

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROMANYETİK RADYASYON KORUYUCU  
UHMWPE/Ni/Ag HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ayşe Betül DEMİR**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**TEMMUZ 2023**



**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTROMANYETİK RADYASYON KORUYUCU  
UHMWPE/Ni/Ag HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ayşe Betül DEMİR**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cuma BİNDAL**

**Ortak Danışman: Doç. Dr. Güzde Fatma ÇELEBİ EFE**

**TEMMUZ 2023**



Ayşe Betül Demir tarafından hazırlanan “Elektromanyetik Radyasyon Koruyucu UHMWPE/Ni/Ag Hibrit Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 31.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Tez Jürisi**

- Jüri Başkanı :**      **Prof. Dr. Cuma BİNDAL (Danışman)** .....  
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :**      **Prof. Dr. Mediha İPEK** .....  
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :**      **Dr.Öğr. Üyesi İbrahim ALTINSOY** .....  
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :**      **Doç. Dr. Gözde Fatma ÇELEBİ EFE** .....  
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
- Jüri Üyesi :**      **Prof. Dr. Özkan ÖZDEMİR** .....  
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Elektromanyetik Radyasyon Koruyucu UHMWPE/Ni/Ag Hibrit Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(31/07/2023)



Ayşe Betül DEMİR





## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım süresince daima bana destek olan saygıdeğer büyüğüm ve danışman hocam Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Sayın Prof. Dr. Cuma BİNDAL'a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım da daima desteğini ve yardımlarını eksik etmeyen, laboratuvar olanakları konusunda da olanakları önüme seren, fikirlerine her zaman sadık kaldığım çok değerli Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi tez ortak danışman hocam Doç. Dr. Gözde Fatma ÇELEBİ EFE'ye teşekkürlerimi sunarım. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü kapsamında yardımlarından, fikirlerinden ve deneyimlerinden yararlandığım hocam Doç. Dr. Tuba YENER'e, Dr. Öğr. Üyesi Hasan ALGÜL'e, Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ALTINSOY'a, Tekniker Erkut TAŞ'a, Teknisyen Murat KAZANCI'ya ve Öğr. Gör. Fuat KAYIŞ'a, diğer tüm bölüm çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Sakarya Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümü bünyesinde sayın hocam Doç. Dr. Şuayb Çağrı YENER'e Elektromanyetik ekranlama etkinliği çalışmalarım da hep destek verdiği için teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam süresince fikirlerini ve desteklerini çekinmeden aldığım arkadaşım Arş.Gör. Sezer TAN'a ve diğer tüm arkadaşlarıma yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Ve en önemlisi maddi manevi her koşulda ve her zaman yanımda hissettiğim Canım Ailem'e çok çok teşekkür ediyorum.

Ayşe Betül Demir



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	v
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	vii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>KISALTMALAR</b> .....	xi
<b>SİMGELER</b> .....	xiii
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	xv
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xvii
<b>ÖZET</b> .....	xix
<b>SUMMARY</b> .....	xxi
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. POLİMER MALZEMELER</b> .....	3
2.1. Polimer Malzemelerin Yapısı ve Özellikleri .....	3
2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	4
2.3. Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE).....	6
2.4. İletken Polimerler .....	7
2.4.1. Özünde iletken polimerler (ICP) .....	8
2.4.2. İletken polimer kompozitler (CPC) .....	8
2.4.2.1. Metal dolgular .....	8
<b>3. AKIMSIZ METAL KAPLAMA</b> .....	<b>11</b>
3.1. Akımsız Nikel Kaplama .....	12
3.1.1. Nikelin genel özellikleri.....	14
3.2. Akımsız Gümüş Kaplama.....	15
3.2.1. Gümüşün genel özellikleri .....	16
3.3. Nanomalzemeler .....	17
3.3.1. Nanopartiküllerin oluşum esasları.....	18
3.3.2. Metalik nanopartiküllerin sentezi .....	23
<b>4. ELEKTROMANYETİK TEMEL KAVRAMLAR</b> .....	<b>25</b>
4.1. Elektrik Alan.....	25
4.2. Manyetik Alan .....	26
4.2.1. Diyamanyetizma ve paramanyetizma.....	30
4.2.2. Ferromanyetizma.....	30
4.3. Elektromanyetik Dalgalar .....	31
4.4. Elektromanyetik Spektrum .....	32
4.4.1. Radyo dalgaları .....	33
4.4.2. Mikro dalgalar .....	33
4.5. Elektromanyetik Radyasyon ve Girişim (EMR-EMI) .....	34
4.5.1. Elektromanyetik girişim koruması (EMI ekranlama).....	35
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>39</b>
5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler.....	39
5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar .....	39
5.2.1. Hassas terazi.....	39

5.2.2. Etüv fırın.....	40
5.2.3. Sıcak pres.....	40
5.2.4. SEM-EDS, XRD ve FT-IR.....	40
5.2.5. Elektromanyetik ekranlama ölçümü .....	40
5.3. Deneysel Çalışmalarda İzlenen Yol .....	40
5.3.1. Akımsız nikel kaplama ve UHMWPE-Ni (UH-Ni) kompozitlerinin üretimi .....	42
5.3.2 UH-Ni kompozitlerinin Akımsız gümüş kaplanması ve (UH-Ni) <sub>Ag</sub> kompozitlerinin üretimi.....	43
5.3.3. Kimyasal indirgenme yöntemi ile NanoAg sentezi ve (UH-Ni) <sub>NAg</sub> kompozitlerinin üretimi.....	44
<b>6. DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>47</b>
6.1. Kaplanmış Tozların Karakterizasyonu.....	47
6.1.1. UH-Ni tozlarının SEM incelemesi .....	47
6.1.2. (UH-Ni) <sub>Ag</sub> tozların SEM incelemesi .....	48
6.1.3. (UH-Ni) <sub>NAg</sub> tozların SEM incelemesi .....	50
6.1.4. UH-Ni , (UH-Ni) <sub>Ag</sub> ve (UH-Ni) <sub>NAg</sub> tozlarının XRD analizleri.....	52
6.2. Bulk Kompozit Numunelerin Karakterizasyonu .....	53
6.2.1. UH-Ni , (UH-Ni) <sub>Ag</sub> ve (UH-Ni) <sub>NAg</sub> kompozitlerinin FT-IR analizleri .....	53
6.2.2. UH-Ni , (UH-Ni) <sub>Ag</sub> ve (UH-Ni) <sub>NAg</sub> kompozitlerinin kırık yüzey SEM incelemesi.....	55
6.2.3. Elektromanyetik ekranlama etkinliği (EMI SE) ölçümü.....	61
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>65</b>
7.1. Sonuçlar.....	65
7.2. Öneriler .....	66
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>75</b>

## **KISALTMALAR**

<b>ASTM</b>	: Uluslararası Amerikan test ve materyalleri topluluğu
<b>ABS</b>	: Akrilonitril Bütadien Stiren
<b>CPC</b>	: İletken Polimer Kompozit
<b>EM</b>	: Elektro Manyetik
<b>EMA</b>	: Elektromanyetik Alan
<b>EMI SE</b>	: Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği
<b>EMC</b>	: Elektromanyetik Uyumluluk
<b>EMR</b>	: Elektromanyetik Radyasyon
<b>EMG</b>	: Elektro Manyetik Girişim
<b>EDS</b>	: Enerji Dispersif Spektrum
<b>FT-IR</b>	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre
<b>HDPE</b>	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
<b>ICP</b>	: Özünde İletken Polimer
<b>NP</b>	: Nanopartikül
<b>PANI</b>	: Polianilin
<b>PTh</b>	: Politiyofen
<b>PPy</b>	: Polipirol
<b>PEDOT</b>	: Poli(3,4-etilendioksitiyofen)
<b>SE</b>	: Ekranlama Etkinliği
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>UHMWPE</b>	: Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen
<b>UHF</b>	: Ultra Yüksek Frekans



## SİMGELER

<b><math>\mu\text{m}</math></b>	: Mikrometre
<b><math>\text{nm}</math></b>	: Nanometre
<b><math>\text{C}</math></b>	: Coulomb, elektrik yükü birimi
<b><math>\text{GHz}</math></b>	: Gigahertz
<b><math>\text{MHz}</math></b>	: Megahertz
<b><math>\text{cm}</math></b>	: Santimetre
<b><math>\text{m}</math></b>	: Metre
<b><math>\text{mm}</math></b>	: Milimetre
<b><math>\text{M}</math></b>	: Molarite
<b><math>\text{ml}</math></b>	: Mililitre
<b><math>^{\circ}\text{C}</math></b>	: Santigrat
<b><math>\text{dB}</math></b>	: Desibel
<b><math>\text{E}</math></b>	: Elektrik Alan Şiddeti
<b><math>\text{B}</math></b>	: Magnetik Alan (Tesla)
<b><math>\text{H}</math></b>	: Magnetik Alan Şiddeti (A/m)
<b><math>\mu_B</math></b>	: Bohr Magneton ( $\text{A}\cdot\text{m}^2$ )
<b><math>M_r</math></b>	: Kalıcı Magnetizasyon
<b><math>c</math></b>	: Işık Hızı (km/s)





## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Polimer ve dolgu malzemelerinin seçilme kriterleri. ....	9
<b>Tablo 3.1.</b> Nikel'in genel özellikleri. ....	14
<b>Tablo 3.2.</b> Gümüş'ün genel özellikleri. ....	16
<b>Tablo 5.1.</b> Akımsız nikel kaplama banyo bileşimi. ....	42
<b>Tablo 5.2.</b> Akımsız Ag kaplama banyo bileşimi. ....	44
<b>Tablo 6.1.</b> Tez çalışması ve literatürdeki bazı EMI koruması çalışma örnekleri. ....	64



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. n sayıda tekrar eden birimden oluşan polietilen yapısı. ....	3
Şekil 2.2. Polimer yapı molekülleri tipleri (a) Düz , (b) Dallanmış , (c) Çapraz Bağlı. .....	5
Şekil 2.3. Bazı malzemelerin iletkenlik değer aralıkları. ....	7
Şekil 3.1. Nikel metali. ....	15
Şekil 3.2. Gümüş metali. ....	17
Şekil 3.3. Nanomalzemelerin a) sıfır boyutlu (0-D), b) bir boyutlu (1-D), c) iki boyutlu (2-D) ve d) üç boyutlu (3-D) kategorize edilmiş şematik gösterim. ....	18
Şekil 3.4. Sıvı içindeki küresel partikülün çekirdekleşmesini gösteren şema. ....	19
Şekil 3.5. Çekirdek oluşum serbest enerjisi ve çekirdek yarıçapı ilişkisi şematik gösterimi. ....	20
Şekil 3.6. Katının sıvıdan heterojen çekirdeklenmesi gösterimi. ....	21
Şekil 3.7. La-Mer diagramı: Çekirdeklenme ve büyüme süreçleri. ....	23
Şekil 4.1. Elektrik alan çizgileri. ....	26
Şekil 4.2. Manyetik alan çizgileri. ....	27
Şekil 4.3. Sağ el kuralı olarak bilinen manyetik alan vektörleri. ....	28
Şekil 4.4. (a) Yörünge elektronu ve (b) dönen elektron ile ilişkili manyetik moment gösterimi. ....	29
Şekil 4.5. Manyetik histerezis eğrisi. ....	31
Şekil 4.6. Elektromanyetik dalga çizgileri. ....	32
Şekil 4.7. Elektromanyetik dalga spektrum. ....	33
Şekil 4.8. Elektromanyetik girişim bölgeleri. ....	35
Şekil 4.9. EMI ekranlama prensibi. ....	37
Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda izlenen yol şematik gösterimi. ....	41
Şekil 5.2. Akımsız kaplama yöntemi ile UHMWPE toz partiküllerinin Ni ile kaplanması ve UH-Ni kompozitlerinin üretiminin akım şeması. ....	43
Şekil 5.3. Akımsız Ag kaplama ve (UH-Ni) <sub>Ag</sub> hibrit kompozit üretim şeması. ....	44
Şekil 5.4. Kimyasal indirgenme yöntemi ile NanoAg sentezi ve (UH-Ni) <sub>NAg</sub> kompozitlerinin üretimi. ....	45
Şekil 6.1. UH-Ni tozların a) 100X ve b) 2000X' deki SEM mikrografları. ....	47
Şekil 6.2. UH-Ni tozların 750X' deki SEM mikrografı. ....	48
Şekil 6.3. UH-Ni tozların SEM-EDS analizi. ....	48
Şekil 6.4. (UH-Ni) <sub>Ag</sub> tozlarının a) 100X ve b) 750X' deki SEM mikrografları. ....	49
Şekil 6.5. (UH-Ni) <sub>Ag</sub> tozların SEM-EDS analizi. ....	49
Şekil 6.6. (UH-Ni) <sub>Ag</sub> tozlarının SEM-Map analizi. ....	50
Şekil 6.7. (UH-Ni) <sub>NAg</sub> tozların a) 100X ve b) 150X' deki SEM mikrografları. ....	50
Şekil 6.8. (UH-Ni) <sub>NAg</sub> tozun FESEM mikrografı. ....	51
Şekil 6.9. (UH-Ni) <sub>NAg</sub> tozların SEM-EDS analizi. ....	51
Şekil 6.10. (UH-Ni) <sub>NAg</sub> tozlarının SEM-Map analizi. ....	52
Şekil 6.11. UH-Ni, (UH-Ni) <sub>Ag</sub> ve (UH-Ni) <sub>NAg</sub> tozlarının XRD patternleri. ....	53
Şekil 6.12. FT-IR-Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre. ....	54

<b>Şekil 6.13.</b> UH-Ni , (UH-Ni) <sub>Ag</sub> ve (UH-Ni) <sub>NAg</sub> kompozitlerinin FT-IR analizleri. ..	55
<b>Şekil 6.14.</b> UH-Ni kompozitinin a) 100X, b) 500X, c) 1000X ve d) 5000X' deki kırık yüzey SEM mikrografları. ....	56
<b>Şekil 6.15.</b> (UH-Ni) <sub>Ag</sub> kompozitinin a) 100X, b) 500X, c) 1000X ve d) 5000X' deki kırık yüzey SEM mikrografları. ....	57
<b>Şekil 6.16.</b> (UH-Ni) <sub>NAg</sub> kompozitinin a) 100X, b) 500X, c) 1000X ve d) 3000X' deki kırık yüzey SEM mikrografları. ....	58
<b>Şekil 6.17.</b> a) UH-Ni, b) (UH-Ni) <sub>Ag</sub> ve c) (UH-Ni) <sub>NAg</sub> kompozitlerinin kırık yüzey EDS analizleri. ....	59
<b>Şekil 6.18.</b> Ekranlama etkinliği, a) 8-12 GHz (X Bandı) için, b) 12-20 GHz (Ku Bandı) için ölçüm grafikleri. ....	62

# **ELEKTROMANYETİK RADYASYON KORUYUCU UHMWPE-Ni-Ag KOMPOZİT MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ**

## **ÖZET**

Elektronik haberleşme teknolojisinin yaygın olarak uygulanmasının neden olduğu elektromanyetik radyasyon kirliliği önemli ölçüde artmıştır. Bu bağlamda, yüksek yapısal dayanım gerektiren sistemlerde kullanılacak malzemelerin geliştirilmesi ve uygun elektromanyetik ekranlama davranışının sağlanması önemli bir çalışma konusudur. Ayrıca elektronik sistemlerin ve cihazların parazitten etkilenmeden birlikte çalışabilmeleri için elemanlar arasında elektromanyetik izolasyon da gereklidir. Elektromanyetik girişim (EMI) kalkanı, elektromanyetik radyasyonun bloke edilmesi anlamına gelir, böylece radyasyon esas olarak bloke edici ortamdan (veya kalkandan) geçemez. İletken duvarlar elektriksel koruma için kullanılır ve ferromanyetik malzemeler manyetik ekranlama için kullanılır. Ekranlamanın başarı değeri, ekranlama etkinliği (SE) ile ölçülür. Metal matriks elektromanyetik girişim (EMI) koruyucu malzemeler, yüksek yoğunluk, kolay korozyon, zor işleme ve yüksek fiyat gibi dezavantajlara sahiptir. Polimer matrisli kompozitler, düşük yoğunlukları, korozyon dirençleri, rekabetçi fiyatları ve iyi işlenebilirlikleri nedeniyle EMI ekranlamada geniş bir kullanıma sahiptir.

Bu çalışmada, Elektromanyetik radyasyon koruyucu malzemeler geliştirmek amacıyla yüzeyi akımsız nikel kaplamaya hazır hale getirilen UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) toz yüzeyleri kolay bir biriktirme yöntemi olan akımsız kaplama yöntemiyle Nikel ile kaplanmış ve üzerine Ag kaplama ve Nanogümüş katkısı yapılmıştır. Nikel kaplama, Ag ve NanoAg katkılarının tespiti, kompozit matris içerisinde dağılımını gözlemlemek amacıyla SEM-EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. UHMWPE içerisindeki hakim fazlar Ni, Ag ve NanoAg, XRD analizi ile tespit edilmiştir. XRD analiz sonuçları tozların başarılı bir şekilde Ni ve Ag kaplandığını ve NanoAg katkılı olduğunu göstermiştir. Elde edilen tozlar 180 °C'de 15 dk süresince sıcak preslemeye tabi tutularak Ni kaplı ve Ag ve NanoAg katkılı UHMWPE kompozitleri elde edilmiştir. Ni kaplı ve üzerine Ag ve NanoAg katkılı UHMWPE partiküllerine, ekranlama değerlerinin belirlenmesi için EMI-SE (Elektromagnetic Interference Shielding Effectiveness) ölçümü yapılmıştır.

Çalışmanın sonuçları, akımsız Nikel kaplı (UH-Ni) kompozit malzemenin ekranlama değerinin 60 dB civarında, akımsız Ag kaplı (UH-Ni)Ag kompozit malzemenin 55 dB civarında ve NanoAg katkılı (UH-Ni)NAG kompozit malzemenin ekranlama değerinin 50 dB civarında olduğunu göstermiştir. Hem X hem de Ku-bandı için sonuçlar karşılaştırıldıklarında Ni kaplı UHMWPE partikülleri üzerine Ag ve NanoAg ilavesinin ekranlama değerlerini nasıl etkilediği gözlemlenmiştir.



# **DEVELOPMENT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION PROTECTIVE UHMWPE-Ni-Ag COMPOSITE MATERIALS**

## **SUMMARY**

Electromagnetic radiation pollution caused by the widespread application of electronic communication technology has increased significantly. In this context, the development of materials to be used in systems requiring high structural strength and the provision of appropriate electromagnetic shielding behavior is an important subject of study. In addition, electromagnetic isolation is required between the elements so that electronic systems and devices can work together without being affected by interference. Electromagnetic interference (EMI) shielding means blocking electromagnetic radiation so that radiation cannot pass through the essentially blocking medium (or shield). Conductive walls are used for electrical shielding and ferromagnetic materials are used for magnetic shielding. The success value of shielding is measured by shielding effectiveness (SE). Metal matrix electromagnetic interference (EMI) shielding materials have disadvantages such as high density, easy corrosion, difficult machining and high price. Polymer matrix composites are widely used in EMI shielding due to their low density, corrosion resistance, competitive price and good processability.

In this study, in order to develop electromagnetic radiation shielding materials, UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) powder surfaces, which were prepared for electroless nickel plating, were coated with Nickel by electroless coating method, which is an easy deposition method, and Ag coating and Nanosilver were added on it. SEM-EDS analyzes were carried out to detect nickel coating, Ag and NanoAg additives and to observe their distribution in the composite matrix. The dominant phases Ni, Ag and NanoAg in UHMWPE were determined by XRD analysis. XRD analysis results showed that the powders were successfully Ni and Ag coated and NanoAg doped. The obtained powders were subjected to hot pressing at 180 °C for 15 minutes, and Ni-coated and Ag and NanoAg added UHMWPE composites were obtained. EMI SE (Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness) measurement was performed on Ni coated and Ag and NanoAg doped UHMWPE particles to determine the shielding values.

The new high-performance shielding materials produced in the reactor taking into account the availability than an evaluation was made on the heat conduction. In addition to corrosion resistance of the produced samples, and also in terms of mechanical strength tests were performed. The produced products to be used safely reactors not only in nuclear medicine in the treatment room, for the storage of nuclear waste, nuclear research laboratories, against cosmic radiation in space vehicles and has the qualities.

Shielding of the EM waves can be done by means of reflection, multiple reflection and absorption by the shield. Different metals with their alloys and polymeric materials are initially used as shielding materials with some limitations. However, the recent

developments in conductive fabrics and composites replace the conventional shielding materials. The composites with better conductivity and light weight could be a promising barrier material for protecting electronic circuits from the EM radiation and mechanical damage.

This is a non-exhaustive but comprehensive review of materials for electromagnetic interference (EMI) shielding. It covers functional and multifunctional structural shielding materials. The materials include metals, carbons, ceramics, cement, polymers, hybrids and composites. Metals and carbons are the main functional materials. Ceramics, cement and polymers are typically not very effective, unless they are combined with a functional material. Due to the availability of numerous types of microcarbons and nanocarbons, shielding materials in the form of metal-carbon, ceramic-carbon, cement-carbon and polymer-carbon combinations have received much attention. Continuous carbon fiber composites and cement-based materials are dominant among structural shielding materials. The principles of shielding materials design are covered, with consideration of the science base and material structure. The common pitfalls in shielding materials research are also addressed.

Traditionally, shielding is based on the use of metals with well understood EM properties. However, metals are being increasingly replaced by a variety of less predictable materials. As a result there is significant interest in the development of reliable methods for measuring the shielding effectiveness (SE) of a material. An example serves to illustrate the problem. Molded plastics have largely replaced metal boxes as the housings for commercial electronic equipment. Plastics alone are inherently transparent to EM radiation; therefore, some metal-like property must be added to insure adequate shielding. Existing approaches include conductive sprays, metal fibers injected during the molding stage, zinc-arc spraying, electro- and electroless-plating, foil inserts, and other metallization processes. Metal coated or metal plated polymers are the most widely used materials for EMI shielding.

Electroless metal deposition is a simple and convenient technique to fabricate metallic films and to provide isotropic metal functionalization of 3D structures with complex geometries. Electroless metallization is a wet chemical process where a metal salt is reduced to form a metal layer on a surface.

This review firstly discusses the key concept, loss mechanism and test method of EMI shielding. Then the current development status of EMI shielding materials is summarized, and the research progress of polymer matrix EMI shielding composites with different structures is illustrated, especially for their preparation methods and evaluation. Finally, the corresponding key scientific and technical problems are proposed, and their development trend is also prospected.

Nanoparticles, compared to micro particles have distinctly different properties and advanced characteristics. Silver nanoparticles are one of the metal nanoparticles which has varied and different properties when compared to other material. Silver nanoparticles have received considerable attention due to their attractive physical and chemical properties, Especially suitable for sensor applications, while there are different methods for synthesis of silver nanoparticles, the most popular preparation of Ag nanoparticles is by chemical reduction.

In this study, it is aimed to develop electromagnetic radiation shielding polymer matrix composites by first coating the polymer matrix surface with nickel and then adding silver element to the nickel coated polymer surface with two different methods. SEM-



EDS analyzes were carried out in order to detect the nickel plating, nanosilver and silver additive and to observe its distribution in the composite matrix. The dominant phases Ni, Ag ve NanoAg in UHMWPE were determined by XRD analysis. The obtained powders were subjected to hot pressing and Ni coated, nanosilver and silver added UHMWPE composites were obtained.

Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) is a semicrystalline polymer that has been used for over four decades as a bearing surface in total joint replacements. The mechanical properties and wear properties of UHMWPE are of interest with respect to the in vivo performance of UHMWPE joint replacement components. The mechanical properties of the polymer are dependent on both its crystalline and amorphous phases. Altering either phase (i.e., changing overall crystallinity, crystalline morphology, or crosslinking the amorphous phase) can affect the mechanical behavior of the material. There is also evidence that the morphology of UHMWPE, and, hence, its mechanical properties evolve with loading. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE), a widely popular polymer matrix material, is used here because of its flexibility, cheapness and easy processing.

The results of the study show that the shielding value of the electroless Nickel coated (UH-Ni) composite material is around 60 dB, the currentless Ag coated (UH-Ni) Ag composite is around 55 dB, and the NanoAg doped (UH-Ni) NAg composite material is around 50 dB. has shown. When the results for both X and Ku-band were compared, it was observed how the addition of Ag and NanoAg on the Ni coated UHMWPE particles affected the shielding values. It is known that the composite sample with an electromagnetic shielding value of around 60 dB is sufficient not only for commercial areas, but also for some applications with high functionality requirements. However, considering the electromagnetic shielding values of Ag and NanoAg doped composite samples to the Ni coated polymer matrix, it has been determined that it is limited to the main commercial application areas.



## 1.GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde, insan hayatının vazgeçilmez birer parçası olan gündelik hayatta birçok elektrikli aletler ve yüksek frekans mertebesine sahip elektronik cihazlar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Bu cihazlara bilişim sistemleri, iletişim ve haberleşme sistemleri, elektronik ev aletleri, ses sistemleri, klima, fotokopi makineleri, havacılık ve otomotiv sistem cihazları, transformatörler, kontrol sistemleri, baz istasyonları, yüksek gerilim hatları, radyo ve televizyon antenleri, tıp alanındaki cihazlar, askeri savunma ve uzay-uydu sistemleri örnek gösterilmektedir (Gedler ve ark., 2016). Bu nedenle elektromanyetik radyasyon kirliliğinin önüne geçilmesi ve cihazların elektromanyetik uyumluluk (EMC:Electromagnetic Compability) içinde çalışması için elektromanyetik ekranlamaya gereksinim yüksek olacaktır. Buna bağlı olarak sistemlerin çevresini etkilemeden verimli çalışması için ekranlama malzemeleri kullanarak absorblama ve yansıtma yoluyla elektromanyetik radyasyonun etkilerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (Yesmin ve ark., 2017). Elektromanyetik radyasyon (EMR) veya EMG, herhangi bir kaynaktan ışık hızının tüm yönlerde yaydığı enerjinin toplamını ifade eder. Elektronik sistemlerin ve cihazların parazitten etkilenmeden birlikte çalışması için elemanlar arasında elektromanyetik izolasyon da gereklidir. Elektromanyetik girişim (EMI) koruması, elektromanyetik radyasyonun bloke edilmesi anlamına gelir, böylece radyasyon esasen bloke edici ortamdan (veya kalkandan) geçemez. Tanım olarak, ekranlama, iki ortamın elektromanyetik izolasyonu olarak verilir. İletken duvarlar elektriksel koruma için, ferromanyetik malzemeler ise manyetik koruma için kullanılır. Ekranlamanın başarı değeri, ekranlama etkinliği (SE:Shielding Effectiveness) ile ölçülür. Elektromanyetik radyasyonu en aza indirmek amacıyla elektromanyetik ekranlama uygulamalarında birçok farklı metalize kompozitler kullanılmıştır. Fakat metallerin ağır olması, esnek yapısının olmaması, paslanabilmesi ve uygulanabilirlik yönünden de verimsiz ve kısıtlı olması farklı elektromanyetik kalkanlama malzemelerine yönelmeyi ve kompozitler üzerine çalışmaların ön plana çıkmasını beraberinde getirmiştir (Mondal ve ark., 2017).

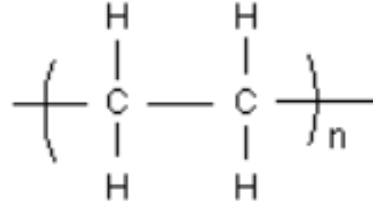
İletken polimer kompozitler (CPC:Conductive Polymer Composite) özellikle GHz bandında elektromanyetik ekranlama uygulamalarında hızla popüler olmuştur. İletken polimer kompozit malzemelerin elektromanyetik ekranlamada yaygın olarak kullanılmasının nedenleri arasında metallere göre hafif, ucuz, esnek yapıya sahip olması, paslanma ve aşınma gibi sorunlarının olmaması, uygulanabilirliği ve işlenmesi kolaylığına sahip olması gibi birçok örnekle sıralanabilir (Altun ve ark., 2017). Geçtiğimiz yıllarda, çeşitli iletken dolgu maddelerine sahip CPC'ler, EMI ekranlama alanında büyük ilgi görmüştür. Gümüş veya nikel gibi metal dolgu maddeleri, ultra yüksek iletkenlikleri nedeniyle yüksek EMI koruyucu CPC'ler için potansiyel katkı maddeleridir. Bununla birlikte, kaçınılmaz olarak yüksek yoğunluk, yüksek maliyet ve düşük işlenebilirlik ile sonuçlanan verimli iletken ağlar oluşturmak için yüksek dolgu yüklemeleri her zaman gereklidir (Duan ve ark., 2017).

Elektromanyetik ekranlamada Ag' ün Ni'den daha fazla yansıtıcı rol oynayacağını düşünerek çıktığımız bu tez çalışmasında kolay bir akımsız biriktirme ile ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) yüzeyine Ni iletken ağ oluşturduktan sonra iki farklı yöntemle Ag ve NanoAg katkısı ilave edilip sıcak sıkıştırma ile metalize polimer kompozitler geliştirerek EMI ekranlama değerlerini kıyaslamak amaçlanmıştır.

## 2. POLİMER MALZEMELER

### 2.1. Polimer Malzemelerin Yapısı ve Özellikleri

Polimerler, gündelik hayatta geniş uygulama alanları bulunan çok yüksek moleküler ağırlığa sahip ve genel olarak kovalent bağlarla birbirine bağlanan n sayıda birimden oluşan malzemelerdir. Örneğin, polietilen uzun zincirli bir polimerdir ve yapısal (veya tekrar eden monomer yapı) birimin -CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>- olduğu ve n'nin polimerin zincir uzunluğunu temsil ettiği yer ile temsil edilir. Şekil 2.1'de n sayıda tekrar eden birimden oluşan polietilen yapısı verilmiştir.



**Şekil 2.1.** n sayıda tekrar eden birimden oluşan polietilen yapısı.

Polimerler, monomer adı verilen küçük moleküler bileşiklerin ya reaktif fonksiyonel gruplara ya da reaksiyonu monomerler arasında gerekli bağlantıları sağlayan ikili veya üçlü bağlarla kimyasal reaksiyonu ile elde edilmektedir. Polimer oluşturmak için monomerler sahip olmalıdır. Ayrıca polimerik malzemeler genellikle yüksek mukavemete, bir cam geçiş sıcaklığına, kauçuk elastikiyet sergiler ve eriyikler ve çözeltiler olarak yüksek viskoziteye sahiptir (A. Kumar ve Gupta, 2003).

Aslında, bu benzersiz özelliklerin birçoğunun kullanılması, polimerleri işlevsel olarak son derece yararlı hale getirmektedir. Gıda ambalajında, giyimde, ev mobilyalarında, ulaşımda, tıbbi cihazlarda, bilgi teknolojisinde ve benzerlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

## 2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerleri sınıflandırmanın en eski yollarından biri, ısıya verdikleri tepkiye dayanmaktadır. Bu sistemde termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki tür polimer mevcuttur. Termoplastik polimerler ısıtıldığında erir ve soğutulduğunda katılaşır. Isıtma ve soğutma işlemleri, birkaç defa uygulanabilmektedir. Termoset polimerler ise sadece ilk ısıtıldıklarında erir. İlk ısıtma sırasında polimer kürlenir; daha sonra yeniden ısıtıldığında erimez, bozulur.

Polimerlerin daha önemli bir sınıflandırması moleküler yapılarına dayanmaktadır. Şekil 2.2’de polimer yapı molekül tipleri verilmiştir. Bu sınıflandırmaya bakılarak, polimerler moleküler yapılarına göre aşağıdaki sıralamalardan biri gibi olabilir:

1. Doğrusal zincirli polimer
2. Dallı zincirli polimer
3. Ağ veya çapraz zincirli polimer

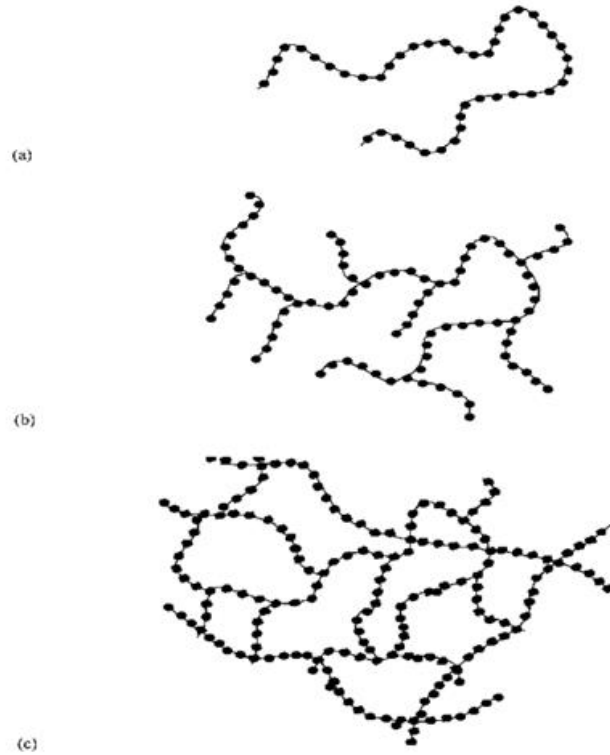
Belirli bir monomerin işlevselliği, bu işlevsel grupların sayısı olarak tanımlanır; ikili bağlar 2 işlevselliğe eşdeğer olarak kabul edilirken üçlü bağlar 4 işlevselliğe sahiptir. Bir polimer oluşturmak için monomer en az iki işlevli olmalıdır; iki işlevli olduğunda, polimer zincirleri her zaman doğrusaldır. Termoplastik polimerlerin birçoğunun, doğrusal zincirlere sahip moleküller olduğuna işaret edilmektedir.

Doğrusal zincirli polimerlerde, tekrar birimleri yani monomerler güçlü kovalent bağlarla bağlıken, diğer moleküller daha zayıf ikincil kuvvetlerle yani Van Der Waals kuvvetleri olan ikincil bağlarla birbirine bağlıdır. Polimere ısı enerjisi verildiğinde, moleküller arası titreşim hareketi oluşur ve ikincil kuvvetlerin bağlarında zayıflama artar böylece moleküller rastgele hareket eder. Tüm kuvvetler aşıldığında ise moleküller serbestçe hareket eder ve polimer erimeye başlar. Bu durum termoplastik polimerlerin yapısının nasıl davranış sergilediğini açıklamaktadır (A. Kumar ve Gupta, 2003). Açık ki, polimer molekülünün moleküler ağırlığı (yani uzunluğu) arttıkça dolaşma sayısı da artar. Makroskopik ölçekte, bir yığın polimer tarafından sergilenen sertlik, moleküler ağırlığı ve dolaşma sayısı ile doğrudan ilişkilidir.

Doğrusal bir polimer içindeki tüm tekrar birimleri aynıysa, polimere homopolimer denir. Polietilen, doğrusal bir homopolimerin iyi bir örneğidir. Ancak, iki ayrı ve farklı tekrar ünitesinden oluşan lineer polimerler üretmek mümkündür.

Bu tür malzemelere kopolimer denir. En çok kullanılan kopolimer örneği, “ABS (Akrilonitril bütadien-stiren)” olarak bilinmektedir (Tuttle, 2004).

Dallanmış polimerlerde, nispeten kısa yan zincirler, bir kovalent bağ vasıtasıyla makromolekülün birincil omurgasına bağlanır. Daha önce olduğu gibi, dallanmış bir polimerin toplu bir numunesinin sertliği, moleküller arasındaki dolaşıklıkların sayısı ile ilgilidir. Dallar, dolaşıklıkların sayısını büyük ölçüde arttırdığından, dallanmış bir polimerin makroskopik sertliği, genel olarak, benzer moleküler ağırlığa sahip doğrusal bir polimerin makroskopik sertliğinden daha büyük olacaktır. Birçok dallı polimerde dallar, moleküler zincirin omurgası ile aynı kimyasal tekrar biriminden oluşur. Son olarak, üçüncü ana moleküler yapı türü, çapraz bağlı veya ağ polimeridir. Bu tür polimerlerin polimerizasyonu sırasında, tek tek moleküler zincirler arasında bir çapraz bağ (yani bir kovalent bağ) oluşur. Bu nedenle, polimerizasyon tamamlandığında geniş bir moleküler ağ oluşur. Sınırdaki, tek bir “molekül” artık tanımlanamaz. Yüksek seviyede çapraz bağlı bir polimerin toplu bir numunesi, tek bir molekül olarak düşünülebilmektedir (Tuttle, 2004).



**Şekil 2.2.** Polimer yapı molekülleri tipleri (a) Düz , (b) Dallanmış , (c) Çapraz Bağlı.

### 2.3. Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE)

Son yıllarda, yeni teknolojilere özel veya mevcut malzemelerin yerine geçecek eşsiz özelliklere sahip birçok yeni polimer geliştirilmiştir. Bunlardan biri de ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE)'dir. UHMWPE, tekrar birimi  $[C_2H_4]_n$  olan ve  $n$  polimerizasyon derecesini gösteren polietilen polimer ailesinin bir üyesidir. Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (UHMWPE), ortalama moleküler ağırlık ve ortalama zincir uzunluğu açısından yüksek yoğunluklu polietilenden (HDPE) farklılık gösteren bir mühendislik polimeridir. Uluslararası Standartlar Örgütü'ne (ISO) göre, UHMWPE'nin moleküler ağırlığı en az 1 milyon g/mol ve polimerizasyon derecesi 36.000 iken, Uluslararası Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu'na (ASTM) göre moleküler ağırlığı 3,1 milyon g/mol 'den fazladır ve polimerizasyon derecesi 110.000'dir (Sobieraj ve Rimnac, 2009a). UHMWPE'nin özellikleri, moleküler kütleden çok mikroyapılarına bağlıdır (Bracco ve ark., 2017). UHMWPE, ara yüzey all-trans fazı olarak tamamen kristal ve tamamen amorf fazlar içeren yarı kristal bir polimerdir. UHMWPE'nin kristalliği, kristalitlerin hacimsel yüzdesine bağlıdır (Sobieraj ve Rimnac, 2009b). UHMWPE'nin özellikleri, amorf ve kristal fazlar arasındaki bağlantılarla belirlenir, yani, bağ molekülleri, kristallik, çapraz bağların ve dolaşmaların derecesi; ve kristalitlerin konumları gibi (Hussain ve ark., 2020).

UHMWPE, kristal ve amorf fazların iki fazlı bir bileşimi olarak tanımlanabilen doğrusal (dallanmayan) yarı kristal bir polimerdir. Kristal faz, kristallerin yapı olarak ortorombik olduğu, yüksek oranda yönlendirilmiş lameller halinde katlanmış zincirler içerir. Lameller 10-50 nm kalınlığında ve 10-50  $\mu$ m uzunluğundadır. Lameller, tek tek lamelleri birbirine bağlayan bağ molekülleri ile amorf faz içinde rastgele yönlendirilir (Bracco ve ark., 2017).

UHMWPE, yüksek darbe direnci, abrazyon aşınmada dahil olmak üzere yüksek aşınma direncine, tokluğa, dayanıklılığa ve biyouyumluluğa sahiptir (Hussain vd., 2020). UHMWPE oksitleyici asitler dışındaki tüm korozif kimyasal maddelere karşı oldukça dirençli, Molekül yapılarında polar grup bulunmadığı için nem absorpsiyonu çok çok düşük, çok düşük sürtünme katsayısı, kendi kendini yağlayıcı özelliğe sahip bir polimer malzemedir (Duan ve ark., 2017).

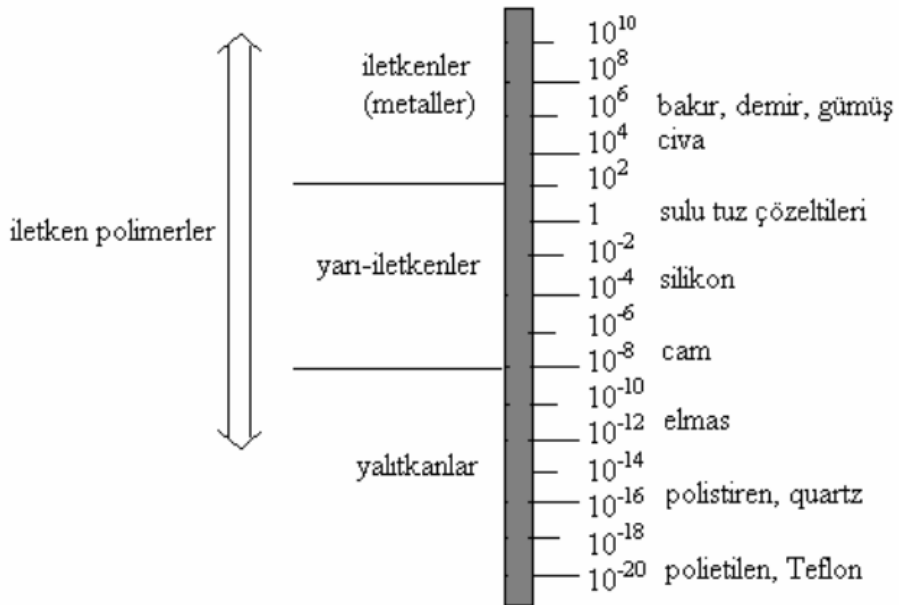


## 2.4. İletken Polimerler

Polimerler özel yapıları ile elektronik uygulamalar için iyi yalıtkanlar olarak bilinirler. Polimerlerdeki gelişmeler, yeni araştırmalarla birlikte on yıllardır istenen iletkenliklere ve geniş bir uygulama alanına odaklanmıştır. Polimerlerin iletkenliği iki şekilde elde edilebilir: (a) özünde iletken olan veya doping yoluyla yapılabilen bir polimer üreterek ve (b) iletken dolgu maddeleri ile elektriksel olarak yalıtkan bir matris yükleyerek elde edilebilir. İletkenlik içeren dolgu maddeleri genellikle Ni, Cu, Ag, Al ve Fe gibi metalik malzemelerin yanı sıra karbon siyahı, karbon fiber, grafit ve karbon nanotüp gibi karbon türevlerine dayanır (Erol ve Çelik, 2013).

Elektrik yalıtkanları, yarı iletkenler ve iletken malzemeler arasındaki iletkenlik sınırları kesin olarak tanımlanmamıştır ve İletken polimerlerin iletkenliği, yarı iletkenlerin iletkenliği arasındadır. Bu polimerlerin güçlü kullanımının nedeni, yeni uygulamalar için büyük potansiyellerinin olmasından kaynaklanmaktadır. Polimerlerin diğer malzemelerin iletkenliği ile karşılaştırılması, Şekil 2.2'de sunulmuştur. İletken polimerler, metallerin elektriksel özellikleri ile geleneksel polimerlerin özelliklerinin birleşmesiyle mükemmel karakteristik gösterirler. İletken polimerlerin iki alt grubu vardır (Cristian ve ark., 2011):

- özünde iletken polimerler,
- katkılı iletken polimerler.



Şekil 2.3. Bazı malzemelerin iletkenlik değer aralıkları (Grancarić et al., 2018).

### **2.4.1. Özünde iletken polimerler (ICP)**

Sentetik metaller olarak da bilinen iletken polimerler (ICP'ler), kaydadeğer elektriksel ve optik özellikler sergileyen polimer malzemelerdir. Bu polimerlerin en çok göz önünde bulunanları polianilin (PANI), polipirol (PPy) ve poli(3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT)'dur. Yüksek elektriksel iletkenlik ve çevresel kararlılık gösterirler ve basitçe elde edilebilirler ancak mekanik özellikler açısından zayıf karakteristik göstermektedirler (Grancarić ve ark., 2018). Yapısal olarak iletken polimerler, yüksek iletkenlik özelliklerine yol açan uzun konjuge çift bağlar içeren polimer zincirlerinden oluşur ve umut verici malzemeler olarak kabul edilirler (Heeger, 2001; D. Kumar ve Sharma, 1998). Yapısal olarak iletken polimerler, akıllı tekstillerin birçok alanındaki uygulamalar için uygundur, ancak yaygın organik çözücülerde erime veya çözünmezlik, zayıf mekanik özellikler ve zayıf işlenebilirlik gibi bazı önemli dezavantajlar sunarlar (Cristian ve ark., 2011).

### **2.4.2. İletken polimer kompozitler (CPC)**

İletken Polimer Kompozitler (CPC'ler), çoğunlukla elektriksel olarak yalıtkan polimerik matrislerin çeşitli tip ve bileşimlerindeki iletken dolgu maddeleri ile birleştirilmesiyle üretilir (Erol ve Çelik, 2013). Mikro veya nano ölçekte ince metalik dolgu maddeleri (Ni, Ag, Cu vb.) ve karbon türevleri (karbon siyahı, karbon nanotüp, grafit, grafen), CPC'lerin oluşumunda en çok kullanılan dolgu maddeleridir. Matristeki dolgu maddesinin kritik bir bölümünde, iletken bir üç boyutlu bir ağ oluşturulur. Ağ eşliğinin üzerinde dolgu bileşimlerine sahip olan kompozitlere CPC'ler denir. İstenen elektriksel iletkenliklere ek olarak, CPC'ler bazı dikkat çekici özelliklere sahiptir; yüksek elektriksel iletkenlik, hafif, korozyona dayanıklı ve iyi mekanik özellikler performansı gibi (Mohd Radzuan ve ark., 2017). Ancak dolgunun geometrisi, tipi, morfolojisi ve yapısı iletken bir ağ oluşumunda kritik parametrelerdir (Yurddaskal ve ark., 2018).

#### **2.4.2.1. Metal dolgular**

Mükemmel iletkenliğe ve düşük maliyete sahip metal dolgu maddeleri (Cu, Ag ve Ni gibi), mükemmel EMI ekranlama performansına sahip CPC'ler tasarlamak için büyük potansiyel gösterir. Polimer matriste mükemmel bir üç boyutlu metal iletken ağ oluşturmak, CPC'lerin yüksek ekranlama verimliliğini gerçekleştirmek için son derece çekici bir strateji olmaktadır.

Bununla birlikte, metal dolgu maddelerinin boyutsal dezavantajı nedeniyle polimer matriste verimli üç boyutlu metal iletken ağ oluşturmak çok zordur (Drakopoulos ve ark., 2018).

Gümüş, yüksek elektriksel iletkenliği, kimyasal kararlılığı ve altına kıyasla düşük maliyeti nedeniyle izotropik iletken yapıştırıcılar için en çok kullanılan iletken dolgu maddesidir. Ayrıca ısıya ve neme maruziyeti sonucu meydana gelen gümüş oksitler oksitlenmiş bakırın aksine yüksek iletkenlik gösterir. Oksidasyona dayanıklı nikel, stabil iletken dolgu maddesi olarak kullanılır. Ancak nikel dolguları, gümüş bazlı ürünlere göre hem daha yüksek dolgu direnci hem de daha iyi bağlanma gösterir. Cam ve polimer gibi metal olmayan malzemeler üzerine gümüş, nikel ve altın kaplama en yaygın dolgu ürünü türleri arasındadır (Adams, 2005). Tablo 2.1’de Polimer ve dolgu malzemelerinin seçilmesi için gerekli kriterleri gösterilmektedir.

**Tablo 2.1.** Polimer ve dolgu malzemelerinin seçilme kriterleri.

Polimer matrisi seçme kriterleri	Dolgu malzemesi seçme kriterleri
Çeşitli yüzeylere uygun yapışma	Polimer matrise iyi yapışma
Yüksek doldurma kabiliyeti	İyi elektriksel ve termal iletkenlik
Kürleşme nedeniyle düşük büzülme	Oluşturmayan yalıtkan oksitler
Kürleşme nedeniyle düşük büzülme	Korozyona dayanıklı
Kürleşme sırasında düşük gaz çıkışı	Sağlık ve çevre dostu
Üretim ve yeniden işleme için uygun	Teknik özelliklerin en düşük maliyetli işlevi
Yeterli mukavemet	

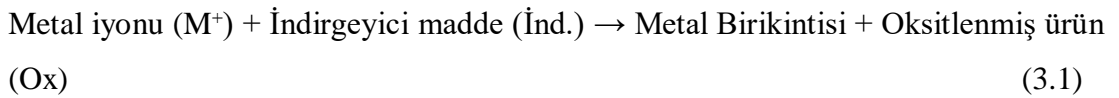
Genel olarak, metal nanopartiküller, potansiyel elektrik iletkenliği nedeniyle polimer kompozitlere katkılanmaktadır. Gümüş nanoparçacıklar, baskı, görüntüleme, optik sensörler, kataliz, biyomühendislik, fotonik ve elektronik alanındaki yeni uygulamaları için umut verici bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Küçük boyut, kontrollü şekil ve büyük hacim oranı sergileyen ve iyi termal ve elektriksel iletkenliğe sahip olan gümüş nanopartiküller (Ag NP'ler), entegre devrelerde ve EMI SE geniş uygulamaları için nanokompozitlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kumaran ve ark., 2015).



### 3. AKIMSIZ METAL KAPLAMA

Akımsız kaplama yüzlerce yıldır bilinmektedir. Çeşitli endüstriyel ve teknolojik uygulamalarda kullanılan metallerin, tuzların, oksitlerin ve diğer bileşiklerin ince tabakasının biriktirilmesi işlemidir. Altın ve gümüş gibi değerli metallerin biriktirilmesi ilk uygarlıklarda zaten kullanılmaktaydı. 1844'te Wurtz, indirgeyici madde olarak hipofosfit kullanan ilk nikel akımsız kaplamayı keşfetti. Daha sonra 1946'da Brenner ve Riddell işlemi geliştirdi ve nikel elektroliz kaplama için çalışma koşullarını önerdi. Kontrollü bir nikel kaplama elde etmek için sodyum hipofosfit de dahil olmak üzere çeşitli indirgeyici ajanlar içeriyorlardı. William Blum, elektrolit banyosuna harici akım verilmesine gerek olmadığı için bu oto-katalitik işlem için 'Akımsız' terimini kullandı. Akımsız teknikte, bir asil metal tuzundan daha az asil bir metalin katalitik aktif yüzeyinde biriktirilir. Aksine, elektro kaplama, reaksiyonun gerçekleşmesi için harici bir akımın sağlanmasını içerir. Akımlı kaplama, bileşim ve organik katkı maddelerinin yanı sıra akım, darbe tipi, darbe frekansı ve işlem döngüsü vb. gibi bir dizi parametreyi içerir ve işlemi daha karmaşık hale getirir.

Akımsız iken, reaksiyon, indirgeme reaksiyonu için elektron sağlayan uygun bir indirgeyici madde kullanılarak katalize edilir ve metal altlık üzerinde biriktirilir. Genel reaksiyonlar aşağıdaki gibi gösterilebilir:



Akımsız kaplamada iki reaksiyon vardır:



Burada, M: Metal, e: elektron, İnd: İndirgeyici ajan, Oks: Oksitlenmiş ürün temsil etmektedir.

Akımsız kaplamaların kalınlığı 10 ila 200 µm'ye kadar ulaşabilir. Akımsız kaplama, akımlı kaplamadan daha kullanışlıdır. Örneğin, eşit kalınlıkta kaplamalar üretme olasılığı, derin girintilerde bile malzeme biriktirme, çok ince tabakalar üretme yeteneği, mükemmel adım kapsamı, boyutların, şeklin veya iletkenliğin bağımsız olarak altlık ve biriktirme sırasında elektrik temasına ihtiyaç duyulmaması vb. Endüstriyel uygulamalar için Cu, Ni, Au, Ag, Pd, Sn, vb.'nin akımsız kaplanması önemli ilerlemeler meydana geldi, ancak çeşitli çalışma parametreleri ve banyo koşulları tam olarak anlaşılmadı (Sharma ve ark., 2016).

Polimer yüzeylerinin kaplanması Au, Ag, Pt, Pd gibi soy metallerle kolay indirgenebilen ve birinci grup geçiş metalleri olan Cu, Ni, Co ve Fe gibi metaller veya bu metallerin alaşımları daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Zabetakis ve Dressick, 2009).

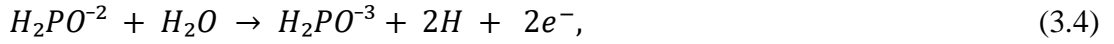
Polimerlerin metalizasyonu genellikle vakum biriktirme, püskürtme veya akımsız kaplama ile gerçekleştirilmiştir. Çeşitli teknikler arasında, akımsız kaplama tekniği, elektriksel olarak iletken olmayan üç boyutlu ince altlıkların, tipik olarak polimer parçacıklarının yüzeyinde metalik bir ince film oluşturma yöntemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Akımsız kaplama tekniğinin yaygın ticari ve endüstriyel kullanımının başlıca nedenleri, akımsız metal tortularının benzersiz özelliklerinde bulunur; Bir akımsız metal kaplamanın kimyasal ve fiziksel özellikleri, bileşimine bağlıdır ve bu da akımsız kaplama banyosunun formülasyonuna ve çalışma koşullarına bağlıdır. Akımsız biriktirme dışında, diğer metal kaplama tekniklerinin temelleri, fiziksel adsorpsiyon işlemine dayanır ve genellikle ince tabaka film üzerine metali kaplamak için kullanılır (Jun ve ark., 2006a).

### **3.1. Akımsız Nikel Kaplama**

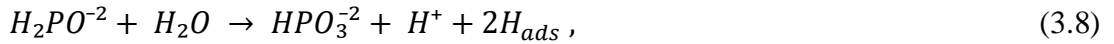
Akımsız nikel kaplamalar, nikel tuzlarını ve indirgeyici ajanları içeren bir kimyasal reaksiyonla üretilir. En yaygın olarak kullanılan indirgeyici madde olan sodyum hipofosfit, kaplama olarak bir nikel fosfor alaşımı üretir. Akımsız nikel kaplama sırasında meydana gelen reaksiyonlar 1946'dan beri, örneğin Brenner , Gutzeit ve Gorbunova ve Nikiforova tarafından incelenmiştir (Małeckı ve Micek-Ilnicka, 2000).

Akımsız nikel kaplamalar, yüzeyi iletken ve katalitik matris üzerinde herhangi bir elektrik akımı olmaksızın, nikel tuzları içeren bir çözeltiye daldırılarak, indirgeyicilerin etkisiyle nikel iyonlarının nikel metaline redüklenmesi sonucu açığa çıkan fosfor veya bor ile birleşip nikel-fosfor veya nikel-bor alaşım kaplama yöntemi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Redüklenme olayı, kendisi de katalitik etki gösteren nikel üzerinde devam ettiğinden bu kaplamalar ayrıca “otokatalitik kaplamalar “ diye de anılmaktadır (Fujii ve ark., 2014).

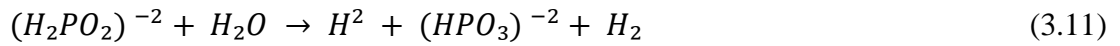
Hipofosfitin katalitik oksidasyonunun katalitik yüzeyde elektronlar verdiği ve bunun da nikel ve hidrojen iyonlarını azalttığı elektrokimyasal mekanizma aşağıda gösterilmektedir:



Yüzeyde adsorbe (tampon) edilmiş hipofosfit molekülünün katalitik dehidrojenasyonu sonucunda atomik hidrojenin salındığı atomik hidrojen mekanizması aşağıda gösterilmektedir.



Adsorbe edilen aktif hidrojen, Denklem 3.9’da daha sonra katalizörün yüzeyindeki nikeli azaltır (Agarwala ve Agarwala, 2003).



Akımsız kaplamaların Akımlı (elektrolitik) kaplamalara göre avantajları arasında en göze çarpanları, akımsız kaplamaların daha yaygın şekilde kullanılması ve işlem çözelti içerisinde kimyasal yolla gerçekleştiği için akımlı kaplamayla elde edilemeyen karmaşık şekilli parça yüzeylerin daha homojen ve eşit kaplama kalınlığına ulaşmasına imkan sunmaktadır (Clark, 1985).

Akımsız nikel kaplamalar elektronik, bilgisayar, kimya, uçak-uzay, otomotiv, tekstil ve benzeri çok çeşitli endüstri dallarında geniş bir kullanım alanıyla günden güne artmaya devam etmektedir.

### 3.1.1. Nikelin genel özellikleri

Nikel'in genel özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Nikel bir geçiş metalidir, ferromanyetiktir, yani oda sıcaklığında kolayca mıknatıslanmaktadır. Hem dövülebilir hem de sünektir (Şekil 3.1). En iyi nikel özelliklerinden biri, ısıya, oksidasyona ve korozyona dayanıklı olmasıdır. Metallerle kolay alaşım yapabilen bir metal olan Nikel, paslanmaz çelik, mıknatıs, metalik para ve özel alaşımların yapımında ve ayrıca renkli cam üretiminde özellikle yeşil renk vermek amacıyla çokça kullanılmaktadır. Bu sebeple nikelin alaşım olarak, bakır, krom, alüminyum, kurşun, kobalt, gümüş ve altın gibi elementlerle yaptığı alaşımlar nükleer reaktörlerden, hibrit şarj edilebilir pillerin katotlarının yapımına kadar birçok kullanım alanına sahiptir. (Aygün, 2015; *Britannica, The Editors of Encyclopaedia.*, 2022). Atom numarası 28 olan Nikel, 58,6934 g/mol atomik ağırlığa sahiptir. Nikel, deride alerji etki göstererek sağlığa etkisi açısından dezavantajlıdır.

**Tablo 3.1.** Nikel'in genel özellikleri.

Atom Numarası	Atom Ağırlığı (g/mol)	Ergime Noktası (°C)	Yoğunluk (gcm <sup>-3</sup> )	Renk	Sağlığa Etki
28	58,6934	1455	8,908	Metalik- parlak gümüş	Alerjik deri endikasyonları





**Şekil 3.1.** Nikel metali (Clark, 1985).

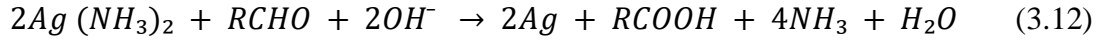
### **3.2. Akımsız Gümüş Kaplama**

Akımsız kaplamada, kaplanacak bir metal iyonu, bir kaplama çözeltisinde bir indirgeyici madde ile indirgenir ve metalik halde bir altlık üzerinde biriktirilir. Polimerik bir altlığın yüzeyinde indirgeme reaksiyonunu başlatmak ve hızlandırmak için, metalik kaplamanın yapışmasını iyileştirmek için fiziksel veya kimyasal yollarla yalıtkan altlığın ilk temizliği ve dağlanması olarak polimerik yüzey önce  $\text{SnCl}_2$  veya  $\text{CuCl}_2$  ile hassaslaştırılmalıdır. Hassaslaştırılmış yüzey daha sonra  $\text{PdCl}_2$  gibi katalitik metal iyonu ile aktive edilir ve son olarak akımsız kaplama ile polimer yüzeyinde bir soy metal (Ni, Au, Co, Cu ve Ag) biriktirilir (Jun ve ark., 2006b).

Akımsız gümüş kaplamada, aktif bölgelerin metalik gümüş türlerinin çökmesini başlatması gerekir. Akımsız gümüş birikiminin başlangıcının anodik süreçler tarafından kontrol edildiği bilinmektedir ve ilk adım, formaldehitin katalitik yüzeyler üzerine adsorpsiyonu olan Faradaik olmayan bir adımı içerir. İyi bilindiği gibi, çözeltiden serbest metal tozunun çökmesini en aza indirmek için heterojen elektriksiz metal çökelmeleri gereklidir (bu, elektriksiz çözeltiyi de bozabilir). Yüzey aktivasyon işlemi, metal tozlarının çözeltiden heterojen çökmesini minimum düzeye indirmek için önemli yere sahiptir. Bununla birlikte, akımsız gümüş kaplama aynı zamanda otokatalitik bir özelliğe sahip olduğundan, indirgeme oksidasyon reaksiyonları tercihen yüzey aktivasyonunun yokluğunda gümüş partiküllerin çevresinde meydana gelir (Uysal ve ark., 2014).

Genel mekanizma: Biriktirme yöntemi, Tollens reaksiyonundan türetilmiştir. Bu reaksiyon iyi bilinir ve standart kimya ders kitaplarında anlatılmaktadır.

Aldehitler tarafından alkali durumda gümüş iyonlarının indirgenmesinin genel reaksiyonu denklem 3.12'de şu şekilde tarif edilebilir:



burada  $Ag(NH_3)_2^+$ , amonyak ve gümüş nitrat arasında oluşan diamin gümüş kompleksidir. Aldehit grubu olan RCHO, karboksilik grup olan  $RCOO^-$  ya oksitlenir (Antonello ve ark., 2012).

### 3.2.1. Gümüşün genel özellikleri

Gümüş (Ag) genel özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Gümüş (Ag), dekoratif güzelliği ve elektriksel iletkenliği ile değer verilen beyaz parlak bir metaldir (Şekil 3.2). Periyodik tablonun 11. Grubu (Ib) ve Periyodu 5’te, bakır (Periyod 4) ile altın (Periyod 6) arasında yer alır ve fiziksel ve kimyasal özellikleri bu iki metal arasında orta düzeydedir. Altın ve platin grubu metallerle birlikte gümüş, değerli metaller olarak adlandırılanlardan biridir. Nispeten az bulunması, parlak beyaz rengi, işlenebilirliği, sünekliği ve atmosferik oksidasyona direnci nedeniyle gümüş uzun süredir madeni para, süs eşyası ve mücevher imalatında kullanılmaktadır. Gümüş, muazzam ölçüde elektriksel ve termal iletkenliği açısından diğer tüm metallerden ayrılan özelliğe sahiptir ve baskılı elektrik devrelerinin imalatında ve elektronik iletkenler için buharla biriktirilmiş bir kaplama olarak kullanılır; elektrik kontaklarında kullanılmak üzere nikel veya paladyum gibi elementlerle de alaşımlandırılır. Gümüş, geçiş elementlerinin en soylularından, yani kimyasal olarak en az reaktif olanlarından biridir (*Britannica, The Editors of Encyclopaedia.*, 2022).

**Tablo 3.2.** Gümüş’ün genel özellikleri.

Atom Numarası	Atom Ağırlığı (g/mol)	Ergime Noktası (°C)	Yoğunluk ( $gcm^{-3}$ )	Renk	Sağlığa Etki
47	107.868	961.5	10.5	Parlak Beyaz	Ciltte tahriş

Gümüş nanopartiküller ise elektriksel, optik, termal ve antibakteriyel özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanına sahiptir. Örneğin su ve atıksu arıtımı, biyomedikal alanında antibakteriyel malzeme üretimi, elektronik malzemelerde iletkenliğin artırılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Wu ve ark., 2022; Guan ve ark., 2019;

Rashid ve ark., 2013). Yüksek iletkenliğe sahip olduğundan biyosensörlerde elektron transferini hızlandırarak biyosensörlerin hassasiyetini arttırdığı gözlemlenmiştir (Ren ve ark., 2005).

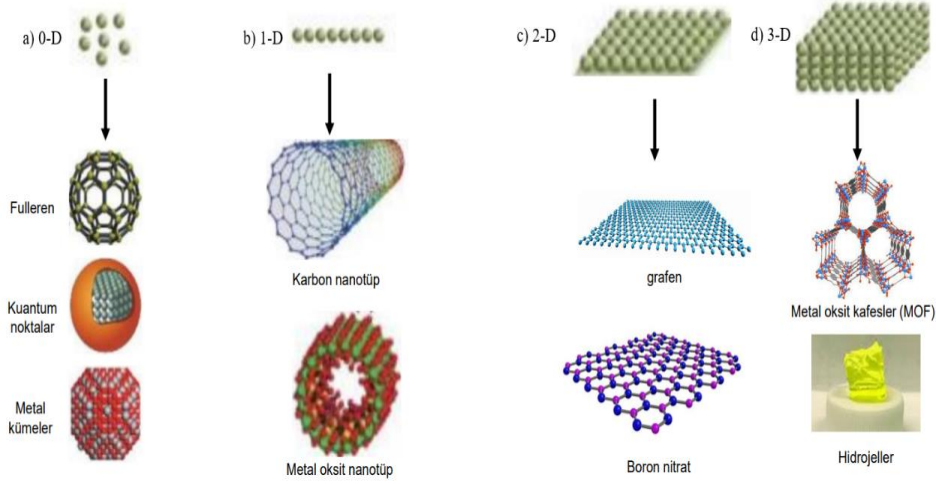
Gümüş nanopartiküllerin fiziksel özelliklerini ve antibakteriyel özelliklerini korumaları için önemli bir gereklilik, nano ölçekli boyutunu korumak ve topaklanmayı önleyerek dağılım stabilitelerini iyileştirmektir (Krishnan ve ark., 2020).



Şekil 3.2. Gümüş metali (Jun ve ark., 2006b).

### 3.3. Nanomalzemeler

Nanomalzeme sınıfı oldukça geniştir. Nano ölçekte yapısal bir bileşenden oluşmaları veya nano ölçekteki boyutlardan birini sergilemeleri açısından tüm malzeme sınıflarını içerebilmektedir. Nano ismi, 1 birimin milyarda birine karşılık gelmektedir. Bu nedenle nano ölçeğin normalde 1 ila 100 nanometre arasında olduğu kabul edilmektedir. Nanomalzemeler tipik olarak 0-D (nanopartiküller), 1-D (nanoteller-nanotüpler ve nanoçubuklar), 2-D (nanofilmler ve nanokaplamalar), 3-D (yığın (bulk)) olarak kategorizelendirilmektedir (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3.** Nanomalzemelerin a) sıfır boyutlu (0-D), b) bir boyutlu (1-D), c) iki boyutlu (2-D) ve d) üç boyutlu (3-D) kategorize edilmiş şematik gösterim.

Bu tez çalışmasında üstünde durulan nanomalzeme kategorisi sıfır boyutlu (0-D) nanomalzemelerdir. Sıfır boyutlu nanomalzemeler, tüm boyutların nanoölçekte ölçüldüğü malzemelerdir (<100 nm). Sıfır boyutlu nanomalzemelerin en yaygın temsili nanopartiküllerdir. Bu nanopartiküller :

- Amorf veya kristalin olma,
- Tek kristalli veya polikristalli olma,
- Tek veya çok kimyasal elementlerden oluşabilir.
- Çeşitli şekiller ve formlar sergileme,
- Tek başına veya bir matrise dahil olma,
- Metalik, seramik veya polimerik olabilir.

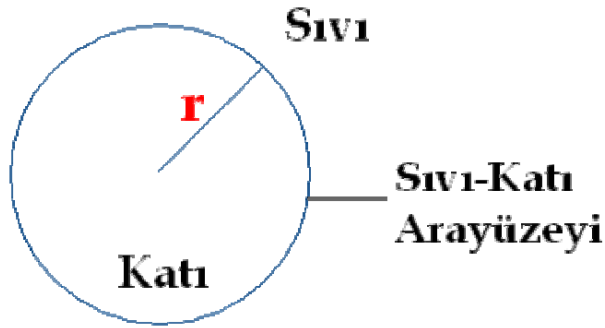
### 3.3.1. Nanopartiküllerin oluşum esasları

Nanopartiküller, bir çözelti ortamında çekirdeklenmeye başlayıp sonra çekirdeklenen partiküllerin büyümesi ile devam eden bir kimyasal reaksiyonla oluşmaktadır. Çekirdeklenme ve büyüme sentezlenmiş partiküllerde iki önemli işlemdir (Mustafa BİÇER, 2008). Çekirdeklenme, faz dönüşümlerinin ilk adımı olarak atomların agregasyonu ile devam eden bir süreçtir. Homojen ve heterojen olmak üzere iki türlü çekirdeklenme meydana gelir. Homojen çekirdeklenme, reaksiyonun gerçekleştiği ortamdaki yeni fazların üniform olarak gerçekleşen çekirdeklenme türüdür. Çekirdeklenme teorisi serbest enerji veya G harfiyle gösterilen Gibbs serbest enerjisi olarak açıklanmaktadır. Çekirdeklenme, küçük katı partiküllerin sıvıdan embriyolaşması ile gerçekleşmektedir.

Çekirdek kararlı hale geçmeden önce min. kritik yarıçapa gelmesi gerekir. Partikülün büyümesi, atomların sıvıdan oluşan çekirdeklere katılmasıyla oluşur ve partikülün büyümesi sıvı sonlanana dek devam etmektedir. Katılma noktasındaki sıcaklıktan aşağıya düşüş enerji farkının artmasıyla katıyı daha dengeli hale getirmektedir. Katı-sıvı arasındaki artan enerji farkı hacimsel serbest enerji değişimidir ve negatif değer alır:

$$\Delta G_V = G_S - G_L \quad (3.13)$$

Çekirdeklerin küresel ve  $r$  yarıçapına sahip olduğu varsayılmaktadır. Şekil 3.4'te sıvı içinde bir küresel partikülün çekirdeklenmesini gösteren şema verilmektedir.

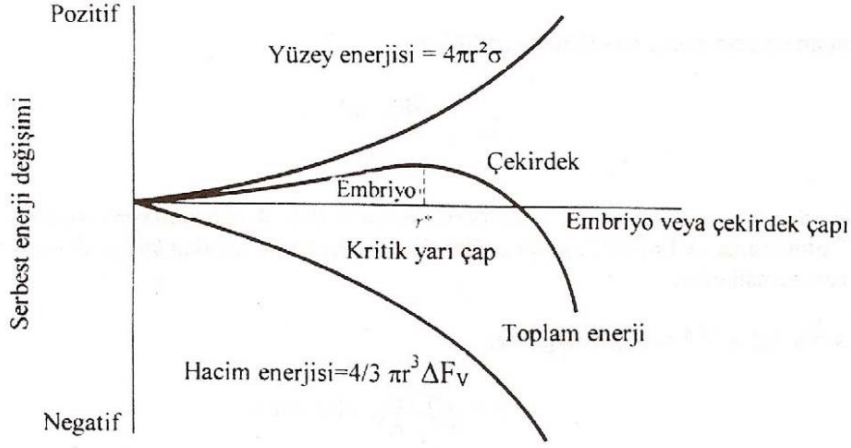


**Şekil 3.4.** Sıvı içindeki küresel partikülün çekirdeklenmesini gösteren şema.

Katılma sırasında toplama serbest enerji iki önemli bileşenden oluşmaktadır. İlki katı ve sıvı fazlar arasında serbest enerji farkı  $\Delta G_V$  olup, yaptığı etkinin şiddeti  $\Delta G_V$  ile çekirdeğin hacmini veren  $(4/3\pi r^3)$  değerinin çarpımına eşittir. İkinci etki katı ve sıvıyı birbirinden ayıran arayüzeyin oluşmasıyla meydana gelmektedir. Yüzey serbest enerjisi, arayüzey enerjisi ( $\gamma$ ) ile birleşmiştir ve yaptığı etkinin şiddeti  $\gamma$  ile  $4\pi r^2$  olarak tanımlanan çekirdeğin toplam yüzey alanının çarpımına eşit olmaktadır. Toplam serbest enerji değişimi bu iki etkinin toplamı olarak ifade edilmektedir:

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_V + 4\pi r^2 \gamma \quad (3.14)$$

Sistemin toplam serbest enerjisi, partikülün boyutuyla değişmektedir. Katı, kritik yarıçaptan küçük ise embriyo, büyük ise çekirdektir.



**Şekil 3.5.** Çekirdek oluşum serbest enerjisi ve çekirdek yarıçapı ilişkisi şematik gösterimi (Mustafa BİÇER, 2008).

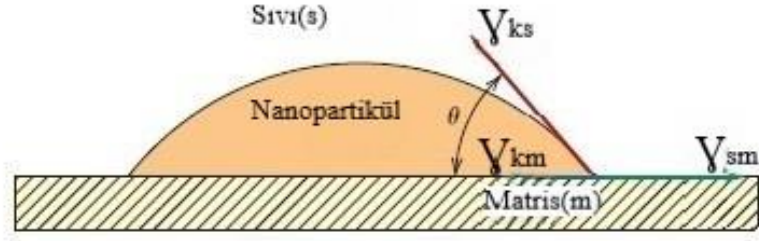
Şekil 3.5'te hacimsel serbest enerji, toplam serbest enerji ve yüzey serbest enerji değişimi gösterilmektedir. Burada açıkça yeni çekirdek oluşumunun sadece kritik yarıçap  $r^*$  aşıldığında gerçekleşebileceği görülmektedir. Kritik yarıçaptan ( $r^*$ ) daha küçük bir çekirdek ( $r < r^*$ ) tüm serbest enerjisi azaltmak için çözeltiliye geçecektir, oysa tam tersi ( $r > r^*$ ) durumunda çekirdek kararlı hale geçip büyümeye devam edecektir. Kritik yarıçap  $r^*$  ve kritik enerji  $\Delta G^*$  aşağıdaki denklemlerle tanımlanmaktadır:

$$r^* = -2\gamma/\Delta G_V \quad (3.15)$$

$$\Delta G^* = \frac{16\pi\gamma}{3\Delta G_V^2} \quad (3.16)$$

Denklem 3.16'da verilen  $\Delta G^*$  çekirdeklenmenin oluşabilmesi için aşılması gereken enerji engelidir.

Heterojen çekirdeklenmede ise safsızlık içeren ortamlarda çekirdeklenme gerçekleşmektedir. Yüzey serbest enerjisi  $\gamma$ 'nin azalması sebebiyle çekirdeklerin önceden mevcut yüzey ve arayüzeylerde oluşmasına bağlanmaktadır ve diğer kısımlara kıyasla daha çabuk ve kolay gerçekleşmektedir. Katı yüzey enerjisi  $\gamma_{sm}$ , katı-sıvı arayüzey enerjisi  $\gamma_{sl}$  ve sıvı yüzey enerjisi  $\gamma_{lm}$  vektörler ile gösterilmektedir.



**Şekil 3.6.** Katının sıvıdan heterojen çekirdeklenmesi gösterimi.

Hem sıvı ve hem de katı fazların düz bir yüzeyi ıslattıkları düşünülmektedir. Bu durum Şekil 3.6'da gösterim olarak verildiği gibi, her iki fazında düz yüzey üzerine yayıldığı ve düz yüzeyi kapladığı görülmektedir. Islatma açısı ise  $\theta$  ile verilmiştir. Düz yüzeyde yüzey gerilme kuvvet dengesi alınacak olursa aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\gamma_{lm} = \gamma_{sm} + \gamma_{sl} \cos \theta \quad (3.17)$$

Yukarıda gösterilen homojen çekirdeklenmeye benzer tarzda bir yaklaşım kullanılarak  $r^*$  ve  $\Delta G^*$  değerleri için aşağıdaki denklemleri elde etmek olasıdır:

$$r^* = -\frac{2\gamma_{sl}}{\Delta G_V} \quad (3.18)$$

$$\Delta G^* = (16\pi \frac{\gamma_{sl}^3}{3\Delta G_V^2}) S(\theta) \quad (3.19)$$

Son denklemde bulunan  $S(\theta)$  terimi ıslatma açısının bir fonksiyonu olup, sayısal olarak 0-1 aralığında değerler almaktadır.

Denklem 3.18'de heterojen çekirdeklenme için gerekli kritik yarıçap  $r^*$  değerini vermektedir. Denklem 3.19'da ise heterojen çekirdeklenmenin gerçekleşebilmesi açısından aşılması gereken enerjinin denklemi verilmiştir. Heterojen çekirdeklenmedeki aşılması gereken enerji engeli, homojen çekirdeklenmedeki aşılması gereken enerji engelinden daha küçüktür.

Bu fark  $S(\theta)$  teriminden kaynaklanır ve heterojen çekirdeklenme engeli, homojen çekirdeklenme engeli cinsinden aşağıdaki gibi yazılmaktadır:

$$\Delta G^*_{het} = \Delta G^*_{hom} S(\theta) \quad (3.20)$$

Nanopartiküllerin oluşum süreci olan çekirdeklenme ve büyüme mekanizmasını genel itibarıyla açıklayan model La Mer diyagramı olarak bilinmektedir ve Şekil 3.7’de verilmektedir. Nanopartikül büyümesinde kinetik faktörler vardır, örneğin reaktanların geçiş hızı, reaksiyon hızı, maddenin çözüldüden uygun şekilde çıkarılması ve maddenin yeniden dağıtılması gibi. Partiküllerin büyümesi yüzey reaksiyonu ve monomerin yüzeye difüzyonu şeklinde iki mekanizmaya bağlı olmaktadır. Yüzey reaksiyonu ve geçirgenlik hızı, reaktiflerin konsantrasyonu, sıcaklık, pH, çözültüye eklenen reaktiflerin düzenlenmesi ve karıştırma hızından etkilenir. Klasik büyümeyi modellemek için birinci Fick yasası, denklem 3.21’de genel olarak açıklanmaktadır; burada  $r$ ,  $J$ ,  $D$  ve  $C$  sırasıyla parçacık yarıçapı,  $x$  yarıçaplı küresel bir düzlemden geçen monomerlerin toplam akışı,  $x$  mesafesindeki difüzyon katsayısı ve konsantrasyondur (Thanh ve ark., 2014).

$$J = 4\pi x^2 D \frac{dC}{dx} \quad (3.21)$$

Benzer bir denklem, yüzey reaksiyon hızı " $k$ ", denklem 3.22’de verilmektedir. Yüzey reaksiyon hızı partikül boyutundan bağımsız kabul edilmektedir.  $C_i$  katı-sıvı arayüzündeki monomer konsantrasyonu ve  $C_r$ , parçacığın çözünürlüğüdür. Denklem 3.23 ise partikül boyutunun zamanla değişimini vermektedir. Burada  $C_b$  bulk numune konsantrasyonunu vermektedir.

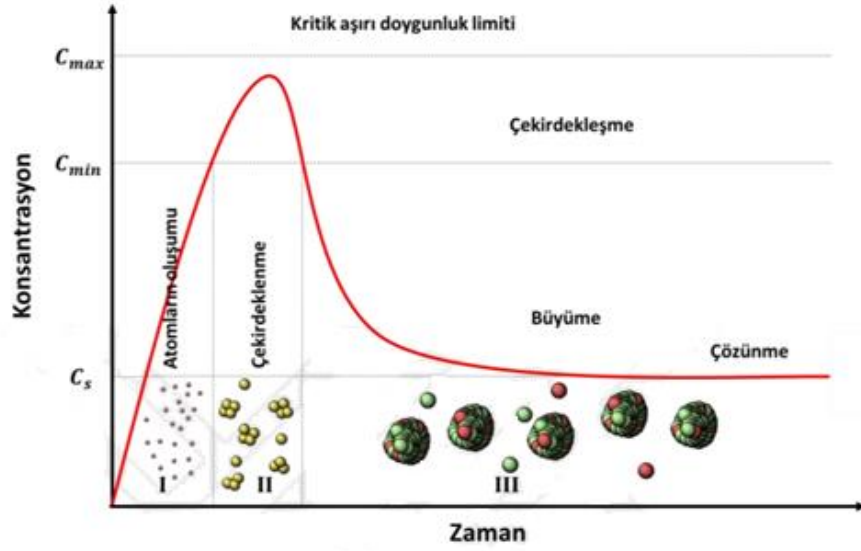
$$J = 4\pi r^2 k (C_i - C_r) \quad (3.22)$$

$$\frac{dr}{dx} = \frac{D_v}{r} (C_b - C_r) \quad (3.23)$$

Partiküllerin morfolojisini etkileyen parametreler, reaksiyon hızı, doymuşluk, çekirdeklenme ve büyüme hızı, koloidal kararlılık, tekrar kristallenme ve bekleme süreci gibi faktörler etkilemektedir. Kritik aşırı doymuşluk oluşan ürünlerin (çökeltilerin) yapısı üzerinde büyük öneme sahiptir ve kontrolün difüzyonla mı yoksa arayüzey ile mi gerçekleştiğini belirlemektedir.

Düşük doymuşluktaki partikül şekilleri kristal yapı ve yüzey enerjisine bağlı olarak; küçük, sık, iyi biçimlenmiştir. Yüksek doymuşluk seviyelerinde büyük ve dallanmış partiküller oluşmaktadır. Aşırı doymuşlukta ise daha küçük fakat sıkıştırılmış, aglomera olmuş (topaklanma) partiküller oluşmaktadır.





**Şekil 3.7.** La-Mer diagramı: Çekirdeklenme ve büyüme süreçleri (Thanh ve ark., 2014).

### 3.3.2. Metalik nanopartiküllerin sentezi

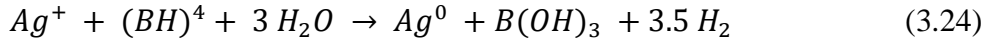
Seyreltik çözeltilerde metal komplekslerinin indirgenmesi, metal koloidal dispersiyonların sentezinde genel yöntemdir ve indirgeme reaksiyonlarını başlatmak ve kontrol etmek için bazı yöntemler geliştirilmiştir.

Nanopartiküllerin sentezinde kullanılan bazı yöntemler vardır:

- Elektrokimyasal sentez
- Ters misel/mikroemülsiyon yöntemi
- Hidrotermal sentez
- Metal buhar sentezi
- Sonokimyasal depozisyon
- Kimyasal indirgenme

Bu tez çalışmasında kullanılan işlem kimyasal indirgenme yöntemidir. Kimyasal indirgenme yöntemi,  $\text{AgNO}_3$  gibi metal iyonlarının indirgeyiciler ( $\text{NaBH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  vb.) kullanılarak metalik partiküllerin indirgenmesi ve gümüş parçacıklarının büyümesini korumak için gerekli olan uygun bir stabilizatörün kullanılması işlemini içermektedir. Kimyasal indirgenme sulu ve organik çözücü bulunan ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Kimyasal indirgeme yöntemi ile gümüş nanopartiküllerin oluşumunda, gümüş nanopartiküllerin partikül boyutu ve agregasyon durumu, başlangıç  $\text{AgNO}_3$  konsantrasyonları, indirgeyici ajan/ $\text{AgNO}_3$  molar oranları ve stabilizatör konsantrasyonları gibi çeşitli parametrelerden etkilenir. Gümüş

nanopartiküllerin sodyum borohidrit (NaBH<sub>4</sub>) kullanılarak indirgenmesi sentezi aşağıdaki reaksiyonla gerçekleşmektedir (K. C. Song ve ark., 2009):



İndirgenmiş metal atomları nanopartikül çekirdekleri oluşturacaktır. Sodyum borohidrit kullanmanın yararı, nihai parçacık popülasyonunun artan monodispersitesidir. NaBH<sub>4</sub> kullanıldığında artan monodispersitenin nedeni, sitrattan daha güçlü bir indirgeyici ajan olmasıdır. İndirgeyici ajan kuvvetinin etkisi, nanopartiküllerin çekirdeklenmesini ve büyümesini tanımlayan önceki başlıkta bahsedilen bir LaMer diyagramı incelenerek görülebilir.

Gümüş nitrat (AgNO<sub>3</sub>) sitrat gibi zayıf bir indirgeyici ajan tarafından indirgendiğinde, indirgeme oranı daha düşüktür, bu da yeni çekirdeklerin oluştuğu ve eski çekirdeklerin aynı anda büyüdüğü anlamına gelir. Sitrata reaksiyonunun düşük monodispersiteye sahip olmasının nedeni budur. NaBH<sub>4</sub> çok daha güçlü bir indirgeyici ajan olduğu için, gümüş nitrat konsantrasyonu hızla azalır, bu da yeni çekirdeklerin oluştuğu ve eşzamanlı olarak büyüdüğü süreyi kısaltır ve tek dağılmış bir gümüş nanoparçacık popülasyonu verir.

İndirgeme ile oluşturulan partiküller, istenmeyen partikül aglomerasyonunu (birden fazla partikül birbirine bağlandığında), büyümeyi veya kabalaşmayı önlemek için yüzeylerini stabilize etmelidir. Bu fenomenin itici gücü, yüzey enerjisinin minimizasyonudur (nanopartiküller büyük bir yüzey/hacim oranına sahiptir).

Partiküller çözelti içinde oluşturulduktan sonra ayrılmalı ve toplanmalıdır. Çözücü fazının buharlaştırılması veya çözeltideki nanopartiküllerin çözünürlüğünü azaltan kimyasalların çözeltiye eklenmesi de dahil olmak üzere, nanopartikülleri çözeltiden uzaklaştırmak için birkaç genel metod mevcuttur.

## 4. ELEKTROMANYETİK TEMEL KAVRAMLAR

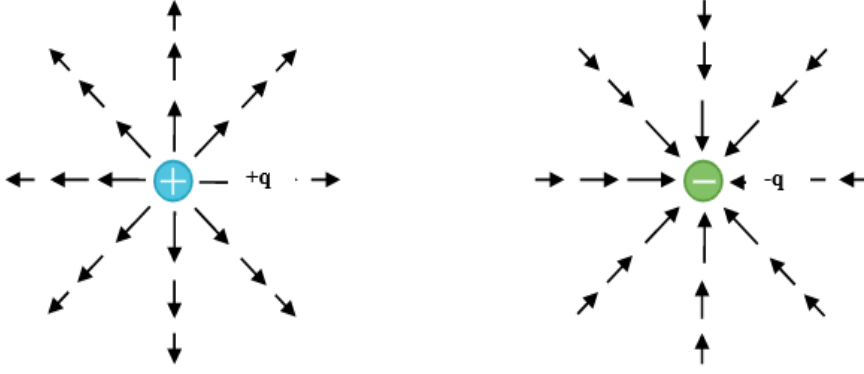
Bu çalışmada yer alan bu bölüme, elektromanyetik ekranlama prensibinin genel yapısı ve sistematığının daha iyi anlaşılabilmesi adına ihtiyaç vardır. Elektromanyetik ekranlama alanına ve malzemelerin elektriksel davranışlarına yönelik temel bilgilerin verilmesi ileride bu alanda çalışanlara katkı sağlaması için uygun görülmüştür.

### 4.1. Elektrik Alan

Süperpozisyon ilkesine göre, yüklü bir parçacık üzerindeki toplam kuvvet, diğer tüm yükler tarafından ona uygulanan kuvvetlerin toplamıdır. Genellikle gerçek madde de muazzam sayıda yüklü parçacık bulunmaktadır. Bunlardan herhangi birine etki eden kuvvetleri göz önünde bulundururken, elektrik alanı kavramını tanımlayarak dikkati net kuvvete katkıda bulunan çok sayıda kaynaktan uzaklaştırmak faydalı olmaktadır. Bir  $q$  yükü bir  $F$  kuvvetine maruz kalırsa,  $F/q$  oranına  $q$ 'nun bulunduğu noktadaki elektrik alanı adı verilir. Elektrik alan, bir yükün 1C'luk yüke uyguladığı kuvvettir ve yönü Şekil 4.1'de olduğu gibi pozitif yükten negatif yüke doğru hareketi oklarla ifade etmektedir. Belli bir noktada yüke yani  $q$ 'ya etki eden elektrik alan,  $q$ 'nun komşuluğundaki diğer yüklerin büyüklükleri ve  $q$ 'ya göre göreceli konumları cinsinden aşağıdaki Coloumb yasası denklemiyle ifade edilmektedir:

$$\frac{F}{q_1} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_r} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de  $+q$  pozitif nokta yükünden  $r$  mesafesindeki alanın büyüklüğü  $\frac{q}{4\pi\epsilon_r}$ 'dir ve alan yükten uzağa işaret etmektedir. Negatif bir nokta yükün  $-q$  etrafındaki alan da aynı büyüklüktedir.

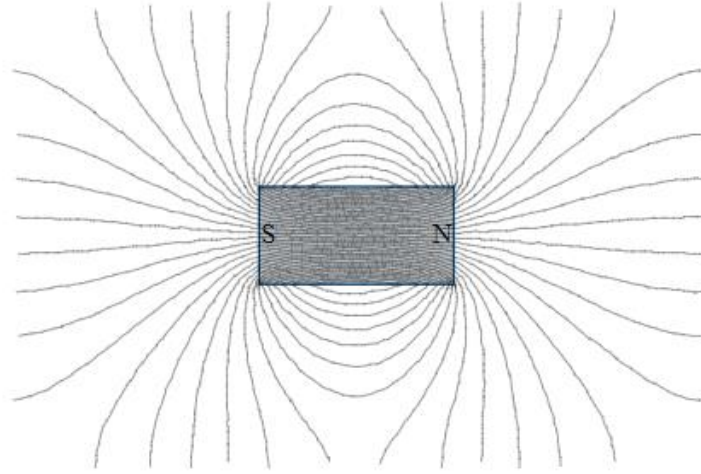


Şekil 4.1. Elektrik alan çizgileri (Çınar, 2006).

Elektrik alan, elektromanyetizmada yararlı olan bir dizi konum fonksiyonunun yalnızca ilkidir. Elektrik alanı basitçe  $E$  olarak gösterilmektedir. Her yer de alanın yönünü izleyen bu sürekli çizgilere kuvvet çizgileri veya alan çizgileri denmektedir ve pozitif yükler ile başlayıp negatif yükler ile sona erebilir. Ayrıca sonlanmadan sonsuza da gidebilmektedirler.

#### 4.2. Manyetik Alan

Manyetik kuvvetler, elektrik yüklü parçacıkların hareketleriyle meydana gelmektedir. Hayali manyetik kuvvet çizgilerinin çizilmesi, manyetik alan kaynağı yakınındaki kuvvetin yönünü göstermek içindir. Kuvvet çizgileriyle gösterilen manyetik alanın dağılımı, bir akım döngüsü ve bir mıknatıs çubuğu ile Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Manyetik malzemelerde bulunan manyetik dipoller, bir açıdan elektrik dipollerine benzerdir. Manyetik dipoller pozitif ve negatif yükler yerine, kuzey (N) ve güney (S) şeklinde kutuplardan meydana gelen mıknatıs çubuk olarak düşünülmektedir. Manyetik alan çizgileri asla kesişmez.



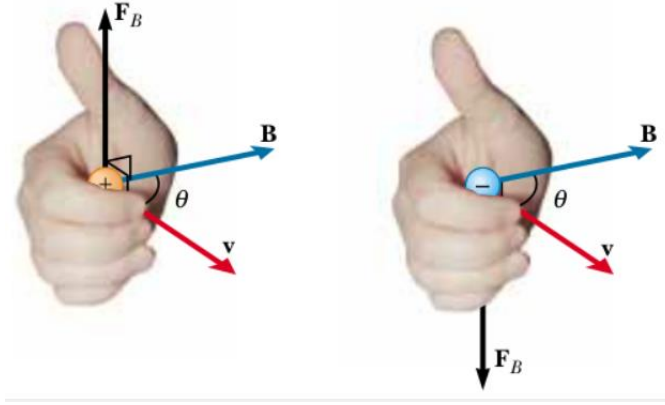
**Şekil 4.2.** Manyetik alan çizgileri (Çmar, 2006).

Hareketli bir elektrik yükünün etrafındaki uzay bölgesi, elektrik alanın yanında bir de manyetik alanı içerir. Herhangi bir manyetik maddeyi içeren manyetik alan da mevcuttur. Manyetik alan B harfi ile temsil edilir ve SI'da birimi Tesla (T) olarak ifade edilmektedir. Manyetik alan içindeki hareketli elektrik yüklü parçacıklar (akım), manyetik alan oluşturur ve etraftaki manyetik alanlardan etkilenmektedir.

Bunun sonucunda;

- Parçacığa etkiyen manyetik kuvvetlerin büyüklüğü  $F_B$  , parçacığın q yükü ve v hızı ile orantılı haldedir.
- $F_B$  manyetik kuvvetinin büyüklüğü ve vektörel yönü, parçacığın hızına ve B manyetik alanının büyüklüğü ve vektörel yönüne bağlıdır.
- Elektrik yüklü parçacığın, manyetik alan vektörüne paralel yönde hareket ettiğinde parçacığa etkiyen manyetik kuvvet sıfır olmaktadır.
- Parçacığın hız vektörü manyetik alanla bir theta ( $\theta \neq 0$ ) açısı yaptığı zaman, manyetik kuvvet hem v hem de B ye dik yönde etki eder.
- $F_B$  kuvvet büyüklüğü, v ve B'nin oluşturduğu düzleme dik doğrultudadır.
- B manyetik alanında, v hızıyla hareket eden q yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvet Lorentz kuvveti olarak bilinmektedir ve Denklem 4.2'deki gibi gösterilmektedir. Şekil 4.3'te de sağ el kuralı olarak bilinen manyetik alan vektörleri verilmiştir.

$$\vec{F} = q\vec{v} * \vec{B} \quad (4.2)$$



Şekil 4.3. Sağ el kuralı olarak bilinen manyetik alan vektörleri (Çınar, 2006).

Dışarıdan uygulanan manyetik alan bazen manyetik alan şiddeti olarak adlandırılır ve H simgesiyle gösterilmektedir, birimi de amper/metredir.

Manyetik alan birbirine yakın mesafeli N çevrimli l uzunluğunda ve I kadar akım taşıyan bir silindirik sargı veya selenoid tarafından üretilmesi durumunda aşağıdaki 4.3'teki denklemlerle ifade edilmektedir:

$$H = \frac{NI}{l} \quad (4.3)$$

Vakumda (boşlukta), B ve H birbirleriyle orantılı durumda bulunmaktadır.

$$H \equiv B/\mu_0 \quad (4.4)$$

H: Manyetik alan şiddeti (C/m\*s)

B: Manyetik akı yoğunluğu (T:kg/s\*C)

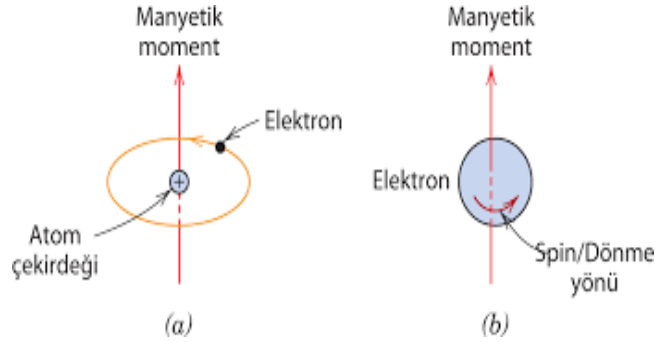
$\mu_0$ : Geçirgenlik (kg\*m/C<sup>2</sup>)

Katıların manyetik özelliklerini tanımlamak için bazı parametreler kullanılır. Bunlardan biri de malzemedeki geçirgenliğin boşluktaki geçirgenliğine oranıdır:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te  $\mu_r$  bağıl geçirgenlik olarak adlandırılır ve birimsizdir. Malzemenin bağıl geçirgenliği veya geçirgenliği, malzemenin manyetikleşme (mıknatıslanma) derecesine veya dışarıdan uygulanan bir H manyetik alan şiddeti etkisinde B alanının kolayca oluşmasının ölçüsüne bağlanmaktadır.

Tüm atomlar ve moleküller, bir manyetik alana yerleştirildiklerinde indüklenmiş bir manyetik dipol momenti kazanırlar. Atomik ölçekte, bir manyetik alandaki atomların veya moleküllerin manyetize olduğu söylenmektedir. Bir atomdaki her bir elektrona ait manyetik momentlerin iki kaynağı vardır: Birincisi elektronun çekirdek etrafında yörüngede dönmesiyle oluşmaktadır. Çok küçük manyetik alan üreten hareket halindeki yüklü bir elektron, küçük bir akım döngüsü olarak düşünülmektedir ve Şekil 4.4 (a)'da görüldüğü gibi spin eksenini boyunca bir manyetik moment kazanmaktadır.



**Şekil 4.4.** (a) Yörünge elektronu ve (b) dönen elektron ile ilişkili manyetik moment gösterimi (Callister W., 2015).

Her bir elektronun bir eksen etrafında döndüğü de düşünülmektedir. Şekil 4.4 (b)'de görüldüğü gibi, elektron spin (kendi eksenini etrafında dönmesinden) hareketinden kaynaklanmaktadır. Dönme manyetik momentleri bir eksen boyunca yukarı ve aşağı yönde olmaktadır. Bilinen en temel manyetik moment Bohr magnetonu,  $\mu_B$  'dir.  $9.27 \times 10^{-24} A.m^2$  değerindedir. Mikroskobik manyetikleşme atomdan atoma değişebilir, ancak makroskobik ölçekte konuma göre düzgün ve yavaş değişen işlev vermek için çok sayıda atom içeren hacimler üzerinden ortalama alınmaktadır. Bu fonksiyona ortamın mıknatıslanması (manyetikleşme) denmektedir ve M ile ifade edilir. Birim hacim başına manyetik moment olarak ifade edilmektedir.

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M \quad (4.6)$$

M: Manyetikleşme (C/m\*s)

H manyetik alan etkisiyle bir malzeme içerisindeki manyetik momentler alanın etkisiyle hizalanma eğilimindedir ve ayrıca manyetik moment, manyetik alanla şiddetlenir. Bu etki denklem 4.6'da  $\mu_0 M$  ifade ile gösterilmiştir.

M'nin büyüklüğü uygulanan alan ile aşağıdaki gibi orantıya sahiptir:

$$M = X_m H \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'teki  $X_m$ , manyetik hassasiyet olarak adlandırılmaktadır ve birimsizdir. Manyetik hassasiyet ve bağıl geçirgenlik arasında aşağıdaki gibi ilişki mevcuttur:

$$X_m = \mu_r - 1 \quad (4.8)$$

Manyetizma türleri, Diyamanyetizma, paramanyetizma ve ferromanyetizmadan oluşmaktadır. Malzemeler bu manyetizma türlerinden en az birine sahiptir. Malzeme davranışları uygulanan manyetik alanla birlikte, elektron ve atomal manyetik dipollerin hareketine bağlıdır.

#### 4.2.1. Diyamanyetizma ve paramanyetizma

Diyamanyetizma, manyetizmanın çok zayıf türüdür ve kalıcı manyetiklik davranışını yalnızca dışarıdan bir alan uygulanması durumunda koruyabilmektedir. Uyarılmış manyetik momentin şiddeti oldukça küçük ve uygulanan alana zıt yönde harekete sahiptir. Bu nedenle bağıl geçirgenlik  $\mu_r < 1$  karakteristik göstermektedir ve manyetik hassasiyetin değeri negatiftir. Diyamanyetik malzemeler kuvvetli elektromıknatıs kutupları arasına girdiğinde zayıf olan alana doğru hareket etmektedirler. Bazı katı malzemelerde, elektron ve yörüngesel manyetik dipol momentleri birbirini tamamen yok etmedikleri için, her bir atom kalıcı manyetik dipole sahiptir. Harici manyetik alan uygulandığında, atomal manyetik momentlerin yönleri rastgeledir. Bu yüzden malzeme makro ölçekte manyetik davranış sergilememektedir. Bu alan etkisinde dönme/spin ile tercihli yönlendirmeleri durumunda paramanyetik özellik kazanırlar. Paramanyetizmada, dipoller dış alan ile tercihli yönlendiğinden, manyetik alan kuvvetlenir, böylece bağıl geçirgenlik  $\mu_r > 1$  karakteristik gösterir ve pozitif manyetik hassasiyet değeri almaktadırlar.

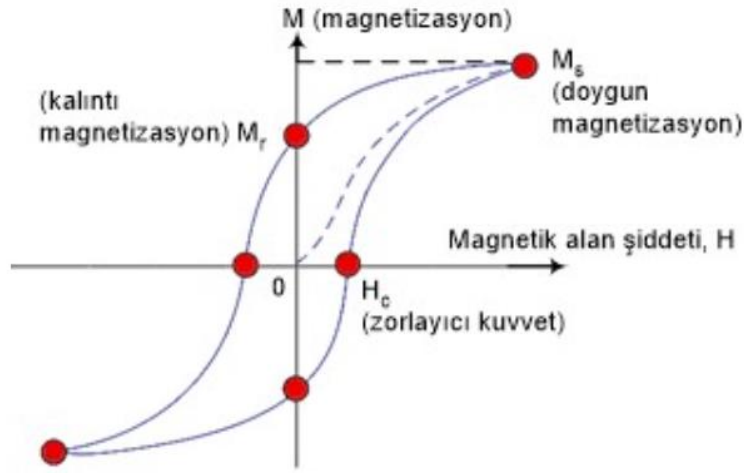
#### 4.2.2. Ferromanyetizma

Bazı metalik malzemeler herhangi bir dış alanın etkisine ihtiyaç duymadan kalıcı manyetik momente sahip olmaktadır. Bunlar ferromanyetizmaya ait özelliktedirler. Ferromanyetik malzemelerde mevcut olan birbirini yok etmeyen elektron dönme/spin hareketleri kalıcı manyetik moment ( $M_r$ ) meydana getirmektedir. Demir, kobalt ve



nikel için atom başına toplam manyetik momentler sırasıyla 2.22, 1.72 ve 0.60 Bohr manyetonu olarak bilinmektedir (Callister W., 2015).

Curie sıcaklığı ( $T_c$ ) altında ferromanyetik malzemeler kendiliğinden mıknatıslanma göstermektedir. Bu küçük hacimli bölgelerden oluşan manyetik dipol momentlerinin tamamı aynı doğrultuda yönlenir bu geniş bölge domain olarak adlandırılmaktadır. Dış manyetik alanın uygulanması, domainleri değiştirir ve farklı domainlerin momentleri daha sonra birlikte hizalanma eğilimi göstermektedir. Uygulanan alan kaldırıldığında ise momentlerin çoğu hizalı kalır ve bu kalıcı mıknatıslanmaya yol açmaktadır. Manyetik Histerezis eğrisi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Manyetik histerezis eğrisi (Celozzi ve ark., 2008).

Histerezis döngüsü ve manyetikleşme, domain sınırlarının hareketiyle açıklanmaktadır. Histerezis döngüsü farklı şekiller alabilmektedir. Birkaç parametre döngülerin özelliklerinin karakterize edilmesini sağlar. İlk döngü türü, bir numuneye malzemeyi doyurmaya yetecek kadar büyük bir döngüsel manyetik alan H uygulanarak elde edilen ana histerezis döngüsüdür. Manyetikleşme (M) vektörünün veya manyetik akı yoğunluğunun ( $B = \mu_0(H + M)$ ) değişimi, alan yönünde kayıtlanmaktadır. Döngünün negatiften pozitif olan bölümü artan ana eğri ve diğer yarısı ise azalan ana eğri olarak adlandırılmaktadır (Celozzi ve ark., 2008).

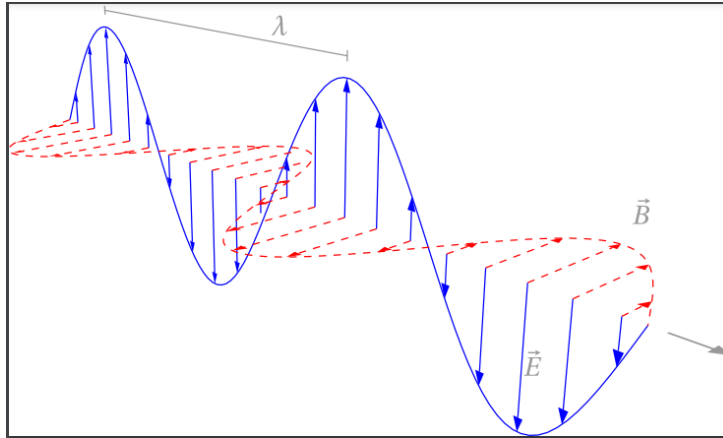
### 4.3. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik alanlar, Elektrik alan ve manyetik alanın birleşimidir. Elektromanyetik dalga teorisinin temelini James Clark Maxwell tarafından geliştirilen

denklemler ve Lorentz kuvvet yasası, akımın ve yüklerin elektromanyetik alanla nasıl etkileştiğini oluşturmaktadır. Elektromanyetik dalgaları daha iyi irdelemek için Şekil 4.6'e baktığımızda, E elektrik alanı, B manyetik alanı ve x doğrultusu da yayılma doğrultusunu vermektedir. Dik eksen çiftine paralel olan dalgalara çizgisel polarize dalgalar denmektedir. Aşağıdaki denklem 4.9'da görüldüğü gibi, elektromanyetik dalgadaki, elektrik alanının büyüklüğünün, manyetik alanın büyüklüğüne oranı daima ışık hızına eşittir (Lorrain ve ark., 1988).

$$\frac{E}{B} = c \quad (4.9)$$

Bir elektromanyetik alan dalga biçiminde yayılır ve dalga salınımı sonucu elektromanyetik radyasyon (EMR) oluşmaktadır. Hareket eden elektrik yükleri ile önce elektrik ve manyetik alan oluşur, daha sonra elektrik ve manyetik alan birbiriyle dik çarpışır. Sonuç olarak, elektrik alanı ve manyetik alan, elektrik yükleri üzerinde kuvvetler oluşturur, dolayısıyla elektrik yükü uzayda hareket eder (Celozzi ve ark., 2008).



Şekil 4.6. Elektromanyetik dalga çizgileri (Lorrain ve ark., 1988).

#### 4.4. Elektromanyetik Spektrum

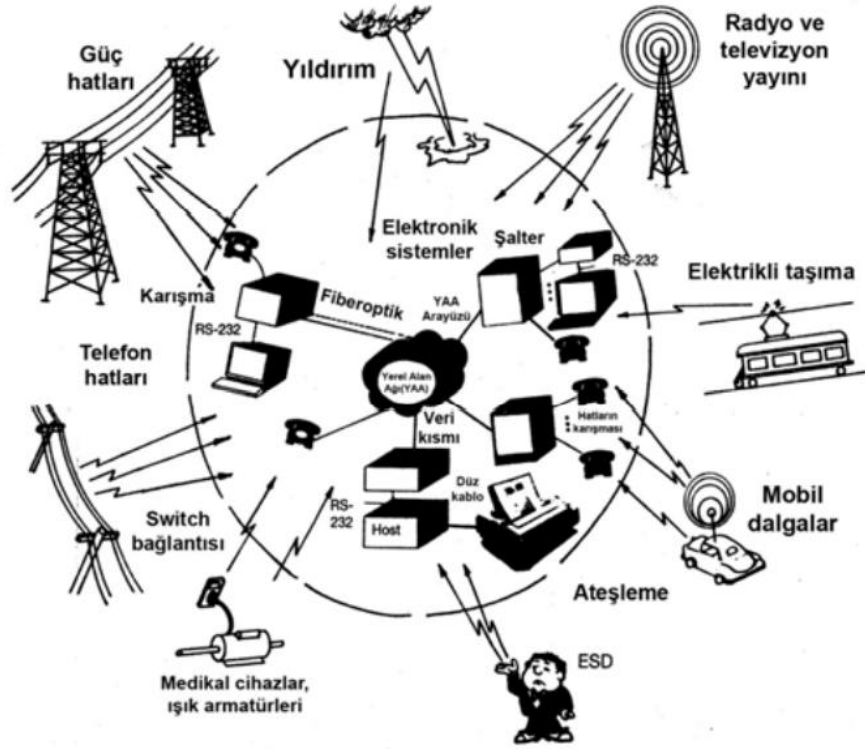
Elektromanyetik dalgalar taşıdıkları enerji, dalga boyu ve frekans değerlerine göre incelenmektedir ve elektromanyetik dalga spektrumu; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi dalgalar, görünür ışık dalgaları, mor ötesi ve X-ışını dalgaları olarak sınıflandırılmaktadır. Elektromanyetik dalga tipleri arasında yer alan dalga çeşitleri radyo dalgaları, televizyon dalgaları ve mikro dalgalardır. Onlar sadece birbirinden dalgaboyu olarak farklıdır. Şekil 4.7'te elektromanyetik dalga spektrumu verilmiştir.



Günlük yaşamda elektromanyetik dalga uygulamaları temelini oluşturan mikrodalgalar, hava şartlarından etkilenmemeleri, metal malzemeler üstünden yansımaları ve hava ortamında kayıp vermeden ilerlemeleri sayesinde mikrodalgalar, UHF bandından (470-854 MHz) (televizyonların yayınlarında kullanılan) başlayıp, GPS sistemleri, cep telefonları, mikrodalga fırınlar, kablosuz modemler ve çoğu kablosuz iletişim aracının çalıştığı L ve S band frekans aralıklarını (1-4 GHz), birçok askeri-havacılık ve sivil radar sistemlerinin çalıştığı X ve K band aralıklarını (8.2-40 GHz) ve en sonucusu da uydu, uzaktan kontrol ve analiz cihazları gibi değişik teknik araçlarda kullanılan F ve D band aralıklarını kapsamaktadır (Teknolojiler Programı Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı DANIŞMAN Doç Ali DURMUŞ, 2017). Haberleşme alanında kullanımlarının yanında endüstriyel ve akademik alanlarda da uygulamalara sahip olmaktadır (Kuşlu ve ark., 2002).

#### **4.5. Elektromanyetik Radyasyon ve Girişim (EMR-EMI)**

Elektromanyetik radyasyon ve girişim terimi, her türlü sistem-cihaz (Radyo/TV vericisi, telsiz, sanayii cihazları vb.) performansını etkileyen, haberleşmede bozulmalara ve kesintilere yol açan her türlü radyo frekansı (yayın) veya elektromanyetik etki olarak ifade edilmektedir. Bu durum ama doğal ama insan kaynaklı etki olabilmektedir. Gündelik yaşamda elektromanyetik girişime örnekler verilecek olursa; cep telefonu ile konuşurken bilgisayar hoparlöründe gürültü oluşması, radyo dinlerken polis telsizlerinin araya girerek radyo frekansını bozması, cep telefonlarının televizyon yayını etkilemesi, baskı devrelerde sızıntı gibi daha birçok örnekleri kapsamaktadır (Teker ve ark., 2022). Şekil 4.8'te elektromanyetik girişim bölgeleri verilmiştir.



Şekil 4.8. Elektromanyetik girişim bölgeleri (Cengiz, 2009).

#### 4.5.1. Elektromanyetik girişim koruması (EMI ekranlama)

Günümüzde, elektromanyetik radyasyon kirliliğinin ortadan kaldırması için en etkili yol, EMI ekranlamasının uygulanmasıdır. EMI ekranlama, yüksek frekanslı devrelerin çalışmasıyla üretilen elektromanyetik dalgaların dış dünyaya kesilmesi veya zayıflatılması anlamına gelir. Bu, yalnızca komşu elektronik ekipmana müdahaleyi ve insan vücuduna radyasyonu ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda elektronik ekipmanın kendisinin harici ekipmandan etkilenmemesini sağlar (Y. Guo ve ark., 2019; Pan ve ark., 2021). Uydu iletişimi, radyo ve televizyon gibi elektrikli ekipmanların hızlı gelişimi nedeniyle, insanlar dünyanın birçok yerinde çeşitli elektromanyetik radyasyon kirliliğine maruz kalmaktan kaçınmazlar (P. Song ve ark., 2021).

Günlük yaşamda, yüksek hassasiyetli elektronik bileşenler ve insan, genellikle farklı türlerde elektromanyetik radyasyon tehditlerine maruz kalır. Elektromanyetik radyasyondan korunmak için etkili koruma önlemlerinin kullanılması çok önemlidir.

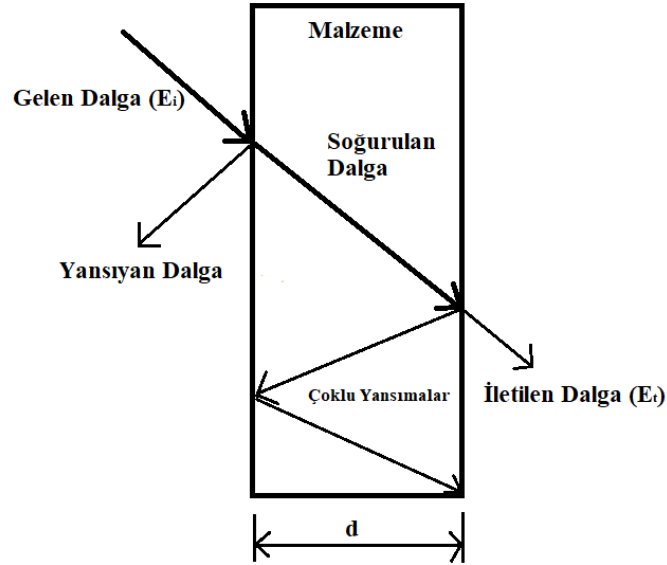
Elektromanyetik girişim (EMI) koruması, elektronik cihazlar ve radyasyon kaynakları için önemli olan bir elektromanyetik radyasyon malzemesi tarafından yansıma ve/veya absorpsiyon anlamına gelir. Günümüzde, elektroniklerin güvenilirliği ve radyo

frekansı radyasyon kaynaklarının hızlı büyümesi nedeniyle EMI ekranlama dünyada giderek daha fazla talep edilmektedir. İlgili elektromanyetik dalga aralıkları arasında, 8,2 ila 12,4 GHz aralığındaki X bant EMI koruması, Doppler, hava durumu radarı, TV görüntü iletimi ve telefon mikrodalga röle sistemleri gibi askeri ve ticari uygulamala alanları için önem arz etmektedir. Yansıma, absorpsiyon ve çoklu yansımanın EMI zayıflama mekanizmaları olduğu bilinmektedir. Birincil mekanizma olarak kabul edilen yansıma, elektronlar veya delikler gibi hareketli yük taşıyıcılarının varlığını gerektirirken, ikincil mekanizma olarak kabul edilen absorpsiyon, dielektrik/manyetik polarizasyon ve gevşeme kayıplarına bağlıdır. Kapsamlı ilkelere dayalı olarak, malzemelerin EMI ekranlama etkinliği (SE), elektriksel iletkenlik, manyetik özellik, dielektrik sabiti ve numune kalınlığı vb. gibi birkaç faktöre bağlıdır. Ayrıca, EMI özelliği, malzemenin bulunduğu sıcaklığa bağlıdır. Geleneksel X-bandı EMI ekranlama malzemeleri, mükemmel elektrik iletkenlikleri nedeniyle genellikle metallerdir (Fang ve ark., 2016).

Pratik uygulamalarda, çoğu ekranlama elektromanyetik alan korumasını ifade eder. Alternatif elektromanyetik alanda, elektrik alanı ve manyetik alan her zaman aynı anda var olduğundan, elektrik ve manyetik alanların korunması birlikte düşünülmelidir.

EMI korumasını daha sezgisel olarak anlamak için girdap etkisi teorisi, elektromanyetik alan teorisi ve iletim hattı teorisi gibi çeşitli ekranlama mekanizmaları önerilmiştir. Bunlar arasında iletim hattı teorisi en yaygın olarak kabul edilmiştir (Nazir ve ark., 2011). İletim hattı teorisi, koruyucu malzemelerden geçen elektromanyetik dalgaların, yansıma, absorpsiyon ve çoklu yansıma dahil olmak üzere üç farklı ekranlama mekanizmasından etkileneceği anlamına gelir. Spesifik olarak, elektromanyetik dalgalar ekranlama malzemelerinin yüzeyine çarptığında, elektromanyetik dalgalar, ekranlama malzemeleri ve dış boş alan arasındaki empedans uyumsuzluğu nedeniyle yansıtılır. Yansıtılmamış elektromanyetik dalgalar, koruyucu malzemelerin içine girer ve dielektrik kayıp ve manyetik kayıp ile sürekli olarak zayıflatılır. Ek olarak, elektromanyetik dalgalar, malzemelerin içindeki arayüzeyde çoklu yansımalar yoluyla dağıtılabilir. Artık elektromanyetik dalgalar, koruyucu malzemelerden geçecek ve iletilen dalgalar haline gelecektir (Wang ve ark., 2021; Jiao ve ark., 2021). EMI ekranlama mekanizması Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Elektromanyetik dalgaların zayıflaması veya kaybı, malzemelerin elektromanyetik dalgaları koruma yeteneğini değerlendirmek için temel göstergelerden biridir.

Ekranlama işleminden önce ve sonra elektromanyetik dalga yoğunluğundaki farkı niteliksel olarak tanımlayabilir.



Şekil 4.9. EMI ekranlama prensibi.

EMI ekranlama etkinliği (EMI SE, birim: desibel (dB)), malzemelerin elektromanyetik dalgaları koruma yeteneğini nicel olarak değerlendirmek için kullanılabilir. Elektromanyetik dalgaların perdeleme malzemelerine girmeden önceki ve perdeleme malzemelerinden geçtikten sonraki elektrik alan şiddetini (E), manyetik alan şiddetini (H) veya gücünün (P) oranı olarak tanımlanır:

$$SE = 20 \log (1) (Et/Ei) = 20 \log (Ht/Hi) = 20 \log (Pt/Pi) \quad (4.10)$$

Denk. 4.10'da, i ve t alt simgeleri sırasıyla gelen elektromanyetik dalgaları ve iletilen elektromanyetik dalgaları temsil eder. Ei , Hi ve Pi sırasıyla gelen elektrik alanını, manyetik alanı ve güç yoğunluğunu temsil ederken, Et , Ht ve Pt sırasıyla iletilen elektrik alanını, manyetik alanı ve güç yoğunluğunu temsil eder. Schelkunof teorisine göre EMI SE, elektromanyetik dalgaların koruyucu malzemeler tarafından zayıflatılması için yansıma ( $SE_R$ ), absorpsiyon ( $SE_A$ ) ve çoklu yansımalar ( $SE_M$ ) olmak üzere üç perdeleme mekanizmasının toplamı olarak tanımlanır. Toplam koruma etkinliği ( $SE_T$ ) şu şekilde ifade edilir:

$$SE_T = SE_R + SE_A + SE_M \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'den, malzemenin genel koruma performansının hem absorpsiyon hem de yansıtıcı bileşenlerle ilişkili olduğu açıkça bellidir. Yansıma bileşeni temel olarak ortam ve malzeme arayüzeyleri arasındaki karakteristik empedans uyumsuzluğuyla ilgilidir ve iki yüzeyin EM parametrelerinin değerlerine bağlıdır. Yutulma (absorpsiyon), elektromanyetik dalga kaybından ve malzeme boyunca zayıflamasından kaynaklanır. Çoklu yansımalar, heterojen arayüzlere neden olan malzeme içindeki ikincil yansıma/soğurma olgusuyla ilgilidir. Yansıtıcı yüzey, deri kalınlığından daha büyük bir mesafe ile ayrılmışsa veya  $SE$ 'nin soğurucu bileşeni 10 dB'den büyükse, yani EMI  $SE$  yeterince yüksekse,  $SE_M$  terimi ihmal edilebilir ve genel  $SE$  şu şekilde basitleştirilebilir (Wilson ve ark., 1988):

$$SE_T \cong SE_R + SE_A \quad (4.12)$$

Elektriksel iletkenliğin artması, ekranlama malzemelerinin  $SE_R$  ve  $SE_A$ 'sını aynı anda iyileştirebilir, böylece EMI ekranlama performanslarını artırabilir (Liang ve ark., 2021). İletken kaplamalar, metal dolaplar, folyo laminatlar ve iletken polimer kompozitler (CPC'ler), EMI korumasının araçlarıdır (Yener ve Cerezci, 2016).



## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda matris malzemesi olarak UHMWPE tozu kullanılmıştır. UHMWPE tozu Sigma- Aldrich markaya sahip olup,  $3 \cdot 10^6 - 6 \cdot 10^6$  g/mol moleküler ağırlığına sahiptir. Bu çalışmada UHMWPE toz matris malzemesi üzerine önce akımsız nikel kaplama gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Ni kaplanan UHMWPE toz yüzeyleri üzerine farklı yöntemlerle (Akımsız Ag kaplama ve kimyasal sentez ile NanoAg katkılama) belirli miktarda Ag biriktirilmiştir. Elde edilen polimer kompozit tozlar sıcaklık ve basınç uygulanarak bulk numune haline getirilmiştir. Polimer kompozit tozların ve bulk numunelerin karakterizasyonu ve her iki yöntem ile Ag katkısının elektromanyetik ekranlama üzerine etkileri incelenmiştir. Akımsız Ni ve Ag kaplama ve NanoAg katkısı için kullanılan kimyasallar aşağıda listelenmiştir.

- SnCl<sub>2</sub> çözeltisi,
- PdCl<sub>2</sub> çözeltisi,
- NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O,
- C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>.2H<sub>2</sub>O,
- NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O
- AgNO<sub>3</sub>
- Formaldehit
- C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH
- NaBH<sub>4</sub>

### 5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

#### 5.2.1. Hassas terazi

Tez çalışmasında RADWAG marka terazi kullanılmıştır. UHMWPE matris ve takviye Ni ve Ag partiküllerinin miktarlarını belirlemek için kullanılmıştır.

### 5.2.2. Etüv fırın

Kaplamalar sonrası elde edilen kompozit çamurun kurutulmasına yardımcı olması açısından marka etüv fırın kullanılmıştır.

### 5.2.3. Sıcak pres

Sıcak pres işlemi; UH-Ni, (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> tozların bulk numune haline getirilmesi ve kompozitlerin birleştirilmesi için belirli sıcaklık ve yüksek basınç altında gerçekleştirilmiştir.

### 5.2.4. SEM-EDS, XRD ve FT-IR

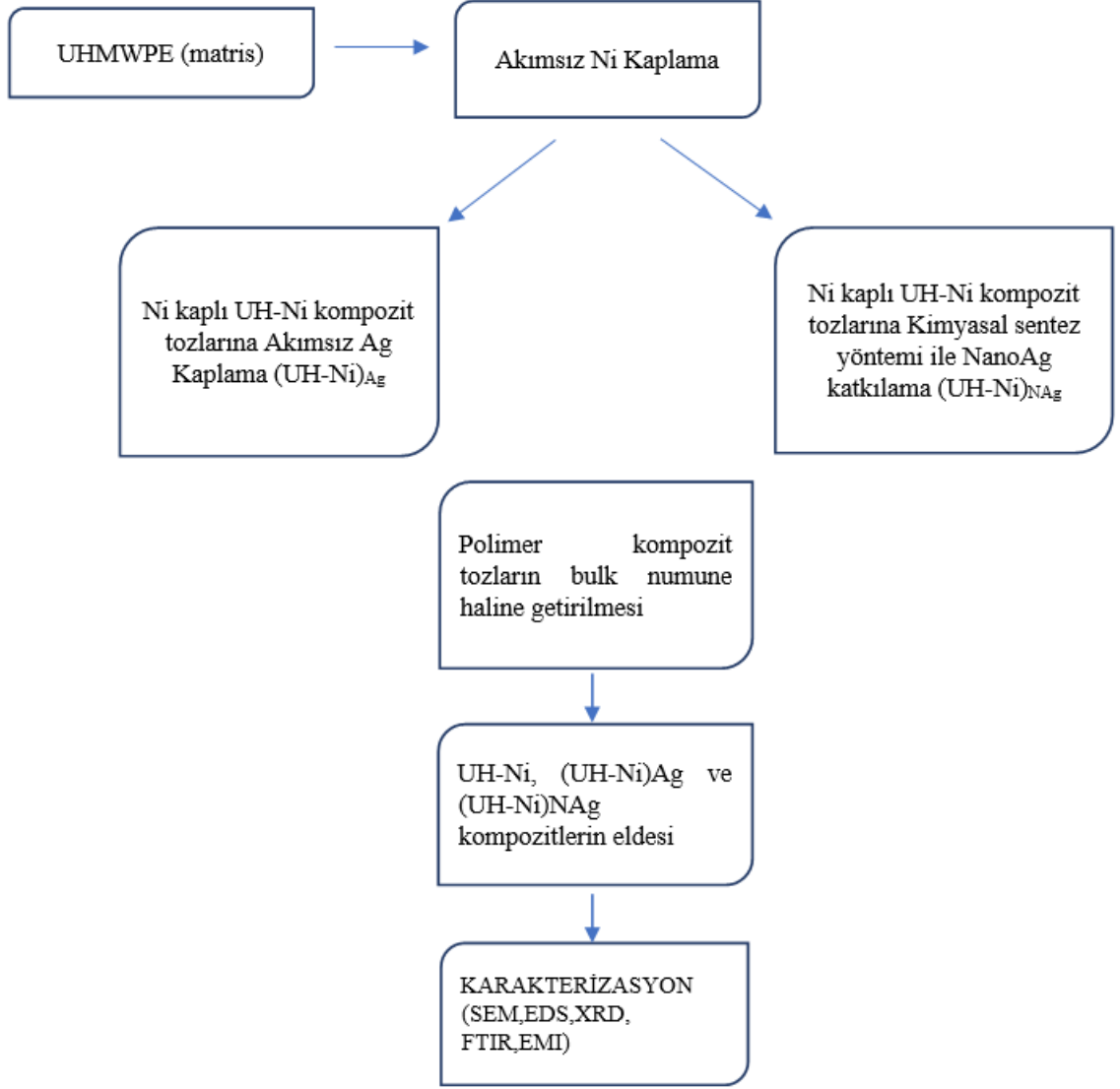
İletken Polimer Kompozitlerin karakterizasyonunda mikroyapı ve kimyasal bileşen analizleri JEOL 6060 LV marka SEM (Scanning Electron Microscopy /Taramalı Elektron Mikroskobu) ve EDS /EDX (Energy Dispersive Spectrometry) yardımıyla, kaplama prosesi sonrasında oluşan kristalin fazlar ve mevcut bağların yapısı XRD ve PerkinElmer Spektrum Two marka FT-IR spektrofotometre analizi ile incelenmiştir.

### 5.2.5. Elektromanyetik ekranlama ölçümü

Kompozit numunelerin EMI ekranlama ölçümleri, ASTM D4935'e göre vektör ağ analizörü ile birlikte iletimdalgası kılavuz anteni kullanılarak yapılmıştır.

## 5.3. Deneysel Çalışmalarda İzlenen Yol

Polimer matris olarak seçilen UHMWPE tozları ilk olarak akımsız nikel kaplama yöntemiyle Ni ile kaplanmıştır. Bu kısımdan sonra Ni ile kaplanan UHMWPE, UH-Ni kısaltması olarak gösterilmiştir. Gümüşün yüksek elektrik iletkenliğinin kalkanlama üzerine etkisini görmek amacı ile UH-Ni tozları, hem akımsız gümüş kaplama ile Ag ile kaplanmış, hem de kimyasal nanogümüş sentezi ile UH-Ni tozlar nano Ag katkılandırılmıştır. Üç grup toz karışımından alınan numuneler sıcak presle bulk hale getirilmiş ve elde edilen kompozit numunelerin karakterizasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Akımsız Ag ile kaplanan UH-Ni tozları için (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve nano Ag ile katkılandırılan UH-Ni tozları için de (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kısaltmaları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda izlenen yol şematik olarak Şekil 5.1'deki akım şemasında gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda izlenen yol şematik gösterimi.

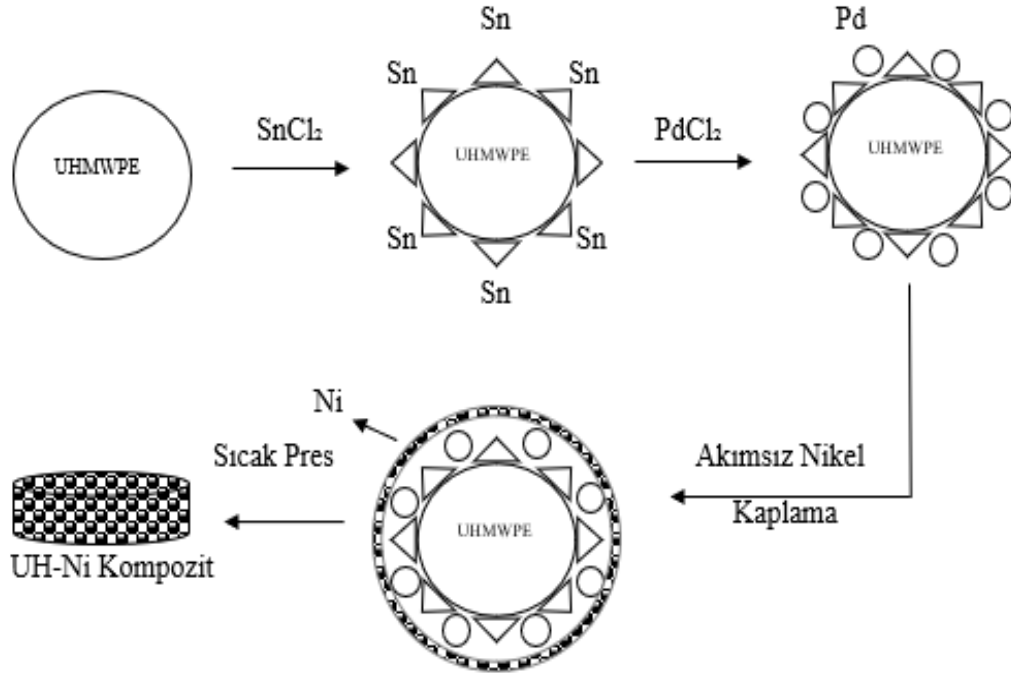
### 5.3.1. Akımsız nikel kaplama ve UHMWPE-Ni (UH-Ni) kompozitlerinin üretimi

UHMWPE tozları (Sigma Aldrich, ~100 µm partikül boyutu), akımsız Ni kaplama işlemi için matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Akımsız Ni kaplamadan önce, UHMWPE tozlarının, yüzeye iyi yapışabilmesi için ilk önce SnCl<sub>2</sub>(%99,9, Sigma Aldrich) çözeltisinde hassaslaştırma yapılmış ve ardından polimer yüzeyinde aktif bölgelerin sağlanması için PdCl<sub>2</sub> (%99,9 Alfa-Aesar) çözeltisine daldırılmıştır. Akımsız kaplama banyosu, NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (%99,9, Sigma Aldrich), C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>.2H<sub>2</sub>O (%99, Sigma Aldrich) ve NH<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O'dan oluşmaktadır. UHMWPE parçacıklarının yüzeyine elementel Ni'i çökeltmek için çözeltili indirgeme maddesi olarak NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O (%99, Sigma Aldrich) eklenmiştir. Ni kaplama banyosunun bileşimi Tablo 5.1'de verilmiştir. Matris malzemesi olan Ni kaplı UHMWPE kompozit tozlar UH-Ni şeklinde gösterilmiştir.

**Tablo 5.1.** Akımsız nikel kaplama banyo bileşimi.

Bileşim	Konsantrasyon
NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0.20 M
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Na <sub>3</sub> O <sub>7</sub> .2H <sub>2</sub> O	0.11 M
NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	0.83 M
NH <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	13.3 % hacim

Akımsız Ni kaplama, kaplama banyosunun 60-65°C aralığında 30 dakika süreyle karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Nikel kaplanmış partiküller, kaplama işleminden sonra süzülmüştür ve daha sonra saf su ile yıkanmıştır. Yıkama işlemi sonrası kompozit çamur 60 °C'de etüvde gün boyu kurutulmuştur. Nikel kaplı UHMWPE kompozit toz partikülleri, 180 °C'de 15 dk sıcak pres işlemine tabii tutulmuştur. Akımsız kaplama yöntemi ile UHMWPE toz partiküllerinin Ni kaplama ve UH-Ni kompozit üretimi şematik gösterimi Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Akımsız kaplama yöntemi ile UHMWPE toz partiküllerinin Ni ile kaplanması ve UH-Ni kompozitlerinin üretiminin akım şeması.

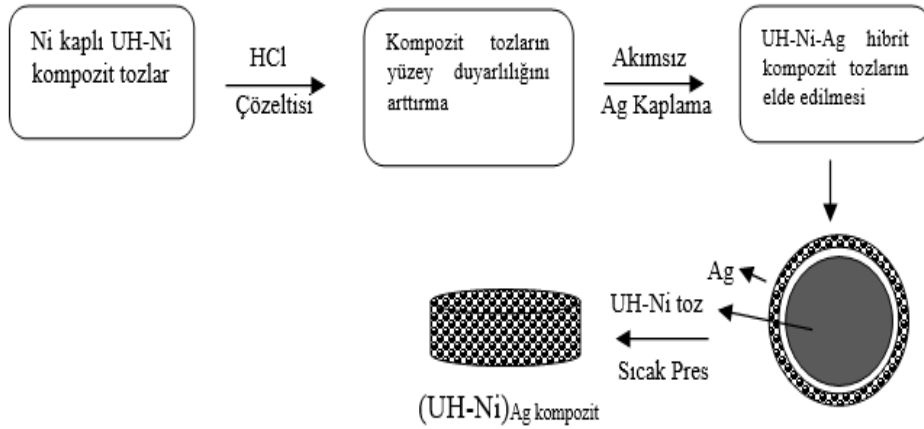
### 5.3.2 UH-Ni kompozitlerinin Akımsız gümüş kaplanması ve (UH-Ni)<sub>Ag</sub> kompozitlerinin üretimi

Ni kaplı UHMWPE tozları, akımsız Ag kaplama işlemi için matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Akımsız Ag kaplamadan önce, UH-Ni tozları, Ag ün yüzeye iyi yapışabilmesi için %5 lik HCl asit çözeltisiyle yıkama yapılmıştır. Daha sonra UH-Ni tozlar süzülüp yıkanmıştır. Akımsız kaplama banyosu, AgNO<sub>3</sub> (%99.9, Sigma Aldrich), NH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O, Formaldehit ve C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH'dan oluşmaktadır. Daha sonra UH-Ni kompozit tozlar 25°C'de 10 dakika süreyle akımsız gümüş kaplama banyosuna daldırılmıştır. Akımsız Ag kaplama banyosunun bileşimi Tablo 5.2'de verilmiştir. Ag kaplı UH-Ni kompozit tozlar (UH-Ni)<sub>Ag</sub> şeklinde gösterilmiştir.

**Tablo 5.2.** Akımsız Ag kaplama banyo bileşimi.

Bileşim	Konsantrasyon
AgNO <sub>3</sub>	0.058 M
NH <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2 % hacim
Formaldehit	4 % hacim
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	10 % hacim

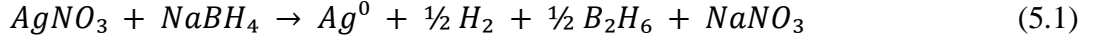
Takiben elde edilen (UH-Ni)Ag tozlar süzülüp ardından saf su ile yıkama yapılmıştır. Yıkama işlemi sonrası çamur 60 °C'de etüvde gün boyu kurutulmuştur. Ag kaplı (UH-Ni)Ag toz partikülleri, 180 °C'de 15 dk sıcak pres işlemine tabii tutulmuştur. Akımsız gümüş kaplama ile UH-Ni toz partiküllerinin Akımsız Ag kaplama ve (UH-Ni)Ag hibrit kompozit üretimi şeması Şekil 5.3'te verilmiştir.



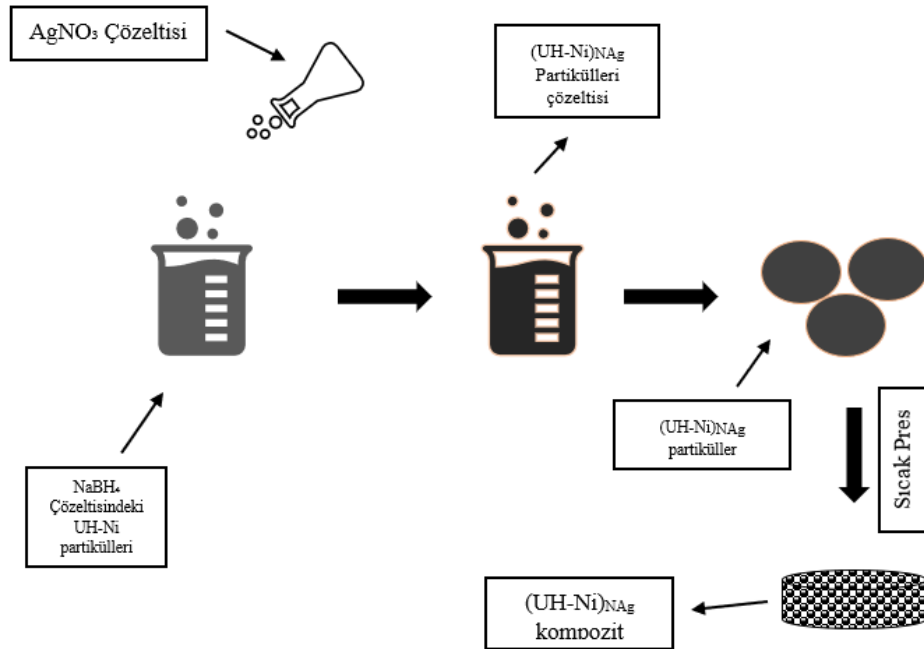
**Şekil 5.3.** Akımsız Ag kaplama ve (UH-Ni)<sub>Ag</sub> hibrit kompozit üretim şeması.

### 5.3.3. Kimyasal indirgenme yöntemi ile NanoAg sentezi ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin üretimi

Gümüş nanopartiküllerin sentezlenmesi için 100 ml 0.005 M Gümüş Nitrat (AgNO<sub>3</sub>) ve 250 ml 0.01 M Sodyumborhidrür (NaBH<sub>4</sub>) çözeltileri kullanılmıştır. Çözeltiler oda sıcaklığında hazırlandıktan sonra NaBH<sub>4</sub> çözeltisi üzerine hazırlanan AgNO<sub>3</sub> çözeltisi saniyede 1 damla şeklinde ilave edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar boyunca meydana gelen kimyasal reaksiyon 5.1'de aşağıda verilmiştir. NanoAg katkılı UH-Ni kompozit tozlar (UH-Ni)<sub>NAg</sub> şeklinde gösterilmiştir.



Ag katkılanmış (sentezlenmiş) UH-Ni partiküller süzülüp ardından saf su ile yıkanmıştır. Yıkama işlemi sonrası kompozit çamur 60 °C'de etüvde gün boyu kurutulmuştur. NanoAg katkılanmış (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozit toz partikülleri 180 °C'de 15 dk sıcak pres işlemine tabii tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda izlenen yolun şematik gösterimi Şekil 5.4'te verilmiştir. Bulk hale getirilmiş kompozit numunelerin görünümü Şekil 5.4'te verilmiştir.



**Şekil 5.4.** Kimyasal indirgenme yöntemi ile NanoAg sentezi ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin üretimi.



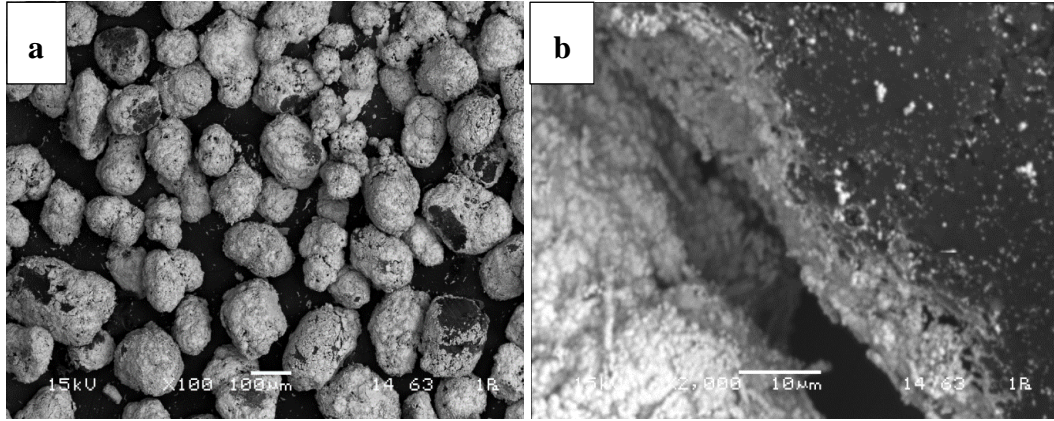


## 6. DENEYSEL SONUÇLAR

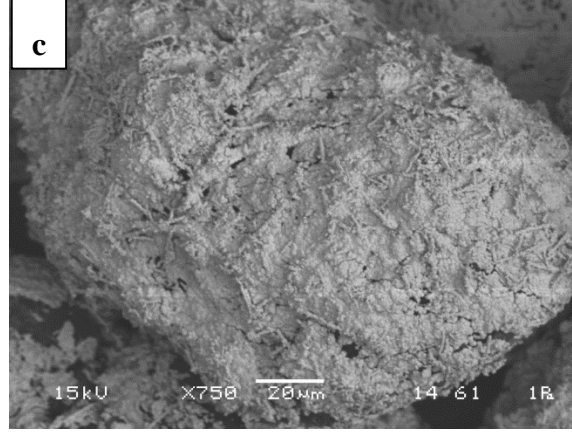
### 6.1. Kaplanmış Tozların Karakterizasyonu

#### 6.1.1. UH-Ni tozlarının SEM incelemesi

Akımsız kaplama yöntemi ile yüzeyleri Ni ile kaplanmış UHMWPE tozlarının SEM mikro yapıları, Şekil 6.1.'de verilmiştir. Nikel partikülleri, yaklaşık 100 µm partikül boyutuna sahip UHMWPE tozları üzerine genel itibariyle homojen bir şekilde kaplanmıştır (Şekil 6.1 a). Yüksek büyütmelere yapılan incelemelerde UHMWPE'in tüm yüzeyin Ni ile kaplanarak; nikel tanelerinin mikron altından birbirleri üzerinde çekirdeklenerek Ni ağı oluşturması ile birikmeye başladığı görülmektedir (Şekil 6.2 c). Şekil 6.1 a'da ok ile gösterilen partikülün yüksek büyütmedeki görüntüsü Şekil 6.1 b' de verilmiştir. Şekil 6.1 b'de siyah renkte gözüken bölgeler kaplanmayan UHMWPE'i, beyaz renkli kısımda Ni kaplamayı göstermektedir ve UHMWPE yüzeyindeki Ni kaplama kalınlığının yaklaşık olarak 5-10 µm olduğu söylenilebilir.

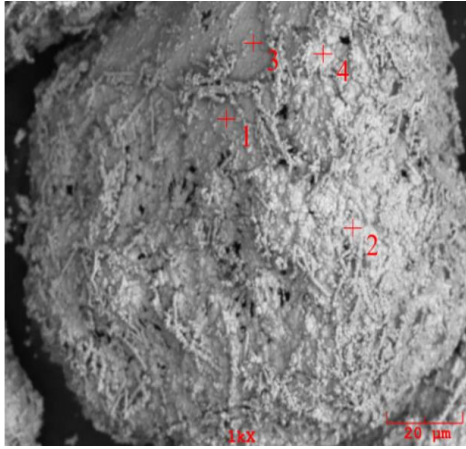


Şekil 6.1. UH-Ni tozların a) 100X ve b) 2000X' deki SEM mikrografları.



**Şekil 6.2.** UH-Ni tozların 750X’ deki SEM mikrografı.

UH-Ni tozlarının SEM-EDS analizleri, Şekil 6.3'te verilmiştir. 1, 2 ve 3 numaralı noktalardan alınan analizler, bu noktalarda Ni varlığını göstermektedir. EDS analizi, UHMWPE toz partikülleri üzerindeki Ni kaplamanın başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini kanıtlamaktadır (Şekil 6.3). Yüzeyleri nikel ile kaplanan UHMWPE toz taneleri çok açık gri renkte gözükmektedir.

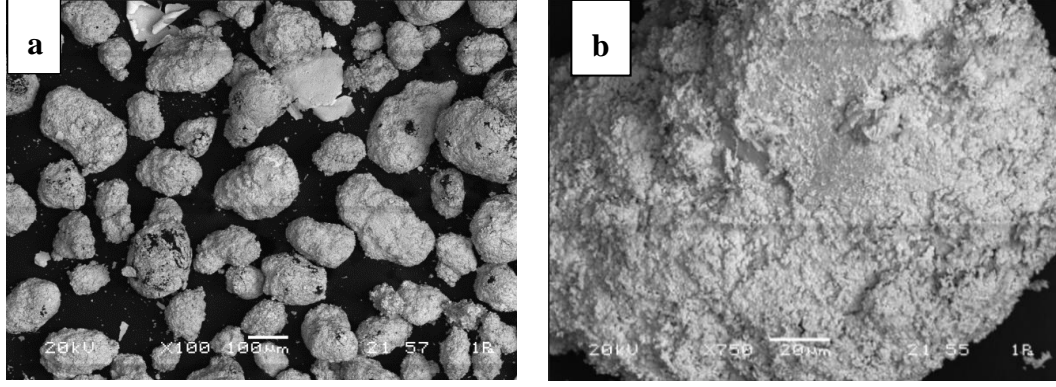


Element	Bölgeler (Ağ.%)			
	1	2	3	4
C	1.000	0.000	1.574	0.039
O	0.334	1.684	0.581	2.456
P	2.084	11.635	8.111	12.390
Ni	96.583	86.681	89.734	85.115

**Şekil 6.3.** UH-Ni tozların SEM-EDS analizi.

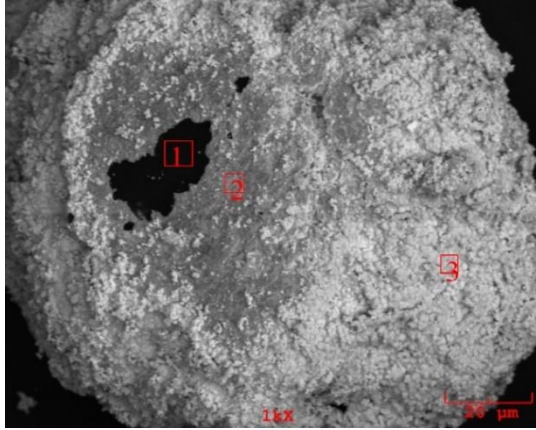
### 6.1.2. (UH-Ni)<sub>Ag</sub> tozların SEM incelemesi

Akımsız kaplama yöntemi ile yüzeyleri Ag kaplı (UH-Ni)<sub>Ag</sub> tozların SEM mikrografları, Şekil 6.4'te verilmiştir. UH-Ni tozları üzerine kaplanan Ag partikülleri iyi bir yapışma sergilemiş ve Ni metali üzerine çekirdeklenmiştir (Şekil 6.4 b). Ayrıca kaplama esnasında behere sarılmış gümüşün metal plaka şeklinde toz partiküllerine katıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 6.4 a). Gümüş elementinin atom numarasının Nikel elementinden yüksek olması sebebiyle SEM görüntülerinde daha parlak gözükmesine yol açmıştır (Şekil 6.3 b).



**Şekil 6.4.** (UH-Ni)<sub>Ag</sub> tozlarının a) 100X ve b) 750X’deki SEM mikrografları.

Ag kaplanmış (UH-Ni)<sub>Ag</sub> tozların SEM-EDS analizi, Şekil 6.5’te verilmiştir. EDS analizi, UHMWPE partikülleri üzerindeki Ni ve Ag kaplamanın başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir (Şekil 6.5. a). Yüzeyleri Ag ile kaplanan (UH-Ni)<sub>Ag</sub> taneleri çok açık parlak beyaz renkte gözükmektedir. Hemen hemen dağılım olarak Ni ve Ag’ün birbirine ağırlıkça yakın birikim sağladığı söylenebilir.



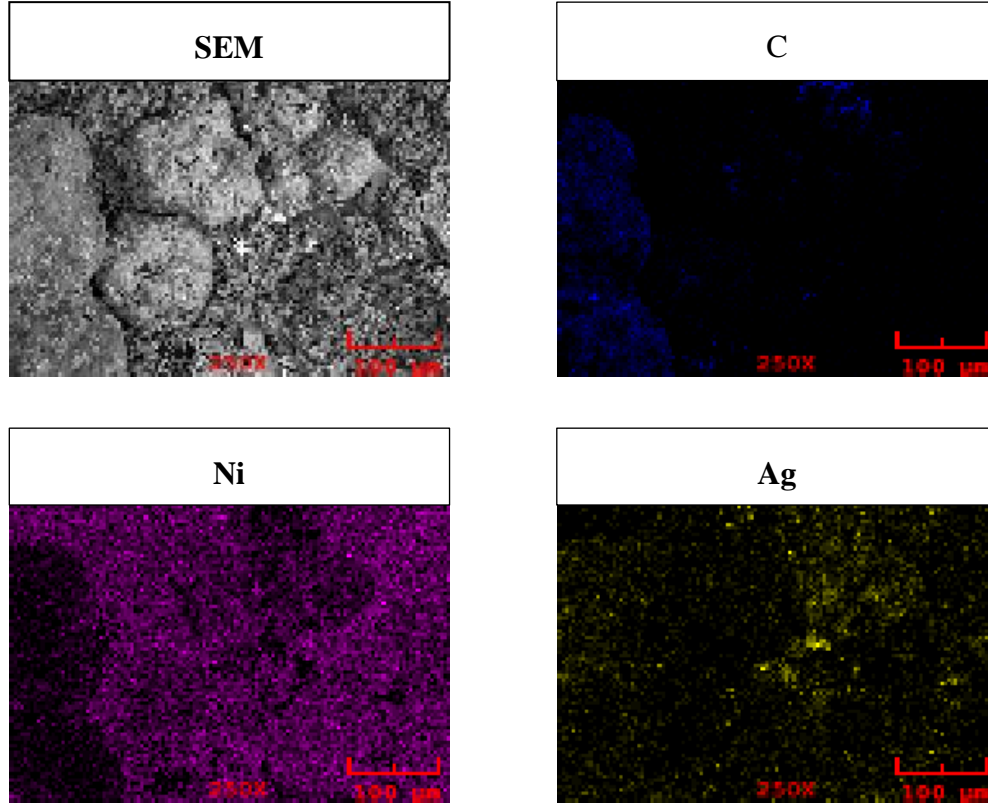
Element	Bölgeler(Ağ.%)		
	1	2	3
C	74.175	17.386	1.933
Ni	13.873	7.807	40.461
Ag	11.952	74.807	55.258

a)

b)

**Şekil 6.5.** (UH-Ni)<sub>Ag</sub> tozların SEM-EDS analizi.

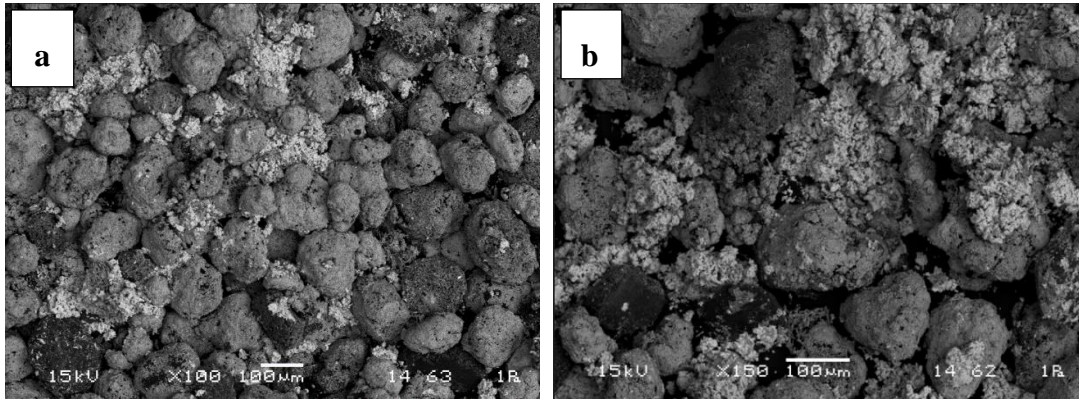
Ni ve Ag kaplamalarının, UHMWPE yüzeyindeki ağırlıkça dağılımı Şekil 6.6’ da verilen SEM-EDS alan (map) analizinde gözükmektedir. SEM-EDS alan (map) analizinden UHMWPE tanelerinin yüzeylerinde Ni’in yoğun olduğu bölgeler mor renkte, Ag’ün yoğun olduğu bölgeler de sarı renkte gözükmekte olup; EDS analiz sonuçlarını desteklemektedir.



Şekil 6.6. (UH-Ni)Ag tozlarının SEM-Map analizi.

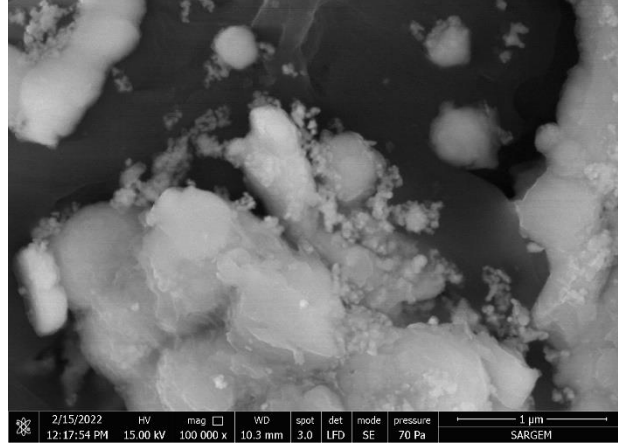
### 6.1.3. (UH-Ni)<sub>NAg</sub> tozların SEM incelemesi

Bir kimyasal indirgeme yöntemi olan gümüş nanopartikül sentezi ile yüzeyleri NanoAg katkılanan (UH-Ni)<sub>NAg</sub> tozlarının SEM mikro yapıları, Şekil 6.7'de verilmiştir. NanoAg partikülleri yer yer kümeleşerek aglomerasyon göstermiş ve Ni ve birbiri üzerine çekirdeklenmiştir (Şekil 6.7).



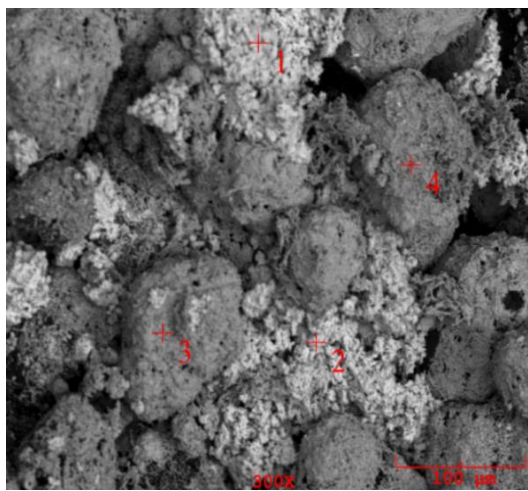
Şekil 6.7. (UH-Ni)<sub>NAg</sub> tozların a) 100X ve b) 150X'deki SEM mikrografları.

Şekil 6.8’de, NanoAg partiküllerinin daha iyi gözlemlenebilmesi için FESEM’de mikroyapı fotoğrafı alınmıştır. Mikrograftan NanoAg partiküllerinin tahmini boyutlarının yaklaşık olarak 20-30 nm olduğu söylenilebilir.



**Şekil 6.8.** (UH-Ni)<sub>NAG</sub> tozun FESEM mikrografı.

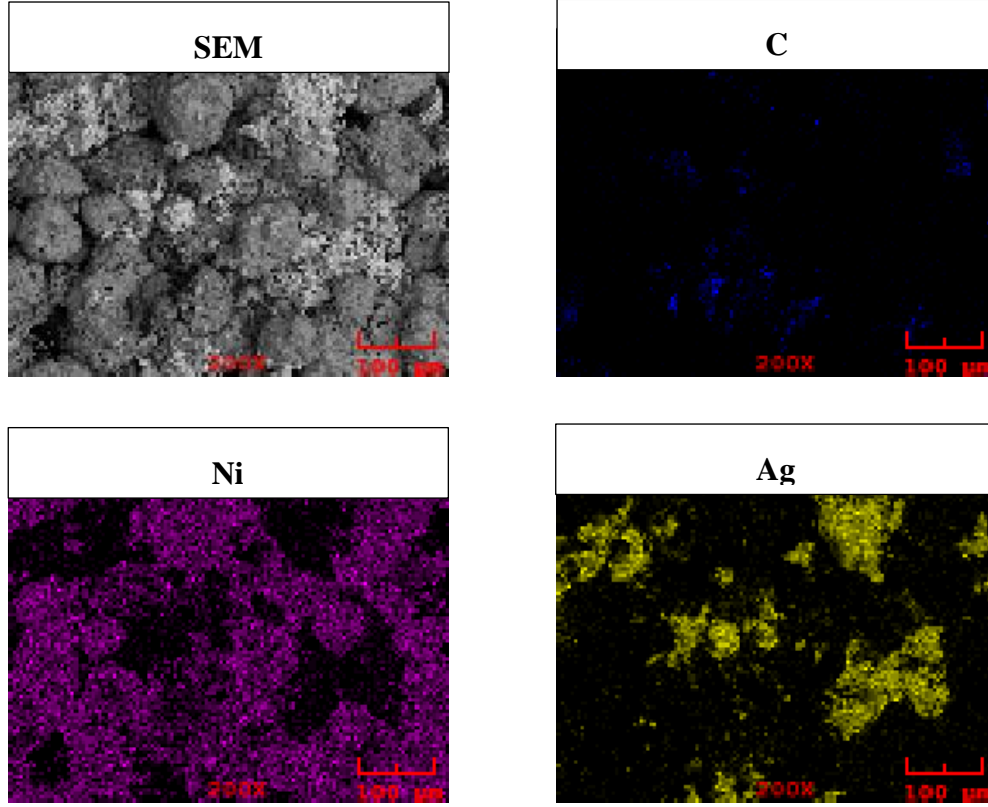
(UH-Ni)<sub>NAG</sub> tozların SEM-EDS analizi Şekil 6.9’da verilmiştir. EDS analizi, 1 ve 2 numaralı noktalarla gösterilen parlak açık gri renkli bölgelerdeki nano Ag’ ün, 3 numaralı nokta ile gösterilmiş gri renkli bölgelerdeki Ni’ in varlığını ispatlamaktadır. EDS analizi, UHMWPE partikülleri üzerindeki Ni ve NanoAg katkısının başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir (Şekil 6.9). Yüzeyleri NanoAg ile katkılanan UH- Ni taneleri çok açık parlak beyaz renkte gözükmektedir (Şekil 6.9 a). Ayrıca NanoAg partiküllerinin yer yer aglomere olduğu da gözlemlenmiştir.



Element	Bölgeler (Ağ.%)			
	1	2	3	4
C	1.996	0.976	0.000	5.814
O	1.297	0.520	1.016	2.453
P	0.492	0.195	5.411	10.154
Ni	6.895	6.765	92.385	79.891
Ag	89.320	91.545	1.188	1.688

**Şekil 6.9.** (UH-Ni)<sub>NAG</sub> tozların SEM-EDS analizi.

Şekil 6.10'da (UH-Ni)<sub>NAG</sub> tozlarının SEM-EDS alan (map) analizi, verilmiştir. Map analizi, EDS nokta analiz sonuçlarını desteklemektedir. Map analizi sonucundan UHMWPE partiküllerinin tüm yüzeyinin Ni ile kaplandığı ve yer yer nano Ag partiküllerinin çökelediği gözükmetedir.

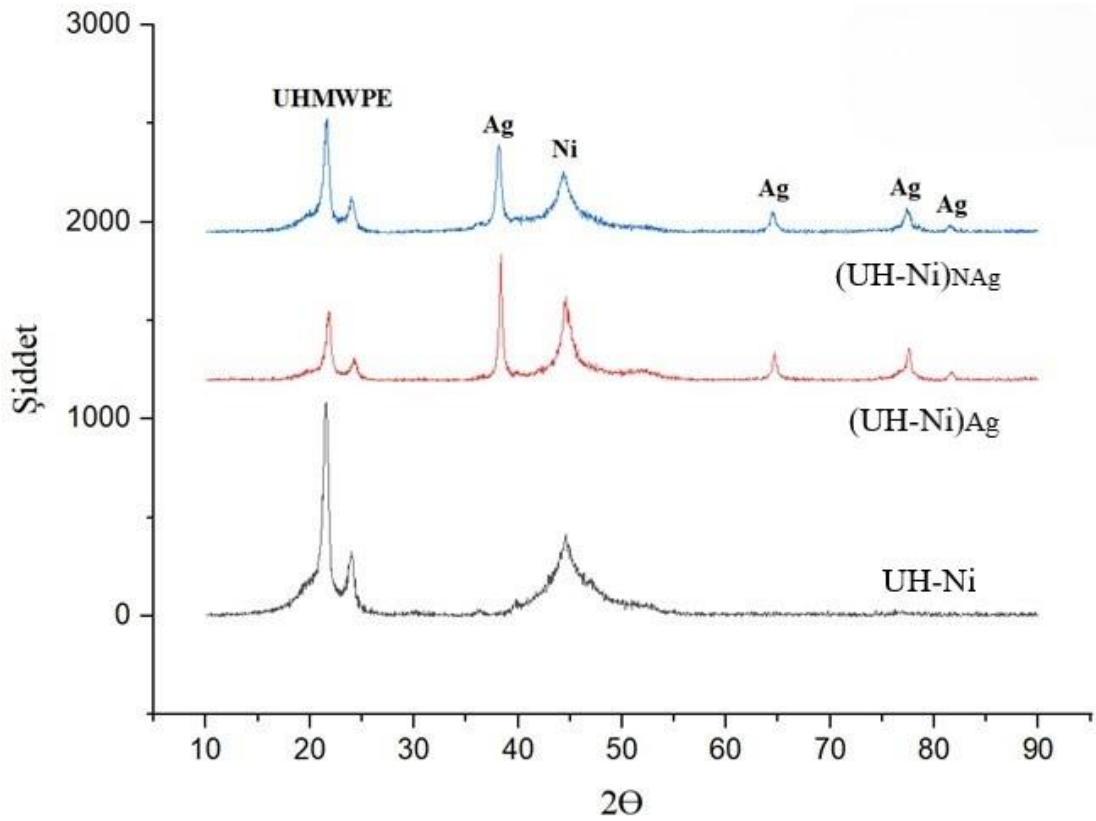


Şekil 6.10. (UH-Ni)<sub>NAG</sub> tozlarının SEM-Map analizi.

#### 6.1.4. UH-Ni , (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAG</sub> tozlarının XRD analizleri

Ni kaplı UHMWPE, Ag kaplı (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve NanoAg katkılı (UH-Ni)<sub>NAG</sub> tozlarındaki hakim bileşenler XRD analizi ile tespit edilmiştir ve hepsi bir arada Şekil 6.11'de verilmiştir. XRD analiz sonuçları UHMWPE tozların başarılı bir şekilde Ni , Ag kaplandığını ve NanoAg katkılı olduğunu göstermektedir. Siyah renk ile gösterilen XRD modelinde, UHMWPE ve Ni karakteristik pikleri tespit edilmiştir. Ayrıca Ni' e ait olan yaklaşık  $2\theta=45^\circ$  deki pikin yayvan olması da Ni taneciklerinin nano boyutta olduğunu ispatlamaktadır. Kırmızı renk ile gösterilen XRD modelinde, Nikel'e ilave olarak Ag pikleri tespit edilmiştir. Mavi renk ile gösterilen XRD modelinde ise Ag piklerin tane boyutundaki değişim ile XRD piklerinde genişleme meydana gelmiştir. Nano boyutlu gümüşün XRD modelindeki piklerin tepe yoğunluğu ve genişliği Ag ün boyutsal değişimi nedeniyle bulk gümüşe kıyasla genişlemektedir (Şekil 6.11). Lin ve

ark. PMMA-Ni çekirdek-kabuk kompozitlerinin pikleri Şekil 6.11. ile karşılaştırıldığında,  $2\theta=44.541$ ,  $51.891$  ve  $76.371$ 'deki belirgin kırınım tepe noktaları ve XRD sonucuyla uyumlu olan Ni'nin kristalin düzlemlerine (111), (200) ve (220) karşılık geldiğini tespit etmiştir (C. Guo vd., 2015). Ag ve NanoAg partiküllerinin oluşumu XRD analizi ile doğrulanmıştır. Yaklaşık  $38.1^\circ$ ,  $64.5^\circ$  ve  $77.5^\circ$  alanlarındaki 2 değerdeki belirgin tepe noktası (111), (220) ve (311) kristalografik düzlemlerine karşılık geldiği literatürde Manash ve ark. tarafından yapılan çalışma ile uyum sağladığı tespit edilmiştir (Das ve ark., 2011).



Şekil 6.11. UH-Ni, (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> tozlarının XRD patternleri.

## 6.2. Bulk Kompozit Numunelerin Karakterizasyonu

### 6.2.1. UH-Ni , (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin FT-IR analizleri

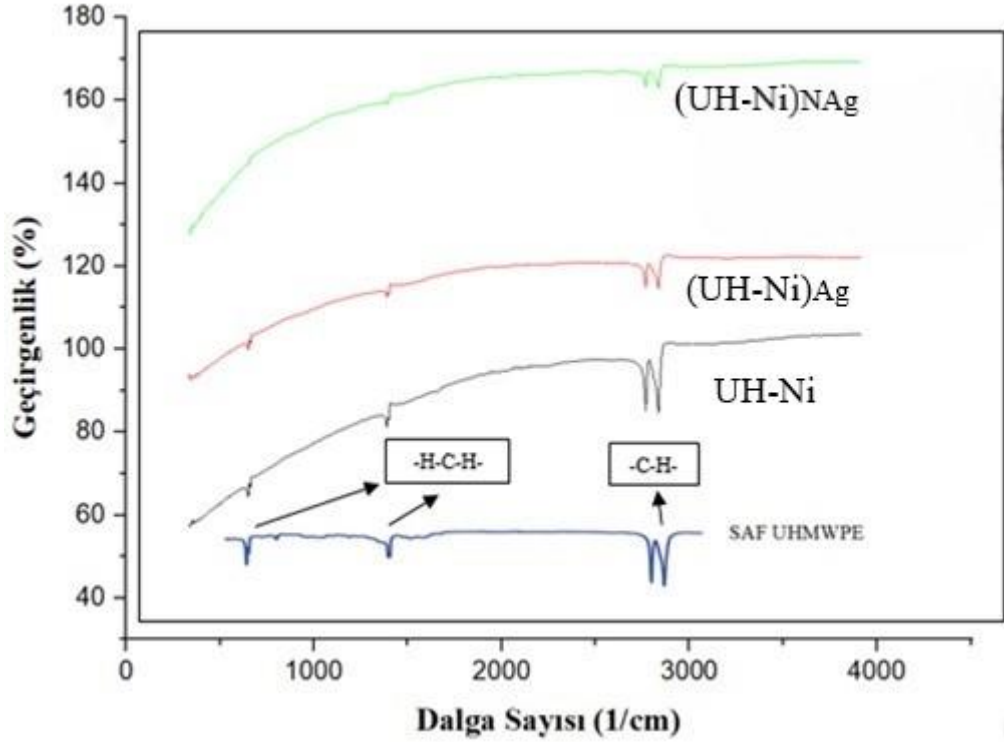
FTIR Analizi, elde edilen polimer kompozit toz partiküllerinin moleküler karakterizasyonu yapılarak, bu partiküllerin sentezlenmesi ve üretiminde kullanılan maddelerinin yapısında bulunan moleküller, bu moleküllerin yapısında bulunan işlevsel gruplar (-NH<sub>2</sub> , -OH, -COOH, gibi) ve moleküler bağların titreşim frekansları hakkında bilgiler vermektedir. FTIR analizinde oluşan piklerin şiddetleri, mevcut numune miktarıyla doğrudan ilişkilendirilmektedir (Çeven ve ark., 2021).



**Şekil 6.12.** FT-IR-Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre.

UH-Ni, (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitler, Perkin Elmer Spektrum Two Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre ile analiz edilmiştir ve Şekil 6.12’de kullanılan cihaz gösterilmiştir. Kompozit örneklerinin FT-IR spektrumu Şekil 6.13’te verilmiştir. Kompozitlerin FT-IR spektrumunda 2915-2848 cm<sup>-1</sup> dalga sayısında gözlenen iki keskin pik UHMWPE’nin C-H gerilim titreşimine aittir (Peng Chang vd., 2015). 1463 cm<sup>-1</sup> ve 718 cm<sup>-1</sup> dalga sayılarında görülen C-H<sub>2</sub> eğilme ve sallanma titreşimlerine karşılık gelmektedir (Macuvele ve ark., 2019). Bu çalışmada üç kompozitin FT-IR spektrum grafikleri karşılaştırıldığında, Nikel dolgu malzemesine göre diğer dolgu malzemelerinin (Ag ve NanoAg) katkısı mevcut piklerin titreşim şiddetinde azalma meydana getirmiştir. Literatürde benzer şekilde Kandhol ve ark. polivinilalkol ile indirgenmiş grafen oksitten (RGO) elde ettikleri kompozit numunelerin FT-IR analizinde, RGO’ nun matrikse katkısının bazı titreşim piklerinin şiddetlerinde azalma meydana getirdiği ve bunun sonucunda matris-dolgu etkileşimi nedeniyle mevcut bağların bozularak yeni bağların kurulmasına atıf etmişlerdir (Kandhol ve ark., 2019).



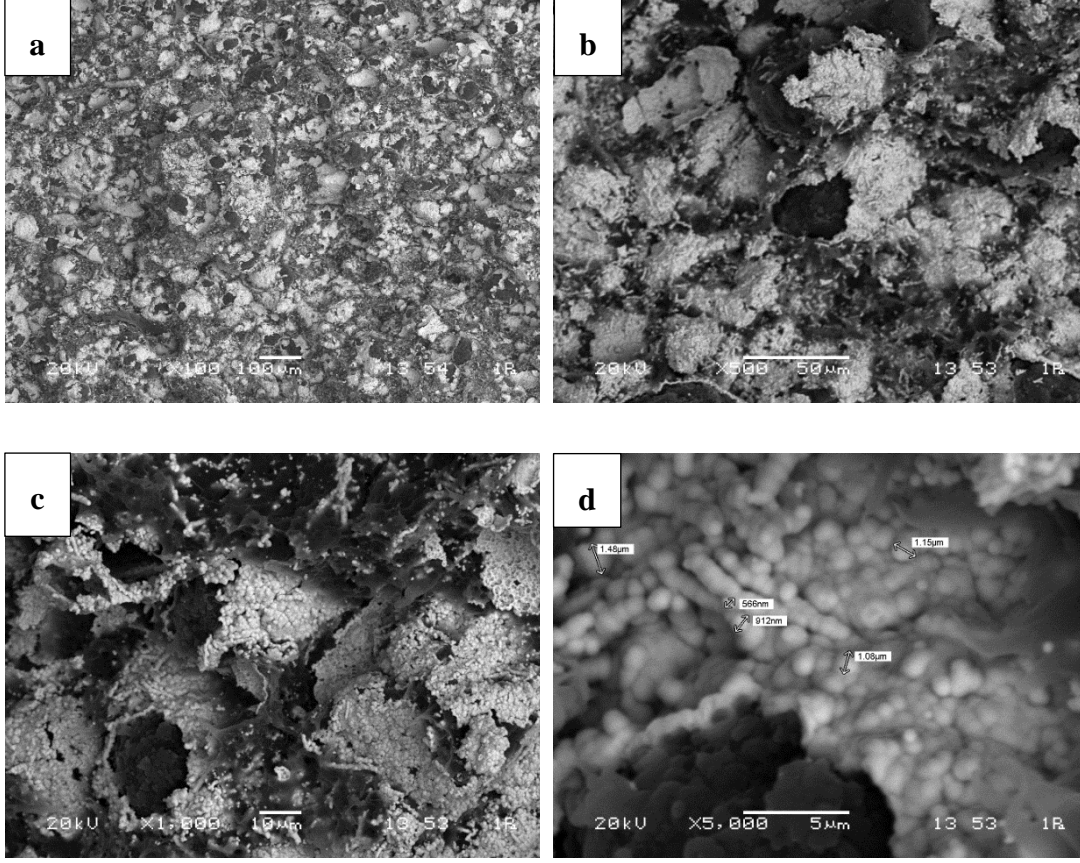


**Şekil 6.13.** UH-Ni , (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin FT-IR analizleri.

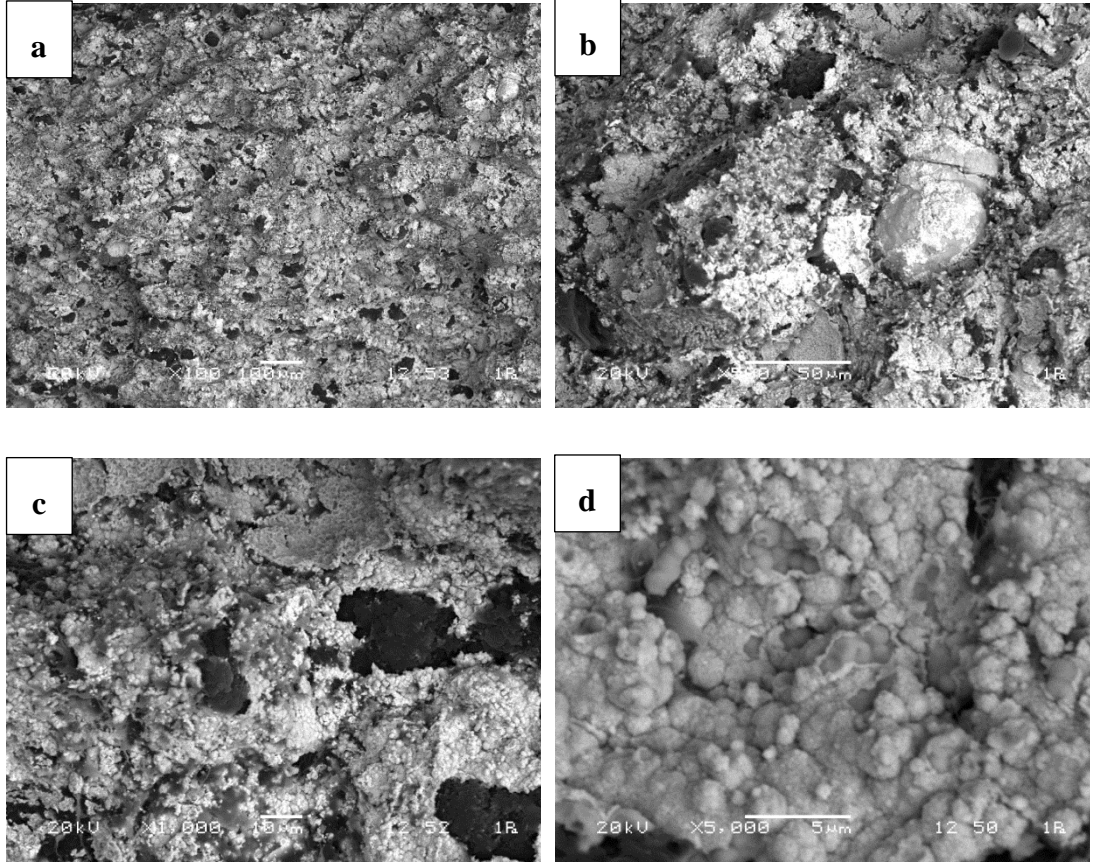
### 6.2.2. UH-Ni , (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin kırık yüzey SEM incelemesi

Sıcak preslenmiş UH-Ni, (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerin içerisindeki Ni ve Ag partiküllerinin dağılımını ve matris ile arayüzey yapısını görebilmek için kompozitler sıvı azot içinde 1 saat bekletilerek kırılmıştır ve kompozitlerin kırık yüzeyi SEM ile incelenmiştir. Şekil 6.14'te verilen UH-Ni kompozitin kırık yüzey mikroyapısına bakıldığında genel olarak gevrek karakterde olduğu söylenebilir. Ni kaplı UHMWPE yüzeyin SEM görüntüsünde, pürüzsüz homojen bir kaplama gerçekleşmiştir ve Ni partikülleri mikron altından çok açık gri renkli küreler şeklinde çekirdeklenme göstermiştir (Şekil 6.14. d). Şekil 6.15'te verilen UH-Ni yüzeyi baz alınarak Ag kaplı (UH-Ni)<sub>Ag</sub> kompozit yüzeyin SEM görüntüsünde, genel itibarıyla hakim olarak sünek karakterde kırılmanın meydana geldiği söylenebilir. Ag'ün Ni üstüne kısmi homojen bir kaplama sergilediği gözlemlenmiştir ve Ag açık beyaz renkte olup nikel üstüne büyüme heterojen çekirdeklenme ile meydana gelmiştir (Şekil 6.15 d). Şekil 6.16'da verilen, yine aynı şekilde UH-Ni yüzeyi baz alınarak NanoAg katkılanan (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozit yüzeyin SEM görüntüsünde ise açık beyaz renkte gözükten NanoAg partikülleri dağınık halde büyüme göstermiştir ve yer yer birikim sağlanmıştır (Şekil 6.16 c). Ayrıca Ag ilavesi ile yüzeydeki girinti çıkıntı artmıştır ve

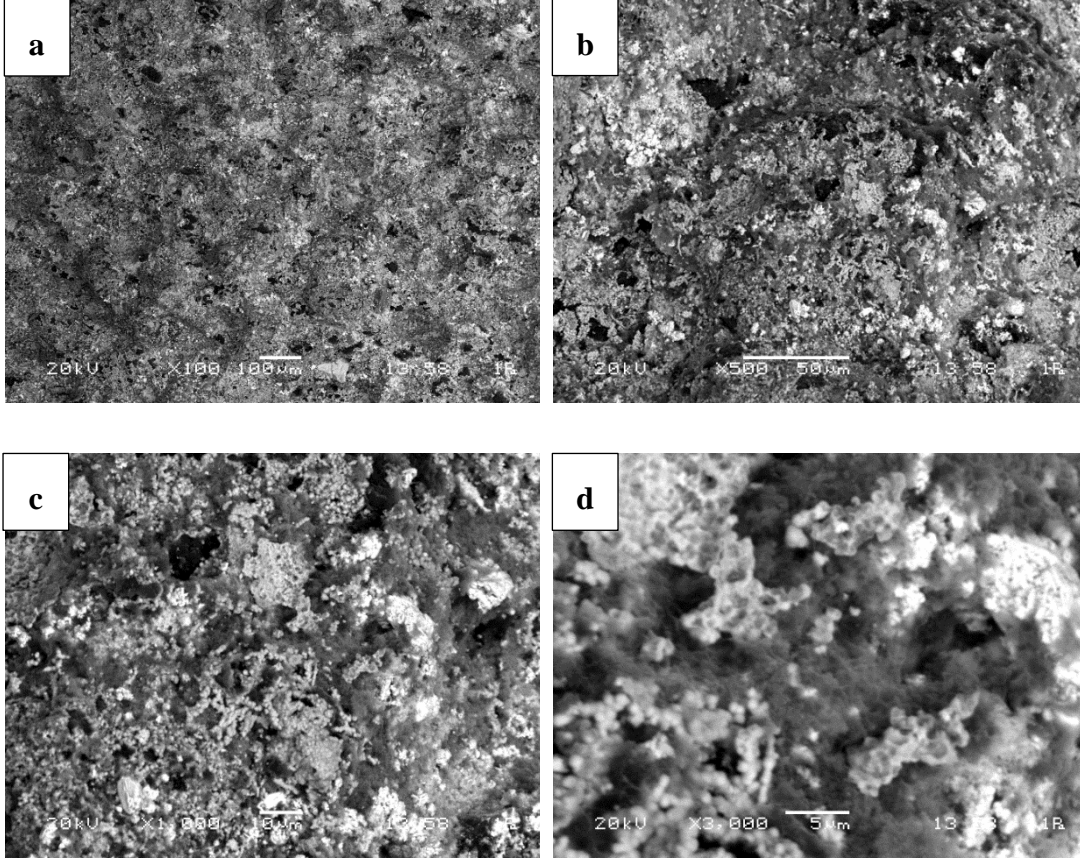
kırılmanın sünek karakterde değişmesine sebep olmuş olabilir. Genel itibariyle kırılma polimer matristen değil, Ni/Ag kaplama ve katkılanan Ag taneciklerinin olduğu bölgelerden gerçekleşmiştir.



**Şekil 6.14.** UH-Ni kompozitinin a) 100X, b) 500X, c) 1000X ve d) 5000X’ deki kırık yüzey SEM mikrografları.

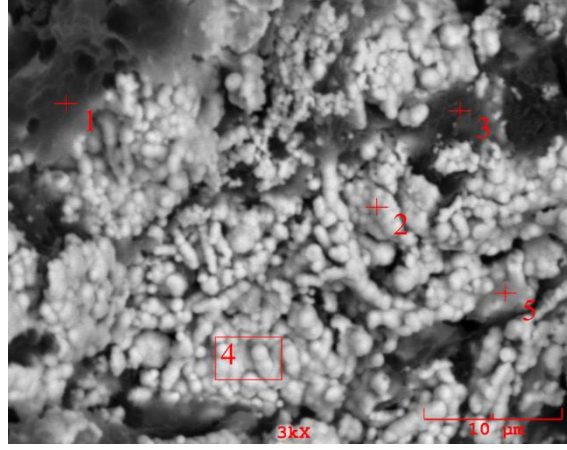


**Şekil 6.15.** (UH-Ni)<sub>Ag</sub> kompozitinin a) 100X, b) 500X, c) 1000X ve d) 5000X' deki kırık yüzey SEM mikrografları.



**Şekil 6.16.** (UH-Ni)<sub>NAG</sub> kompozitinin a) 100X, b) 500X, c) 1000X ve d) 3000X' deki kırık yüzey SEM mikrografları.

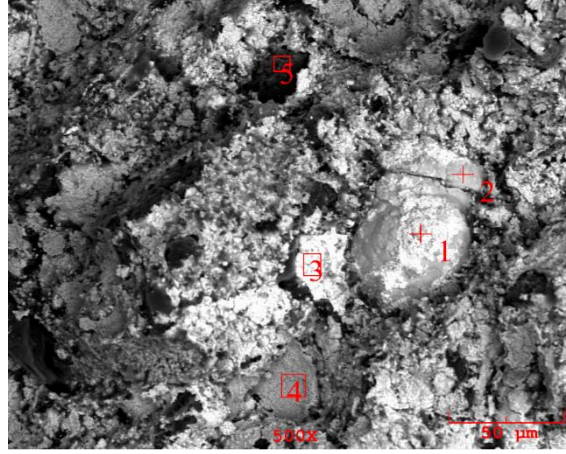
EDS analizi, UHMWPE partiküllerindeki Ni kaplamanın başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ve polimer yüzeyine homojen, lamelimsi şekilde birikim sağlandığı gözlemlenmiştir (Şekil 6.17. a). Aynı miktarda (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAG</sub> partiküllerinde başarılı bir şekilde katkılандığı gözlemlenmektedir (Şekil 6.17. b ve c). Ag ve NanoAg partikülleri çok açık beyazrenkte gözükmekte ve nano boyuttan mikron boyutuna büyüme göstermektedir (Şekil 6.17. b ve c).



Element	Bölgeler (Ağ.%)				
	1	2	3	4	5
C	58.626	7.226	38.064	3.242	24.547
P	3.639	3.664	3.880	4.460	3.843
Ni	37.735	88.110	58.056	92.298	71.610

a)

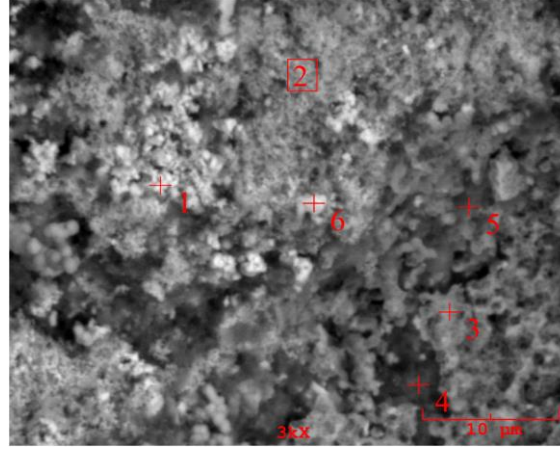
Şekil 6.17. a) UH-Ni, b) (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve c) (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin kırık yüzey EDS analizleri.



Element	Bölgeler (Ağ.%)				
	1	2	3	4	5
C	1.347	0.870	1.761	3.324	75.136
P	2.788	6.352	0.701	0.474	1.279
Ni	46.825	92.240	12.966	93.770	20.310
Ag	49.040	0.538	84.572	2.432	3.275

**b)**

**Şekil 6.17.(Devamı)** a) UH-Ni, b) (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve c) (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin kırık yüzeyleri EDS analizi.



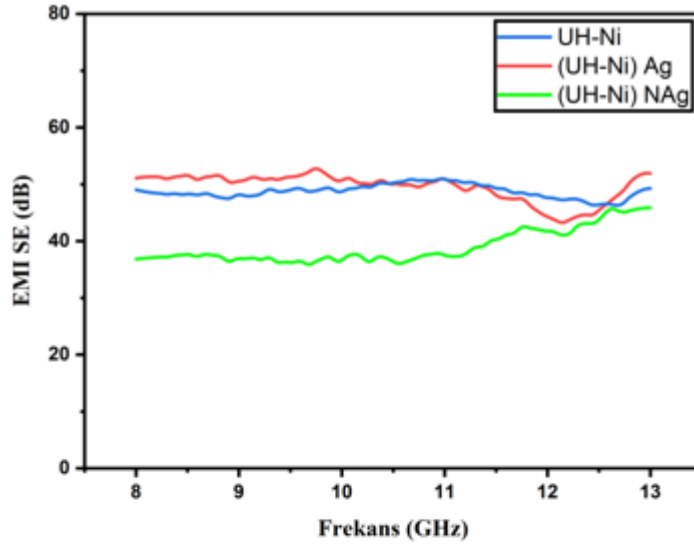
Element	Bölgeler (Ağ.%)				
	1	2	3	4	5
C	2.980	3.205	2.218	13.390	5.618
P	0.474	0.739	2.773	4.089	1.065
Ni	6.582	25.959	90.408	74.305	87.029
Ag	89.965	70.096	4.600	8.215	6.289

c)

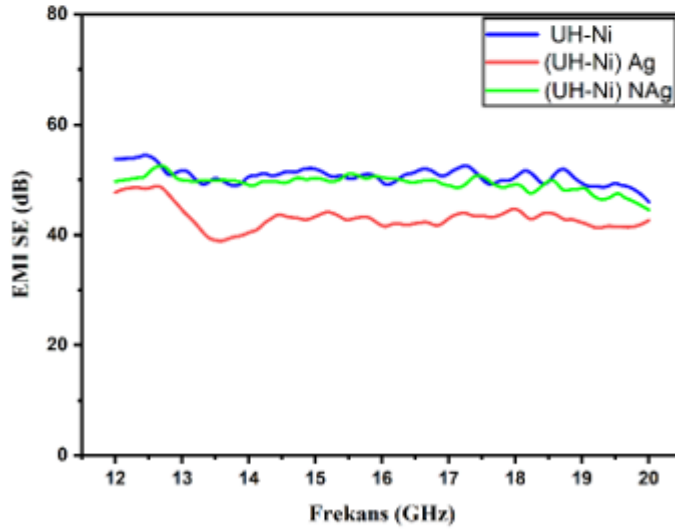
**Şekil 6.17.(Devamı)** a) UH-Ni, b) (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve c) (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin kırık yüzeyleri EDS analizi.

### 6.2.3. Elektromanyetik ekranlama etkinliği (EMI SE) ölçümü

8.2-12.4 GHz (X Bandı) ve 12.4-20 GHz (Ku Bandı) değer aralıklarında yansıma ve absorpsiyon kayıpları kullanılarak ölçülen toplam ekr anlama etkinliği Şekil 6.14'te birlikte verilmiştir. Ortalama ekranlama etkinliği değerleri, sırasıyla UH-Ni, (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinde 8.2-12.4 GHz (X Bandı) için 55 dB, 50 dB ve 40 dB civarında, 12.4-20 GHz (Ku Bandı) için 60 dB, 55 dB ve 45 dB civarında elde edilmiştir.



a)



b)

**Şekil 6.18.** Ekranlama etkinliği, a) 8-12 GHz (X Bandı) için, b) 12-20 GHz (Ku Bandı) için ölçüm grafikleri.

Metalize polimer kompozit ekranlama malzemeleri geliştirilmesi üzerindeki bu tez çalışması umut verici sonuçlar vermiştir. Kompozitlerin ekranlama etkinliği değerlerine bakıldığında Ni kaplı matrise ilave edilen Ag ve NanoAg katkılarının 55 db ve 50 db civarında ekranlama etkinliği değerleri, UH-Ni kompozitin değerlerine göre biraz daha düşük değerlerde sonuç vermesine rağmen yine de geniş ticari uygulama alanlarında kullanıma sahiptir.



Söğüt Ö. ve ark., Katkı malzemesinin miktarına bağlı olarak ekranlama etkinliği değerinin değişebileceğini deneysel verilerle ortaya koymuşlardır (Söğüt ve ark., 2022).

Benzer frekans aralıklarında çalışan, Fan ve ark., AgNS(nanosheet) katkı malzemesinin miktarındaki artışa bağlı olarak ekranlama etkinliğini artırdığını tespit etmiş ve 49 db bir değere sahip kompozit yapı elde etmişlerdir (Fan ve ark., 2019).

Wang Y. ve ark., yaptıkları çalışmada nano ölçekli iletken dolgu maddeleri içeren iletken polimer kompozitler (CPC'ler) elde etmiş ve 48.4 db ekranlama etkinliğine ulaşarak elektromanyetik ekranlama etkinliği değişimini yine dolgu maddesinin miktarına baağı olduğunu tespit etmişlerdir (Wang ve ark., 2017).

Bu tez çalışmasında literatür araştırmalarından daha yüksek sonuçlar elde edilerek metalize polimer kompozitlerin kullanım alanları genişletilmiştir. Tablo 6.1'de literatür araştırmalarıyla birlikte tez çalışmamızın EMI SE sonuçları verilmiştir.

**Tablo 6.1.** Tez çalışması ve literatürdeki bazı EMI koruması çalışma örnekleri.

Referans	Matris	Dolgu	Yöntem	Frekans (GHz)	EMI-SE max (dB)
(Wang et al., 2017)	PPy/PDA	AgNW	In situ polimerizasyon yöntemi ve karıştırma işlemi	8.2–12.4	48
(Cui et al., 2016)	UHMWPE	Graphite-carbon black (CB)	Sıcak pres ile birleştirilmiş yüksek hızlı mekanik karıştırma	8.2–12.4	40
(Fan et al., 2019)	Epoxy Foam	AgNS	Yardımcı çözücü yöntemi	8.2–12.4	49
(Chen et al., 2013)	PDMS	graphene	Köpürtücü maddeler kullanılmadan tek adımlı işlem	8.2–12.4	30
(Zhu et al., 2020)	PDDA	AgNW	Mayer-çubuk kaplama yöntemi	8.2–12.4	31.3
(Sheng et al., 2019)	Ground tire rubber (GTR)	UHMWPE/Ni	Akımsız biriktirme işlemi	8.2–12.4	47.3
(Wen et al., 2019)	Polyvinyl (PVB) butyral	Short-cut carbon fibre (SCF)	Döküm teknolojisi	8.2–12.4	32
(Li et al., 2019)	Polydimethylsiloxane (PDMES)	Graphene/AgNW	Sol-jel Yöntemi	8.2–12.4	34.1
<b>Mevcut Çalışmamız</b>	<b>UHMWPE</b>	<b>Ni , Ag ve AgNPs</b>	<b>Akımsız kaplama işlemi, nanopartikül sentezi ile karıştırma ve sıcak pres</b>	<b>8.2–18</b>	<b>50-60</b>

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Mevcut tez çalışmasında, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- a) UHMWPE partiküllerinin Ni ile metalize edilmesi, akımsız kaplama yöntemini takiben sıcak presleme ile başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- b) Ni kaplı UHMWPE tozları yüzeyine benzer yöntem olan akımsız biriktirme ile Ag kaplama başarıyla gerçekleştirilmiştir ve ardından sıcak preslemeye tabii tutulmuştur. Elde edilen kompozit numune ile elektromanyetik radyasyon koruyucu hibrit kompozit malzeme geliştirilmiştir.
- c) Ni kaplı UHMWPE tozları içerisine kimyasal indirgenme ile Ag nanopartikül sentezi başarıyla gerçekleştirilmiştir ve ardından sıcak preslemeye tabii tutulmuştur. UH-Ni matris Ag ile tekrardan metalize edilerek elektromanyetik ekranlama değerlerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.
- d) Ni kaplı UHMWPE kompozit parçacıkların SEM gözlemlerine göre UHMWPE parçacıkları üzerinde nikel parçacıkları birikmeye başlamış ve birbiri üzerine iğne benzeri lameller şeklinde çekirdeklenerek UHMWPE parçacıklarının yüzeyini homojen bir şekilde kaplamıştır.
- e) Akımsız Ag kaplı (UH-Ni)<sub>Ag</sub> kompozit tozların SEM gözlemlerine göre Ag partikülleri homojen dağılım göstermiş ve UH-Ni toz yüzeyinde heterojen çekirdekleşme meydana gelmiştir.
- f) Ag nanopartikül katkılı (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozit tozların SEM gözlemlerine göre NanoAg partikülleri yer yer aglomere olmuş ve aynı zamanda UH-Ni tozlar arasında dağınık bir şekilde yerleşmiştir.
- g) Hem elde edilen kompozit tozların hem de kompozit numunelerin EDS analizleri, SEM gözlemlerini doğrulamıştır.

h) Ni kaplı UHMWPE tozların, UH-Ni yüzeyine Ag ve NanoAg katkılı tozların XRD analizi, istenildiği gibi hakim fazların Ni ve Ag elementleri olduğunu ortaya çıkarmıştır.

i) UH-Ni, (UH-Ni)<sub>Ag</sub> ve (UH-Ni)<sub>NAg</sub> kompozitlerinin FT-IR analizi, katkılanan Ag dolgu malzemesinin etkisiyle titreşim piklerin şiddetinde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu da mevcut bağların bozulup yeni bağların kurulmasını göstermektedir.

j) UH-Ni kompozit numunelerin kırık yüzey SEM analizinde Ni kaplamanın yaklaşık 2-3 µm civarı kalınlığa sahip olduğu görülmüştür.

k) Ekranlama etkinliği ölçüm sonuçları minimum 40-45 dB civarında değerlere sahip olup geniş ticari uygulamalarda, maximum 50-60 dB civarında ekranlama değerleri için ise yüksek performans gerektiren uygulamalarda kullanılmaya zemin hazırlamaktadır.

l) Bu tez çalışmasında birlikte iki farklı metal kullanılarak 3D iletken ağ güçlendirilmeye çalışılıp elektromanyetik ekranlama değerleri iyileştirilmeye çalışılmıştır.

m) Ayrıca metalize polimer kompozitlerin elde edilme (üretile) yönteminin de (akımsız kaplama ve katkılama) ekranlama verimini etkilediği söylenebilmektedir.

n) Kullanılan Ag ve Ni metalleri ele alındığında, Ag'ün daha fazla elektromanyetik dalgaları yansıtıcı özelliğinin olduğunu düşünülerek çıkılan bu yolda, muhtemelen saf Ni'in EMI SE değerinin daha iyi olmasının sebebi orbital diziliminde eşleşmemiş elektrona sahip olması düşünülebilir. Bu da elektromanyetik ekranlama etkinliğinde önemli derecede rol oynamaktadır.

o) Literatürdeki diğer çalışmaların çoğuna kıyasla, kompozit numuneler sadece X bandında değil, Ku bandında da yüksek ekranlama performansı gösterdiğinden, bu çalışma metalize polimer kompozit elektromanyetik radyasyon koruyucu malzemeler hakkında umut verici sonuçlara sahiptir.

## 7.2. Öneriler

- Bu çalışmada kullanılan dolgu malzemelerinin miktarlarının değiştirilmesiyle EMI ekranlama üzerine etki de değiştirilebilir.

- Kompaktlama işleminin süreç üzerine etkisinin EMI ekranlamayı etkileyebileceği ve daha kararlı sistematik üretimle sonuçların iyileştirilebilirliği sağlanabilir.
- Gerçekleştirilen akımsız kaplamalarda kaplama yüzeyinin sürekliliğinin sağlanması açısından farklı toz boyutlarında malzemeler yine sistematik bir yöntem kullanılarak homojen bir kaplama elde edilmesiyle EMI ekranlama üzerine etkisi değiştirilebilir.
- İlerki çalışmalarda literatürdeki boşluğu doldurmak amacıyla iletken özellikte farklı metaller ve farklı toz boyutlarında malzemeler de kullanılabilir.



## KAYNAKLAR

- Adams, R. D. (2005). *Adhesive bonding : science, technology and applications*. CRC Press.
- Agarwala, R. C., ve Agarwala, V. (2003). Electroless alloy/composite coatings.
- Güngör Y., (2005). *FM BANDINDA (92.4 MHz) ANKARA BÖLGESİ İÇİN ELEKTROMAGNETİK ALAN ŞİDDET DAĞILIMININ İNCELENMESİ*.
- Antonello, A., Jia, B., He, Z., Buso, D., Perotto, G., Brigo, L., Brusatin, G., Guglielmi, M., Gu, M., ve Martucci, A. (2012). Optimized Electroless Silver Coating for Optical and Plasmonic Applications. *Plasmonics*, 7(4), 633-639. <https://doi.org/10.1007/s11468-012-9352-6>
- Aygün, B. (2015). *Nükleer Uygulamalarda Radyasyon Güvenliği Amacıyla Yeni Kalkan Malzemelerin Deneysel ve Monte Carlo Simülasyon Kodları (CERN-FLUKA VE GEANT4) ile Belirlenmesi ve Fabrikasyonu*.
- Bracco, P., Bellare, A., Bistolfi, A., ve Affatato, S. (2017). *materials Ultra-High Molecular Weight Polyethylene: Influence of the Chemical, Physical and Mechanical Properties on the Wear Behavior. A Review*. <https://doi.org/10.3390/ma10070791>
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia.* (2022). <https://www.britannica.com/science/nickel-chemical-element>. / adresinden 29 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia.* (2022). <https://www.britannica.com/science/silver>. / adresinden 16 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- Biçer, M. (2008). *Bakır Nanopartiküllerinin Sentezi ve Karakterizasyonu* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Callister W., R. D. (2015). *Materials Science and Engineering*.
- Celozzi, S., Araneo, R., ve Lovat, G. (2008). *Electromagnetic Shielding*. John Wiley ve Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470268483>
- Clark, R. H. (1985). Handbook of Printed Circuit Manufacturing. İçinde *Handbook of Printed Circuit Manufacturing*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-7012-3>
- Cristian, I., Nauman, S., Cochrane, C., ve Koncar, V. (2011). *Electro-Conductive Sensors and Heating Elements Based on Conductive Polymer Composites in Woven Fabric Structures*. [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- Çeven, E. K., Necati, E. R., ve GÜNAYDIN, G. K. (2021). NANOPARTİKÜL KATKILI POLİMER YÜZEYLERİN İLETKENLİK ÖZELLİKLERİNİN OPTİMİZASYONU. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(1), 345-364. <https://doi.org/10.17482/uumfd.836257>

- Das, M. R., Sarma, R. K., Saikia, R., Kale, V. S., Shelke, M. V., & Sengupta, P. (2011). Synthesis of silver nanoparticles in an aqueous suspension of graphene oxide sheets and its antimicrobial activity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 83(1), 16-22. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2010.10.033>
- Drakopoulos, S. X., Psarras, G. C., Forte, G., Martin-Fabiani, I., & Ronca, S. (2018). Entanglement dynamics in ultra-high molecular weight polyethylene as revealed by dielectric spectroscopy. *Polymer*, 150, 35-43. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2018.07.021>
- Duan, H., Xu, Y., Yan, D. X., Yang, Y., Zhao, G., & Liu, Y. (2017). Ultrahigh molecular weight polyethylene composites with segregated nickel conductive network for highly efficient electromagnetic interference shielding. *Materials Letters*, 209, 353-356. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2017.08.053>
- Erol, M., & Çelik, E. (2013). *GRAPHITE-FLAKE CARBON-BLACK-REINFORCED POLYSTYRENE-MATRIX COMPOSITE FILMS DEPOSITED ON GLASS-FIBER WOVEN FABRICS AS PLANE HEATERS*.
- Fan, X., Zhang, G., Gao, Q., Li, J., Shang, Z., Zhang, H., Zhang, Y., Shi, X., & Qin, J. (2019). Highly expansive, thermally insulating epoxy/Ag nanosheet composite foam for electromagnetic interference shielding. *Chemical Engineering Journal*, 372, 191-202. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.069>
- Fang, F., Li, Y. Q., Xiao, H. M., Hu, N., & Fu, S. Y. (2016). Layer-structured silver nanowire/polyaniline composite film as a high performance X-band EMI shielding material. *Journal of Materials Chemistry C*, 4(19), 4193-4203. <https://doi.org/10.1039/c5tc04406e>
- Fujii, S., Hamasaki, H., Takeoka, H., Tsuruoka, T., Akamatsu, K., & Nakamura, Y. (2014). Electroless nickel plating on polymer particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 430, 47-55. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2014.05.041>
- Gedler, G., Antunes, M., Velasco, J. I., & Ozisik, R. (2016). Enhanced electromagnetic interference shielding effectiveness of polycarbonate/graphene nanocomposites foamed via 1-step supercritical carbon dioxide process. *Materials and Design*, 90, 906-914. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.11.021>
- Grancarić, A. M., Jerković, I., Koncar, V., Cochrane, C., Kelly, F. M., Soulat, D., & Legrand, X. (2018). Conductive polymers for smart textile applications. *Çinde Journal of Industrial Textiles (C. 48, Sayı 3, ss. 612-642)*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/1528083717699368>
- Guan, Q., Xia, C., & Li, W. (2019). Bio-friendly controllable synthesis of silver nanoparticles and their enhanced antibacterial property. *Catalysis Today*, 327, 196-202. <https://doi.org/10.1016/J.CATTOD.2018.05.004>
- Guo, C., Duan, H., Dong, C., Zhao, G., Liu, Y., & Yang, Y. (2015). Preparation of the polypropylene/nickel coated glass fibers conductive composites with a low percolation threshold. *Materials Letters*, 143, 124-127. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.12.091>



- Guo, Y., Pan, L., Yang, X., Ruan, K., Han, Y., Kong, J., & Gu, J. (2019). Simultaneous improvement of thermal conductivities and electromagnetic interference shielding performances in polystyrene composites via constructing interconnection oriented networks based on electrospinning technology. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *124*, 105484. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2019.105484>
- Heeger, A. J. (2001). Semiconducting and metallic polymers: the fourth generation of polymeric materials. *Synthetic Metals*, *125*(1), 23-42. [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(01\)00509-4](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(01)00509-4)
- Hussain, M., Naqvi, R. A., Abbas, N., Masood Khan, S., Nawaz, S., Hussain, A., Zahra, N., & Khalid, M. W. (2020). *polymers Ultra-High-Molecular-Weight-Polyethylene (UHMWPE) as a Promising Polymer Material for Biomedical Applications: A Concise Review*. <https://doi.org/10.3390/polym12020323>
- Jiao, Y., Cheng, S., Wu, F., Pan, X., Xie, A., Zhu, X., & Dong, W. (2021). MOF–Guest complex derived Cu/C nanocomposites with multiple heterogeneous interfaces for excellent electromagnetic waves absorption. *Composites Part B: Engineering*, *211*, 108643. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2021.108643>
- Jun, J. B., Seo, M. S., Cho, S. H., Park, J. G., Ryu, J. H., & Suh, K. do. (2006a). Synthesis of monodisperse nickel-coated polymer particles by electroless plating method utilizing functional polymeric ligands. *Journal of Applied Polymer Science*, *100*(5), 3801-3808. <https://doi.org/10.1002/app.23807>
- Jun, J. B., Seo, M. S., Cho, S. H., Park, J. G., Ryu, J. H., & Suh, K. do. (2006b). Synthesis of monodisperse nickel-coated polymer particles by electroless plating method utilizing functional polymeric ligands. *Journal of Applied Polymer Science*, *100*(5), 3801-3808. <https://doi.org/10.1002/app.23807>
- Kandhol, G., Wadhwa, H., Chand, S., Mahendia, S., & Kumar, S. (2019). Study of dielectric relaxation behavior of composites of Poly (vinyl alcohol) (PVA) and Reduced graphene oxide (RGO). *Vacuum*, *160*, 384-393. <https://doi.org/10.1016/J.VACUUM.2018.11.051>
- Altun, M., Karteri, İ., Güneş, M., & Alma, M. H. (2017). Comparative Study of Electromagnetic Properties and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Graphene Based Wood-Plastic Nanocomposites. İçinde *KSU. Journal of Engineering Sciences* (C. 20, Sayı 1).
- Krishnan, P. D., Banas, D., Durai, R. D., Kabanov, D., Hosnedlova, B., Kepinska, M., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Nguyen, H. V., Farid, A., Sochor, J., Narayanan, V. H. B., & Kizek, R. (2020). Silver nanomaterials for wound dressing applications. İçinde *Pharmaceutics* (C. 12, Sayı 9, ss. 1-27). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12090821>
- Kumar, A., & Gupta, R. K. (Rakesh K. (2003). *Fundamentals of polymer engineering*. Marcel Dekker.
- Kumar, D., & Sharma, R. C. (1998). *ADVANCES IN CONDUCTIVE POLYMERS*. *European polymer journal*, *34*(8), 1053-1060.

- Kumaran, R., Alagar, M., Dinesh Kumar, S., Subramanian, V., & Dinakaran, K. (2015). Ag induced electromagnetic interference shielding of Ag-graphite/PVDF flexible nanocomposites thinfilms. *Applied Physics Letters*, 107(11). <https://doi.org/10.1063/1.4931125>
- Kuşlu, S., Bayramoğlu, M., Üniversitesi, A., Fakültesi, M., Bölümü, K. M., Erzurum, /, Yüksek, G., Enstitüsü, T., Bölümü, Ç., & Kocaeli, G. / (2002). *MİKRODALGALAR İLE MATERYALLER ARASINDAKİ TERMAL OLAN VE OLMAYAN ETKİLEŞİMLERİN İNCELENMESİ VE MİKRODALGA KİMYASI*.
- Liang, C., Gu, Z., Zhang, Y., Ma, Z., Qiu, H., & Gu, J. (2021). Structural Design Strategies of Polymer Matrix Composites for Electromagnetic Interference Shielding: A Review. *Nano-Micro Letters*, 13(1). <https://doi.org/10.1007/S40820-021-00707-2>
- Lorrain, Paul., Corson, D. R., & Lorrain, F. (1988). *Electromagnetic fields and waves : including electric circuits*. Freeman.
- Macuvele, D. L. P., Colla, G., Cesca, K., Ribeiro, L. F. B., da Costa, C. E., Nones, J., Breitenbach, E. R., Porto, L. M., Soares, C., Fiori, M. A., & Riella, H. G. (2019). UHMWPE/HA biocomposite compatibilized by organophilic montmorillonite: An evaluation of the mechanical-tribological properties and its hemocompatibility and performance in simulated blood fluid. *Materials Science and Engineering: C*, 100, 411-423. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2019.02.102>
- Małeckı, A., & Micek-Ilnicka, A. (2000). Electroless nickel plating from acid bath. *Çinde Surface and Coatings Technology* (C. 123). [www.elsevier.nl/locate/surfcoat](http://www.elsevier.nl/locate/surfcoat)
- Mohd Radzuan, N. A., Sulong, A. B., & Sahari, J. (2017). A review of electrical conductivity models for conductive polymer composite. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(14), 9262-9273. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2016.03.045>
- Mondal, S., Ganguly, S., Das, P., Khastgir, D., & Das, N. C. (2017). Low percolation threshold and electromagnetic shielding effectiveness of nano-structured carbon based ethylene methyl acrylate nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, C(119), 41-56. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2017.03.022>
- Nazir, A., Yu, H., Wang, L., Haroon, M., Ullah, S., Fahad, S., Naveed, K.-U.-R., Elshaarani, T., Khan, A., & Usman, M. (2011). Recent progress in the modification of carbon materials and their application in composites for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Science*, 53. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2122-x>
- Pan, F., Liu, Z., Deng, B., Dong, Y., Zhu, X., Huang, C., & Lu, W. (2021). *Lotus Leaf-Derived Gradient Hierarchical Porous C/MoS<sub>2</sub> Morphology Genetic Composites with Wideband and Tunable Electromagnetic Absorption Performance*. <https://doi.org/10.1007/s40820-020-00568-1>

- Peng Chang, B., Md Akil, H., Bt Nasir, R., & Khan, A. (2015). Optimization on wear performance of UHMWPE composites using response surface methodology. *Tribology International*, 88, 252-262. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.03.028>
- Rashid, M. U., Khairul, M., Bhuiyan, H., & Quayum, M. E. (2013). *Synthesis of Silver Nano Particles (Ag-NPs) and their uses for Quantitative Analysis of Vitamin C Tablets*.
- Ren, X., Meng, X., Chen, D., Tang, F., & Jiao, J. (2005). Using silver nanoparticle to enhance current response of biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, 21(3), 433-437. <https://doi.org/10.1016/J.BIOS.2004.08.052>
- Sharma, A., Cheon, C.-S., & Jung, J. P. (2016). Recent Progress in Electroless Plating of Copper. *Journal of the Microelectronics and Packaging Society*, 23(4), 1-6. <https://doi.org/10.6117/kmeps.2016.23.4.001>
- Sobieraj, M. C., & Rinnac, C. M. (2009a). Ultra high molecular weight polyethylene: Mechanics, morphology, and clinical behavior. İçinde *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* (C. 2, Sayı 5, ss. 433-443). <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2008.12.006>
- Sobieraj, M. C., & Rinnac, C. M. (2009b). Ultra high molecular weight polyethylene: Mechanics, morphology, and clinical behavior. İçinde *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* (C. 2, Sayı 5, ss. 433-443). <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2008.12.006>
- Song, K. C., Lee, S. M., Park, T. S., & Lee, B. S. (2009). Preparation of colloidal silver nanoparticles by chemical reduction method. İçinde *Korean J. Chem. Eng* (C. 26, Sayı 1).
- Song, P., Liu, B., Qiu, H., Shi, X., Cao, D., & Gu, J. (2021). MXenes for polymer matrix electromagnetic interference shielding composites: A review. *Composites Communications*, 24, 100653. <https://doi.org/10.1016/J.COCO.2021.100653>
- Söğüt, Ö., Doğan, E. A., & Hasar, (2022). Investigation of the Absorption and Reflection Capacities of Some Silver Doped Textile Products. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 125-134. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.993770>
- Teker, A., & Kuyumcu, F. E. Elektro Manyetik Uyumluluk, Topraklama ve Şebekelere Etkileri. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi*, 14-18.
- Teknolojiler Programı Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı DANIŞMAN Doç Ali DURMUŞ, K. (2017). *DOKTORA TEZİ ELEKTROMANYETİK DALGA KALKANLAMA ÖZELLİĞİNE SAHİP POLİMER KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ ve YAPI-PERFORMANS İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ* Alper KAŞGÖZ.
- Thanh, N. T. K., Maclean, N., & Mahiddine, S. (2014). Mechanisms of nucleation and growth of nanoparticles in solution. İçinde *Chemical Reviews* (C. 114, Sayı 15, ss. 7610-7630). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/cr400544s>

- Tuttle, M. E. (2004). *Structural analysis of polymeric composite materials*. Marcel Dekker.
- Uysal, M., Karslioglu, R., Gul, H., Aslan, S., Keskin, S. Y., Okumus, S. C., & Alp, A. (2014). The Preparation of Zeolite/Ag Composite Powders by Electroless Deposition Process. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 53(5-6), 262-268. <https://doi.org/10.1007/s11106-014-9612-4>
- Wang, L., Ma, Z., Zhang, Y., Chen, L., Cao, D., Gu, J., Chen, C. L., Key, S., & Wang, # Lei. (2021). *Polymer-based EMI shielding composites with 3D conductive networks: A mini-review*. <https://doi.org/10.1002/sus2.21>
- Wang, Y., Gu, F. Q., Ni, L. J., Liang, K., Marcus, K., Liu, S. L., Yang, F., Chen, J. J., & Feng, Z. S. (2017). Easily fabricated and lightweight PPy/PDA/AgNW composites for excellent electromagnetic interference shielding. *Nanoscale*, 9(46), 18318-18325. <https://doi.org/10.1039/c7nr05951e>
- Wilson, P. F., Ma, M. T., & Adams, J. W. (1988). Techniques for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Materials: Part I:—Far-Field Source Simulation. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 30(3), 239-250. <https://doi.org/10.1109/15.3302>
- Wu, J., Li, Q., Zhang, G., & Lv, Y. (2022). Synthesis, characterization, and photocatalysis of a rare-earth cerium/silver/zinc oxide inorganic nanocomposite. *Green Processing and Synthesis*, 11(1), 503-511. <https://doi.org/10.1515/gps-2022-0051>
- Yener, S. C., & Cerezci, O. (2016). Material analysis and application for radio frequency electromagnetic wave shielding. *Acta Physica Polonica A*, 129(4), 635-638. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.129.635>
- Yesmin, S., Sonker Barua, B., Uddin Khandaker, M., Tareque Chowdhury, M., Kamal, M., Rashid, M. A., Miah, M. M. H., & Bradley, D. A. (2017). Investigation of ionizing radiation shielding effectiveness of decorative building materials used in Bangladeshi dwellings. *Radiation Physics and Chemistry*, 140, 98-102. <https://doi.org/10.1016/J.RADPHYSICHEM.2016.11.017>
- Yurddaskal, M., Erol, M., & Çelik, E. (2018). DEVELOPMENT OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN CARBON BASED POLYMER COMPOSITES. *Gazi Journal of Engineering Sciences*, 4(2), 77-83. <https://doi.org/10.30855/gjes.2018.04.02.001>
- Zabetakis, D., & Dressick, W. J. (2009). Selective electroless metallization of patterned polymeric films for lithography applications. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 1(1), 4-25. <https://doi.org/10.1021/am800121d>

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Ayşe Betül DEMİR

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017-2018 yılları arasında Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. de ve Sakarya Üniversitesi /Mühendislik Fakültesi/Laboratuvarları 'nda Mühendislik Stajı yaptı.
- 2015-2019 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Dönemsel Yüksek Onur Belgeleri kazandı.
- 2019 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm 2.si olarak ödül kazandı.

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Çelebi Efe G. Demir A. B., Yağcı E., Yener T., Altınsoy I., Bindal C. (2019, 31 Kasım-01 Ekim). ELECTROLESS NI PLATING ON UHMWPE. *International Materials Technologies and Metallurgy Conference – ITU Suleyman Demirel Conference Center, İstanbul, Turkey.*
- Demir, A. B. , Çelebi Efe, G. , Yener, Ş. Ç. & Bindal, C. NİKEL KAPLI UHMWPE PARTİKÜLLERİ YÜZEYİNE NANOGÜMÜŞ SENTEZİNİN ELEKTROMANYETİK EKLANLAMA ÜZERİNE ETKİSİ, *Journal of Smart Systems Research,*