlü bir sistem olduğunu vurgulamışlardır. Çeşitli yapılardaki nanofiberlerin farklı elektrospın yöntemleriyle üretilebileceğini aktarmışlardır.

Bu tezin konusu, “elektro-eğirme metoduyla üretilen Ag veya Pt nanopartiküllü PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenliklerinin ve hidrofobik/hidrofilik etkileşiminin incelenmesi”dir. Bu tez çalışmasında, Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin literatürde bulunan çalışmalarla kıyaslandığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ag veya Pt nanopartikül katkılı/katkısız PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenlik performanslarının, hidrofobik/hidrofilik etkileşiminin üzerindeki etkisinin araştırılması, “Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin” PEM yakıt hücresinde kullanılmasına yönelik, bir çalışma tespit edilememiştir.





### 3. TEORİK BİLGİLER

Bu bölümde nanoteknoloji ve nanofiber, elektrospın cihazı ile nanofiber üretme işlemi, hidrofilik/hidrofobik etkileşim ve PEM yakıt hücresi ile ilgili bilgi sunulmuştur.

#### 3.1. Nanoteknoloji ve Nanofiber

“Nanobilim”, nanometre boyutunda maddeyi ve enerjiyi inceleyen bilim dalıdır. Malzemeyi nano boyutta incelemenin önemi nanometre boyutunda farklı özellikler taşımaktadır. Parçacıklar yeterince küçük olduklarında ve nanoparçacıklar olarak nitelendirilebildiklerinde, mekanik özellikleri buna bağlı olarak değişmektedir. Nano ölçekteki malzemeler, kütleli malzemenin özelliklerinden ya da malzemenin moleküler haldeki özelliklerinden daha iyi mukavemet, daha uzun ömürlü malzemeler, daha yüksek yüzey/hacim oranı gibi yeni özelliklere sahiptirler. 100 nanometreden daha küçük boyutta olan malzemeler, daha büyük yüzey/hacim oranına sahiptirler (Menceloğlu ve Mencelolu, 2008).

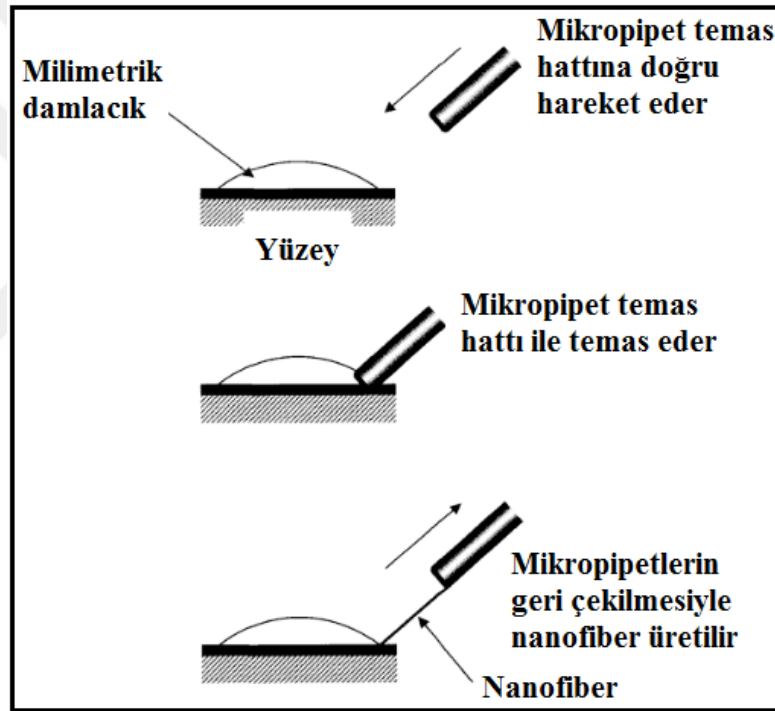
Nanoteknoloji; nanoölçek boyutlardaki yapıların ve bileşenlerin fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri değişen malzeme ve sistemlerle ilgilenmektedir. Nanobilim ve nanoteknolojinin hedefi, nanoboyutta işlevsel olan yapıların malzemelerini ve kendilerini kontrollü bir şekilde üretebilmek ve günlük hayatta kullanılabilir hale getirmektir. Nanoteknolojinin önemi ise malzemelerin nanoboyutta fizik kurallarının farklı işlemlerinden ve madde ile enerjinin bu ölçekte farklı özellikler göstermesinden kaynaklanmaktadır (Ergün ve ark., 2017).

Nanofiberler çapı bir mikron ve altındaki fiberler olarak tanımlanabilir. Günümüzde çok çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak çeşitli polimer malzemelerden nanofiber üretimi yapılabilmektedir. Çeşitli yöntemler kullanılarak polimer solüsyonundan veya polimer eriyiğinden mikro metre altındaki boyutlarda üretilen fiberlere nanofiber adı verilmektedir. Elektrospın yöntemi ile çok çeşitli ve farklı özelliklerde malzeme üretimi yapılabilir. Çok çeşitli malzeme üretilmesinin sebebi ise bu yöntemde kullanılabilen polimer çeşidinin çok olmasıdır. Bu yüzden elektrospın yöntemiyle üretilen nanofiberler farklı kullanım alanına sahiptir. Ayrıca, nanofiberlerden oluşturulan yapıların, birim ağırlıkta sağlanan yüksek alan özelliği, iyi mukavemet/birim ağırlık gibi özellikleri, nanofiberlerin kompozit uygulamaları, filtrasyon membran yapımında, savunma sanayi, biyomedikal malzemeler ve doku

mühendisliği gibi birçok alanda kullanılmasının başlıca sebepleridir (Dinç, 2013). Nanofiber üretim yöntemlerinden bazıları aşağıda sunulmuştur.

### 3.1.1. Çizme yöntemi

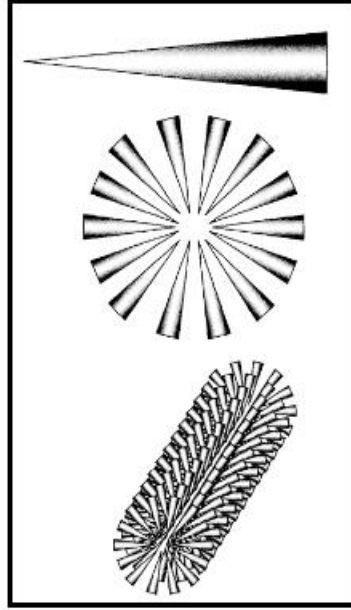
Çizme (drawing) yöntemiyle nanofiber üretiminde bir mikropipet mikro manipülatör ile polimer damlacığına daldırılır. Ardından daldırılan bu mikropipet damlacıktan yaklaşık olarak  $10^{-4}$  m/s hızla çekilir ve fiberler bir yüzeyde toplanması suretiyle nanofiber üretimi gerçekleştirilir (Süslü, 2009). Şekil 3.1'de bu yöntem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çizme yöntemiyle nanofiber üretimi (Ramakrishna, 2005)

### 3.1.2. Kendiliğinden tutunma

Kendiliğinden tutunma yönteminde ise önce küçük moleküller eş merkezli olacak şekilde aralarında bağ oluşturacak şekilde dizilirler, daha sonra bu moleküllerin büyük oranda birleşmesi ile nanofiberler oluşur. Oluşan en küçük birim, makro moleküler fiberlerin şeklini belirler (Süslü, 2009). Kendiliğinden tutunma yöntemiyle üretilen nanofiber şekillerinden bazıları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



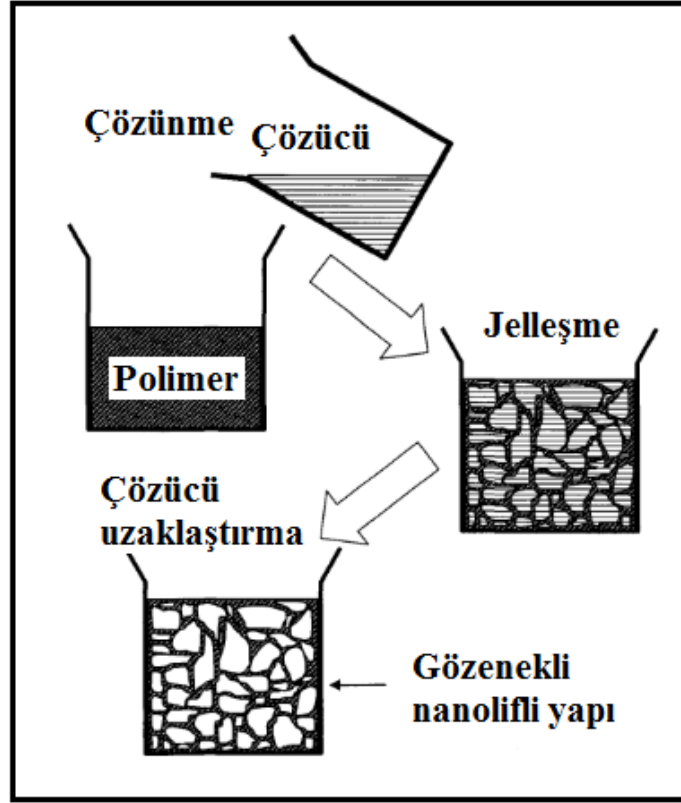
Şekil 3.2. Kendiliğinden tutunma yöntemi ile nanofiber üretimi (Ramakrishna, 2005)

### 3.1.3. Faz ayırma

Nanofiber üretimi için bir başka yöntem olan faz ayırma yöntemi beş aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

- Polimer çözme: Polimer kendisini homojen olarak çözebilecek uygun bir çözücü ile çözülür.
- Jelleşme: Polimer içerisine uygun kimyasal madde eklenerek, jelleşmenin gerçekleşmesi için teflon şişeye konulup buzdolabında bekletilmesi ile jelleşme sağlanır.
- Çözücü uzaklaştırma: Çözücü değişimi için teflon şişe saf suyun içerisine konur ve 2 gün bekletilir. İki gün içerisinde saf su günde 3 kez değiştirilir.
- Dondurma: Suyun içerisine konulan jel sudan çıkarılır ve kâğıt süzgeç yardımı ile süzülür ve donması için  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 2 saat bekletilir.
- Soğuk kurutma: Donmuş olan jel soğuk kurutma kanallarına boşaltılır ve  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 1 hafta bekletilerek nanofiber üretimi gerçekleştirilir (Süslü, 2009).

Faz ayırma yöntemi ile nanofiber üretiminin aşamaları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

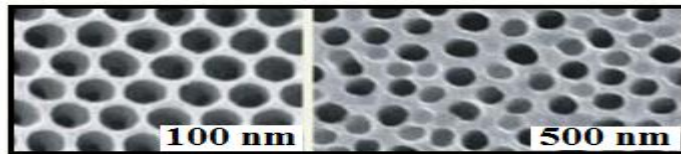


Şekil 3.3. Faz ayırma yöntemi ile nanofiber üretimi (Ramakrishna, 2005)

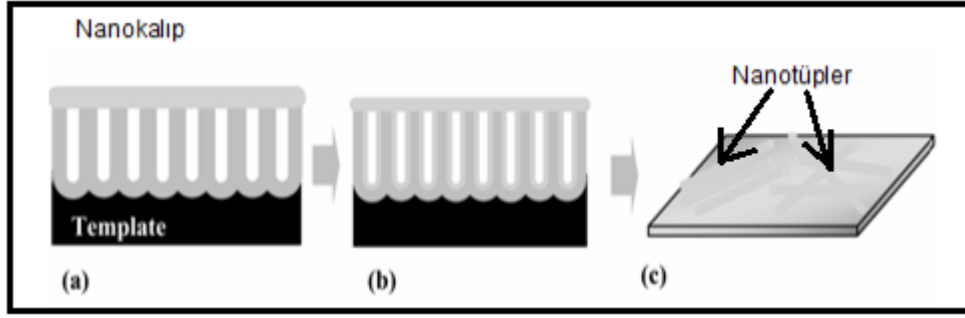
### 3.1.4. Nano-kalıp yöntemi

Nano-kalıp malzemesi olarak por çapları nano boyutta olan alumina ultra filtre kullanılır. Çözelti sol-jel yöntemiyle hazırlanır. Hazırlanan çözelti, vakum kullanılarak alumina filtreden geçirilir ve alumina filtre yüzeyi kuruduktan sonra argon gazı atmosferinde piroliz işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra alumina kalıp asit içerisinde tutulmak suretiyle parçalanır. Su, metanol ve aseton ile nanofiberlerin yüzeyi temizlenerek 80°C’de kurutmaya bırakılır ve bu yöntemle nanofiberler üretilmiş olur (Süslü, 2009).

Nano-kalıp yönteminin şematik gösterimi ve bu yöntemle nanofiber üretmede kullanılan alumina ultra filtre Şekil 3.4-3.5’te sunulmuştur.



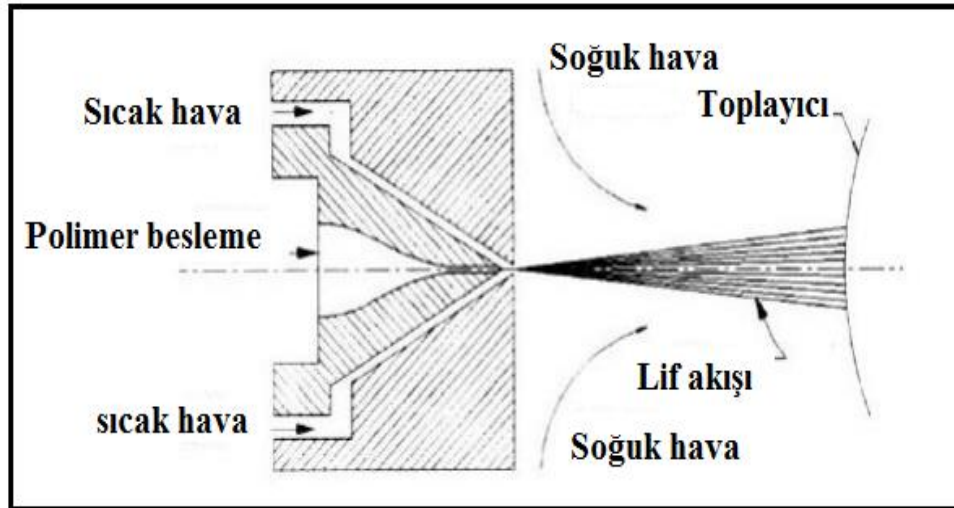
Şekil 3.4. Alümina ultra filtre (Süslü, 2009)



**Şekil 3.5.** Nanokalıp yönteminin şematik gösterimi (Süslü, 2009)  
 (a) çözelti kalıp içerisinden geçirilir (b) kalıp duvarlarını ısıtır (c) kalıp asitle parçalanarak nanotüpler elde edilir

### 3.1.5. Eriyik püskürtme

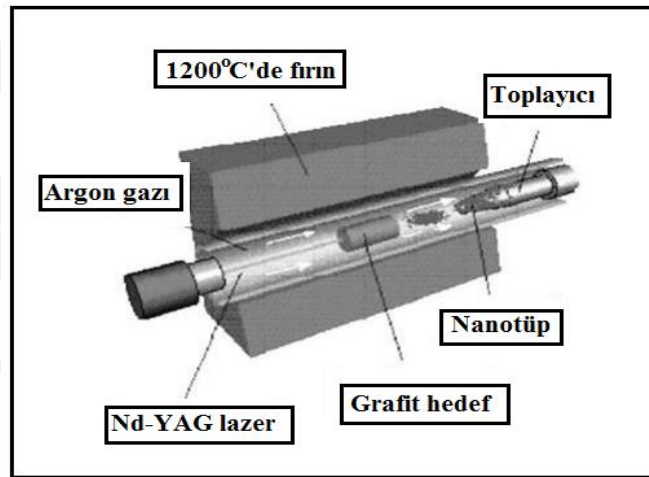
Yaygın kullanılan bir üretim tekniği olan eriyik püskürtme yönteminde polimerler kalıptan çıkarken yüksek hızla üflenen sıcak hava tarafından eritilir ve dışarıdan üflenen soğuk hava yardımıyla inceltir ve sonuçta nanofiber elde edilir. Bu yöntemle üretilen nanofiberlerin çapları genellikle 0,5–10 mikron boyutları arasındadır. Bu yöntemle elde edilen nanofiberlerin mukavemetleri düşüktür. Bu yöntem fazla fiber üretimine elverişli olması sebebiyle bu işlemin geliştirilmesi için araştırma grupları tarafından araştırmalar sürdürülmektedir (Süslü, 2009). Bu yöntem şematik olarak Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Eriyik püskürtme yöntemi ile nanofiber üretimi (Balcı, 2006)

### 3.1.6. Lazer buharlaştırma yöntemi

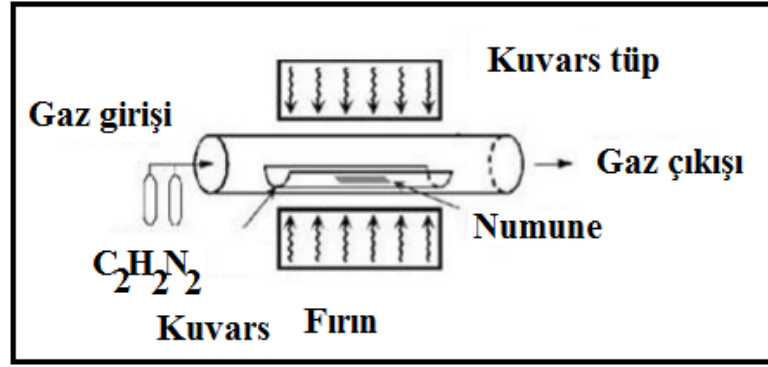
Bu yöntem karbon nanotüplerin üretimi için kullanılan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır ve tek duvarlı karbon nanotüplerin üretimi için geliştirilmiştir. Yöntem, kontrollü bir atmosferde, asal bir gaz akışı sağlanarak yatay bir tüp içerisinde gerçekleştirilir. Tüpe lazer gönderilerek grafit ve Co veya Ni gibi metal bir katalizör karışımı içeren bir hedefe çarptırılır. Lazer darbeleri sonucu hedeften küçük miktarda geçiş metali içeren karbon karışımı ayrılır. Fırın içerisinden sürekli geçmekte olan asal gaz nanotüplerin su ile soğutulan Cu toplayıcıda birikmesini sağlar. Nanotüpler işlem sonunda fırın dışına alınır (Süslü, 2009). Yapılan işlemin şematik görünümü Şekil 3.7'de sunulmuştur.



Şekil 3.7. Lazer buharlaştırma yöntemi ile nanofiber üretimi (Süslü, 2009)

### 3.1.7. Kimyasal buhar çöktürme yöntemi

Nanofiber üretim yöntemlerinden bir diğeri olan kimyasal buhar çöktürme yöntemi (CVD), karbon nanotüplerin üretiminde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde, karbon kaynağı olarak metan, karbon monoksit ve asetilen gazları ve gaz halindeki karbon molekülü kullanılır. Bu karbon kaynaklarına enerji transfer etmek için dirençle ısıtılan bobinler kullanılır. Enerji kaynağı karbon atomuna çarpar ve karbon, genellikle Ni, Fe, Co gibi bir geçiş katalizör ile kaplanmış ve ısıtılmış altlığa doğru yayılır. Uygun parametreler sağlanırsa bu yöntemle karbon nanotüp üretimi rahatlıkla gerçekleştirilebilir (Süslü, 2009). Yöntem şematik olarak Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kimyasal buhar çöktürme yönteminin şematik gösterimi (Süslü, 2009)

Nanofiber üretme yöntemlerinden bir diğeri olan elektrospın cihazı ile nanofiber üretim yöntemi detaylı şekilde Bölüm 3.2’de incelenmiştir.

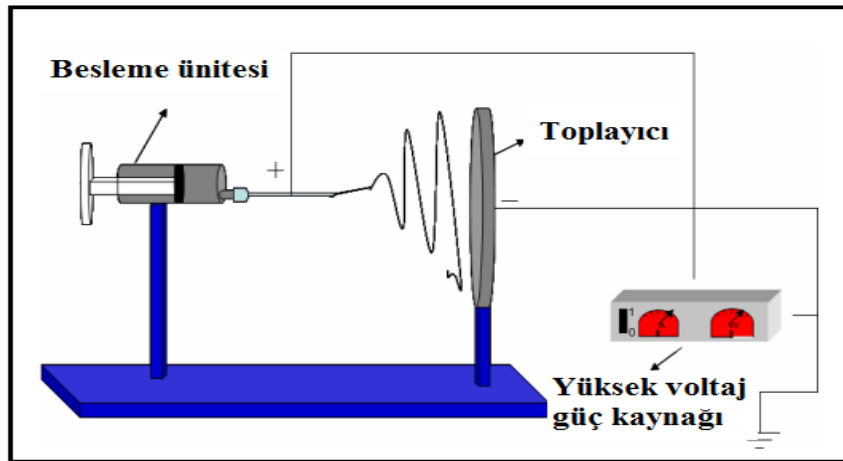
### 3.2. Elektrospın Cihazı ile Nanofiber Üretme İşlemi

Elektro üretim işlemi yeni bir teknoloji olmamakla beraber bu işlem 1600’lü yıllarda, William Gilbert’in manyetizma üzerine çalışmalarını sürdürürken tesadüfi bir şekilde elektromanyetizmanın sıvılar üzerine etkisini gözlemlemesiyle ortaya çıkmıştır. William Gibert çalışmasında bir su damlasını elektriksel olarak belli bir mesafede kuru bir yüzeyden, bir koni biçiminde çekildiğine dikkat çekmiştir. Bu olay elektrospın ile üretim işleminin tarihinin başladığı noktadır. 1882’de Lord Rayleigh, elektrik yüküne sahip damlaların elektro-üretim sırasında gösterdiği düzensiz hareketler üzerinde çalışmıştır. Rayleigh yalıtılmış bir yüklü damlacığın kararlılığı üzerine teorik bir çalışma yaptı ve yükün kararlılığını sağlayan yüzey geriliminin üstünde bir değer aldığı anda damlacığın kararsız bir hale geldiğini ve parçalanmanın gerçekleştiğini tahmin etmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre; damla üzerine etkiyen iki kuvvetten biri elektrik kuvveti, diğeri ise elektrik kuvvetine tam zıt yönde damlayı etkileyen yüzey gerilimi kuvvetidir. Elektrik kuvvetinin yüzey geriliminden kaynaklanan kuvveti yendiği anda ise damla ince jetlere ayrılarak akmaya başlar (Kozanoğlu, 2006).

Elektrospın tekniği ile ilgili akademik çalışmalar 1990’lı yıllarda Reneker ve grubunun çalışmaları ile hızlanmıştır. Bu yöntemin araştırmacılar açısından ilgi çekici olmasının sebebi birçok bilim ve mühendislik alanlarına hitap ediyor olmasından kaynaklanmaktadır (Süslü, 2009).

Elektrospın yöntemi nanofiber elde etmek için uygulanan kolay, ucuz ve etkili bir tekniktir. Bu teknikle 10 nm ile 500 nm arasında değişen nanofiberler elde edilebilir. Elektrospın tekniği ile farklı polimer türleri, polimer karışımları, sol-jeller, seramik, inorganik malzeme ve kompozitler kullanılarak nanometre boyutta çapa sahip fiberlerden oluşan nanoağ yapılı malzemeler üretilebilmektedir. Bu teknik ile üretilen nanofiberler sıra dıőı özellikler göstermektedirler. Bu nanofiberler yüksek yüzey/hacim oranına sahiptirler. Birçok yönden üstün özelliklere sahip olan bu nanofiber malzemeler tıp, eczacılık, tekstil, filtrasyon, enerji, sensör, biyomühendislik sistemleri gibi birçok uygulama alanına sahiptir (Çelebioğlu ve ark., 2010).

Elektrospın sistemi üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler yüksek voltaj kaynağı, içinde çözeltinin bulunduğu iğne ve oluşan nanofiberleri toplayan toplacıdır. Elektrospın yönteminde yüksek voltaj kaynağında alternatif akım da kullanılmasına karşın genellikle doğru akım kullanılmaktadır. 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 eşit olarak dağılır. Elektrospın işleminde iğne ağzından çıkan polimer damlacığına etki eden kuvvetleri yerçekimi, yüzey gerilmesi ve elektriksel gerilme kuvvetleri olarak sıralayabiliriz. Bu kuvvetler birbirini dengelemesiyle metalik iğne ucunda Taylor konisi oluşur ve 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 nanofiber çapı mikrometre seviyesinden yüz nanometre gibi küçük değerlere düşer ve böylece nanometre mertebesinde sürekli nanofiberler elde edilir (Süslü, 2009). Elektrospın işleminin şematik görünümü Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Elektrospın işleminin şematik gösterimi (Kozanoğlu, 2006)



### 3.2.1. Elektrosprin ile nanofiber üretimine etki eden parametreler

Elektrosprin cihazı ile nanofiber üretilmesinde etki eden 3 parametre bulunmaktadır. Bunlar;

- Çözültiden kaynaklanan,
- Prosesten kaynaklanan,
- Çevresel faktörlerden kaynaklanan parametrelerdir (Süslü, 2009).

Çözültiden kaynaklanan parametreler; moleküler ağırlık ve viskozite, yüzey gerilimi, elektrik iletkenliği ve çözücünün dielektrik sabitinden kaynaklanan parametrelerin tamamıdır. Prosesten kaynaklanan parametreler; elektrosprin işleminde uygulanan voltaj, besleme hızı, çözültinin sıcaklığı ve toplaç ile iğne ucu arasındaki mesafeden kaynaklanan parametrelerdir. Çevre koşullarından kaynaklanan parametreler ise sıcaklık, nem ve diğer atmosfer şartlarından kaynaklanan parametrelerdir (Süslü, 2009).

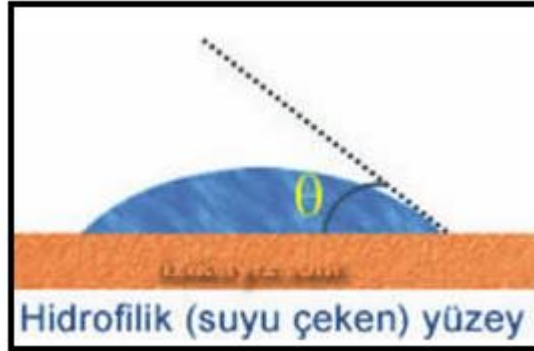
Çözültinin moleküler ağırlığının artması veya azalması elektrosprin yöntemiyle nanofiber üretme işleminde kaydedeğer bir öneme sahiptir. Moleküler ağırlığı yüksek olan polimerlerden nanofiber çapları daha büyük olan fiberler elde edilirken moleküler ağırlığı düşük olan polimerlerden daha ince fiberler elde edilmektedir. Çözültinin yüzey gerilimi ise işlemi etkileyen bir başka alt parametredir. Çok yüksek yüzey gerilimi olmamalıdır. Polimerin yüzey gerilimini açacak yük elektrosprin cihazı tarafından uygulanmalıdır. Çözücü moleküllerinin konsantrasyonunun yüksek olduğu bölgelerde yüzey gerilimi kuvveti etkisi ile moleküller bir araya toplanarak küresel şekil meydana getirirler. Yüksek viskoziteye sahip çözültide çözücü molekülleri ile polimer molekülleri arasındaki etkileşim nedeni ile boncuk oluşumu engellenmiş olur. Çözültinin elektrik iletkenliği nanofiber çapını yüksek oranda etkileyen parametrelerdendir. Bu sebepten dolayı çözültinin elektriksel iletkenliği elektrosprin işlemi sırasında çözültinin hareketini etkiler. Bazı çalışmalarda iyonik tuzların çözültiye ilave edilmesiyle çözültilerden boncuksuz bir yapı ve daha ince çapta nanofiberler oluştuğu görülmüştür. Çözülti içerisine iyonların ilave edilmesi veya çözültide iyonların bulunması çözültinin iletkenliğini artırır ve elektrosprin işlemi ile nanofiber üretimi için gerekli kritik voltajın azalması yönünde etki eder. Çözücünün dielektrik sabiti de elektrosprin işleminde ayırt edici etkiye sahiptir. Yüksek dielektrik özelliğe sahip çözültilerle üretilen nanofiberlerin boncuklu yapı oluşma olasılığı azdır ve üretilen nanofiberlerin çapları da küçüktür (Süslü, 2009).

Elektrospın ile nanofiber üretilirken 6 kV üzeri voltaj ile üretim yapılır. 6 kV elektrospın işlemi için eşik değeridir ve bu değerin altında Taylor konisi oluşmaz. Düzgün yapılı nanofiberler elde edebilmek için iğne ucundaki polimer damlacıkta Taylor konisi oluşması gerekir. Uygulanan gerilim yüzey gerilimini yenecek şekilde bir değere çıktığı zaman ince yüklü bir jet (Taylor konisi) oluşur ve bu jet bir yol içerisinde kıvrılarak nanofiberlerin oluşması sağlanır. Nanofiber oluşumunun üzerindeki bir diğer etki ise besleme hızıdır. Besleme oranı arttığında oluşan nanofiberlerin çapı ve nanofiberde boncuklu yapı oluşumu artmaktadır. Elektrospın işlemi ile nanofiber üretirken nanofiberlerin oluşması için polimer çözücüsünün buharlaşıp kaybolması gerekmektedir. Çözeltinin yüksek sıcaklığa sahip olması buharlaşma hızını artırdığından dolayı yüksek sıcaklığa sahip çözeltilerden daha düzgün yapıda nanofiberler elde edilir. Toplaç ile iğne ucu arasındaki mesafenin azalması jetin toplayıcıya ivmelenmesini sağlayacaktır. Toplaç ile iğne ucu arasındaki mesafe çok kısa ise nanofiber üzerinde boncuklu yapılar gözlenir. Mesafenin artması durumunda ortalama fiber çapında azalma meydana gelir ve bu mesafelerin çok fazla olması durumunda nanofiber üretimi gerçekleşmeyebilir. Bu yüzden nanofiber üretimi için toplaç ile iğne ucu arasındaki mesafe uygun seçilmelidir. Çevresel faktörlerden olan sıcaklık artışı çözücünün buharlaşmasını hızlandırdığından ve viskoziteyi düşürdüğünden dolayı daha homojen nanofiberler elde edilir. Çevresel faktörlerden bir diğeri olan nem, nanofiber üretimi sırasında fiber üzerinde su yoğunlaşabilir. Yüksek nem olması durumunda ise üretilen nanofiberlerde gözenekli nanofiber yapısı meydana gelmektedir. Yapılan alışmalar incelendiğinde, düşük nem oranlarında (% 50 nem oranının altında) retilen nanofiberlerin yüksek nem oranlarında (% 50 nem oranının üstünde) retilen nanofiberlere kıyasla daha düzgün fiberlerin elde edildiği görülmüştür (Süslü, 2009).

### **3.3. Hidrofilik/Hidrofobik Etkileşim**

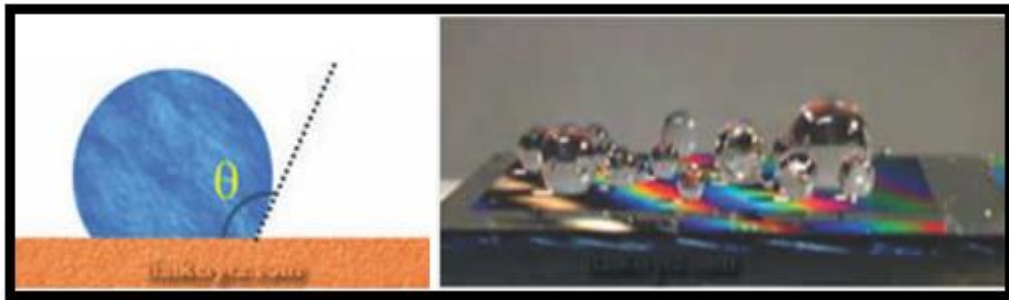
Suyu çeken yüzeyler hidrofilik olarak sınıflandırılırlar. Hidrofilik yüzeyler genellikle yüklüdür ve yapılarındaki polar grup sayesinde su moleküllerini ekerler. Su, iki tane hidrojen ve bunlara bağlı bir oksijen atomu sayesinde üçgen bir yapıya sahiptir. Oksijen eksi yüklü, hidrojen ise pozitif yüke sahiptir. Böylelikle, su molekülleri birbirine hidrojen bağlarıyla bağlıdırlar. Maddelerin hidrofilik özelliklerinden dolayı endüstride çok önemli kullanım alanları mevcuttur. Bunlardan bir tanesi hidrofilik membranlardır. Bu membranlar su moleküllerini çekerken, diğer polar olmayan

molekülleri, yağ, gres vb. iterek temiz bir yüzey sağlarlar. Hidrofilik yüzeylerin diğer kullanım alanlarına, kontak lens temizleyicileri, ıslak mendil ve çocuk bezleri örnek olarak gösterilebilir. Cam yüzeylerinin negatif yüklü ve boyutları yaklaşık 10 nm olan silika ( $\text{SiO}_2$ ) nanoparçacıkları ve uygun bir polikatyonla 14 tabaka kaplandıktan sonra kararlı ve süperhidrofilik bir yüzey elde edildiği, 2006 yılındaki bir yayınlarında Rubner ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir (Bilim ve Teknik, 2006).



Şekil 3.10. Hidrofilik yüzey (Bilim ve Teknik, 2017)

Suyu çekmeyen yüzeyler ise hidrofobik yüzeyler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Suyun yüzeye yaptığı temas açısının değişimine göre yüzeyin hidrofobik veya hidrofilik olmasının bir ölçüsüdür. Bu bağlamda, değme açısı arttıkça yüzeyin suyu çekmeme özelliğide artmakta ve süperhidrofobik bir yüzey olma yönünde yol alınmaktadır. Temas açısını etkileyen iki önemli faktörden bir tanesi yüzey pürüzlülüğü diğeri ise yüzey gerilimidir (Bilim ve Teknik, 2006).



Şekil 3.11. Hidrofobik yüzey (Bilim ve Teknik, 2017)

Yunancada “hydro” ‘su’, “phobos” ‘korku’, “philia” ise ‘arkadaşlık’ anlamına gelmektedir. Bunları sırası ile birleştirirsek hidrofobik sudan korkan, suyu sevmeyen; hidrofilik ise suyla arkadaş, suyu seven anlamına geliyor. Süperhidrofobik ve

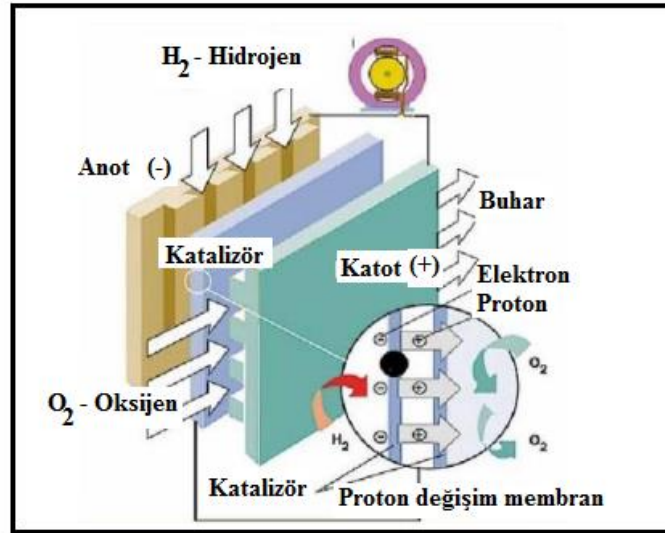
süperhidrofilik ise kelime anlamı olarak sudan nefret eden ve suyu çok seven anlamına gelmektedir. Bu yüzeyler suyla yaptıkları temas açısına göre adlandırılırlar. Temas açısı bir katının bir sıvı tarafından ıslatılma miktarının nicel ölçümüdür. Temas açısı, 90 dereceden küçükse sıvı yüzeyi ıslatıyor demektir. 90 dereceden büyükse ıslatmıyor denir. Su damlası yüzeyde yayılma eğilimi gösteriyorsa buna hidrofilik yüzey; damla yayılmak yerine küresel bir şekilde durma eğilimi gösteriyorsa hidrofobik yüzey adı verilir. Eğer yüzeyler bu eğilimleri çok fazla gösteriyorsa, yani su damlası tamamen yayılıyorsa ve yüzeyle yaptığı açı 5 dereceden küçükse (0 dereceye yaklaşıyorsa) buna süperhidrofilik; damla nerdeyse küresel bir şekilde duruyorsa ve yüzeyle yaptığı açı 150 dereceden büyükse (180 dereceye yaklaşıyorsa) süperhidrofobik yüzeyler denir (Bilim ve Teknik, 2017).

### 3.4. PEM Yakıt Hücresi

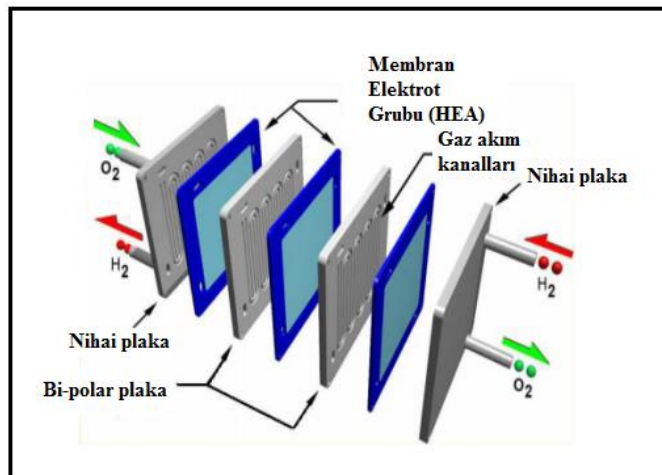
Yakıt hücreleri ile ilgili yapılan ilk çalışma, İngiliz bilim adamı William R. Grove tarafından 1839 yılında başlatılmıştır. Grove hücresi olarak adlandırılan ilk hücre, platin elektrotun çinko sülfat içerisine daldırılmasıyla oluşturulmuştur. Elde edilen voltaj ve akım değeri sırasıyla yaklaşık 1.8 volt civarında ve 12 amperlik akım üretilmiştir. Grove, birisi sülfürik asit kabına, diğeri ise oksijen ve hidrojen kabına daldırılan iki platin elektrotu düzenleyerek, elektrotlar arasında sabit bir akım akacağını keşfetmiş ve sızdırmazlığı sağlanan kaplar da hem suyu, hem de gazları tutmuştur. Grove, “felsefe dergisine” gönderdiği ilk yazısında yakıt hücresini tarif etmiştir. Daha sonraki yazılarında ise potasyum iyodür ve su çözeltisi ile gerçekleştirdiği ve birkaç pili seri olarak birbirine bağladığı yakıt hücresini tanıtarak, ve bir hidrojen-klor yakıt hücresinde, bazı yağların, eterlerin ve alkollerin hidrojenle birlikte kullanıldığında gerilim yaratacak çözümlerini sunmuştur. Yakıt hücreleri ile ilgili ilk çalışma 19. yüzyılın ortalarında yapılmasına rağmen sonraki yıllarda bunun elektrik üretiminde kullanılmayacağı gibi bir düşünce olduğu için bu konu ile ilgili çalışmalar duraklamıştır. 1950’lerin başlarında ise NASA çeşitli uzay çalışmalarında kullanmak için yakıt hücresi teknolojisi ile ilgili projeleri desteklemeye başladı. NASA’nın bu hamlesi PEM yakıt hücrelerinin keşfedilmesine olanak sağlamıştır. PEM yakıt hücresi teknolojisi, 1960’ların başlarında General Electric’te Thomas Grubb ve Leonard Niedrach’ın çalışmaları sonucunda keşfedilmiştir. Bu dönemde, General Electric, Amerikan ordusuna ait şirketler ile yürüttüğü proje kapsamında geliştirdiği küçük PEM

yakıt hücresi ile ilk başarısını dünyaya duyurmuştur. Geliştirilen bu ilk yakıt hücresi, su ve lityum hidrat karışımının ürettiği hidrojen ile çalışmaktaydı. Bu yakıt karışımı, kullanıldıktan sonra atılabilen ve hizmetteki personele kolaylıkla ulaştırılabilen metal bir kap içerisinde tutuluyordu. Fakat bu hücrede katalizör olarak oldukça pahalı bir element olan platin kullanılmıştır. Yakıt hücresi, membran elektrot biriminden (MEA) ve akış alanı plakalarından oluşur. Membran elektrolit birimi, anot, katot ve elektrolitten oluşur. MEA, grafitten yapılmış iki akış alanı plakası arasına yerleştirilir. Bu plakalardaki kanallar sayesinde MEA'da karşı taraflara yakıt ve hava geçişini sağlar. PEM yakıt hücrelerinden elde edilen güç miktarı, hücre sayısı ve yakıt hücresi modelinin kısıtlamalarına göre değişmektedir. Model kısıtlamaları, PEM yakıt hücresini oluşturan parçaların tasarımı ve bu parçalar ile kullanılan yakıt ve oksitleyicinin madde özelliklerine bağlıdır (Özveren, 2006).

Yakıt hücresi, hidrojeni elektrik enerjisine çeviren sistemdir. Yakıt hücresinde, hidrojen oksijen ile elektrokimyasal işlemler ile birleştirilerek elektrik akımı elde edilir. Yanma olmadığından dolayı egzoz gazı oluşmaz. Bunun sonucu olarak yakıt pilleri çevreyi kirliletmeyen temiz ve çevre dostu bir enerji üretim kaynağıdır. PEM yakıt hücreleri hareketli parça içermediklerinden dolayı kullanılan parçalar aşınmazlar. Oldukça sessiz çalışmakta olan bu sistemler çevreye herhangi bir atık bırakmazlar. Bu sistemlerin verimlilikleri yaklaşık % 50 civarındadır. Hassas çalışma koşullarında (90°C'ye ve 600 kPa'a kadar) çalışırlar. PEM yakıt hücreleri düşük güç seviyelerinde maksimum verimliliğe ulaşabilmektedirler ve verimlilik gücün artırılmasıyla lineer olarak azalmaktadır. Proton değişim membran yakıt hücreleri, özellikle yüksek performanslı polimerlerin bulunmasından sonra; uzay çalışmalarında ve özel askeri sistemlerde uygulanmak amacıyla geliştirilmiştir. Proton değişim membran yakıt hücreleri çalışma sıcaklığı düşük olduğunda yüksek verim sağlaması, oldukça sessiz çalışması ve herhangi bir atık (saf suyun dışında) ortaya çıkarmamasından dolayı en çok ilgi çeken yakıt hücresi türüdür. PEM yakıt hücrelerinin en önemli elemanı polimerik membrandır. Bu yüzden yakıt hücreleriyle ilgili yapılan çalışmaların başında polimerik membranların iyileştirilmesi ile ilgili olan çalışmalar yer almaktadır. Günümüzde ticari olarak kullanılan membranların çeşitliliğinin az ve fiyatlarının yüksek olmasından dolayı alternatif membranların geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar oldukça hızlanmıştır (Dincer, 2013).



Şekil 3.12. Proton değişim membran yakıt hücresi şematik diyagramı (Dincer, 2013)



Şekil 3.13. Bir yakıt hücresi yığını ve elemanlarının detaylı görünümü (Dincer, 2013)

### 3.4.1. PEM yakıt hücresinin avantajları

PEM yakıt hücrelerinin verimleri termal enerji sistemlerin verimleri ile kıyaslandığında termal enerji sistemlerinin verimlerine göre daha yüksek verimle çalışırlar. Termal sistemlerden elektrik üretiminde, sistemin verimi Carnot çevrim kriterlerinden etkilenirken, yakıt hücrelerinde bu etkileşim yoktur. İçten yanmalı sistemlerin verimi %35-40'ı geçmezken, PEM yakıt hücrelerinde %70'e yakın verime ulaşabilmektedir. PEM yakıt hücrelerinin en önemli üstünlüklerinden biri ise hareketli aksamının bulunmaması ve buna bağlı olarak parçalarının aşınmamasıdır. Hareketli

parçasının olmamasının bir başka sonucu ise yakıt hücrelerinde, gürültü kirliliği oluşmamasıdır. Ayrıca yakıt hücrelerinin kullanımının kolaylığı nedeniyle fosil yakıt teknolojisi ve diğer alternatif enerji sistemlerine göre çok farklı alanlarda kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Yakıt hücrelerinde meydana gelen emisyon miktarı, diğer yakıtlar ile kıyaslandığında ihmal edilecek kadar azdır. Yan ürün olarak sadece su oluşmaktadır. Yakıt hücrelerinde CO, yanmamış hidrokarbonlar ve kirlenici diğer maddeler oluşmazken oksitleyici olarak hava kullanıldığında ihmal edilecek kadar az miktarda azot oksitler oluşur. PEM yakıt hücreleri istenilen büyüklükte ve kapasitede üretilebilir. Basit bir yapıya sahiptirler. Büyüklüklerine göre birkaç Watt'tan 250 kW'a kadar olan bir güç yelpazesine sahiptirler. Boyutları bir kibrit kutusu kadar küçük veya buzdolabı kadar büyük olabilmektedir (Özveren, 2006).

### 3.4.2. PEM yakıt hücresinin dezavantajları

PEM yakıt hücreleri, üzerinde çalışılması gereken, çok fazla bilgi ve ileri teknoloji gerektiren sistemlerdir. Bunun sonucu olarak yakıt hücrelerinin üretim maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca yakıt hücrelerin gelişim aşamasında olması diğer enerji kaynaklarına göre PEM yakıt hücrelerinin maliyetinin yüksek olmasının yanında ticari olarak da kullanım zorluğu oluşturmaktadır. Maliyetlerin düşürülmesi dışında PEM yakıt hücreleri için teknik yöndeki kısıtlamalar henüz aşılabilmiş değildir. PEM yakıt hücrelerindeki teknik kısıtlamalar;

- Yakıt hücresinin CO karşı toleransı,
- Membrandaki su miktarının kontrolü,
- Yakıt hücresinin ısı entegrasyonu, PEM yakıt hücreleri için hidrojenin taşınması ve depolanmasına yönelik genel bir çözüm bulunamamıştır. Çalışmalar hızla sürmesine rağmen hala hidrojenin birim fiyatı kullanıcılar için fosil yakıtların çok üzerindedir (Özveren, 2006).

#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tezin amacı, elektro-eğirme metodu ile üretilen Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenlikleri ve hidrofobik/hidrofilik etkileşiminin incelenmesidir. Bu amaca yönelik yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

- Gümüş veya platin nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin, proses parametrelerinin kontrol kolaylığından dolayı farklı parametreler ile elektrospon yöntemi ile üretilmesi.
- Üretilmiş nanofiberlerin üretim parametrelerinin morfolojik yapılarının üzerindeki etkisinin araştırılması (Taramalı Elektron Mikroskobu SEM ile),
- Bu aşamadan sonra, üretilen en iyi yapıdaki nanofibere, ağırlıkça değişik (% 1, 3, 5) oranlarda gümüş veya platin nanopartiküller eklendiğinde, morfolojik yapılarına etkisinin incelenmesi (SEM analizleri ile),
- XRD, EDX, statik yüzey temas açısı analizlerinin yapılması,
- Ag veya Pt nanopartiküllü PVA nanofiberlerin ısıl iletim katsayılarının tespitinin ısıl iletim katsayısı tespiti cihazı ile belirlenmesi,
- Elektriksel iletkenlik performanslarının, hidrofobik/hidrofilik etkileşiminin üzerindeki etkisinin araştırılması,
- En yüksek elektriksel iletkenliğe sahip kombinasyondaki yapının PEM yakıt hücresi için (güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre) test edilmesidir.

##### 4.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihaz ve Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan cihazlar, kimyasal maddeler ve laboratuvar ekipmanları Çizelge 4.1’de sunulmuştur.



**Çizelge 4.1.** Bu çalışmada kullanılan cihazlar, kimyasal maddeler ve laboratuvar ekipmanları

Kullanılan cihazlar	Kullanılan kimyasal maddeler	Kullanılan laboratuvar ekipmanları
Elektrospin cihazı Isıl iletim katsayısı cihazı XRD cihazı SEM cihazı Statik yüzey temas açısı ölçüm cihazı Manyetik karıştırıcı Ultrasonik karıştırıcı TEM cihazı PEM yakıt hücresi performansı ölçüm cihazı Elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı Hassas terazi	Saf su PVA (polivinilalkol) SDS (sodyum dodesil sülfat) Ag nanopartikül Pt nanopartikül DMF (dimetilformamid) Kloroform Aseton	Makas Eldiven Şırınga Beher Maske

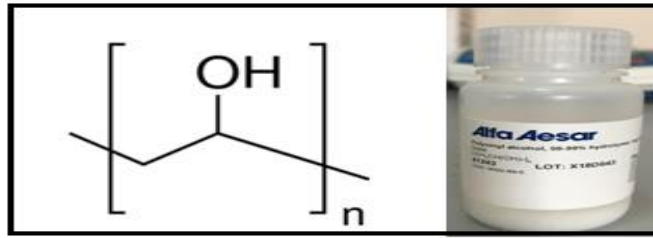
#### 4.1.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler

Bu çalışmada, Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberlerin üretilmesi için PVA, sodyum dodesil sülfat (SDS), Ag nanopartikül, Pt nanopartikül, dimetil formamid (DMF), aseton ve kloroform kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemelerin özellikleri aşağıda sunulmuştur.

##### 4.1.1.1. PVA

Polivinil alkol suda çözünür bir polimerdir. Bir polivinil esterinin (polivinil asetat) hidroliziyle hazırlanır. Diğer reçinelerin hazırlığı için bir başlangıç maddesi olarak kullanılır. Süngerlerin üretiminde kullanılan elastomerlerin bir komponenti olarak kullanılabilir. Polivinil alkol, gözlerdeki göz yaşının doğal filmi kalınlaştırır(Anonim, 2013).

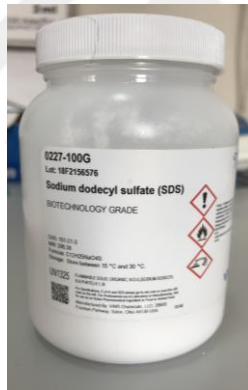
Bu çalışmadaki kullanılan “ Polivinilalkol, 98-99 % hidrolize, yüksek moleküler ağırlıklı (ortalama 88,000-97,000 g/mol)”, molekül formülü  $[-CH_2CH(OH)-]_n$  olan 25 gram PVA polimeri Alfa Aesar firmasından satın alınmıştır. Şekil 4.1’de Deneysel çalışmalarda kullanılan PVA ve PVA’nın kimyasal formülü gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan PVA ve PVA'nın iskelet formülü (Anonim, 2019)

#### 4.1.1.2. Sodyum dodesil sülfat (SDS)

Bu tez çalışmasında çözeltinin yüzey gerilimini düşürmek için sodyum dodesil sülfat kullanılmıştır ve SDS Biotechnology Grade'den satın alınmıştır (Şekil 4.2). SDS, 0227-100G Lot: 18F2156576 molekül formülü  $C_{12}H_{25}NaO_4S$  ve depolama sıcaklığı yaklaşık olarak 15 °C ile 30 °C arasında, moleküler ağırlığı 288,38 g/mol'dür.



Şekil 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan SDS

#### 4.1.1.3. Ag nanopartikül

Gümüş nanopartiküller birbirine metalik olarak bağlanmış gümüş atomlarından oluşan nano boyutlu yapılardan oluşmaktadır. Nano boyutta partiküller daha farklı fiziksel, optik ve kimyasal özellikler sergilemektedir (Anonim, 2016). Bu çalışmada kullanılan "Ag (gümüş) nanopartikül, 99,995 %, 18 nm, metal kökenli" Nanografi firmasından 5 gram Ag nanopartikül satın alınmıştır. Alınan bu Ag nanopartiküller en iyi yapıdaki PVA nanofibere katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan Ag nanopartikül Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan Ag nanopartikül

#### 4.1.1.4. Pt nanopartikül

Periyodik cetvelde Pt simgesi ile gösterilen kimyasal bir element olan platin, yumuşak, işlenebilir, grimsi ve beyaz renkli kıymetli bir metaldir. Platin son derecede bulunur ve altından daha kıymetlidir. İnsanlık tarihinde şu ana kadar üretilen 150000 ton altına karşın platin sadece 4200 tondur. Bu çalışmada kullanılan Pt nanopartikül Nanografi firmasından alınmıştır. Nanografi firmasından alınan “Platin, % 99,9; 15 nm” 1,4 gram Pt nanopartiküller en iyi yapıdaki PVA nanofibere katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan Pt nanopartikül Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan Pt nanopartikül

#### 4.1.1.5. Dimetilformamid (DMF)

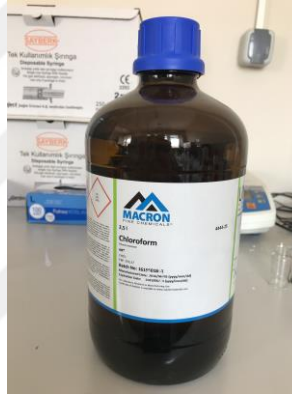
Sigma Aldrich firmasından alınan “227056-1L Lot # STBG6899 N,N-Dimetilformamid, susuz, % 99,8” DMF başlangıçta PVA’nın çözücüsünü tespit etmek için yapılan deneylerde kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil4.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan DMF

#### 4.1.1.6. Kloroform

Macron firmasından alınan molekül formülü  $\text{CHCl}_3$  olan kloroform, PVA'nın çözücüsünü bulmak için yapılan deneylerde kullanılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan kloroform

#### 4.1.1.7. Aseton

Konya Teknik Üniversitesi Kompozit Malzemeler Laboratuvarı'ndan tedarik edilen molekül formülü  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ , % 99,5 saflıkta, moleküler ağırlığı 58,08 g/mol olan aseton başlangıçta yapılan PVA'nın çözücüsünü bulmak için yapılan deneylerde kullanılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Deneysel çalışmalarda kullanılan aseton

#### 4.1.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar

Bu çalışmada Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberlerin üretilmesi için elektrospın cihazı, SEM cihazı, ısıl iletim katsayısı ölçüm cihazı, statik yüzey temas açısı ölçüm cihazı, X-ışınları difraksiyonu (XRD) cihazı , PEM yakıt hücresi performansı ölçüm cihazı, manyetik karıştırıcı, ultrasonik karıştırıcı, geçirimli elektron mikroskobu (TEM), dört nokta elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kullanılan bu cihazlara ait bilgiler aşağıda sunulmuştur.

##### 4.1.2.1. Elektrospın cihazı

Nanofiber elde etmekte en sık kullanılan yöntem olan elektrospınlemede, genel olarak, erimiş veya çözülmüş halde bulunan polimer çözeltisi besleme ünitesine konularak küçük bir metal uçtan geçirilir. Yüksek gerilim güç kaynağı vasıtasıyla metal uç ile toplayıcı yüzey arasında elektriksel alan oluşturularak yüklü polimer çözeltisi veya eriyiğin topraklanmış toplayıcı yüzeye doğru hareket etmesi sağlanır (Söylemez, 2016).

Elektrospın cihazının şematik gösterimi ve deneysel çalışmalarda katkısız ve Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberler üretmek için kullanılan elektrospın cihazı Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Deneysel çalışmalarda kullanılan elektrospın cihazı

#### 4.1.2.2. SEM cihazı

Taramalı elektron mikroskobisi, bir elektron demetinin ilgilenilen örnek boyunca taranması ve bu örnekten saçılan elektronların algılanıp görüntü haline getirilmesi şeklinde uygulanan topografik bir inceleme yöntemidir. Elektron demetini nm boyutunda odaklamak mümkün olduğundan, bu yöntemin sağladığı çözünürlük ve detay çok yüksektir. Çözme gücü, çözme derinliği ve büyütme gibi avantajlar sağlayan bu mikroskop dezavantaj olarak ise fiyatının yüksek olması ve sarf malzeme masrafları söylenebilir. Bu cihazın kullanım alanları topografi ,morfolojik yapının tespiti, şekil boyut analizi, kimyasal analiz olarak belirtilmektedir. (Yılmaz, 2013). Üretilen nanofiberlerin çapları, Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (İLTEK)'te bulunan Zeiss Evo LS10 taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Deneysel çalışmalarda kullanılan SEM cihazı (Anonim, 2019)

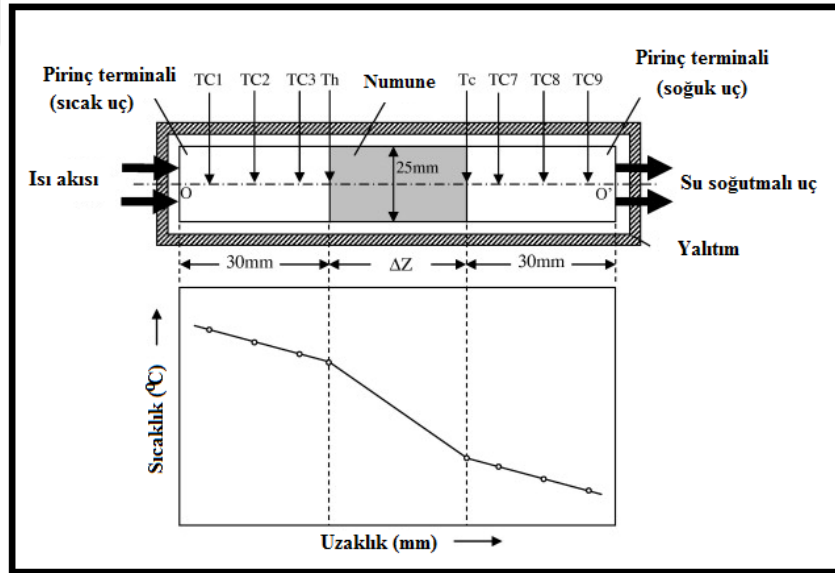
#### 4.1.2.3. Nanofiberlerin ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı

Ağırlıkça % 1, 3, 5 Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberlerin ısı iletkenlik katsayılarını belirlemek için P.A. Hilton H-940 markalı ısı iletkenlik ölçme cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Isıl iletim katsayısı ölçüm cihazı

Sisteme verilen 6, 8, 10 Watt güç değerine bağlı olarak farklı 6 noktadan ölçülen sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Cihaz üzerindeki proplar  $T_{C1}, T_{C2}, T_{C3}, T_{C7}, T_{C8}, T_{C9}$ 'a bağlanmıştır.  $T_h$  değeri  $T_1-T_3$  değerlerinden interpolasyon yapılarak bulunurken,  $T_c$  değeri  $T_7-T_9$  değerlerinden interpolasyon yapılarak bulunmuştur. Isıl iletkenlik katsayısı ölçülmesi istenen nanofiberler, 25 mm çapında kesilmiş ve soğuk ve sıcak uç arasına yerleştirilmiştir. Oluşan sıcaklık değerleri her bir numune için ayrı ayrı yapılmış ve kaydedilmiştir.



Şekil 4.11. Isıl iletkenlik ölçüm cihazının şematik görünümü (Bahaulddın, 2019)

#### 4.1.2.4. Statik yüzey temas açısı ölçüm cihazı

Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberlerinin hidrofobik, hidrofilik özellikleri Dataphysics instruments GmbH, model OCA 15EC, sürüm 1.3 cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Temas açısı ölçüm cihazı(Anonim, 2019)

#### 4.1.2.5. X-ışınları difraksiyonu (XRD) cihazı

XRD cihazı Selçuk Üniversitesi İLTEK'te bulunan D8 Advance marka difraktometre kullanılarak numunelerin kristal yapısı tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. XRD analiz cihazı (Anonim, 2019)



#### 4.1.2.6. PEM yakıt hücresi performansı ölçüm cihazı

Bu çalışmada, üretilen Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberlerden en yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olan nanofiberin PEM yakıt hücresi performansı belirlenmiştir. PEM yakıt hücresi performansı ölçümü TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Enerji Enstitüsü Yakıt Pili Teknolojileri Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu çalışmada, gaz difüzyon tabakası Toray 120'dir.

#### 4.1.2.7. Manyetik karıştırıcı

Yapılan deneysel çalışmalarda çeşitli oranlarda karıştırılan saf su, PVA, Ag nanopartikül, Pt nanopartikül ve SDS Konya Teknik Üniversitesi, A-325 Laboratuvarı'nda bulunan manyetik karıştırıcıda, karışım homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Deneysel çalışmalarda kullanılan manyetik karıştırıcı

#### 4.1.2.8. Ultrasonik karıştırıcı

Bu tez kapsamındaki, deneysel çalışmalarda, çeşitli oranlarda karıştırılan saf su, PVA, Ag nanopartikül, Pt nanopartikül ve SDS'li karışımlar homojen hale gelinceye kadar, Konya Teknik Üniversitesi, Kompozit Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Deneysel çalışmalarda kullanılan ultrasonik karıştırıcı

#### 4.1.2.9. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM)

Geçirimli Elektron Mikroskobu veya TEM (Transmission Electron Microscope) çok ince bir örnek içinden geçirilen yüksek enerjili elektronların görüntülenmesi prensibine dayanır. Elektronların örnek ile etkileşimleri sonucu oluşan görüntü büyültülür ve floresans ekran, fotoğrafik film katmanı ya da CCD kamera gibi bir sensör üzerine odaklanır (Anonim, 2019).



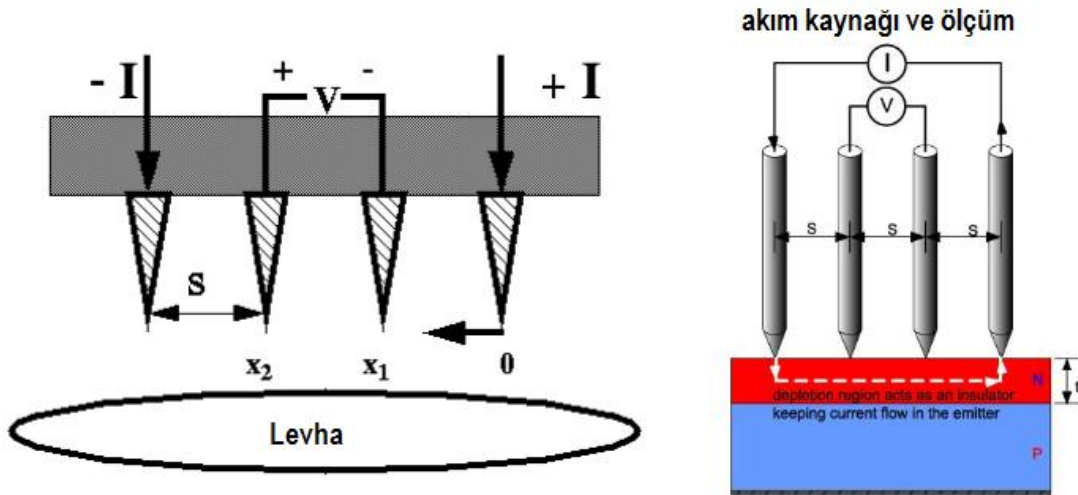
Şekil 4.16. Deneysel çalışmaların TEM analizlerinde kullanılan geçirimli elektron mikroskobu (Anonim, 2019)

#### 4.1.2.10. Dört nokta elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı

Elektrospın cihazı ile üretilen Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenliklerinin ölçümü Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği laboratuvarında bulunan “ENTEK FPP-460 4 Nokta Elektriksel İletkenlik Ölçüm Cihazı” ile yapılmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı ENTEK FPP-460 dört nokta prob cihazı (Anonim, 2018)



Şekil 4.18. Dört nokta elektriksel iletkenlik ölçüm tekniğinin şematik gösterimi (Pekdemir, 2016)

İnce malzemelerin dirençlerinin ölçümü dört nokta elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı ile yapılmaktadır. Aynı doğru üzerinde eşit aralıklarla dizilmiş dört adet metal probu elektriksel iletkenliği ölçülecek numunenin yüzeyine bastırılarak ölçüm yapılır (Şekil 4.18). İki dış uç arasında akım uygulanırken, voltaj değerleri iç iki noktadan belirlenir (Bahaulddın, 2019).

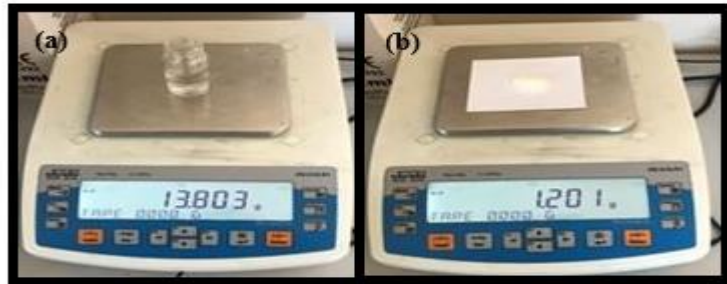
## 4.2. Deneysel Çalışmalar

PVA polimerini çözecek en iyi çözücüyü belirlemek için bazı deneyler yapılmıştır. PVA polimerinin çözücüsünü belirlemek için yapılan deneylerde, çözücü olarak DMF, aseton, kloroform ve saf su kullanılmıştır. DMF, aseton ve kloroform PVA'yı homojen bir şekilde çözmezken saf su PVA'yı homojen olarak çözdüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak, PVA'nın çözüsünün saf su olduğu gözlemlenmiştir ve deneyler saf su PVA karışımından oluşan çözeltilerle, Ag veya Pt katkılı ve katkısız PVA nanofiberler üretilmiştir. PVA nanofiber, Ag nanopartiküllü PVA nanofiber ve Pt nanopartiküllü PVA nanofiberin üretimi aşağıda açıklanmıştır.

### 4.2.1. PVA nanofiberin üretimi

Deneysel çalışmalarda uygulanan işlemler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- PVA çözetilerinin hazırlanması için ilk olarak çözeltideki PVA ve saf su miktarları hesaplanmıştır. Örneğin; deney numarası 1 için ağırlıkça % 92 saf su ve % 8 PVA kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 4.19).



**Şekil 4.19.** PVA çözeltilerinin hazırlanması

(a) Saf suyun tartılması (b) PVA'nın tartılması

- PVA + saf su çözeltisi ultrasonik karıştırıcıda homojen bir karışım olana kadar karıştırılmıştır (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20.** Ultrasonik karıştırıcı

- Karıştırılan çözelti ısındığından dolayı oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir.
- Çözeltinin yüzey gerilimini azaltmak için, her bir gram çözeltinin içerisine, konsantrasyon oranı ağırlıkça % 1 olan SDS çözeltisi şırınga ile ilave edilmiş ve çözelti manyetik karıştırıcıda 20 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra çözelti oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.
- Çözeltiden 2 mL olacak şekilde şırıngaya çekilerek elektrospin cihazının teflon aparatına yerleştirilmiştir.
- Şırıngaya çekilen çözelti cihazda yerine bağlandıktan sonra pozitif polarizasyon ucu ve negatif polarizasyon ucu sırasıyla şırınganın ucundaki iğneye ve toplaca bağlanmıştır.
- Şırınga iğnesi ile toplaç arasındaki mesafe, Çizelge 4.2’de belirlenen mesafe değerine göre ayarlanmış ve iğne ucu toplacın tam ortasında olacak şekilde hizalanmıştır (Şekil 4.21).

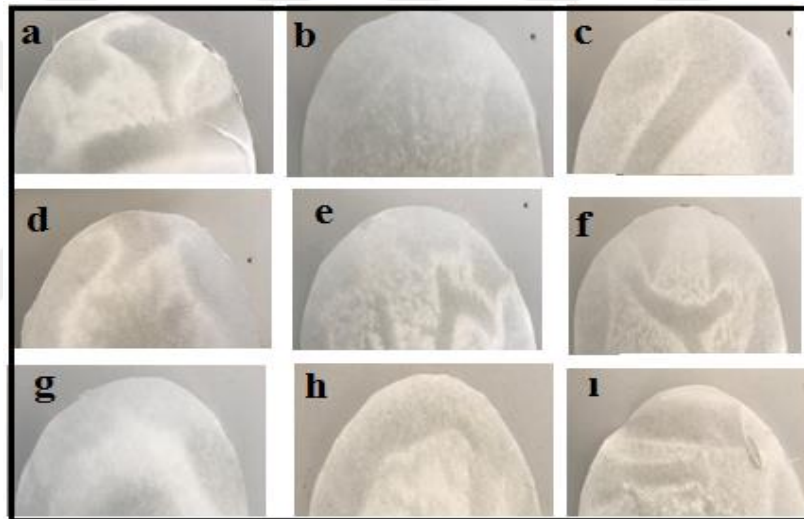


**Şekil 4.21.** Toplaç ile şırınga arasındaki mesafenin ayarlanmış durumu için cihazın üstten görünüşü

- Sonra, besleme miktarı, gerilim değeri, Çizelge 4.2’de belirlenen değerlere göre, elektrospin cihazına uygun değerler girilip PVA nanofiberlerin üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.22).

Çizelge 4.2. PVA nanofiberlerin üretim parametreleri

Sıra No	Kodlama	Konsantrasyon oranı (% ağırlıkça)	Gerilim (kV)	Besleme miktarı (mL/h)	Mesafe (cm)
1	PVA1	8	15	1	11
2	PVA2	8	20	1,5	13
3	PVA 3	8	25	2	15
4	PVA 4	10	15	1,5	15
5	PVA 5	10	20	2	11
6	PVA 6	10	25	1	13
7	PVA 7	12	15	2	13
8	PVA 8	12	20	1	15
9	PVA 9	12	25	1,5	11



Şekil 4.22. Üretilen PVA nanofiberler  
(a) PVA1 (b) PVA2 (c) PVA3 (d) PVA4 (e) PVA5 (f) PVA6  
(g) PVA7 (h) PVA8 (i) PVA9

#### 4.2.2. Ag nanopartikül katkı PVA nanofiberlerin üretimi

Homojen yapıda üretilen PVA'ya, ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında Ag nanopartikül eklenerek Ag nanopartiküllü PVA nanofiberler üretilmiştir. Homojen yapıdaki PVA nanofiberi belirlemek için Bölüm 4.2.1'de üretilen PVA nanofiberlerin SEM analizleri yapılmıştır. SEM analizi sonuçlarına göre PVA4 kodlu numunede homojen yapıda PVA nanofiber üretildiği tespit edilmiş ve bu deneyin parametreleri ile Ag nanopartikül katkı (ağırlıkça % 1, 3, 5) PVA nanofiberler üretilmeye çalışılmıştır.

PVA4 kodlu numunenin üretim parametreleri; konsantrasyon oranı %10 (ağırlıkça), gerilim 15 kV, besleme miktarı 1.5 mL/h ve toplaç ile iğne ucu arasındaki mesafe ise 15 cm'dir (Çizelge 4.2). Ag nanopartikül katkılı (ağırlıkça % 1, 3, 5) PVA nanofiberlerin üretimi aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Ağırlıkça %10 konsantrasyon oranında PVA nanofiber Bölüm 4.2.1'deki gibi hazırlanmıştır.
- Hazırlanan çözeltinin soğuması için oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir.
- Hazırlanan her bir gram PVA + saf su çözeltisi için % 1'lik SDS çözeltisinden şırınganın iğnesi ile çözeltiliye 1 damla olacak şekilde damlatılmıştır.
- Çözeltiye ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında Ag nanopartikül ilave edilerek manyetik karıştırıcıda homojen bir karışım oluncaya kadar karıştırılmıştır (Şekil 4.23).



**Şekil 4.23.** PVA + saf su çözeltisi ve %3 oranında Ag nanopartikülün tartılması  
(a) PVA + saf su çözeltisi (b) % 3 Ag nanopartikül

- Isınan karışımın soğuması için oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir.
- Oda sıcaklığına gelen karışım şırıngaya 2 mL çekilerek elektrospın cihazının teflon aparatına takılmıştır.
- Elektrospın cihazının parametreleri Bölüm 4.2.1'deki üretilen 4 numaralı deneyin parametreleri olan konsantrasyon oranı % 10 (ağırlıkça), gerilim 15 kV, besleme miktarı 1,5 mL/h ve toplaç ile iğne ucu arasındaki mesafe ise 15 cm olacak şekilde ayarlanarak elektrospın cihazı çalıştırılmıştır.

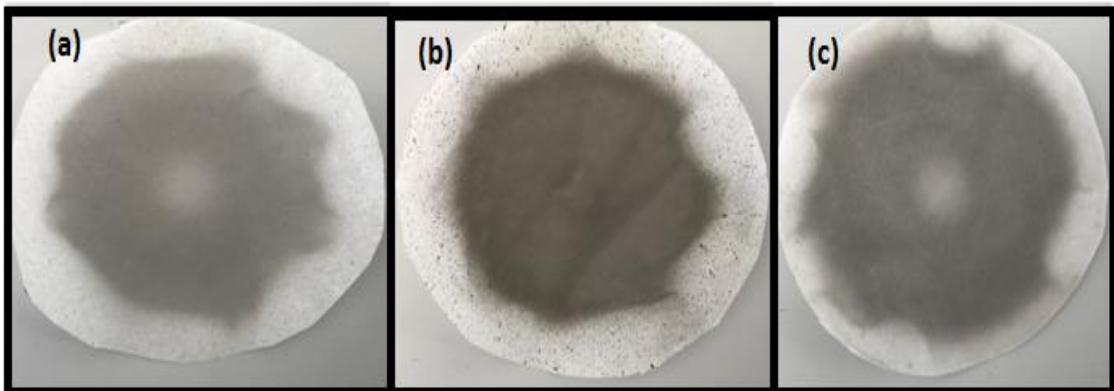


- Yaklaşık 45 dakika sonra elektrospın cihazı kontrol edildiğinde Şekil 4.24'de de görüldüğü gibi çözeltinin toplaç üzerine elektrospınlenemediği ve toplaç üzerinde nanofiber üretilemediği tespit edilmiştir.



**Şekil 4.24.** Homojen yapıdaki PVA nanofiberin üretim parametreleri ile üretilmiş Ag nanopartiküllü PVA nanofiberin görünüşü

- Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin PVA4 kodlu nanofiberlerin üretim parametreleri ile üretilmemesi üzerine Ag katkılı PVA nanofiberi üniform yapıda üretmek için yeni parametreler belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır (Bkz\_ Ek-1). Yapılan bu deneylerde konsantrasyon oranı (% 10) sabit tutularak gerilim, iğne ucu ile toplaç arasındaki mesafe ve besleme miktarları değiştirilerek yapılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmaların sonucunda, ağırlıkça % 1, 3, 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin üretim parametreleri gerilim 18 kV, besleme miktarı 0,9 mL/h ve iğne ucu ile toplaç arasındaki mesafe 11 cm olduğunda, ağırlıkça % 1, 3, 5 Ag katkılı PVA nanofiberlerin üretildiği tespit edilmiştir (Şekil 4.25).



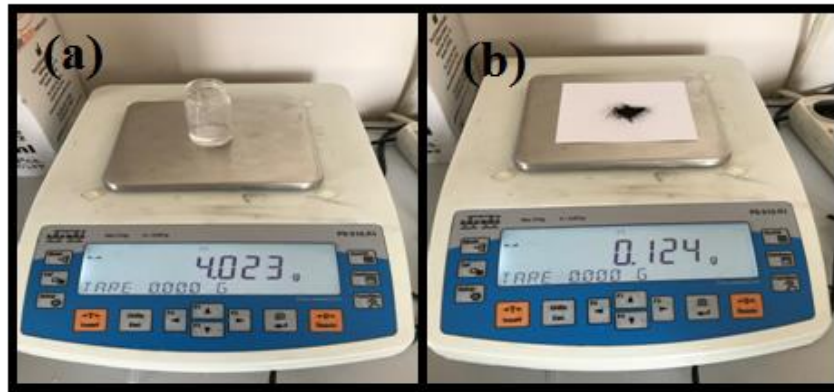
**Şekil 4.25.** Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberler  
 (a) % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber (b) % 3 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber  
 (c) % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber



### 4.2.3. Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin üretimi

Homojen yapıda üretilen PVA nanofiberlere ağırlıkça % 1, 3, 5 Pt nanopartikül ilave edilerek Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberler üretilmiş ve üretim aşamaları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

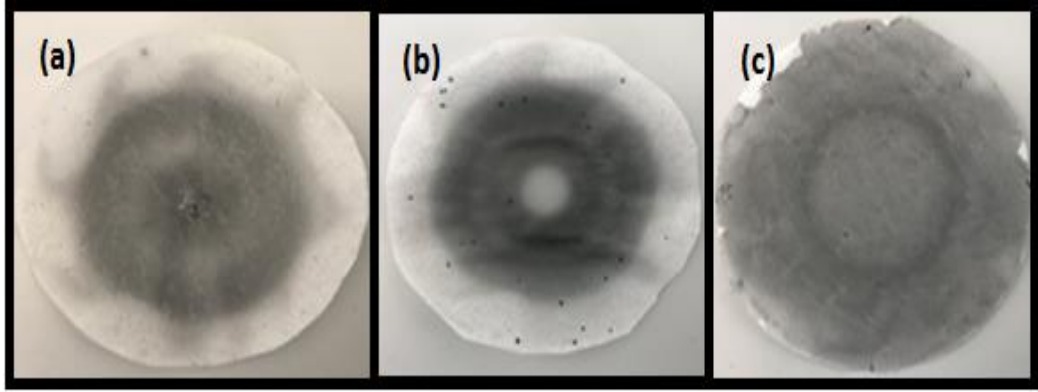
- Ağırlıkça % 10 konsantrasyon oranındaki PVA nanofiber, Bölüm 4.2.1'deki gibi hazırlanmıştır.
- Hazırlanan çözeltinin soğuması için oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir.
- Hazırlanan her bir gram PVA + saf su çözeltisi için % 1'lik SDS çözeltisinden şırınganın iğnesi ile 1 damla olacak şekilde çözeltiyeye damlatılmıştır.
- Çözeltiyeye ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında Pt nanopartikül ilave edilerek manyetik karıştırıcıda homojen bir karışım oluncaya kadar karıştırılmıştır (Şekil 4.26).



**Şekil 4.26.** PVA + saf su çözeltisi ve %3 oranında Pt nanopartikülün tartılması  
(a) PVA + saf su (b) İlave edilecek % 3 Pt nanopartikül

- Isınan karışımın soğuması için oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir.
- Oda sıcaklığına gelen karışım şırıngaya 2 mL çekilerek elektrospin cihazının teflon aparatına takılmıştır.
- Elektrospin cihazının parametreleri Bölüm 4.2.1'deki üretilen 4 numaralı deneyin parametreleri olan konsantrasyon oranı % 10 (ağırlıkça), gerilim 15 kV, besleme miktarı 1,5 mL/h ve toplaç ile iğne ucu arasındaki mesafe ise 15 cm olarak ayarlanarak elektrospin cihazı çalıştırılmıştır.
- Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin PVA4 kodlu nanofiberin üretim parametreleri ve Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin üretim

parametreleri ile üretilememesi üzerine nanofiberi üniform yapıda üretmek için yeni parametreler belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerden sonra Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin yeni üretim parametreleri, gerilim 22 kV, besleme miktarı 1,1 mL/h, toplaç ile iğne ucu arasındaki mesafe ise 9 cm olarak tespit edilmiştir. % 1, 3, 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberler yeni belirlenen parametreler ile üretilmiştir (Şekil 4.27).



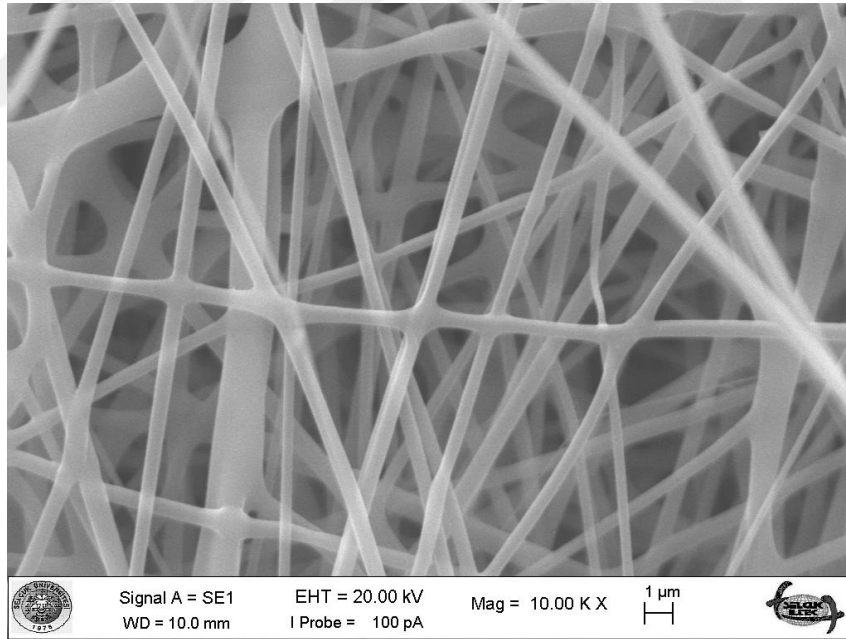
**Şekil 4.27.** Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberler  
(a) % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber (b) % 3 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber  
(c) % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber

## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

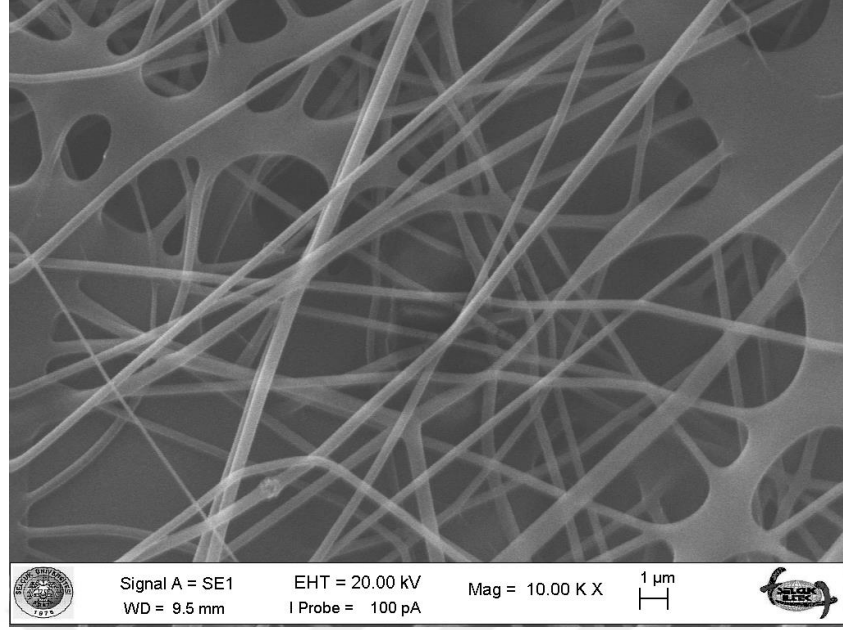
Bu çalışmada, elektrospın cihazı ile üretilen Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin SEM analizleri, EDX analizleri, XRD analizleri, hidrofilik/hidrofobik özelliğinin incelenmesi, TEM analizleri Selçuk Üniversitesi İLTEK'te; elektriksel iletkenlikleri, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Labaratuvarı'nda; ısıl iletim katsayıları, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Labaratuvarı'nda; PEM yakıt hücresi performansı ise TÜBİTAK MAM'da gerçekleştirilmiştir. Yapılmış olan analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

### 5.1. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Saf PVA Nanofiberlerin SEM Analizleri

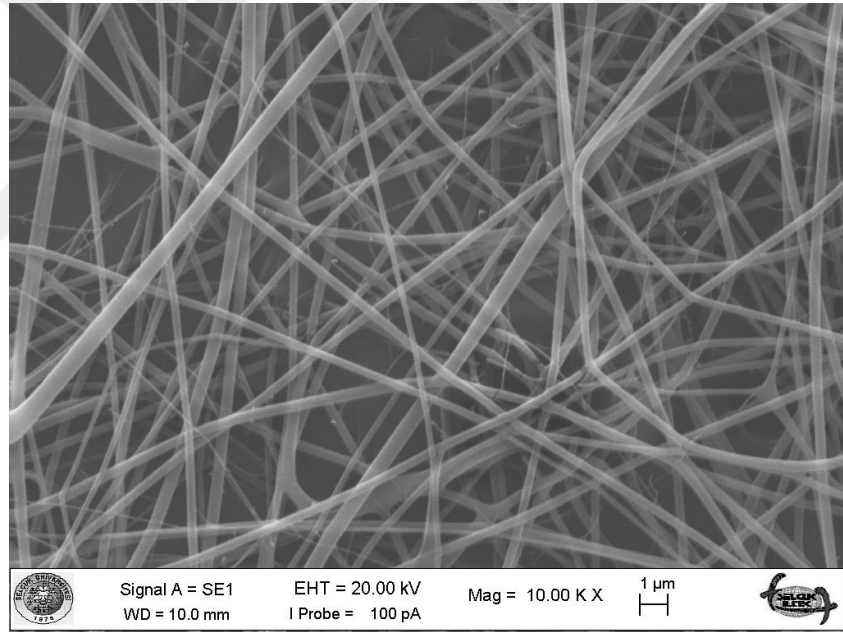
Çizelge 4.2'de sunulmuş olan üretim parametrelerine göre üretilmiş olan PVA nanofiberlerin SEM görüntüleri Şekil 5.1-5.9'da sunulmuştur.



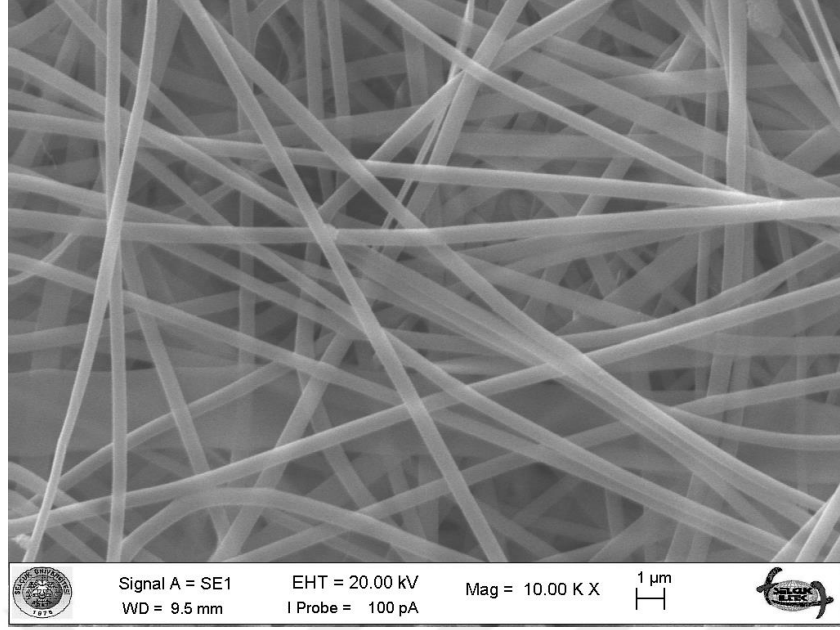
Şekil 5.1. PVA1 kodlu numunenin SEM görüntüsü



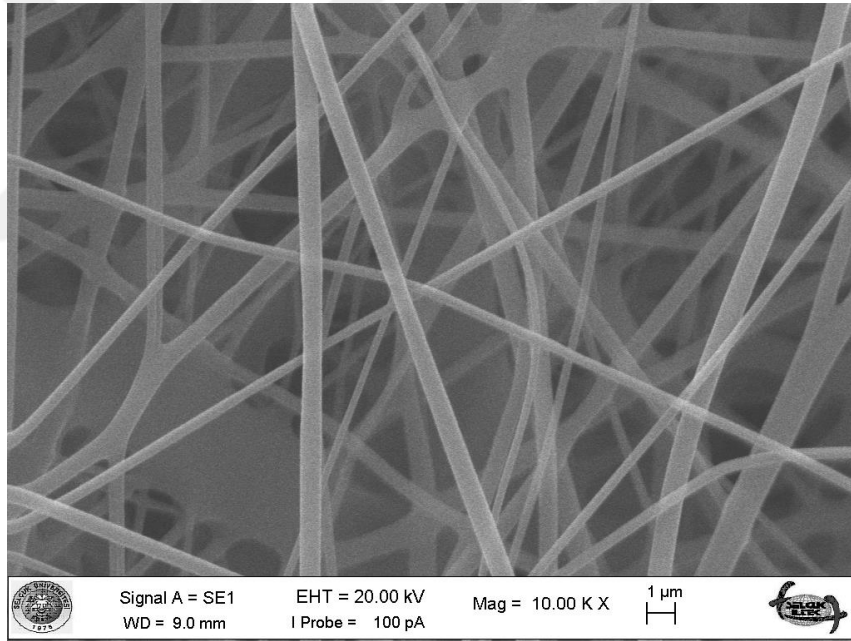
Şekil 5.2. PVA2 kodlu numunenin SEM görüntüsü



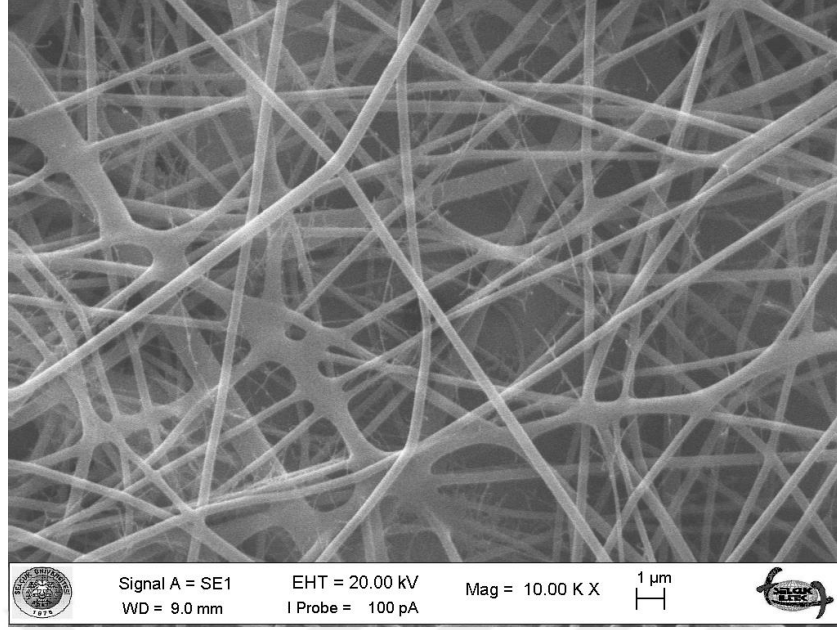
Şekil 5.3. PVA3 kodlu numunenin SEM görüntüsü



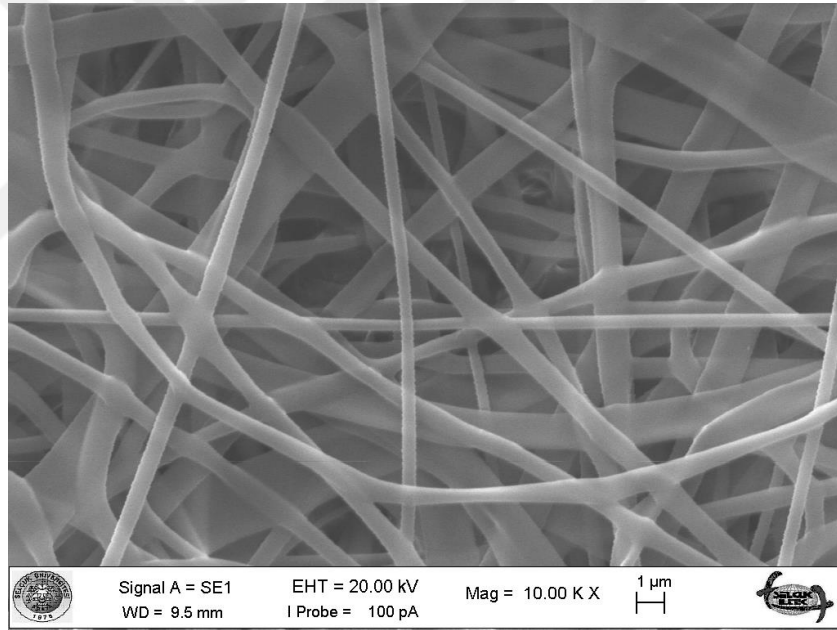
Şekil 5.4. PVA4 kodlu numunenin SEM görüntüsü



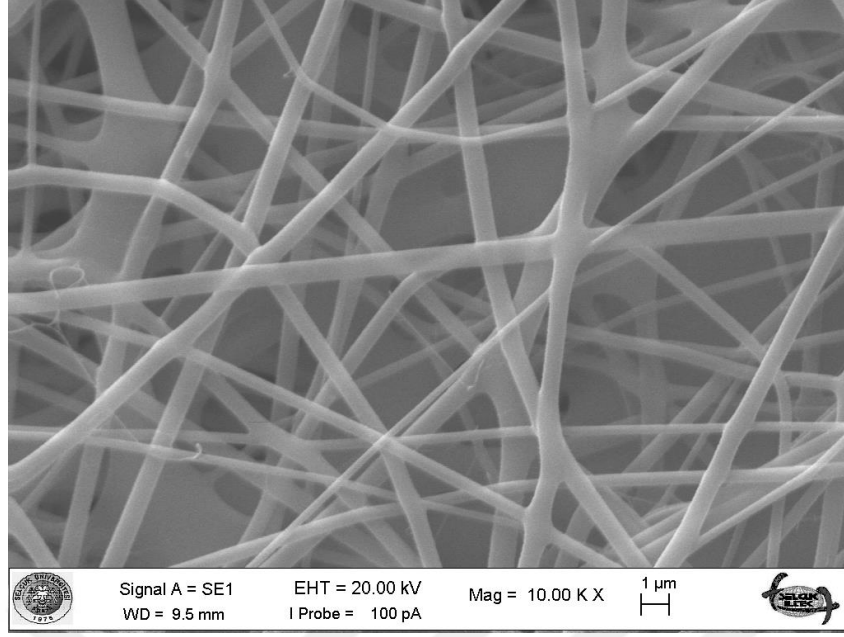
Şekil 5.5. PVA5 kodlu numunenin SEM görüntüsü



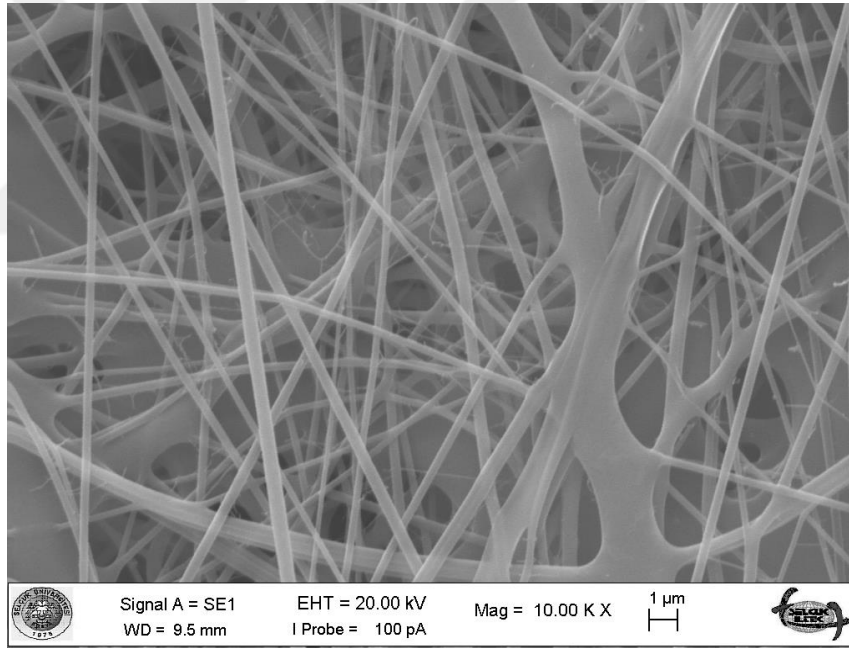
Şekil 5.6. PVA6 kodlu numunenin SEM görüntüsü



Şekil 5.7. PVA7 kodlu numunenin SEM görüntüsü



Şekil 5.8. PVA8 kodlu numunenin SEM görüntüsü



Şekil 5.9. PVA9 kodlu numunenin SEM görüntüsü

**Çizelge 5.1.** Uygulanan gerilime göre PVA nanofiberlerin ortalama çapları

Gerilim (kV)	Konsantrasyon oranı (% ağırlıkça)	Besleme miktarı (mL/h)	Mesafe (cm)	Nanofiber çapı (nm)
15	8	1	11	516,14 ± 35,4
20	10	2	11	442,36 ± 41,6
25	12	2	11	331,82 ± 35,7
20	8	2	13	320,66 ± 55,3
25	10	1	13	325,36 ± 42,4
15	12	2	13	633,38 ± 53,6
25	8	2	15	315,88 ± 41
15	10	2	15	534,12 ± 52,5
20	12	1	15	667,55 ± 51,7

Çizelge 5.1 incelendiğinde, en düşük ortalama nanofiber çapı 315,88±41 nm'dir. Bu numunenin üretim parametreleri 25 kV gerilim, % 8 konsantrasyon oranı, 2 mL/h besleme miktarı ve iğne ucu ile toplaç arasındaki mesafe 15 cm'dir. En yüksek ortalama nanofiber çapı ise 667,55±51,7 nm'dir ve bu numunenin üretim parametresi 20 kV gerilim, %12 konsantrasyon oranı, 1 mL/h besleme miktarı ve iğne ucu ile toplaç arasındaki mesafe 15 cm'dir. Aynı gerilimlerde, konsantrasyon oranının artması ortalama nanofiber çaplarının artmasına neden olmuştur. Çizelge 5.2'de besleme miktarının PVA ortalama nanofiber çaplarına göre değişimleri, Çizelge 5.3'te ise iğne ucu ile toplaç arasındaki mesafenin PVA ortalama nanofiber çaplarına göre değişimi gösterilmiştir.



**Çizelge 5.2.** Uygulanan besleme miktarına göre PVA nanofiberlerin ortalama çapları

Besleme miktarı (mL/h)	Konsantrasyon oranı (% ağırlıkça)	Gerilim (kV)	Mesafe (cm)	Nanofiber çapı (nm)
1	8	15	11	516,14 ± 35,4
1	10	25	13	325,36 ± 42,4
1	12	20	15	667,55 ± 51,7
1,5	8	20	13	320,66 ± 55,3
1,5	10	15	15	534,12 ± 52,5
1,5	12	25	11	331,82 ± 35,7
2	8	25	15	315,88 ± 41
2	10	20	11	442,36 ± 41,6
2	12	15	13	633,38 ± 53,6

% 8'lik konsantrasyon oranında, besleme miktarının artması ile ortalama nanofiber çaplarında azalma görülmüştür. Besleme miktarının 2 mL/h'de, konsantrasyon oranının artması ortalama nanofiber çaplarında artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.2).

**Çizelge 5.3.** Uygulanan mesafeye göre PVA nanofiberlerin ortalama çapları

Mesafe (cm)	Konsantrasyon oranı (% ağırlıkça)	Gerilim (kV)	Besleme miktarı (mL/h)	Nanofiber çapı (nm)
11	8	15	1	516,14 ± 35,4
11	10	20	2	442,36 ± 41,6
11	12	25	2	331,82 ± 35,7
13	8	20	2	320,66 ± 55,3
13	10	25	1	325,36 ± 42,4
13	12	15	2	633,38 ± 53,6
15	8	25	2	315,88 ± 41
15	10	15	2	534,12 ± 52,5
15	12	20	1	667,55 ± 51,7

Çizelge 5.3'te iğne ucu ile toplaç arasındaki mesafenin 11 cm olduğunda, konsantrasyon oranının artması ortalama nanofiber çaplarında düşmeye neden olmuştur. En düşük ortalama nanofiber çapı 315,88±41 nm'dir ve bu değer iğne ucu ile toplaç

arasındaki mesafenin 15 cm olduğunda görülmüştür. En yüksek ortalama nanofiber çapı ise  $667,55 \pm 51,7$  nm'dir ve bu numune iğne ucu ile toplaç arasındaki mesafenin 15 cm olduğu durumda üretilmiştir.

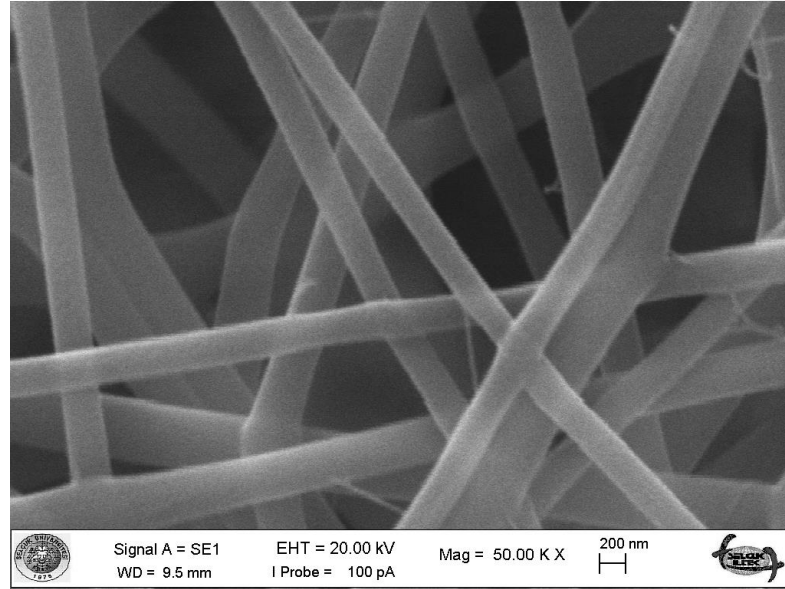
SEM görüntülerinin analizi ile homojen yapının belirlenmesi; homojen yapının tespiti için aşağıdaki kurallar dikkate alınarak SEM görüntüleri analiz edilmiştir.

- Nanofiber oluşmuş mu oluşmamış mı?
- Nanofiber oluşmuş ise homojen (üniform) yapı oluşmuş mu?
- Boncuklanma oluşmuş mu oluşmamış mı?
- Birden fazla homojen yapı varsa, en düşük çapta olan ortalama nanofiber çapının tercih edilmesidir.

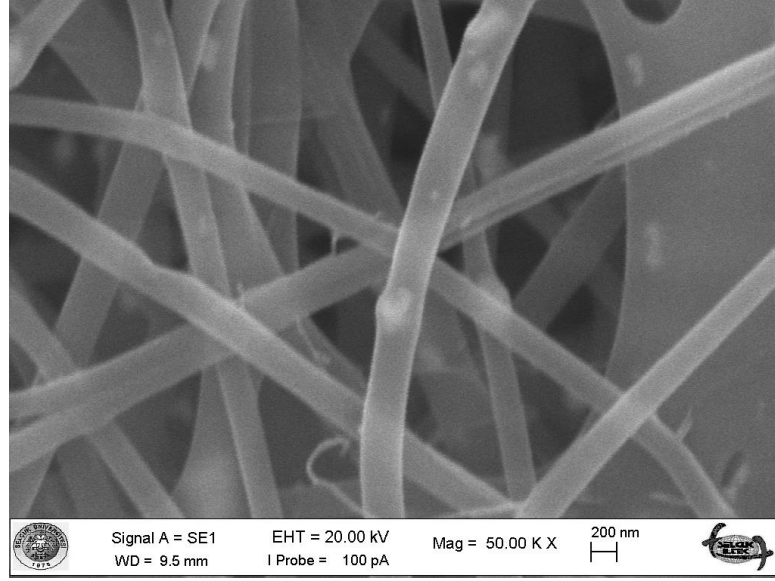
Bu adımlar takip edilerek Şekil 5.1-5.9'daki SEM görüntüleri incelenmiştir ve yalnızca PVA4 kodlu numunenin homojen yapıda olduğu tespit edilmiştir.

## 5.2. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Katkılı PVA Nanofiberlerin EDX ve SEM Analizleri

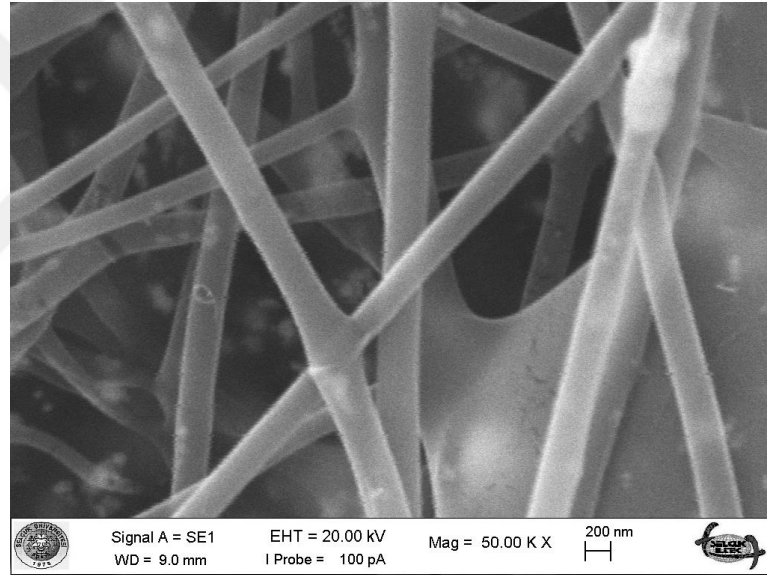
Elektrospın yöntemiyle üretilen saf ve % 1, 3, 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin SEM görüntüleri Şekil 5.10-5.13'te sunulmuştur.



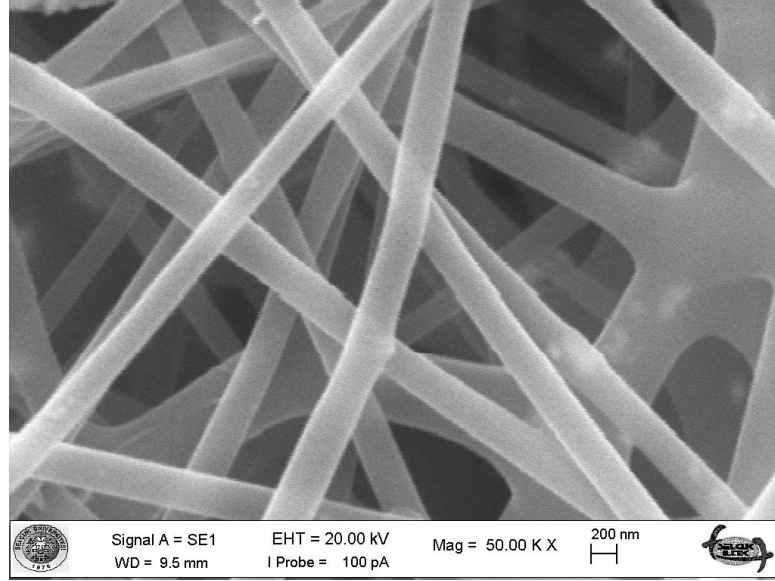
**Şekil 5.10.** Saf (Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin üretim parametreleri ile üretilen) PVA nanofiberlerin SEM görüntüsü



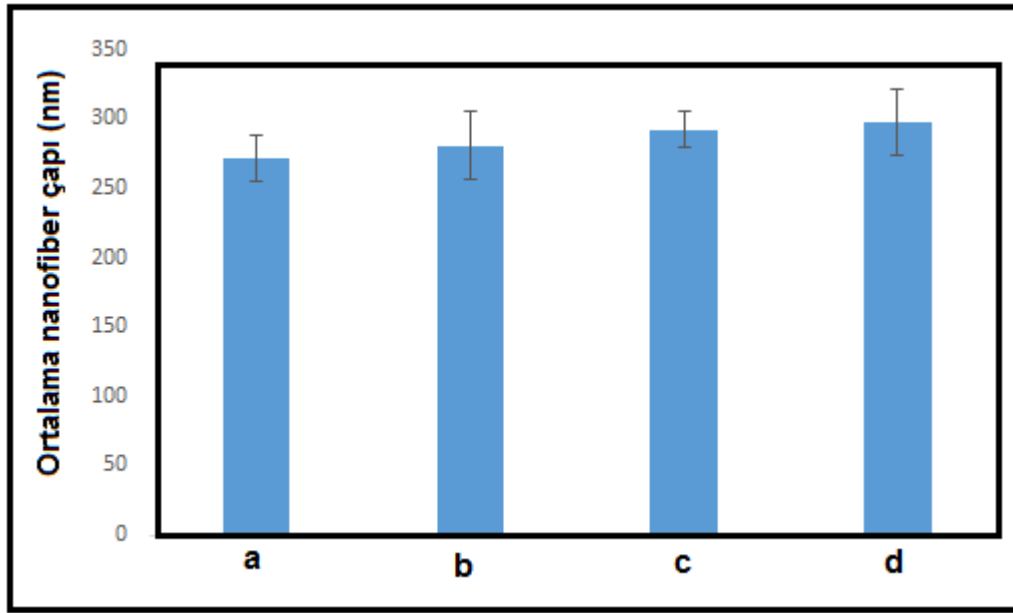
Şekil 5.11. % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin SEM görüntüsü



Şekil 5.12. % 3 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin SEM görüntüsü



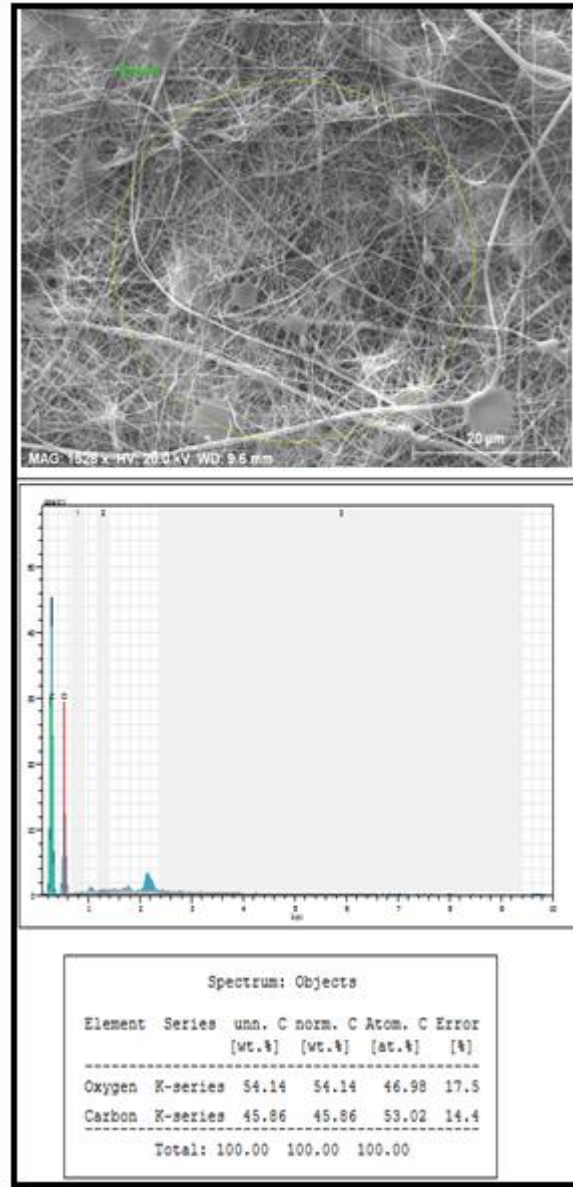
Şekil 5.13. % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin SEM görüntüsü



Şekil 5.14. İlave edilen Ag nanopartikül miktarına göre ortalama nanofiber çapının değişimi  
 (a) Ag nanopartikül katkısız PVA nanofiber (b) % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber  
 (c) % 3 Ag nanopartikül katkılı PVAnanofiber (d) % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber

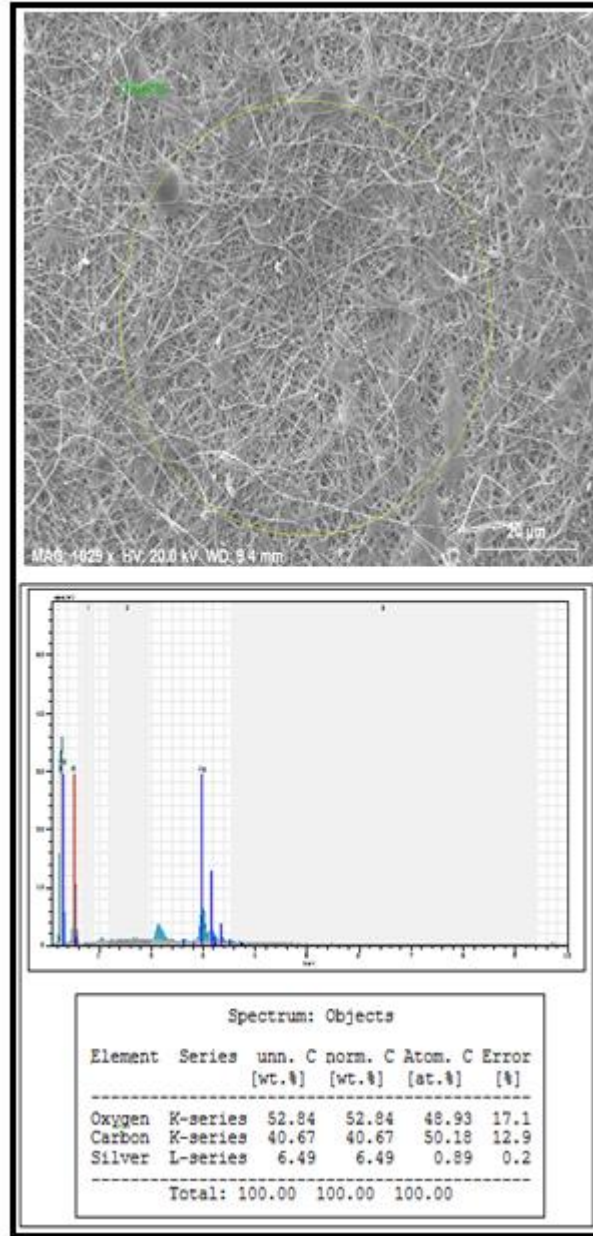
Şekil 5.14 incelendiğinde saf PVA nanofiberin, ortalama çapının  $271,4,7\pm 16,3$  nm olduğu tespit edilmiştir. PVA çözeltisine ağırlıkça % 1 Ag nanopartikül ilave edildiğinde ortalama nanofiber çapı  $280,75\pm 25$  nm olurken % 3 Ag nanopartikül ilave edildiğinde  $292,4\pm 12,93$  nm ve % 5 Ag nanopartikül ilave edildiğinde ise ortalama nanofiber çapı  $297,62\pm 23,81$  nm'dir. Bu sonuçlara göre, Ag nanopartikül miktarı arttığında, ortalama nanofiber çapıda artmıştır.

Elektrospın yöntemiyle üretilen % 1, 3, 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin ve Ag katkısız PVA nanofiberin EDX analizleri Şekil 5.15-5.18 arasında sunulmuştur. Bu analizler Selçuk Üniversitesi İLTEK'te yapılmıştır.



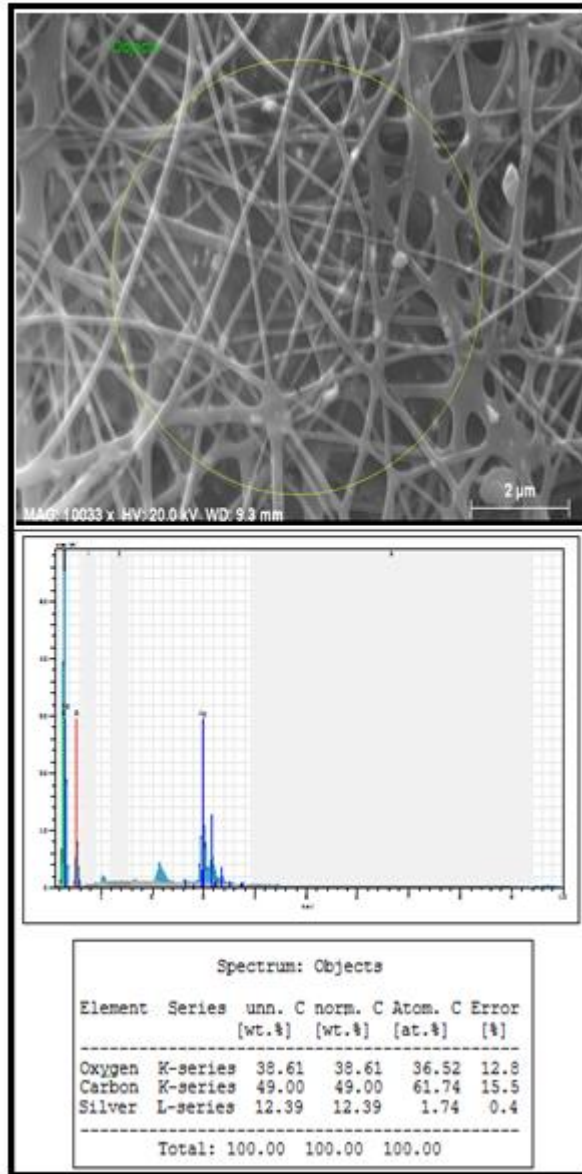
Şekil 5.15. Ag katkısız PVA nanofiber için EDX görüntüsü  
(Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber üretim parametrelerinde üretilen numune)

Şekil 5.15 incelendiğinde üretilen nanofiberin EDX görüntüsünde Ag'e ait herhangi bir ağırlıkça yüzdelik miktar görülmeyip saf PVA nanofiber olduğu görülmektedir. Bileşenlerine baktığımızda oksijen ve karbon olması bize bu numunede Ag ilave edilmiş bir numune olmadığını göstermektedir.



**Şekil 5.16.** % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsü

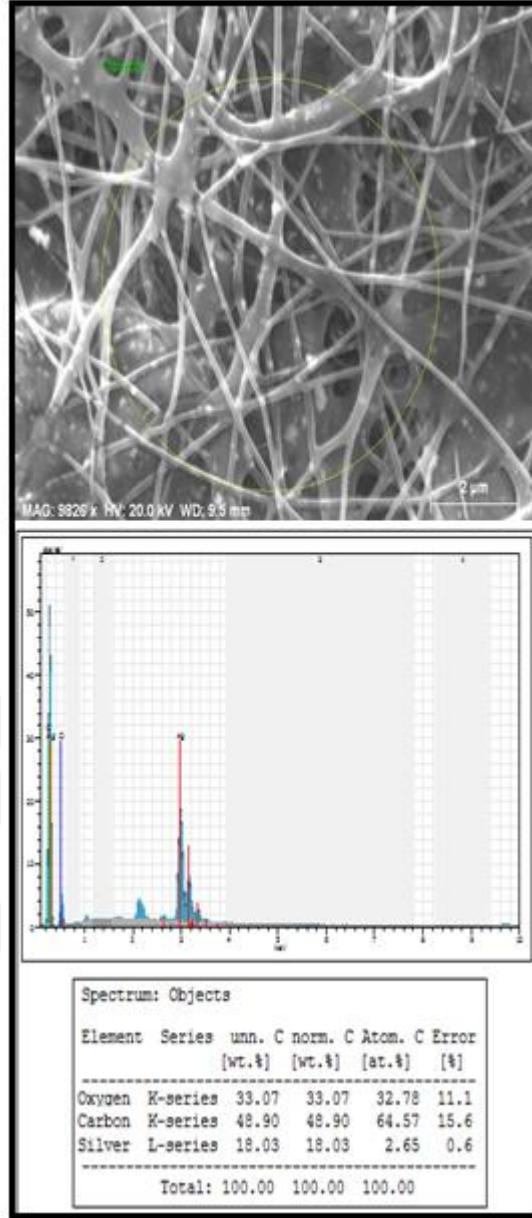
Şekil 5.16 incelendiğinde ağırlıkça % 1 olarak eklenen Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsünde çözücü olan suyun buharlaşmasıyla Ag nanopartikülün oranının ağırlıkça % 6,49 olduğu görülmektedir. Bu sonuçta bize ilave ettiğimiz Ag nanopartikül miktarının varlığını göstermektedir.



Şekil 5.17. % 3 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsü

Şekil 5.17 incelendiğinde ağırlıkça % 3 olarak eklenen Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsünde, çözücü olan suyun buharlaşmasıyla Ag miktarı ağırlıkça % 12,39 olarak bulunmuştur. İlave edilen Ag miktarının artmasıyla yapıdaki Ag nanopartikül miktarının artışının yapılan bu analizle doğrulandığını göstermektedir.



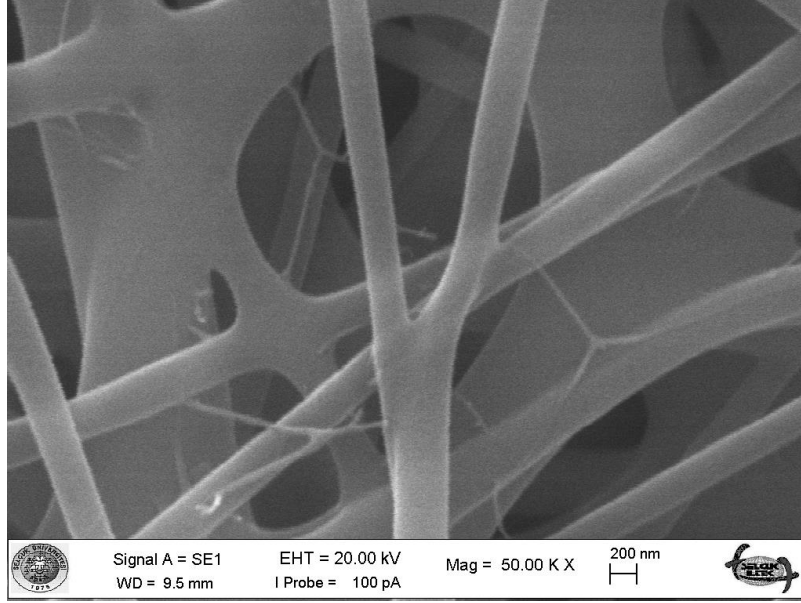


**Şekil 5.18.** % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsü

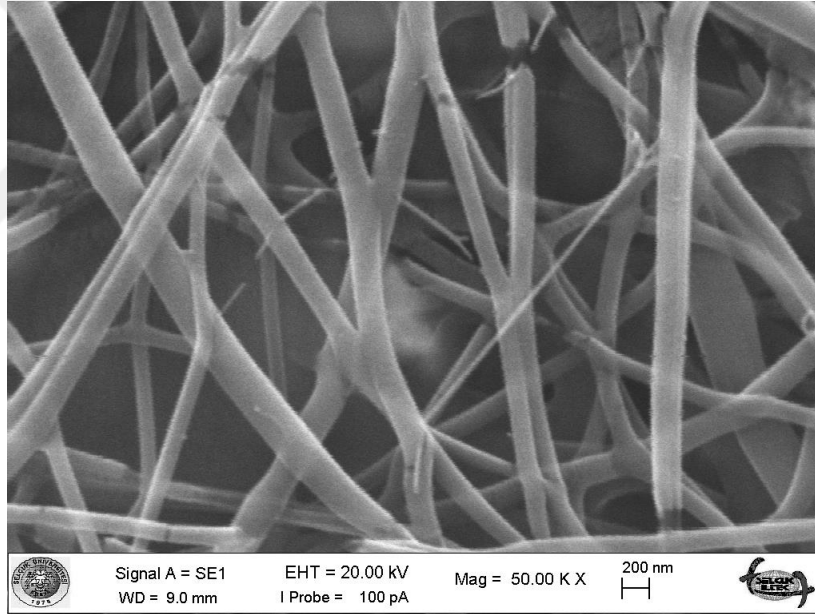
Şekil 5.18 incelendiğinde, ağırlıkça % 5 olarak eklenen Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin, EDX görüntüsünde, çözücü olan suyun buharlaşmasıyla Ag miktarı ağırlıkça % 18,03 olarak tespit edilmiştir. % 1, 3, 5 olarak ilave edilen Ag nanopartikül miktarı artışı sırasıyla Şekil 5.15-5.18 incelendiğinde, Ag nanopartikül miktarının arttığını doğrulamaktadır.

Elektrospin yöntemiyle üretilen % 1, 3, 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin ve Pt nanopartikül katkısız PVA nanofiberin EDX analizleri Şekil 5.24-5.27 arasında sunulmuştur.

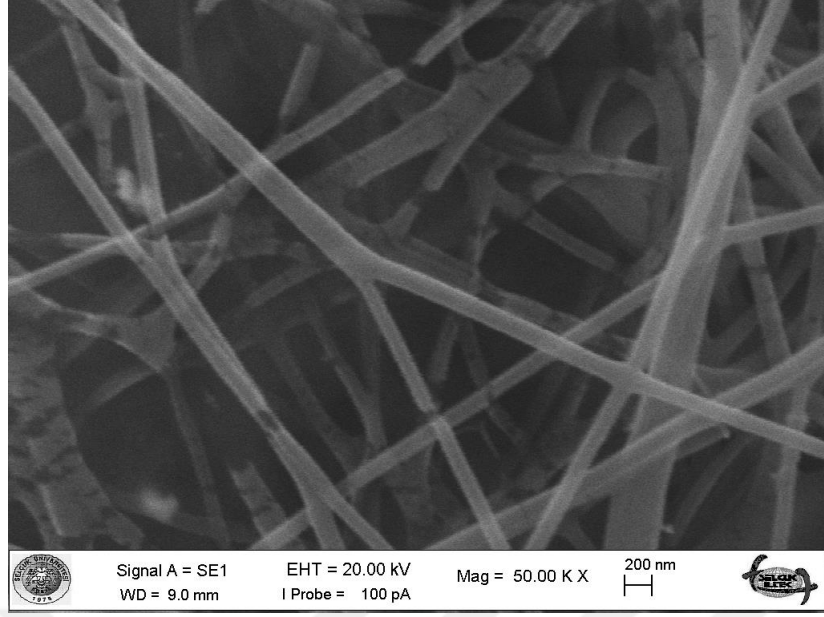




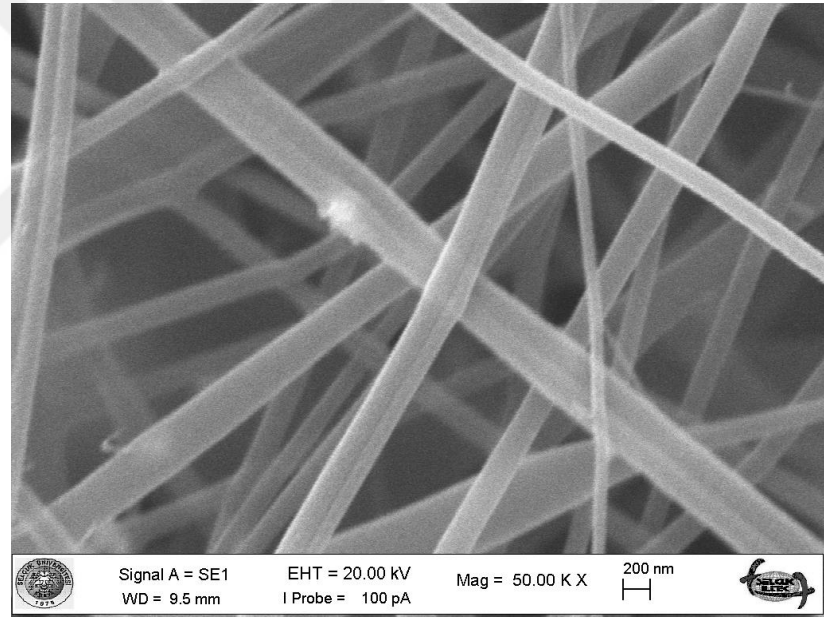
Şekil 5.19. Saf (Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin üretim parametreleri ile üretilen) nanofiberlerin SEM görüntüsü



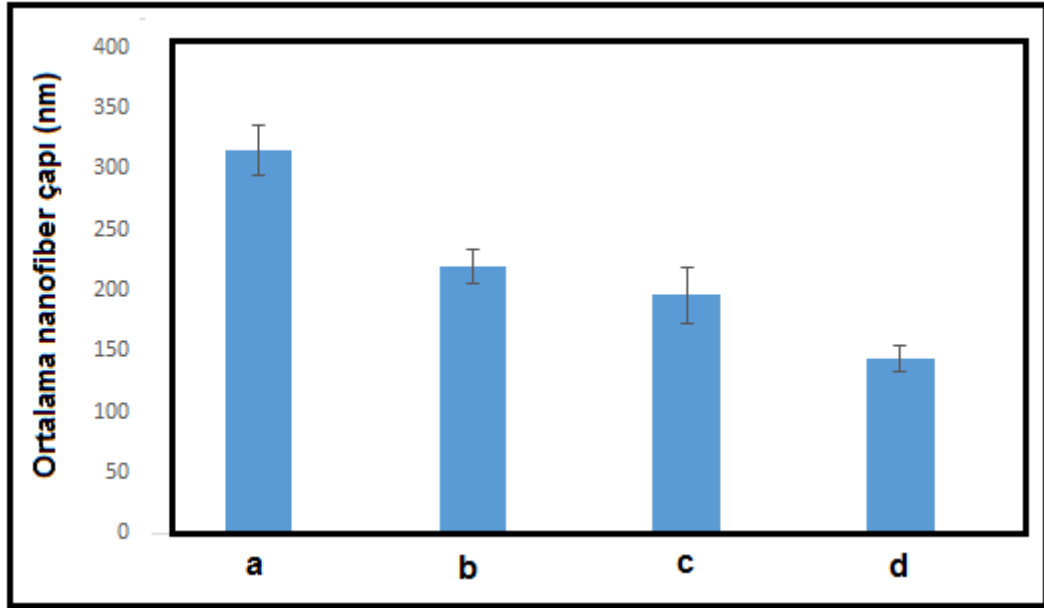
Şekil 5.20. % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin SEM görüntüsü



Şekil 5.21. % 3 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin SEM görüntüsü

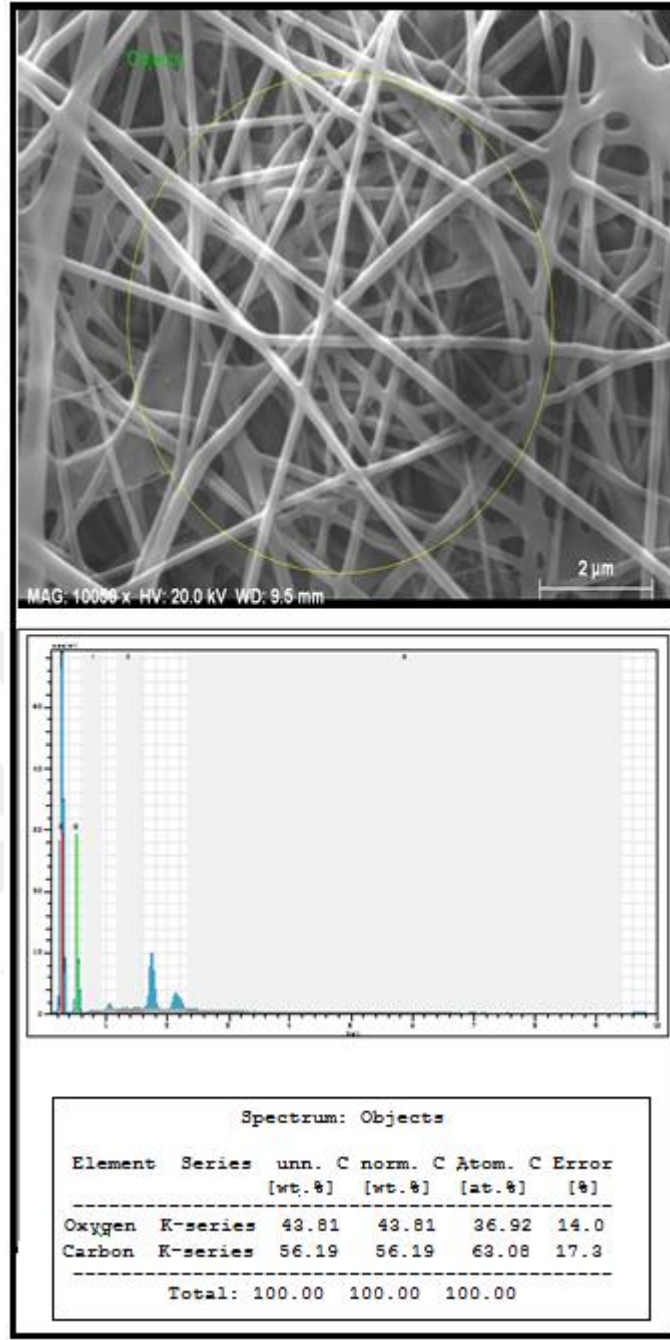


Şekil 5.22. % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin SEM görüntüsü



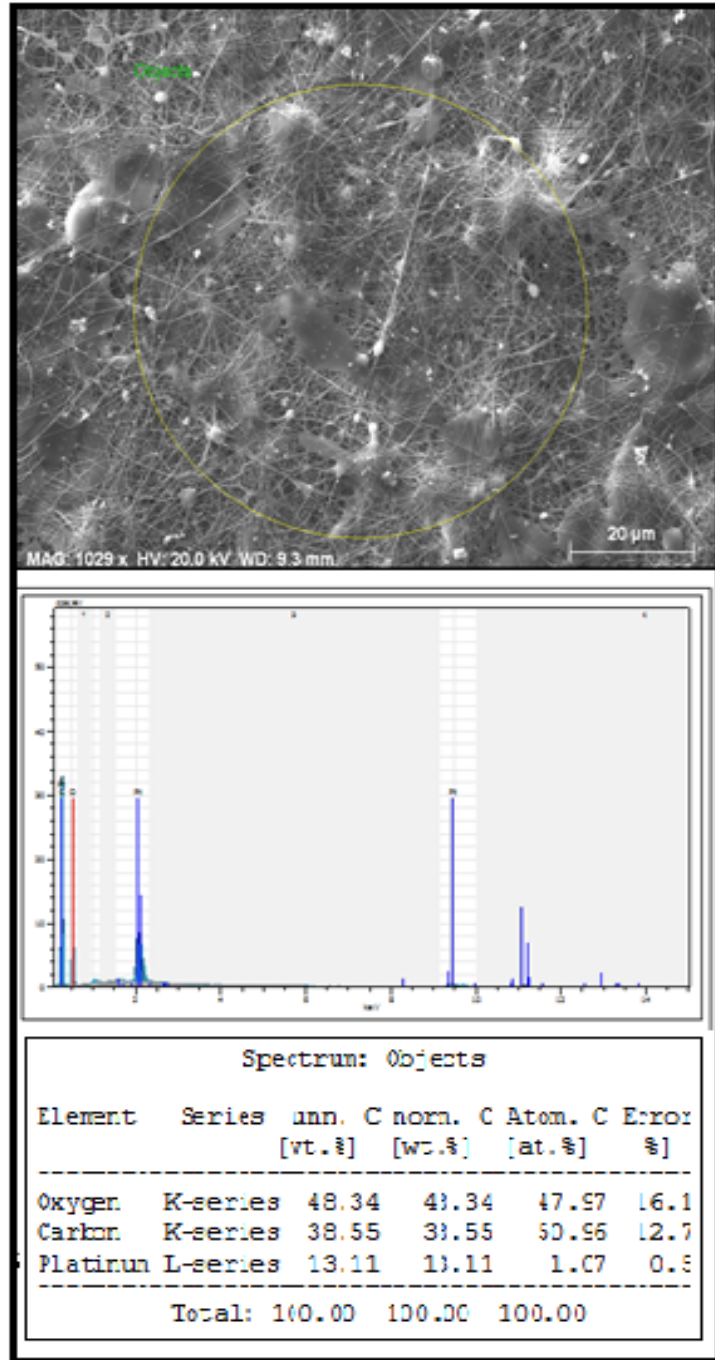
**Şekil 5.23.** İlave edilen Pt nanopartikül miktarına göre ortalama nanofiber çapının değişimi  
 (a) Pt nanopartikül katkısız PVA nanofiber (b) % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber  
 (c) % 3 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber (d) % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber

Şekil 5.23 incelendiğinde saf PVA nanofiberin ortalama nanofiber çapı  $315,88 \pm 20,4$  nm olarak tespit edilmiştir. Daha sonra ağırlıkça % 1 Pt ilave edilmesiyle elde edilen nanofiberin ortalama çapı ise  $220 \pm 13,9$  nm olarak bulunmuştur. % 3 Pt nanopartikül ilave edilmesiyle üretilen nanofiberin ortalama çapı ise  $196,24 \pm 23$  nm olarak tespit edilmiştir. % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin ortalama nanofiber çapı ise  $144,3 \pm 10,9$  nm olduğu belirlenmiştir. İlave edilen Pt nanopartikül miktarı arttıkça nanofiber çapları düşmüştür.



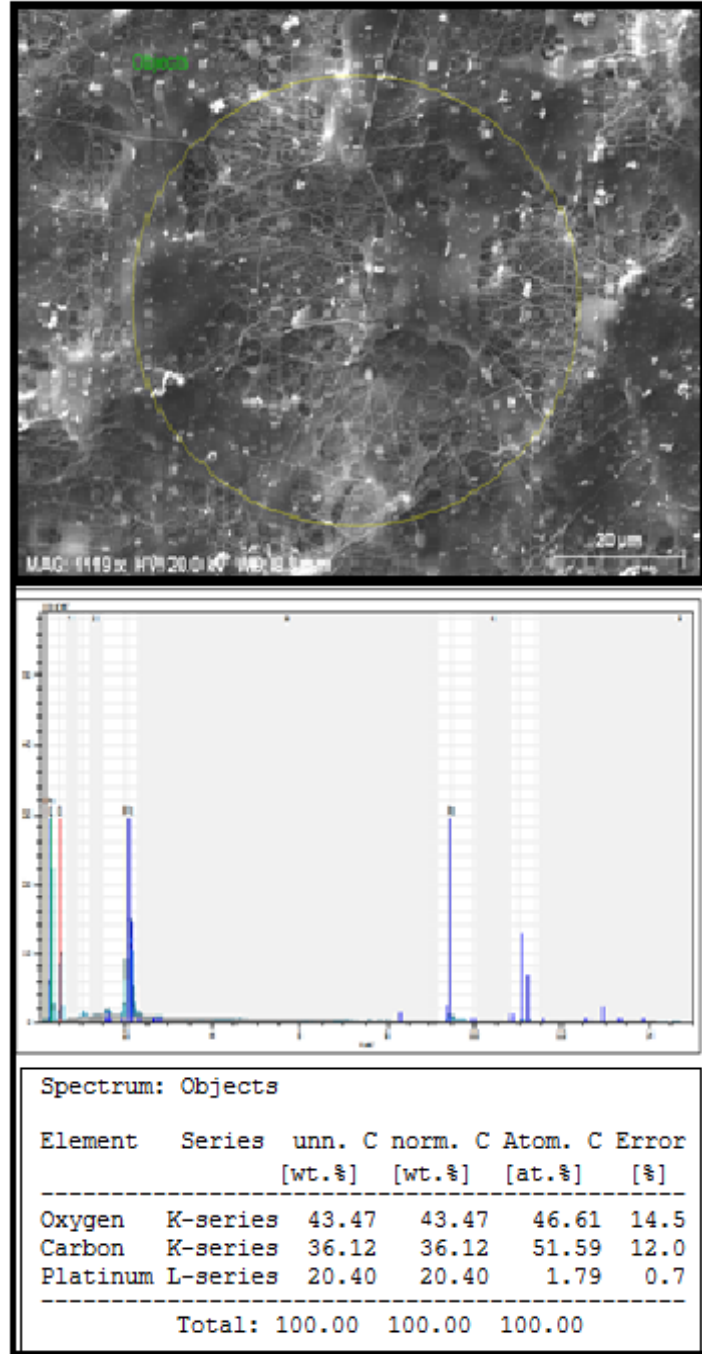
**Şekil 5.24.** Pt nanopartikül katkısız PVA nanofiber için EDX görüntüsü  
(Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber üretim parametrelerinde üretilen numune)

Şekil 5.24 incelendiğinde, üretilen nanofiberin EDX görüntüsünde Pt'e ait herhangi bir ağırlıkça yüzdelik miktar tespit edilememiştir. Şekil 5.24'deki bileşenler incelendiğinde, oksijen ve karbon olması bize bu numunede Pt ilave edilmemiş bir numune olduğunu göstermektedir.



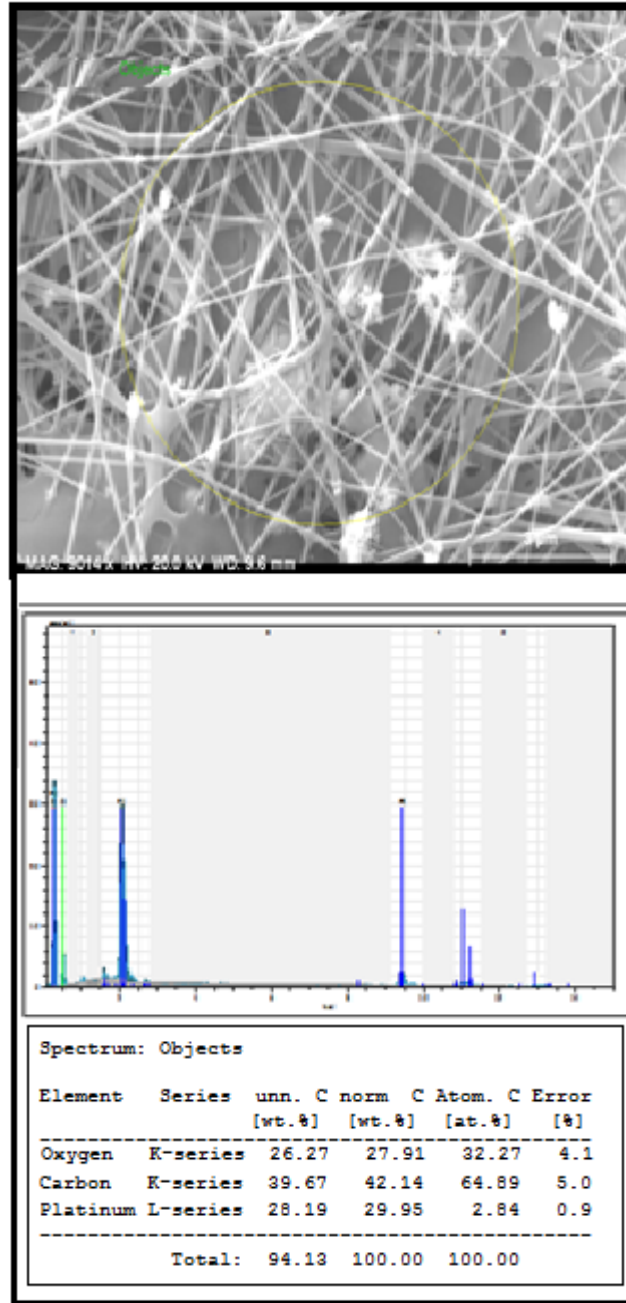
Şekil 5.25. % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsü

Şekil 5.25 incelendiğinde, ağırlıkça % 1 olarak eklenen Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsünde, çözücü olarak kullanılan suyun buharlaşmasıyla Pt nanopartikülün oranını ağırlıkça % 13,11 olmuştur. Bu sonuç ilave edilen Pt nanopartikül miktarının olduğunun ispatıdır.



Şekil 5.26. % 3 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsü

Şekil 5.26 incelendiğinde, ağırlıkça % 3 olarak eklenen Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsünde, çözücü olarak kullanılan suyun buharlaşmasıyla Pt miktarı ağırlıkça % 20,40 olarak tespit edilmiştir. Katkı yapılan Pt miktarının artışı, EDX görüntüsünde de ispatlanmıştır.



Şekil 5.27. % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin EDX görüntüsü

Şekil 5.27 incelendiğinde, ağırlıkça % 5 olarak eklenen Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin, EDX görüntüsünde, çözücü olarak kullanılan suyun buharlaşmasıyla Pt miktarı ağırlıkça % 28,19 olarak tespit edilmiştir. % 1, 3, 5 olarak ilave edilen Pt nanopartikül miktarı sırasıyla Şekil 5.24-27 incelendiğinde, Pt nanopartikül miktarının arttığını doğrulamaktadır. Katkılı/katkısız PVA nanofiber çaplarının literatür karşılaştırması Çizelge 5.2’de sunulmuştur. Çizelge 5.2 incelendiğinde, bu çalışma kapsamında üretilen nanofiber çaplarının literatür çalışmalarıyla uyumlu olduğu görülür.

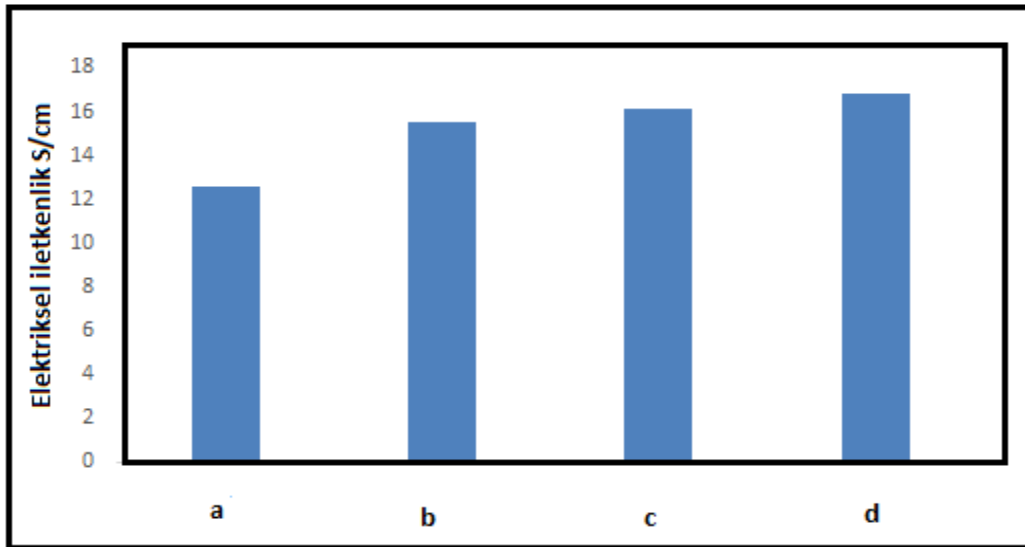
Çizelge 5.2. Katkılı/katkısız PVA nanofiber çaplarının literatür karşılaştırması.

Polimer	Katkı malzemesi	Nanofiber üretim parametreleri	Ortalama nanofiber çapı	Referans
PVA (Ag için)	-	% 10 (w/w), 18 kV, 0,9 mL/saat, 11 cm mesafe	271,4±16,3 nm	Bu çalışma
PVA (Pt için)	-	% 10 (w/w), 22 kV, 1,1 mL/saat, 9 cm mesafe	315,88±20,4 nm	Bu çalışma
PVA	Ag nanopartikül % 1 % 3 % 5	% 10 (w/w), 18 kV, 0,9 mL/saat, 11 cm mesafe	280,75±25 nm 292,4±12,93 nm 297,62±23,81 nm	Bu çalışma
PVA	Pt nanopartikül % 1 % 3 % 5	% 10 (w/w), 22 kV, 1,1 mL/saat, 9 cm mesafe	220±13,9 nm 196,24±23 nm 144,3±10,9 nm	Bu çalışma
PVA	-	% 6-12 (w/w), 20 kV, 5-15 cm	Ortalama 240-300 nm aralığında	(Lee ve ark., 2004)
GEL/PVA	-	% 10 (w/w)	177 nm	(Yang ve ark., 2007)
PVA	-	% 11 (w/w), 10 mL/dakika, mesafe 10 cm, 10-15-20 kV	Ortalama 161-296 nm	(Ding ve ark., 2010)

### 5.3. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin Elektriksel İletkenlikleri

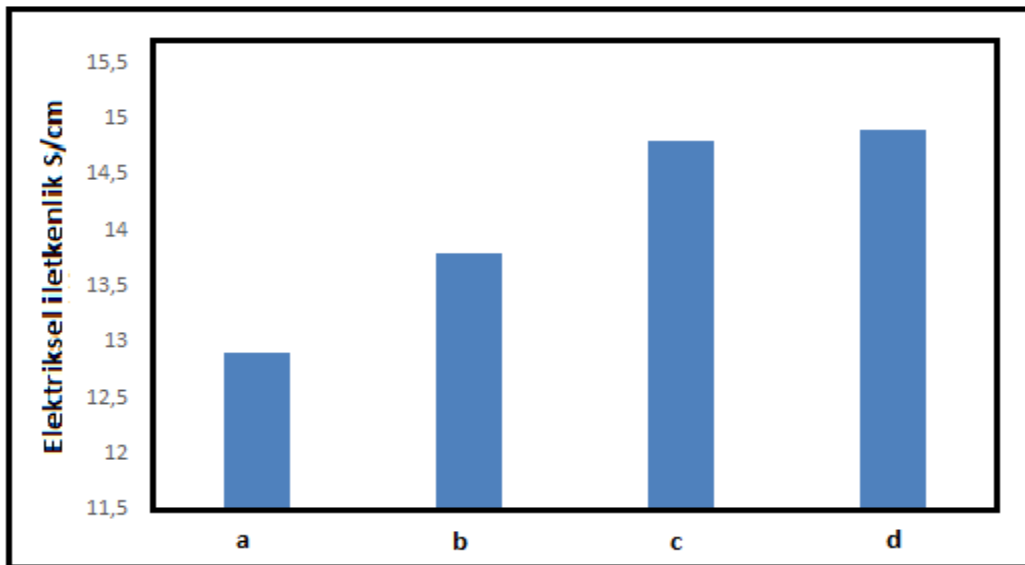
Bu bölümde, Ag veya Pt nanopartikül katkı PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenlikleri incelenmiştir (Şekil 5.28-5.29). Bu numunelerin elektriksel iletkenlik ölçümleri Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi'nde bulunan "ENTEK FPP-460 4 Nokta Elektriksel İletkenlik Ölçüm Cihazı" ile ölçülmüştür.





**Şekil 5.28.** Saf ve Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenlikleri  
 (a) Saf PVA nanofiber (b) % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber (c) % 3 Ag nanopatikül katkılı PVA nanofiber (d) % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber

Şekil 5.28 incelendiğinde, saf PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 12,60 S/cm, % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 15,50 S/cm, % 3 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 16,10 S/cm ve % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği ise 16,80 S/cm olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre ilave edilen Ag nanopartikül miktarı PVA nanofiberlerde artıka elektriksel iletkenlik değelerinin de artmasına neden olmuştur.



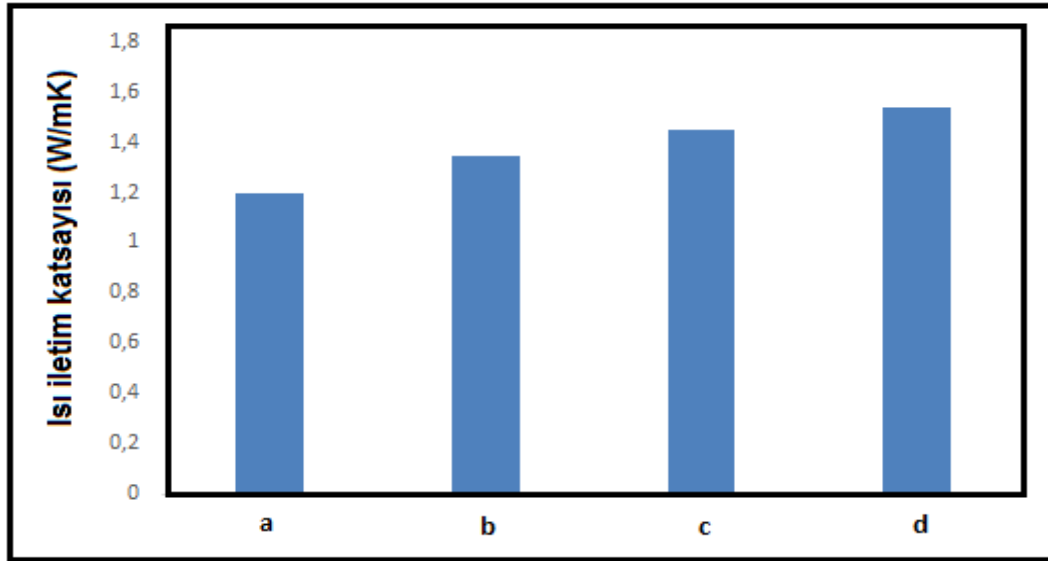
**Şekil 5.29.** Saf ve Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenlikleri  
 (a) Saf PVA nanofiber (b) % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber (c) % 3 Pt nanopatikül katkılı PVA nanofiber (d) % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber

Şekil 5.29 incelendiğinde, saf PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 12,90 S/cm, % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 13,80 S/cm, % 3 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 14,80 S/cm ve % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği ise 14,90 S/cm olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu elektriksel iletkenlik sonuçlarına göre ilave edilen Pt nanopartikül miktarı arttıkça, Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenlik değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir.

Ag nanopartikül ve Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerde en yüksek iletkenlik değerleri ağırlıkça % 5 Ag/Pt oranındaki katkıda tespit edilmiştir. Bunlar sırasıyla, Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 16,80 S/cm ve Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği ise 14,90 S/cm'dir. Bu çalışmada, en yüksek elektriksel iletkenlik değeri 16,80 S/cm'dir. Bu değer ise ağırlıkça % 5 oranındaki Ag nanopartikül katkılı PVA nanofibere aittir. Dolayısıyla PEM yakıt hücresi performans testi için hazırlanan gaz difüzyon tabakasına ait numune, % 5 oranındaki Ag katkılı PVA nanofibere göre hazırlanmıştır. Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenlikleri literatürde ilk kez, bu çalışma ile belirlenmiştir.

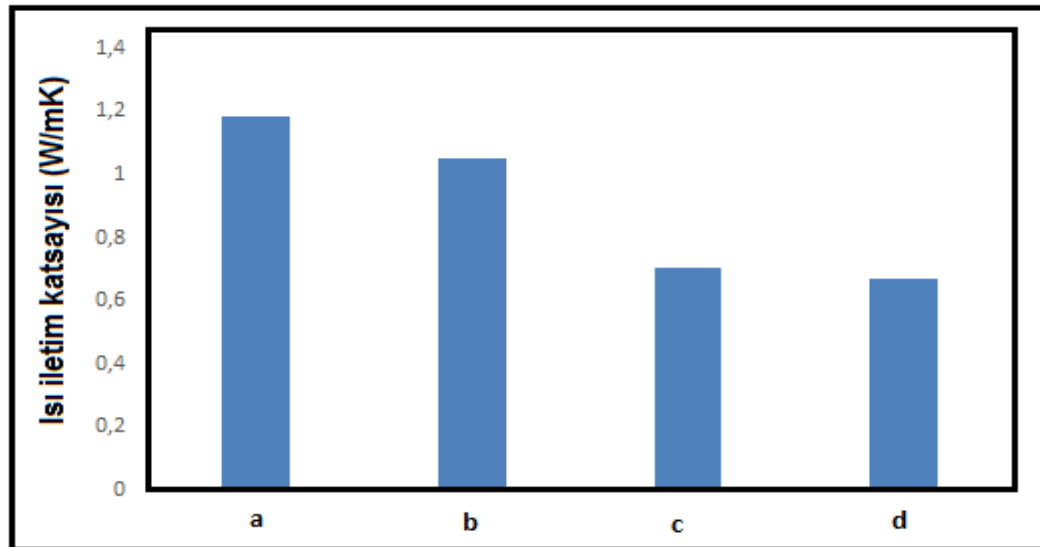
#### **5.4. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin Isı İletim Katsayılarının Tespiti**

Elektrospın cihazı ile üretilen katkılı/katkısız PVA nanofiberlerin ısı iletim katsayıları incelenmiş olup elde edilen sonuçlar Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de sunulmuştur.



**Şekil 5.30.** Saf ve Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin ısı iletim katsayıları  
 (a) Saf PVA nanofiber (b) % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber (c) % 3 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber (d) % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber

Şekil 5.30 incelendiğinde, saf PVA(Ag için) nanofiberin ısı iletim katsayısı 1,198 W/mK olurken, % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin ısı iletim katsayısı 1,535 W/mK olarak tespit edilmiştir. İlave edilen Ag nanopartikül miktarı arttıkça ısı iletim katsayısının da arttığı tespit edilmiştir. % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin ısı iletim katsayısı ile saf PVA nanofiberin ısı iletim katsayısı kıyaslanırsa, % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber saf PVA nanofiberin ısı iletim katsayısını % 28,13 arttırmıştır.

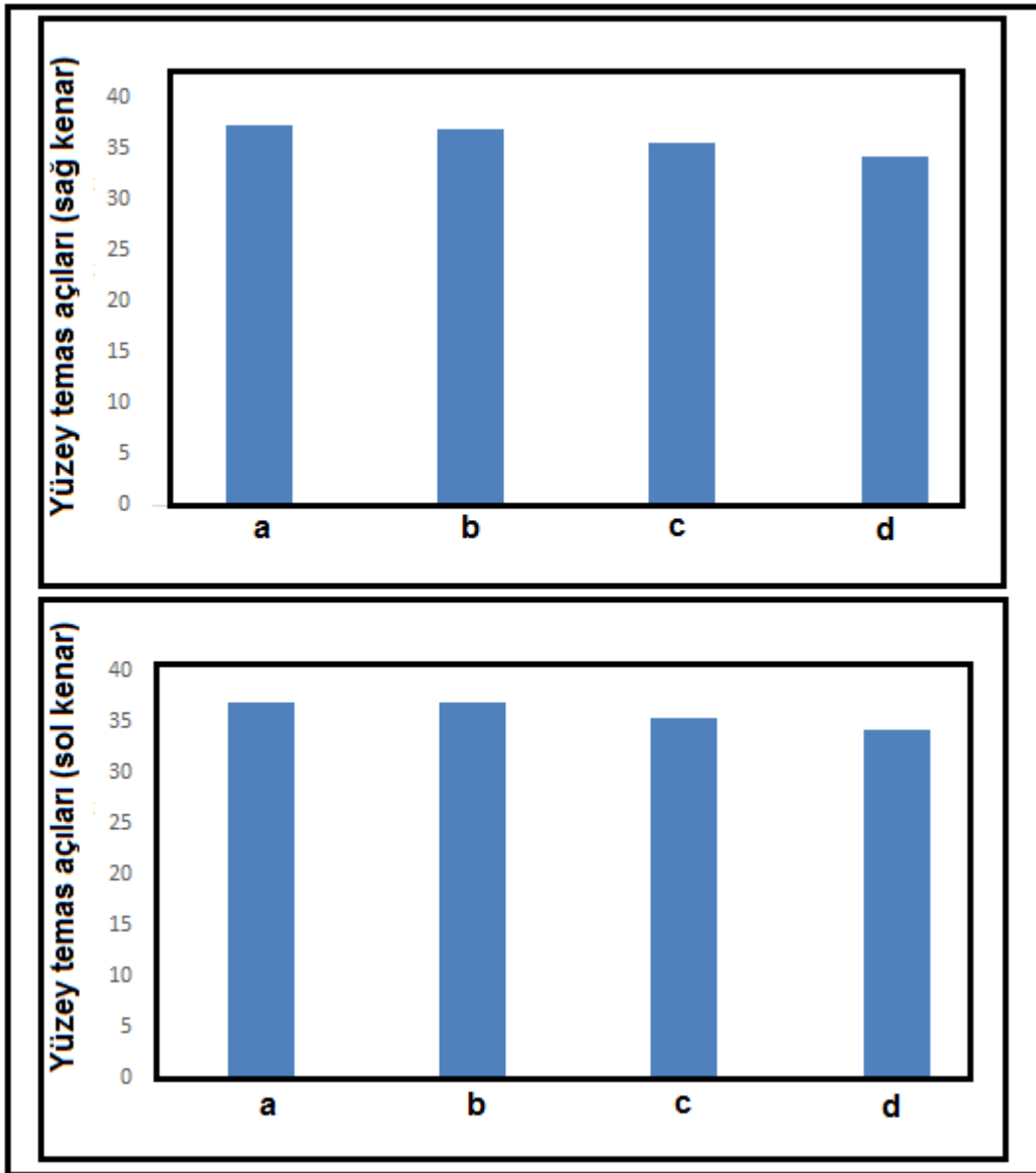


**Şekil 5.31.** Saf ve Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin ısı iletim katsayıları  
 (a) Saf PVA nanofiber (b) % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber (c) % 3 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber (d) % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber

Şekil 5.31 incelendiğinde, Saf PVA(Pt için) nanofiberin ısı iletim katsayısı 1,182 W/mK olarak bulunurken % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin ısı iletim katsayısı 0,670 W/mK olarak tespit edilmiştir. Ağırlıkça ilave edilen Pt nanopartikül miktarı arttıkça ısı iletim katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin ısı iletim katsayısı ile saf PVA nanofiberin ısı iletim katsayısı kıyaslanırsa, % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber saf PVA nanofiberin ısı iletim katsayısını % 43,32 azaltmıştır.

### **5.5. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin Hidrofilik/Hidrofobik Etkileşiminin Tespiti**

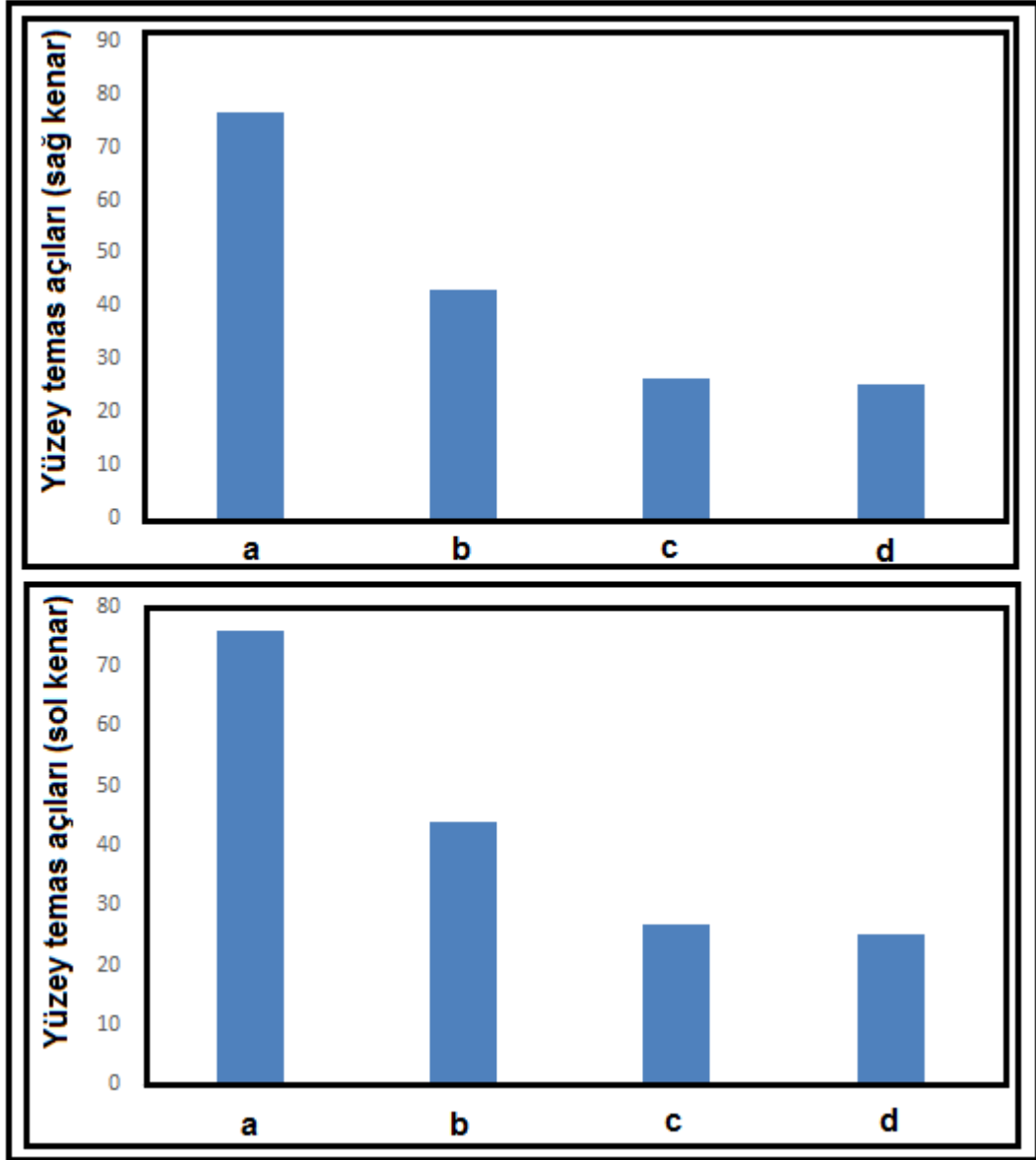
Üretilen Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin hidrofilik/hidrofobik etkileşiminin incelenmesi Selçuk Üniversitesi İLTEK'te bulunan statik yüzey temas açısı ölçüm cihazı "Dataphysics Instruments GmbH OCA15EC" ile yapılmıştır. Saf PVA nanofiber ve % 1, 3, 5 Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin ortalama statik yüzey temas açısı değerleri (sağ yüzey ve sol yüzeyler için) Şekil 5.32 ve 5.33'te sunulmuştur.



Şekil 5.32. Saf PVA nanofiber (Ag için) ve Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin sağ ve sol yüzey ortalama statik yüzey temas açılarının karşılaştırılması

(a) Saf PVA (Ag için) (b) % 1 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber (c) % 3 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber (d) % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber

Şekil 5.32 incelendiğinde, en yüksek yüzey temas açısı (sağ kenar =  $37,32^{\circ}$  ve sol kenar =  $37,10^{\circ}$ ), saf PVA (Ag nanopartikül için)'da, en düşük yüzey temas açısı (sağ kenar =  $34,39^{\circ}$  ve sol kenar =  $34,24^{\circ}$ ) % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Ag nanopartikül miktarı arttıkça, statik yüzey temas açısının azaldığını göstermiştir.



**Şekil 5.33.** Pt nanopartikül katkı PVA nanofiberlerin sağ ve sol yüzey ortalama statik yüzey temas açılarının karşılaştırılması

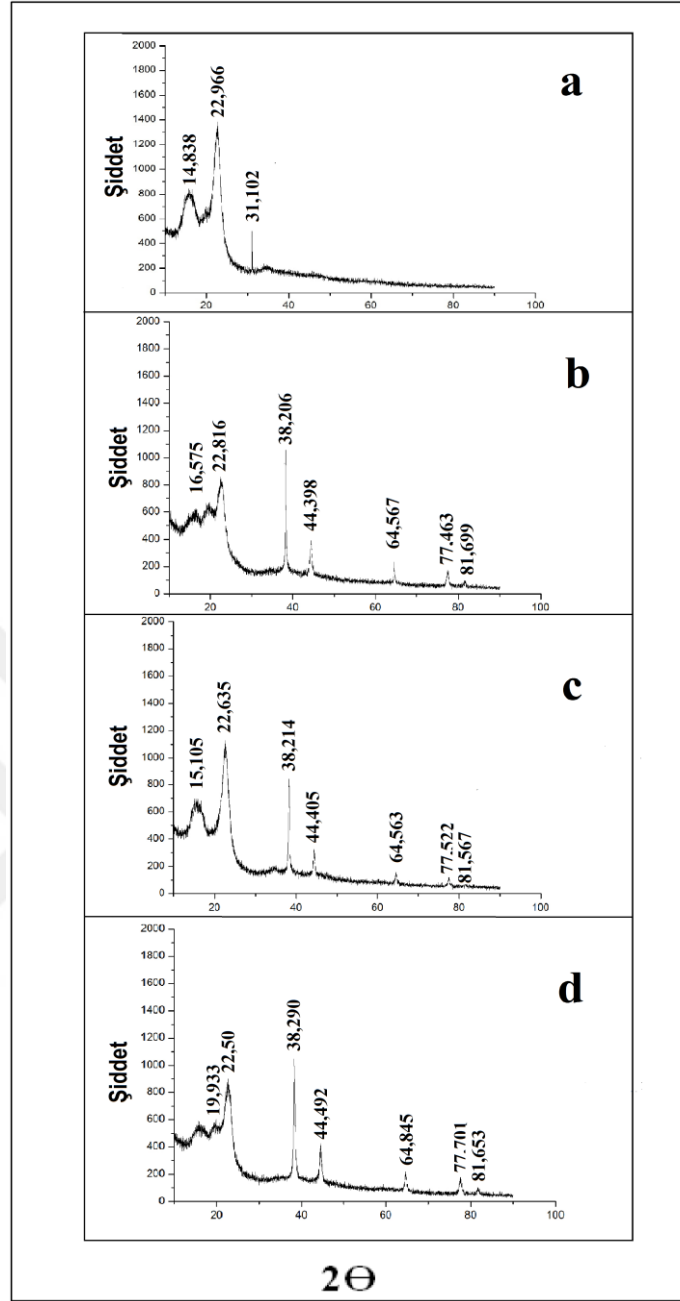
(a) Saf PVA (b) % 1 Pt nanopartikül katkı PVA nanofiber (c) % 3 Pt nanopartikül katkı PVA nanofiber (d) % 5 Pt nanopartikül katkı PVA nanofiber

Şekil 5.33 incelendiğinde, en yüksek yüzey temas açısı (sağ kenar = 76,38 ° ve sol kenar = 76,07 °), saf PVA (Pt nanopartikül için)'de oluşmuştur. En düşük yüzey temas açısı (sağ kenar = 25,27 ° ve sol kenar = 25,19 °) % 5 Pt nanopartikül katkı PVA nanofiberde tespit edilmiştir. PVA nanofibere Pt nanopartikül ilave edildikçe (ağırlıkça % 1, 3, 5 oranında) statik yüzey temas açısının azaldığı görülmüştür.

### 5.6. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin X-Işını Kırınım (XRD) Analizleri

XRD analizi malzemenin kristal yapısını belirlemek için yapılır. Bu çalışmada, Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin XRD analizi ile üretilen Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerde kristal yapıda mı yoksa amorf yapıda mı olduğu durumu incelenmiştir. XRD analizi ile incelenen Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin analiz görüntüleri Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'te sunulmuştur.

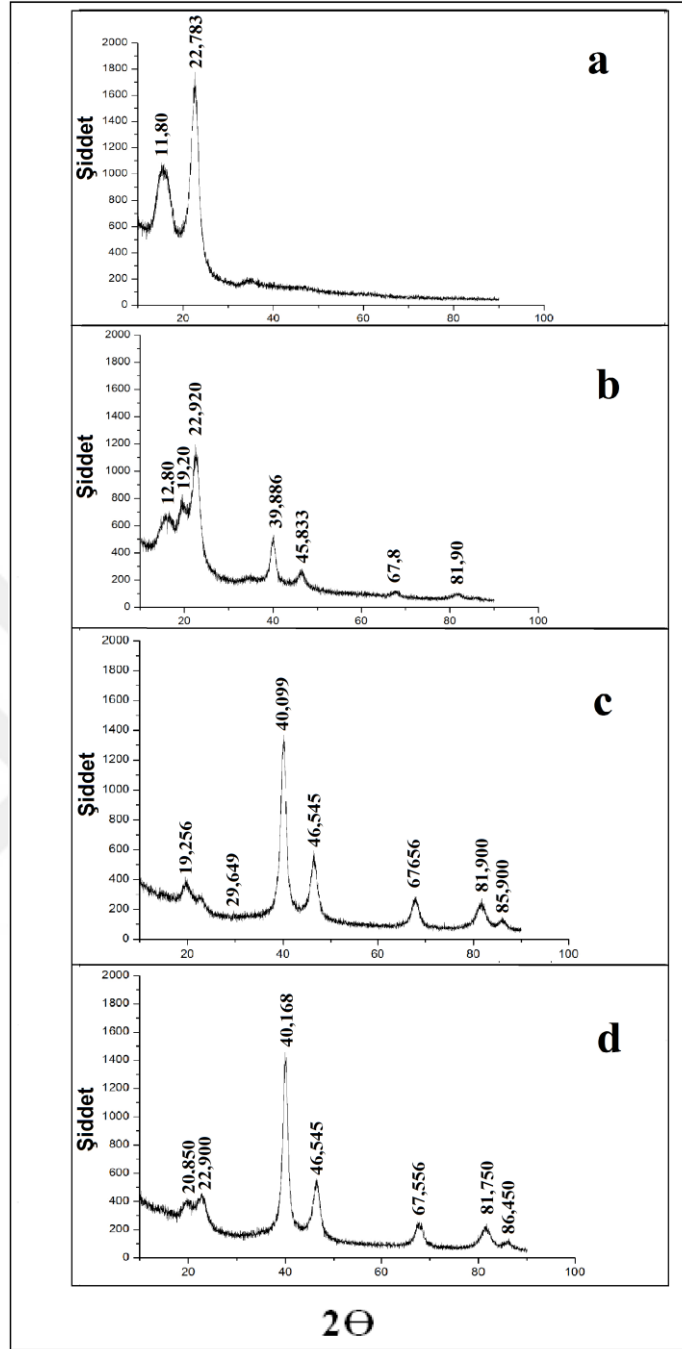
Şekil 5.34 incelendiğinde, saf PVA (Ag için) ve ağırlıkça % 1, 3, 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerde oluşan pikler ve bu piklerin kaç derecede oluştuğu gösterilmiştir. Saf PVA nanofiberde oluşan pik sayısı üç iken Ag nanopartikül ilave edilmesiyle piklerde artış meydana gelmiştir. Buradan hareketle, Ag nanopartikül katkı oranı arttıkça amorf yapının gittikçe azaldığı görülmüştür. Yapıdaki Ag nanopartikülün artmasıyla oluşan piklerin yoğunluğu artmıştır. Buradan Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin kristal yapıya dönüştüğü kanaatindeyiz.



**Şekil 5.34.** Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiberlerin XRD görüntüleri  
 (a) Saf PVA nanofiber (b) % 1 Ag nanopartikül katkıli PVA nanofiber (c) % 3 Ag nanopartikül katkıli nanofiber (d) % 5 Ag nanopartikül katkıli nanofiber

Şekil 5.35 incelendiğinde, saf PVA (Pt için) ve ağırlıkça % 1, 3, 5 Pt nanopartikül katkıli PVA nanofiberlerde oluşan pikler ve piklerin oluşum açıları gösterilmiştir. Saf PVA nanofiberde oluşan pik sayısı ikiye Pt nanopartikül ilave edilmesiyle piklerin sayısında artış meydana gelmiştir. Pt nanopartikül katkı oranı arttıkça amorf yapının gittikçe azaldığı görülmüştür. Yapıdaki Pt nanopartikülün artmasıyla oluşan piklerin yoğunluğunun artması Pt nanopartikül katkıli PVA nanofiberlerin kristal yapıya dönüştüğünün göstergesidir.



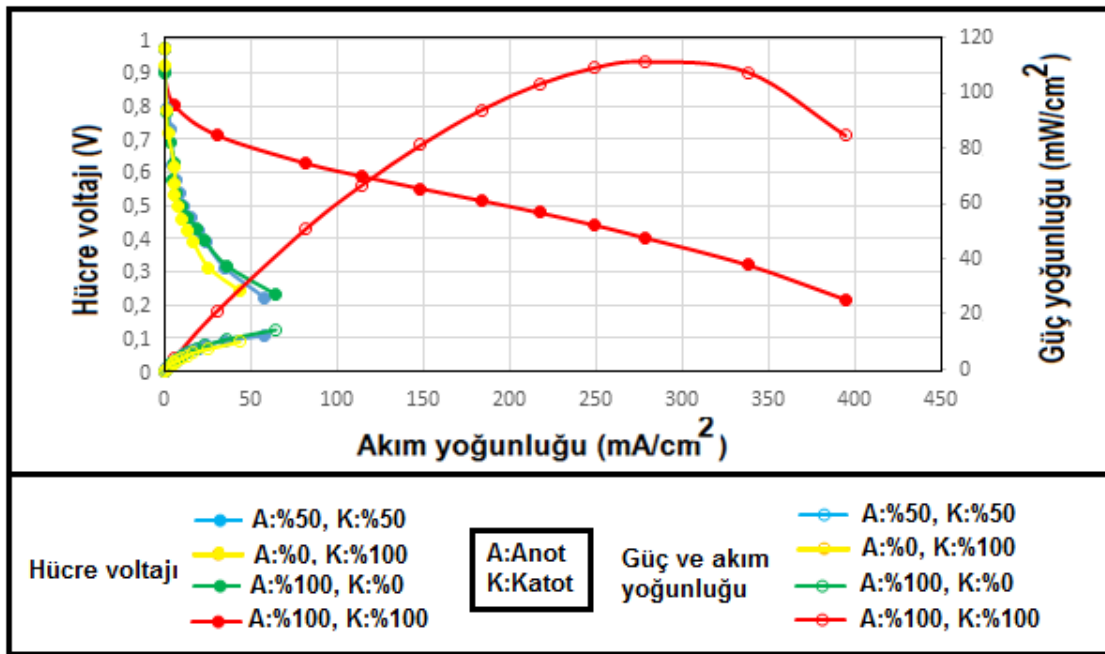


**Şekil 5.35.** Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin XRD görüntüleri  
 (a) Saf PVA nanofiber (b) % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber (c) % 3 Pt nanopartikül katkılı nanofiber (d) % 5 Pt nanopartikül katkılı nanofiber

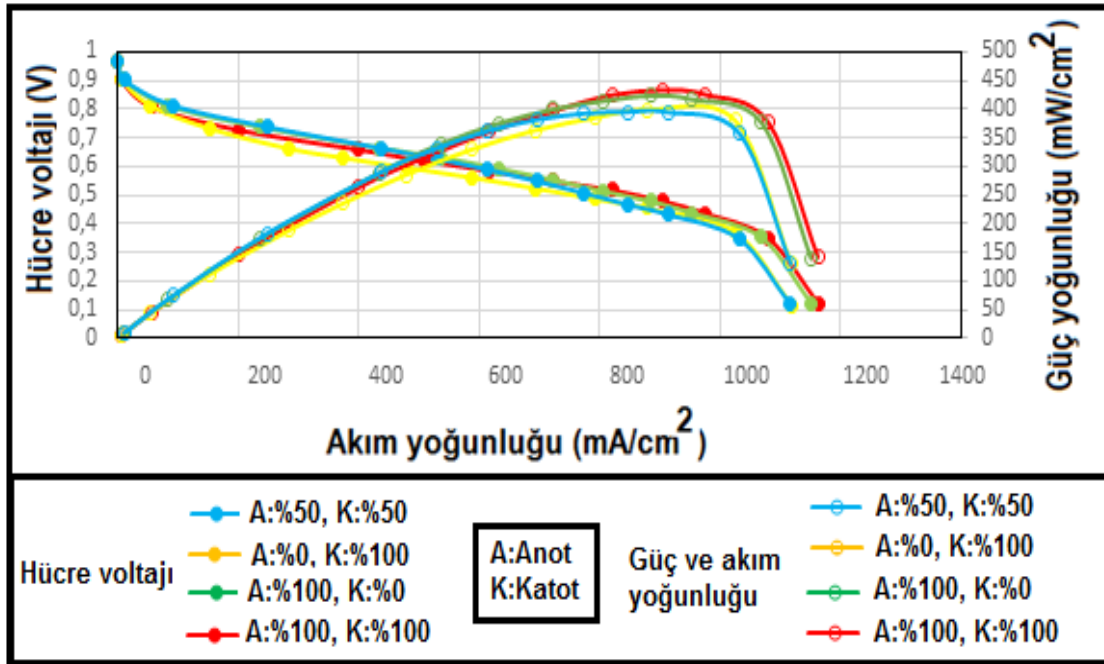
### 5.7. Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen En iyi yapıdaki Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin Polimer Elektrolit Membran (PEM) Yakıt Hücresi Performansı

Herhangi katkı maddesi içermeyen saf PVA nanofiber (Ag için) ve üretilen tüm numunelerin içinde elektriksel iletkenliği en fazla olan (16,80 S/cm) % 5 Ag

nanopartikül katkılı, PVA nanofiber PEM yakıt hücresinde gaz difüzyon tabakasının anod tarafında kullanılarak Ag katkılı/katkısız PVA nanofiberlerin PEM yakıt hücresi performansları incelenmiştir. Literatürde Ag'nin elektriksel iletkenliğinin Pt'ye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen bu testlerde yakıt hücresinin anod tarafında  $0,6 \text{ mg/cm}^2$  Pt yüklü elektrot kullanılırken, katod tarafında  $0,6 \text{ mg/cm}^2$  Pt yüklü elektrot kullanılmıştır. Gaz difüzyon tabakası olarak Toray 120 seçilmiştir. Deneylerde hidrojen, dakikada 0,21 litre ve oksijen, dakikada 0,18 litre olacak şekilde verilmiştir. Deneyler  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ve farklı nem koşullarıyla (anot ve katot % 100 nemli; anot ve katot % 50 nemli; anot kuru, katot % 100 nemli; anot % 100, katot kuru) yapılmış olup yapılan deneylerin sonuçları Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de sunulmuştur.



Şekil 5.36. Saf PVA nanofiberin (Ag için) PEM yakıt hücresi performansı



Şekil 5.37. Ağırlıkça % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin PEM yakıt hücresi performansı

Şekil 5.36 ve 5.37 birlikte incelendiğinde, Ag katkısız PVA nanofiber için en yüksek güç yoğunluğu ve en yüksek akım yoğunluğu değerleri, sırasıyla 112,01 mW/cm<sup>2</sup>, 394,74 mA/cm<sup>2</sup> iken ağırlıkça % 5 Ag katkılı PVA nanofiber için en yüksek güç yoğunluğu ve en yüksek akım yoğunluğu değerleri, sırasıyla 433,42 mW/cm<sup>2</sup>, 1163,10 mA/cm<sup>2</sup>'dir. En yüksek güç ve akım yoğunluğu değerleri anod ve katodun % 100 nemli olması durumu ve 60 °C'de ki testlerde meydana gelmiştir.

Yapıdaki Ag nanopartikül miktarı (ağırlıkça) arttıkça Saf PVA nanofibere göre % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre arttığı tespit edilmiştir. En yüksek güç yoğunluğu ve en yüksek akım yoğunluğu değerleri % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde çıkmıştır. Bunun nedeni, Ag'nin elektriksel iletkenliğinin yüksek bir malzeme olmasından dolayıdır.

Çizelge 5.3 incelendiğinde, PVA nanofibere Ag nanopartikül katkısı yapıldığında PEM yakıt hücresinin performansının arttığı görülür. Bu çalışmada gaz difüzyon tabakası olarak Toray 120 (PEM yakıt hücresi için) kullanılmıştır. Literatürdeki Bahaulddın, (2019)'da yapmış olduğu çalışma ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.3. PEM yakıt hücresi için literatür mukayesesi

Katalizatör	Pt içeriği	Akım yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )	Güç yoğunluğu (mW/cm <sup>2</sup> )	Referans
PVA nanofiber	0,6 mg/cm <sup>2</sup> anot tarafı için 0,6 mg/cm <sup>2</sup> katot tarafı için	394,74	112,01	Bu çalışma
Ag nanopartikül katkılı (% 5) PVA kompozit nanofiber	0,6 mg/cm <sup>2</sup> anot tarafı için 0,6 mg/cm <sup>2</sup> katot tarafı için	433,42	1163,10	Bu çalışma
PAN+PMMA kompozit nanofiber (nano partikül için)	0,6 mg/cm <sup>2</sup> anot tarafı için 0,7 mg/cm <sup>2</sup> katot tarafı için	368,43	99,6	(Bahaulddın, 2019)
Pt/ Ag nanopartikül katkılı (% 5) PAN+PMMA kompozit nanofiber	0,6 mg/cm <sup>2</sup> anot tarafı için 0,7 mg/cm <sup>2</sup> katot tarafı için	433,29	126,7	(Bahaulddın, 2019)
Karbon kağıt/ GO: PAN: PVDF nanofiber/ Pt	0,2 mg/cm <sup>2</sup>	869-1091	880	(Wei ve ark., 2016)
Toray 120/ Karbon Kserojel/ Pt	0,3 mg/cm <sup>2</sup>	300	135,63	(Trefilov ve ark., 2017)
TGP-H-060, Toray	0,2 mg/cm <sup>2</sup>	2 A/cm <sup>2</sup>	0,87 W/cm <sup>2</sup>	(Hou ve ark., 2017)

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında, elektro-eğirme metoduyla üretilen saf ve Ag veya Pt nanopartikül (ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında) katkılı PVA nanofiberlerin üretilmesi ve üretilen bu nanofiberlerin SEM analizleri, EDX analizleri, elektriksel iletkenliklerinin ve ısı iletim katsayılarının tespiti, hidrofilik/hidrofobik etkileşimin belirlenmesi, XRD analizleri, PEM yakıt hücresi performans testi yapılmıştır.

Bu çalışmada homojen yapıdaki PVA nanofiberi üretmek amacıyla, konsantrasyon oranı (ağırlıkça % 8, 10,12), gerilim (15, 20, 25 kV), besleme miktarı (1; 1,5; 2 mL/h), mesafe (11, 13, 15 cm) üretim parametreleri dikkate alınarak 9 adet deneysel çalışma yapılmıştır. Üretilmiş olan deney numunelerinin SEM görüntüleri alınarak, SEM analizleri yapılmıştır. SEM analizlerine göre, homojen yapının PVA4 kodlu numune olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntülerine göre, ortalama nanofiber çapı en düşük olan numunenin (PVA3) ortalama nanofiber çapı  $315,88 \pm 41$  nm olurken nanofiber çapı en yüksek olan numunenin (PVA8) ortalama nanofiber çapı  $667,55 \pm 51,7$  nm'dir.

Bu aşamadan sonra, en iyi yapıdaki PVA nanofibere ağırlıkça değişik (% 1, 3, 5) oranlarında Ag veya Pt nanopartikül eklendiğinde, homojen yapıda Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberler üretilmediği görülmüştür. Homojen yapıyı elde etmek için yeni üretim parametreleri belirlenmiştir ve Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin morfolojik yapıları incelenmiştir (SEM analizleri ile). Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerden çapı en büyük, % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde ( $297,62 \pm 23,81$  nm) oluşmuştur. Çapı en küçük olan nanofiber ise % 1 Ag nanopartikül katkılı nanofiberdir ve nanofiber çapı ise  $280,75 \pm 25$  nm'dir. Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerde en büyük nanofiber çapı % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberdedir ve üretilen bu nanofiberin ortalama çapı  $220 \pm 13,9$  nm'dir. Çapı en küçük olan nanofiber ise % 5 Pt nanopartikül katkılı nanofiberdir ( $144,3 \pm 10,9$  nm).

Üretilen Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberler için EDX analizi yapılmış ve EDX analiz sonuçlarına göre Ag katkılı PVA nanofiberlerde en yüksek ağırlıkça oran % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olduğu (ağırlıkça % 18,03) tespit edilmiştir. Pt

katkılı PVA nanofiberler için en yüksek ağırlıkça oran % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olduğu ve bu değer ağırlıkça % 28,19 olduğu görülmüştür.

Elektrospın cihazı ile üretilen Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin elektriksel iletkenlik değerleri incelenmiştir. Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin üretim parametreleri ile üretilen saf PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 12,60 S/cm olurken, % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 16,80 S/cm'dir. Eklenen Ag nanopartikül miktarı, elektriksel iletkenliği saf PVA'nın elektriksel iletkenliğine göre % 33,3 artırdığı tespit edilmiştir. Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin üretim parametreleri ile üretilen saf PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 12,90 S/cm olurken % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin elektriksel iletkenliği 14,90 S/cm'dir. İlave edilen Pt nanopartikül miktarı elektriksel iletkenliği saf PVA'nın elektriksel iletkenlik değerine göre % 15,5 artırdığı belirlenmiştir. En yüksek elektriksel iletkenlik % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde oluşmuştur.

Ag ve Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin ısı iletim katsayıları incelendiğinde, Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin en yüksek ısı iletim katsayısı % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olup değeri 1,535 W/mK'dir ve Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin en yüksek ısı iletim katsayısı % 1 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olup değeri 1,054 W/mK olduğu tespit edilmiştir.

Saf PVA nanofiber ve Ag ve Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin hidrofilik/hidrofobik etkileşimi incelenmiştir. Ağırlıkça % 1, 3, 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiber ve saf PVA nanofiberin yüzey temas açısı birlikte incelendiğinde saf PVA nanofiber için sağ ve sol kenarının yüzey temas açıları sırasıyla 37,32° ve 37,10° (en yüksek yüzey temas açısı) olurken, % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin yüzey temas açısı sağ ve sol kenar için sırasıyla 34,39° ve 34,24° (en düşük yüzey temas açısı) olarak tespit edilmiştir. Ağırlıkça % 1, 3, 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiber ve saf PVA nanofiberin yüzey temas açısı birlikte incelendiğinde saf PVA nanofiber için sağ ve sol kenar için sırasıyla 76,38 ve 76,07° (en yüksek yüzey temas açısı) olurken, % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin yüzey temas açısı sağ ve sol kenar için sırasıyla 25,27° ve 25,19° (en düşük yüzey temas açısı) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, ilave edilen Ag veya Pt nanopartikül miktarı arttıkça yüzey temas açısının azaldığını göstermiştir. PVA nanofibere Ag veya Pt nanopartikül katkısı yapıldıkça (ağırlıkça % 1, 3, 5 oranlarında) hidrofilik özelliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Ag veya Pt nanopartikül katkılı/katkısız PVA nanofiberler için XRD analizi yapılmıştır. XRD analizlerine göre Ag ve Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerin, saf PVA nanofiberlere göre kristal yapıya dönüştüğü görülmüştür.

Elektrospin cihazı ile üretilen Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberlerden en yüksek elektriksel iletkenliğe sahip yapının, % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olduğu ve elektriksel iletkenlik değerinin 16,80 S/cm olmasından dolayı bu numunenin, PEM yakıt hücresinde performansı (güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi) incelenmiştir. En yüksek güç yoğunluğu ve akım yoğunluğu değerleri % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberde olduğu ve bu değerlerin sırasıyla 433,42 mW/cm<sup>2</sup>, 1163,10 mA/cm<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir.

## 6.2. Öneriler

Bu tez çalışması kapsamında yapılanların amacı elektrospin tekniği ile üretilen en iyi yapıdaki (homojen) Ag veya Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberi belirledikten sonra bu yapıların elektriksel iletkenliğinin, hidrofilik/hidrofobik etkileşiminin incelenmesi, ısı iletkenlik katsayısının belirlenmesi ve elektriksel iletkenliği en yüksek olan Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin PEM yakıt hücresi için güç yoğunluğunun akım yoğunluğuna göre değişimi incelenmiş ve çalışmanın nihai amacına ulaştığı düşünülmektedir. Bundan sonraki yapılacak olan çalışmalar için öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Elektriksel iletkenliği arttırıcı yönde etki yapacak farklı nanopartiküllerin homojen yapıdaki, PVA nanofiberlere katılmasıyla, yeni oluşacak nanofiberlerin PEM yakıt hücresinde test edilmesi.
- Homojen yapıda bulunan, PVA nanofiberlere, farklı özelliklerde nanopartiküller ilave edilerek elde edilen yeni yapıların morfolojik yapılarının ve ısı iletkenlik katsayılarının incelenmesi.
- Farklı nanopartiküllerin, PVA nanofibere katılmasıyla elde edilen nanofiberlerin hidrofilik/hidrofobik etkileşiminin belirlenmesi.
- PVA nanofiberlere farklı oranlarda, farklı nanopartiküllerin eklenmesiyle elde edilen nanofiberlerin kristal yapısının analiz edilmesi.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2013, *Polivinil Alkol (PVA) ve Özellikleri* [online], <http://www.solverkimya.com/site/makaleler/yapikimyasallarimakaleler/polivinil-alkol-pva-ve-ozellikleri.html> [Ziyaret Tarihi: 5 Mayıs 2019].
- Anonim, 2016, *Gümüş Nanopartikül* [online], <https://prezi.com/6odrw3q8nald/gumus-nanopartikul/> [Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2019].
- Anonim, 2018, *Sıcaklık Kontrollü İletkenlik Ölçüm Cihazı* [online], <http://entekelectronic.com/urunler/four-point-probe/> [Ziyaret Tarihi: 8 Mayıs 2019].
- Anonim, 2019, *Polivinil Alkol* [online], <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/81381?lang=en&region=TR> [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2019].
- Anonim, 2019, *SEM-Taramalı Elektron Mikroskopu* [online], [https://www.selcuk.edu.tr/ileri\\_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5874/tr](https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5874/tr) [Ziyaret Tarihi: 12 Mayıs 2019].
- Anonim, 2019, *DataPhysics Instruments* [online], [https://www.dataphysics-instruments.com/?gclid=EAIaIQobChMI6afxxaj64QIVVON3Ch29kgZIEAAYASAAEgI8T\\_D\\_BwE](https://www.dataphysics-instruments.com/?gclid=EAIaIQobChMI6afxxaj64QIVVON3Ch29kgZIEAAYASAAEgI8T_D_BwE) [Ziyaret Tarihi: 12 Mayıs 2019].
- Anonim, 2019, *XRD-X Işını Kırınım Cihazı* [online], [https://www.selcuk.edu.tr/ileri\\_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5877/tr](https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5877/tr) [Ziyaret Tarihi: 12 Mayıs 2019].
- Anonim, 2019, *TEM JEOL JEM-2100 (UHR)* [online], [https://www.selcuk.edu.tr/ileri\\_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/42237/tr](https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/42237/tr) [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2019].
- Bahaulddin, M. H. B., 2019, Elektro-Eğirme Metoduyla Üretilen Ag Nanopartikül/Nanotelli PAN+PMMA Kompozit Nanofiberlerin Elektriksel İletkenliklerinin ve Hidrofobik/Hidrofilik Etkileşiminin İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Konya*.
- Bai, J., Li, Y., Yang, S., Du, J., Wang, S., Zheng, J., Wang, Y., Yang, Q., Chen, X. ve Jing, X., 2007, A simple and effective route for the preparation of poly (vinylalcohol)(PVA) nanofibers containing gold nanoparticles by electrospinning method, *Solid State Communications*, 141 (5), 292-295.
- Baji, A., Mai, Y.-W., Wong, S.-C., Abtahi, M. ve Chen, P., 2010, Electrospinning of polymer nanofibers: effects on oriented morphology, structures and tensile properties, *Composites science and technology*, 70 (5), 703-718.
- Balcı, H., 2006, Akıllı (fonksiyonel) tekstiller, seçilmiş kumaşlarda antibakteriyel apre ve performans özellikleri, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Adana*.
- Barakat, N. A., Woo, K.-D., Kanjwal, M. A., Choi, K. E., Khil, M. S. ve Kim, H. Y., 2008, Surface plasmon resonances, optical properties, and electrical conductivity thermal hysteresis of silver nanofibers produced by the electrospinning technique, *Langmuir*, 24 (20), 11982-11987.
- Bilim ve Teknik, 2006, Türkiye'de Nanoteknoloji, *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, 2006 Aralık sayısı, 1-22.
- Bilim ve Teknik, 2007, Akıllı Nanoyüzeyler, *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, 2007 Nisan sayısı, 52-56.
- Celep, Ş. ve Koç, E., 2008, Nanoteknoloji Ve Tekstilde Uygulama Alanları, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cilt 17-7*.
- Çelebioğlu, A., Kayacı, F., Deniz, A. E. ve Uyar, T., 2010, Elektrospin Yöntemi ile Fonksiyonel Nanofiberin Geliştirilmesi, 24. *Ulusal Kimya Kongresi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak*.



- Dinç, H., 2013, Polivinil borat sentezin; elektrospon yöntemiyle nanofiber hazırlanması ve karakterizasyonu, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Konya*.
- Dincer, K., 2013, PEM Yakıt Hücresinin Katod Tarafı Performansının Geliştirilmesi, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 12 (2), 38-49.
- Ding, W., Wei, S., Zhu, J., Chen, X., Rutman, D. ve Guo, Z., 2010, Manipulated electrospun PVA nanofibers with inexpensive salts, *Macromolecular Materials and Engineering*, 295 (10), 958-965.
- Ekrem, M., 2017, Mechanical properties of MWCNT Reinforced polyvinyl alcohol nanofiber mats by electrospinning method, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 4 (2), 190-200.
- Ekrem, M. ve Avcı, A., 2018, Effects of polyvinyl alcohol nanofiber mats on the adhesion strength and fracture toughness of epoxy adhesive joints, *Composites Part B: Engineering*, 138, 256-264.
- Eksik, O., 2009, Nano Gümüş Partikülleri İçeren Yağ Bazlı Polimer Kompozitlerin Sentezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Doktora Tezi, İstanbul*.
- El-aziz, A. A., El-Maghraby, A. ve Taha, N. A., 2017, Comparison between polyvinyl alcohol (PVA) nanofiber and polyvinyl alcohol (PVA) nanofiber/hydroxyapatite (HA) for removal of  $Zn^{2+}$  ions from wastewater, *Arabian journal of chemistry*, 10 (8), 1052-1060.
- Enil, G. ve Köseoğlu, Y., 2016, Fen bilimleri (fizik, kimya ve biyoloji) öğretmen adaylarının nanoteknoloji farkındalık düzeyleri, ilgileri ve tutumlarının araştırılması, *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 2 (1), 50-63.
- Ergün, S. S., Ocağ, İ. ve Ergün, E., 2017, Fen Bilimleri öğretmenlerinin nanoteknoloji hakkındaki görüşleri, *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 272-282.
- Frenot, A. ve Chronakis, I. S., 2003, Polymer nanofibers assembled by electrospinning, *Current opinion in colloid & interface science*, 8 (1), 64-75.
- Fu, H., Yang, X., Jiang, X. ve Yu, A., 2013, Bimetallic Ag–Au nanowires: synthesis, growth mechanism, and catalytic properties, *Langmuir*, 29 (23), 7134-7142.
- Gaaz, T., Sulong, A., Akhtar, M., Kadhum, A., Mohamad, A. ve Al-Amiery, A., 2015, Properties and applications of polyvinyl alcohol, halloysite nanotubes and their nanocomposites, *Molecules*, 20 (12), 22833-22847.
- Ge, J., Higier, A. ve Liu, H., 2006, Effect of gas diffusion layer compression on PEM fuel cell performance, *Journal of power sources*, 159 (2), 922-927.
- Hong, K. H., Park, J. L., Sul, I. H., Youk, J. H. ve Kang, T. J., 2006, Preparation of antimicrobial poly (vinyl alcohol) nanofibers containing silver nanoparticles, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 44 (17), 2468-2474.
- Hou, S., Chi, B., Liu, G., Ren, J., Song, H. ve Liao, S., 2017, Enhanced performance of proton exchange membrane fuel cell by introducing nitrogen-doped CNTs in both catalyst layer and gas diffusion layer, *Electrochimica Acta*, 253, 142-150.
- Jin, W.-J., Jeon, H. J., Kim, J. H. ve Youk, J. H., 2007, A study on the preparation of poly (vinyl alcohol) nanofibers containing silver nanoparticles, *Synthetic Metals*, 157 (10-12), 454-459.
- Kamarudin, S. K., Daud, W. R. W., Som, A. M., Takriff, M. S. ve Mohammad, A. W., 2006, Technical design and economic evaluation of a PEM fuel cell system, *Journal of power sources*, 157 (2), 641-649.

- Keçebaş, A., Gedik, E. ve Kayfeci, M., 2010, Fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan hava kirliliği üzerine jeotermal enerji ve doğalgaz kullanımının etkisi: Afyon örneği, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (3), 23-30.
- Kitahara, T., Nakajima, H. ve Mori, K., 2012, Hydrophilic and hydrophobic double microporous layer coated gas diffusion layer for enhancing performance of polymer electrolyte fuel cells under no-humidification at the cathode, *Journal of power sources*, 199, 29-36.
- Kiyak, Y. E. ve Cakmak, E., 2014, Nanofiber Production Methods, *Electronic Journal of Vehicle Technologies/Tasit Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8 (3).
- Knights, S. D., Colbow, K. M., St-Pierre, J. ve Wilkinson, D. P., 2004, Aging mechanisms and lifetime of PEFC and DMFC, *Journal of power sources*, 127 (1-2), 127-134.
- Kozanoğlu, G. S., 2006, Elektrosinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.
- Köse, İ. İ., Genç, İ. ve Demiralp, B., 2015, Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin İncelenmesi, *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 10-19.
- Lee, J. S., Choi, K. H., Ghim, H. D., Kim, S. S., Chun, D. H., Kim, H. Y. ve Lyoo, W. S., 2004, Role of molecular weight of atactic poly (vinyl alcohol)(PVA) in the structure and properties of PVA nanofabric prepared by electrospinning, *Journal of Applied Polymer Science*, 93 (4), 1638-1646.
- Li, D., Wang, Y. ve Xia, Y., 2004, Electrospinning nanofibers as uniaxially aligned arrays and layer-by-layer stacked films, *Advanced materials*, 16 (4), 361-366.
- Lim, C. T., 2017, Nanofiber technology: current status and emerging developments, *Progress in Polymer Science*, 70, 1-17.
- Litster, S. ve McLean, G., 2004, PEM fuel cell electrodes, *Journal of power sources*, 130 (1-2), 61-76.
- Maass, S., Finsterwalder, F., Frank, G., Hartmann, R. ve Merten, C., 2008, Carbon support oxidation in PEM fuel cell cathodes, *Journal of power sources*, 176 (2), 444-451.
- Menceloğlu, Y. Z. ve Menciloğlu, Y. Z., 2008, Uluslararası rekabet stratejileri: nanoteknoloji ve Türkiye, TÜSİAD (Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği)/Sabancı Üniversitesi.
- Oh, S. H., Kang, S. G., Kim, E. S., Cho, S. H. ve Lee, J. H., 2003, Fabrication and characterization of hydrophilic poly (lactic-co-glycolic acid)/poly (vinyl alcohol) blend cell scaffolds by melt-molding particulate-leaching method, *Biomaterials*, 24 (22), 4011-4021.
- Özveren, U., 2006, PEM Yakıt Hücrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, TC Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Padil, V. V. T. ve Černík, M., 2015, Poly (vinyl alcohol)/gum karaya electrospun plasma treated membrane for the removal of nanoparticles (Au, Ag, Pt, CuO and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) from aqueous solutions, *Journal of hazardous materials*, 287, 102-110.
- Paipitak, K., Pornpra, T., Mongkotalang, P., Techitdheer, W. ve Pecharapa, W., 2011, Characterization of PVA-chitosan nanofibers prepared by electrospinning, *Procedia Engineering*, 8, 101-105.
- Pan, H., Li, L., Hu, L. ve Cui, X., 2006, Continuous aligned polymer fibers produced by a modified electrospinning method, *Polymer*, 47 (14), 4901-4904.

- Park, S., Lee, J.-W. ve Popov, B. N., 2012, A review of gas diffusion layer in PEM fuel cells: Materials and designs, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (7), 5850-5865.
- Pekdemir, 2016, Dört Nokta Tekniği ile Elektriksel İletkenlik Ölçümü Deneyi Föyü, Erciyes Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Malzeme Üretim ve Karakterizasyon Laboratuvarı Dersi Laboratuvar Uygulamaları.
- Penide, J., Quintero, F., del Val, J., Comesaña, R., Lusquiños, F., Riveiro, A. ve Pou, J., 2014, Laser spinning: a new technique for nanofiber production, *Physics Procedia*, 56, 365-370.
- Pirzada, T., Arvidson, S. A., Saquing, C. D., Shah, S. S. ve Khan, S. A., 2012, Hybrid silica-PVA nanofibers via sol-gel electrospinning, *Langmuir*, 28 (13), 5834-5844.
- Ramakrishna, S., 2005, An introduction to electrospinning and nanofibers, World Scientific, p.
- Roch, A., Greifzu, M., Talens, E. R., Stepien, L., Roch, T., Hege, J., Van Nong, N., Schmiel, T., Dani, I. ve Leyens, C., 2015, Ambient effects on the electrical conductivity of carbon nanotubes, *Carbon*, 95, 347-353.
- Rozik, N. N. ve Ward, A. A., 2018, A novel approach on poly (ionic liquid)-based poly (vinyl alcohol) as a hydrophilic/hydrophobic conductive polymer electrolytes, *Polymer Bulletin*, 75 (1), 267-287.
- Sheikh, F. A., Barakat, N. A., Kanjwal, M. A., Park, S. J., Park, D. K. ve Kim, H. Y., 2010, Synthesis of poly (vinyl alcohol)(PVA) nanofibers incorporating hydroxyapatite nanoparticles as future implant materials, *Macromolecular research*, 18 (1), 59-66.
- Son, W. K., Youk, J. H., Lee, T. S. ve Park, W. H., 2005, Effect of pH on electrospinning of poly (vinyl alcohol), *Materials letters*, 59 (12), 1571-1575.
- Söylemez, E., 2016, Polivinil alkol/polietilenimin (PVA/PEI) kompozit nanofibresinin elektrospinning yöntemi ile üretimi, karakterizasyonu ve çeşitli kullanım alanlarına uygulanması, *Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Çorum*.
- Süslü, A., 2009, Elektro-eğirme yöntemi ile nanofiber ve nanotüp üretimi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İzmir*.
- Thenmozhi, S., Dharmaraj, N., Kadirvelu, K. ve Kim, H. Y., 2017, Electrospun nanofibers: new generation materials for advanced applications, *Materials Science and Engineering: B*, 217, 36-48.
- Trefilov, A. M., Tiliakos, A., Serban, E. C., Ceaus, C., Iordache, S. M., Voinea, S. ve Balan, A., 2017, Carbon xerogel as gas diffusion layer in PEM fuel cells, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (15), 10448-10454.
- Tüylek, Z., 2016, Küçük Şeylerin Hikayesi: Nanomalzeme, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (2), 130-141.
- Wang, L., Husar, A., Zhou, T. ve Liu, H., 2003, A parametric study of PEM fuel cell performances, *International Journal of Hydrogen Energy*, 28 (11), 1263-1272.
- Wei, M., Jiang, M., Liu, X., Wang, M. ve Mu, S., 2016, Graphene-doped electrospun nanofiber membrane electrodes and proton exchange membrane fuel cell performance, *Journal of power sources*, 327, 384-393.
- Yang, D., Li, Y. ve Nie, J., 2007, Preparation of gelatin/PVA nanofibers and their potential application in controlled release of drugs, *Carbohydrate Polymers*, 69 (3), 538-543.
- Yılmaz D., 2013, Taramalı Elektron Mikroskobu, Ders Sunumu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Zamri, M., Zein, S. H. S., Abdullah, A. Z. ve Basir, N. I., 2011, Improved electrical conductivity of polyvinyl alcohol/multiwalled carbon nanotube nanofibre composite films with MnO<sub>2</sub> as filler synthesised using the electrospinning process, *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 11 (06).
- Zhao, C., Zhang, X., Jiang, A. ve Pan, Z., 2018, Adhesion and protective properties of polyvinyl alcohol nanofibrous composite fabrics, *The journal of the Textile Institute*, 109 (10), 1263-1269.



**EKLER****EK-1.** Saf PVA ve Ag veya Pt Katkılı PVA Nanofiberler İçin Yapılan Deneyleerde Üretilen Nanofiber Numunelerine Ait Görüntüler

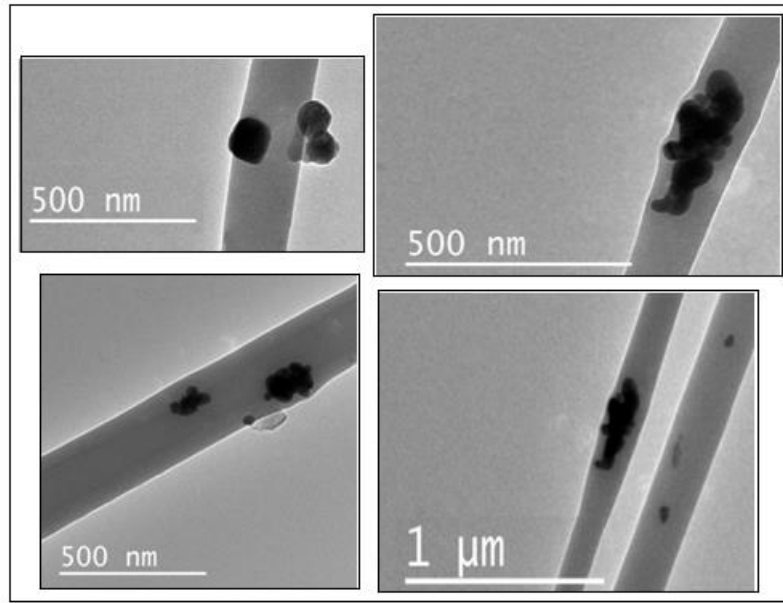
Saf PVA ve Ag veya Pt katkılı PVA nanofiberlerin üretim parametrelerinin tespitini belirlemek için yapılmış olan deneyleerde üretilen nanofiber numunelerinden bazı görüntüler aşağıda sunulmuştur.



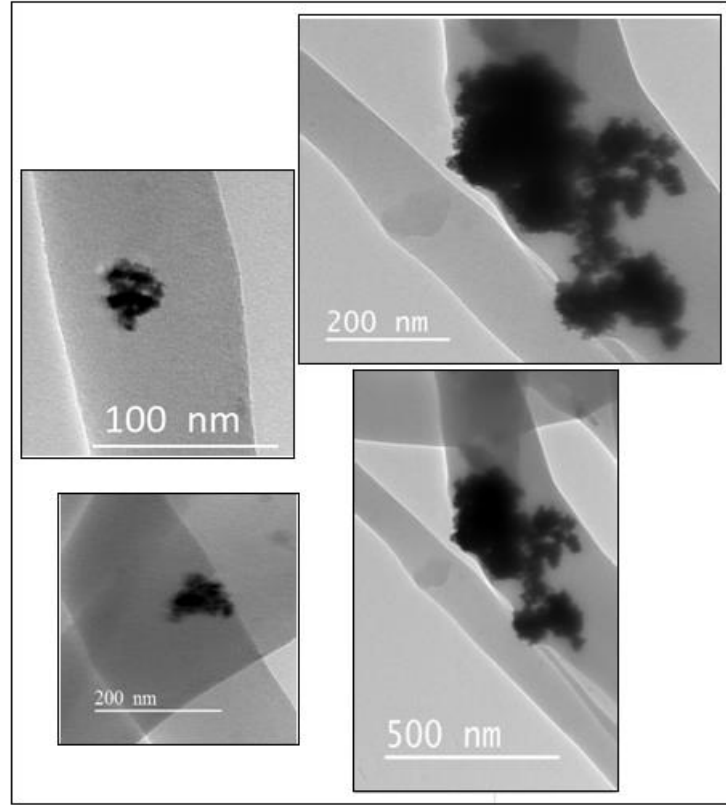
## EK-2. Ag veya Pt Nanopartikül Katkılı PVA Nanofiberlerin TEM Görüntüleri

Geçirimli Elektron Mikroskobu veya TEM (Transmission Electron Microscope) çok ince bir örnek içinden geçirilen yüksek enerjili elektronların görüntülenmesi prensibine dayanır. Elektronların örnek ile etkileşimleri sonucu oluşan görüntü büyütülür ve floresans ekran, fotoğrafik film katmanı ya da CCD kamera gibi bir sensör üzerine odaklanır (Anonim, 2019). Yapıdaki Ag ve Pt nanopartikül varlığını görmek için TEM analizi yapılmıştır.

### Ek-2.1. % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin TEM görüntüleri



Ek-2.1 incelendiğinde, taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilen % 5 Ag nanopartikül katkılı PVA nanofiberin TEM görüntüleri gösterilmiştir. Elektronların örnek ile etkileşimleri sonucu büyütülen nanofiber görüntülerine göre yapıdaki Ag nanopartikülün varlığı açıkça görülmektedir.

**Ek-2.2.** % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin TEM görüntüleri

Ek-2.2 analiz edildiğinde, taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilen % 5 Pt nanopartikül katkılı PVA nanofiberin TEM görüntüleri sunulmuştur. Elektronların örnek ile etkileşimleri sonucu büyütülen nanofiber görüntülerine göre yapıdaki Pt nanopartikülün varlığı açıkça görülmektedir.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Fevzi KURUL  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : KONYA 01.01.1993  
**Telefon** : 0505 916 32 40  
**Faks** : -  
**e-mail** : fevzikurul42@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Erbil Kuru Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2011
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2016
Yüksek Lisans:	Konya Teknik Üniversitesi	
Doktora	: -	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013	Mepsan Petrol Cihazları	Stajyer Mühendis
2014	Mepsan Petrol Cihazları	Stajyer Mühendis
2017	Fimak Fırın Makinaları	Makine Mühendisi

### UZMANLIK ALANI :

Nano parçacıklı/nano fiberlerin elektriksel iletkenlik performansının incelenmesi  
 Hidrofobik/hidrofilik teknolojileri  
 Üretim/Üretim Mühendisliği  
 Makine Mühendisliği  
 Yalın Üretim

### YABANCI DİLLER: İngilizce

**BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER:** Solidworks, Autocad, Netsis, MS Word, MS Excel, MS Power Point, Origin pro8, C Sharp, Photoshop

### YAYINLAR

Kurul, F., Dincer, K., 2019 Elektrospun Cihazı ile Üretilen Üniorm Yapıdaki PVA Nanofiberin Üretim Parametrelerinin Tespiti, "4. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi", 1153-1161.