

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ELEKTROMANYETİK RADYASYONU ABSORPLAYAN BOYALAR İÇİN  
MANYETİK NANOMETAL OKSİTLERİN SENTEZİ**

**Gülay DEMİRCİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEMMUZ 2019**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ELEKTROMANYETİK RADYASYONU ABSORPLAYAN BOYALAR İÇİN  
MANYETİK NANOMETAL OKSİTLERİN SENTEZİ**

**Gülay DEMİRCİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEMMUZ 2019**

**ANTALYA**

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

**ELEKTROMANYETİK RADYASYONU ABSORPLAYAN BOYALAR İÇİN  
MANYETİK NANOMETAL OKSİTLERİN SENTEZİ**

**Gülay DEMİRCİ  
KİMYA  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez T.C. Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi  
(BAP) tarafından FYL-2018-3594 nolu proje ile desteklenmiştir.

**TEMMUZ 2019**

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

**ELEKTROMANYETİK RADYASYONU ABSORPLAYAN BOYALAR İÇİN**  
**MANYETİK NANOMETAL OKSİTLERİN SENTEZİ**

**Gülay DEMİRCİ**

**KİMYA**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 01/07/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Önder TOPEL

Dr. Öğr. Üyesi Şerafettin YALTKAYA

Doç. Dr. Mahmut ERZENGİN

## ÖZET

### ELEKTROMANYETİK RADYASYONU ABSORPLAYAN BOYALAR İÇİN MANYETİK NANOMETAL OKSİTLERİN SENTEZİ

Gülay DEMİRCİ

Yüksek Lisans Tezi Kimya Anabilim Dalı

I.Danışman: Doç. Dr. Önder TOPEL

II.Danışman: Prof. Dr. Numan HODA

Temmuz 2019; 46 sayfa

Günlük hayatımızda çok yoğun biçimde elektromanyetik dalgalara maruz kalmaktayız. Çevremizde bulunan, cep telefonları, baz istasyonları, bilgisayarlar, elektrikli ev aletleri ve cihazları sürekli elektromanyetik dalga yaymaktadır. Ayrıca, tıp ve bilim dünyasında kullanılan yüksek teknolojiye sahip tanı ve tedavi cihazları da aynı şekilde birer elektromanyetik dalga kaynağıdır. Dolayısıyla elektromanyetik dalgaların kalkanlanması insan sağlığı açısından son derece önemlidir. Diğer yandan devlet bilgilerinin bulunduğu bilgisayarların korunması ve dinlemelerin önlenmesi gibi güvenlik ihtiyaçlarından dolayı ülkelerin savunma sanayileri için de çok önemlidir.

Bu çalışmada, birlikte çöktürme yöntemi ile  $MF_2O_4$  spinel ferrit yapısında manyetik nanoparçacıklar sentezlenmiştir. Sentezlenen manyetik nanoparçacıkların yapı ve morfolojik özellikleri FT-IR, XRD ve TEM ölçümleriyle, manyetik özellikleri ise VSM ölçümleriyle aydınlatılmıştır. Manyetik nanoparçacıkların 3,30-12,4 GHz band aralıklarında elektromanyetik kalkanlama özellikleri dalga kılavuzu yöntemiyle belirlenmiştir. Saf manyetik nanoparçacıkların EM kalkanlama etkinliğinin düşük olduğu, ancak çok duvarlı karbon nanotüp gibi iletken bir malzeme etkisiyle kalkanlama veriminin arttığı tespit edilmiştir. Kalkanlama verimi kompozitteki manyetik nanoparçacık/çok duvarlı karbon nanotüp oranı değiştirilerek optimize edilmiş ve en iyi kalkanlama verimi 50:10 oranında [PEG:CoMNP(1:1)]:CNT kompoziti ile elde edilmiştir. Ayrıca, EM kalkanlama veriminde kaplama kalınlığının önemli olduğu ve 6 kat 120 mikron kalınlığındaki örnekler ile elektromanyetik radyasyonda %99'a varan bir azalma performansı tespit edilmiştir. Optimize edilen oranda manyetik kompozit karışımı bir su bazlı duvar boyası ile 1:2 oranında karıştırılarak duvar boyasının 8,2-12,5 GHz aralığında EM kalkanlama özelliği ölçülmüş bu aralıkta EM radyasyonda %84 oranında bir azalma kaydedilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Boya, elektromanyetik kalkanlama, manyetik nanoparçacık, spinel ferrit ( $MFe_2O_4$ )

**JÜRİ:** Doç. Dr. Önder TOPEL

Dr. Öğr. Üyesi Şerafettin YALTKAYA

Doç. Dr. Mahmut ERZENGİN

## ABSTRACT

### SYNTHESIS OF MAGNETIC NANOMETAL OXIDES FOR ELECTROMAGNETIC RADIATION ABSORBING PAINTS

Gülay DEMİRCİ

MSc Thesis in Chemistry

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Önder TOPEL

Co-supervisor: Prof. Dr. Numan HODA

July 2019; 46 pages

In our daily life, we overexposure to electromagnetic waves from mobile phones, base stations, computers, household electrical appliances and devices located around us and continuously emitted electromagnetic waves. In addition, high-tech diagnostic and treatment devices used in the medical and scientific world are likewise an electromagnetic wave source. Consequently, shielding of electromagnetic waves is vitally important for human health. On the other hand, it is also very important for the defense industry of the countries due to the security needs such as the protection of the computers where the state information are stored and the prevention of listening.

In this study, magnetic nanoparticles of  $MFe_2O_4$  spinel ferrite structures were synthesized by co-precipitation method. The structural and morphological properties of the synthesized magnetic nanoparticles were characterized by FT-IR, XRD and TEM measurements as well as their magnetic properties were characterized by VSM measurements. The electromagnetic shielding properties of magnetic nanoparticles in the 3.30-12.4 GHz band intervals were determined by the waveguide method. It was determined that pure magnetic nanoparticles had low EM shielding efficiency but increased shielding efficiency due to conductive material such as multi-walled carbon nanotube (MWCNT). The shielding efficiency was optimized by varying the ratio of magnetic nanoparticle/MWCNT in the composite and the best shielding efficiency was obtained with 50:10 [PEG:CoMNP(1:1)]:MWCNT composite. It has also been determined that the coating thickness for shielding efficiency is significant and detected a reduction performance of up to 99% of incoming radiation with the samples coated with thickness of 6x120 micron. The optimized magnetic composite mixture was blended with a water-based wall paint at a ratio of 1:2 and then the EM shielding property of the wall paint in the 8.2-12.5 GHz range was measured. 84% of incoming radiation in this range was determined to shield.

**KEYWORDS:** Paint, electromagnetic shielding, magnetic nanoparticles, spinel ferrites ( $MFe_2O_4$ )

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Önder TOPEL

Assist. Prof. Dr. Şerafettin YALTKAYA

Assoc. Prof. Dr. Mahmut ERZENGİN

## ÖNSÖZ

Günlük hayatımızda çok yoğun biçimde elektromanyetik dalgalara maruz kalmaktayız. Cep telefonları, bilgisayarlar ve birçok elektrikli cihaz elektromanyetik dalga yaymaktadır. Elektromanyetik dalgaların kalkanlanması sağlık için önemli olduğu kadar askeri ve savunma alanında da çok önemlidir. Özellikle kablo veya bir ağ ile bağlanmadan bilgisayarın yaydığı elektromanyetik dalgaları yakalayıp kullanılabilir veri haline dönüştürebilme teknolojisi geliştiğinden beri önemli devlet bilgilerinin ve şifrelerin olduğu bilgisayarların korunması, kozmik odaların güvenliğinin sağlanması için elektromanyetik radyasyonun kontrollü biçimde tutulması veya yayılımının engellenmesi vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelmiştir. İşte bu tez, bahsedilen bu ihtiyaçlara katkıda bulunmak için düşük frekans band aralığında elektromanyetik dalgaları engelleyen malzemelerin geliştirilmesi için yapılmıştır.

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, bilgisi ve deneyimi ile her konuda bana yol gösteren danışman hocalarım sayın Doç. Dr. Önder TOPEL'e (Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi) ve sayın Prof. Dr. Numan HODA'ya (Akdeniz Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü) çok teşekkür ederim. Ayrıca, desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Ertuğrul ARPAÇ hocama ve ekibine, elektromanyetik dalgaları kalkanlama ölçümlerimde bana destek olan sayın Arş. Gör. Serdar OKUYUCU'ya (Antalya Bilim Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü), bilgisini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Edip BAYRAM ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Nadir KİRAZ hocalarıma, laboratuvar çalışmalarında bana destek olan Vahit GÖK arkadaşşıma ve Akdeniz Üniversitesi Kimya Bölümü'ndeki değerli hocalarım ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını, "Elektromanyetik radyasyonu absoplayan boyalar için manyetik nanometal oksitlerin (MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) sentezi " başlığı ve FYL-2018-3594 nolu proje ile destekleyen Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve yüreklendiren sevgili anne ve babama, kardeşlerime, arkadaşlarıma ve bana inanıp, cesaretlendiren süreç boyunca bana destek olan arkadaşım Ayşe BEDELÇİ'ye, eşim Süleyman DEMİRCİ'ye ve oğlum Oktay DEMİRCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Elektromanyetik Dalga.....	2
1.2. Elektromanyetik Radyasyonun Kalkanlanması (Ekranlama).....	4
2. KAYNAK TARAMASI.....	7
2.1. Elektromanyetik Dalga Kalkanlama İçin Yapılan Çalışmalar.....	7
3. MATERYAL VE METOT.....	9
3.1. Materyal.....	9
3.2. Manyetik Nanometal Oksit ( $MFe_2O_4$ ) Parçacıkların Sentezi ve Karakterizasyonu.....	9
3.2.1. Manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacıkların sentezi.....	9
3.2.2. Manyetik $SnFe_2O_4$ nanoparçacıkların sentezi.....	10
3.2.3. Manyetik $CoFe_2O_4$ nanoparçacıkların sentezi.....	10
3.2.4. Sentezlenen manyetik nanoparçacıkların karakterizasyonu.....	10
3.3. Elektromanyetik (EM) kalkanlama ölçümleri.....	11
3.4. Manyetik nanoparçacık katkılı boya kaplamaları üzerine standart testler.....	11
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	13
4.1. Manyetik $MFe_2O_4$ Nanoparçacıkların Sentezi ve Karakterizasyonu.....	13
4.1.1. Manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacıkların sentezi ve karakterizasyonu.....	13
4.1.2. Manyetik $CoFe_2O_4$ nanoparçacıkların sentezi ve karakterizasyonu.....	16
4.1.3. Manyetik $SnFe_2O_4$ nanoparçacıkların sentezi ve karakterizasyonu.....	20
4.2. Elektromanyetik (EM) Dalgaları Kalkanlama Ölçümleri.....	23
4.2.1. Kullanılacak substratın seçimi.....	23
4.2.2. İletkenlik etkisi.....	26



4.3. Manyetik Metal Oksitlerin ( $MFe_2O_4$ ) Nanoparçacıkları-MWCNT İçeren Numunelerin Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri.....	28
4.3.1. Manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacıkların elektromanyetik kalkanlama özellikleri .....	28
4.3.2. Manyetik $SnFe_2O_4$ nanoparçacıkların elektromanyetik kalkanlama özellikleri .....	31
4.3.3. Manyetik $CoFe_2O_4$ nanoparçacıkların elektromanyetik kalkanlama özellikleri .....	32
4.4. Manyetik $MFe_2O_4$ Nanoparçacıkların EM Kalkanlama Etkilerinin Karşılaştırılması.....	34
4.4.1. Manyetik $MFe_2O_4$ nanoparçacıkların 8,2-12,5 GHz aralığındaki EM kalkanlama etkisinin karşılaştırılması.....	34
4.4.3. Manyetik $MFe_2O_4$ nanoparçacıkların 3,9-5,8 GHz aralığındaki EM kalkanlama etkisinin karşılaştırılması.....	36
4.5. Manyetik $MFe_2O_4$ Nanoparçacıkları İçeren Boya Numunelerin EM Kalkanlama Özellikleri.....	37
4.6. Manyetik Nanoparçacık Katkılı Boya Kaplamaları Üzerine Standart Testler.....	38
5. SONUÇLAR .....	40
6. KAYNAKLAR .....	41
7. EKLER.....	46
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Elektromanyetik Radyasyonu Absorplayan Boyalar İçin Manyetik Nanometal Oksitlerin Sentezi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

01/07/2019

Gülay DEMİRCİ

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

%	: Yüzde
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece cinsinden sıcaklık birimi
cm	: Santimetre
dk	: Dakika
g	: Gram
L	: Litre
mL	: Mililitre
nm	: Nanometre
pH	: $\text{H}^+$ iyonunun eksi logaritması
dB	: Desibel
GHz	: Gigahertz

### Kısaltmalar

BC	: Bor karbür
CB	: Karbon siyahı
CoMNP	: $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ yapıda manyetit nanoparçacıklar
EE	: Ekranlama etkinliği
EM	: Elektromanyetik
EMR	: Elektromanyetik radyasyon
FT-IR	: Fourier transform infrared spektrometresi
GR	: Grafen
GO	: Grafen oksit
MNP	: $\text{Fe}_3\text{O}_4$ yapıda manyetit nanoparçacıklar
MWCNT	: Çok duvarlı karbon nanotüp
PEG	: Polietilen glikol
SE	: Kalkanlama verimi (Shielding efficiency)
SC	: Silisyum karbür

SnMNP : SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yapıda manyetit nanoparçacıklar  
TEM : Geçirimli elektron mikroskobu  
VSM : Titreşimli örnek magnetometresi  
XRD : X-ışını kırınımı



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Elektromanyetik alanın bileşmeleri.....	2
Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum.....	3
Şekil 1.3. Elektromanyetik dalgaların kalkanlanması.....	5
Şekil 3.1. Manyetik $MFe_2O_4$ nanoparçacıkların genel sentez denklemi.....	9
Şekil 4.1. Manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacıkların FT-IR spektrumu.....	13
Şekil 4.2. Manyetik $Fe_3O_4$ nanotaneçiklerinin TEM görüntüsü.....	14
Şekil 4.3. Manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacıkların boyut dağılımı.....	14
Şekil 4.4. Manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacıkların X-ışını kırınım deseni.....	15
Şekil 4.5. Manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki manyetizasyon eğrisi.....	16
Şekil 4.6. Manyetik $Fe_3O_4$ ve $CoFe_2O_4$ nanoparçacıkların FT-IR spektrumu.....	17
Şekil 4.7. Manyetik $CoFe_2O_4$ nanoparçacıkların TEM görüntüsü.....	17
Şekil 4.8. Manyetik $CoFe_2O_4$ nanoparçacıkların boyut dağılımı.....	18
Şekil 4.9. Manyetik $CoFe_2O_4$ nanoparçacıkların X-ışını kırınım deseni.....	19
Şekil 4.10. Manyetik $CoFe_2O_4$ nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki manyetizasyon eğrisi.....	19
Şekil 4.11. Manyetik $Fe_3O_4$ ve $SnFe_2O_4$ nanoparçacıkların FT-IR spektrumu.....	20
Şekil 4.12. Manyetik $SnFe_2O_4$ nanoparçacıkların TEM görüntüsü.....	21
Şekil 4.13. Manyetik $SnFe_2O_4$ nanoparçacıkların boyut dağılımı.....	21
Şekil 4.14. Manyetik $SnFe_2O_4$ nanoparçacıkların X-ışını kırınım deseni.....	22
Şekil 4.15. Manyetik $SnFe_2O_4$ nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki manyetizasyon eğrisi.....	23
Şekil 4.16. Numunelerin X bandında (8,2-12,5 GHz) EM kalkanlama sonuçları.....	27
Şekil 4.17. Nanomanyetit-MWCNT farklı oranlardaki EM kalkanlama sonuçları.....	29
Şekil 4.18. $Fe_3O_4$ ve $Fe_3O_4$ -MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi.....	30

<b>Şekil 4.19.</b> SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ve SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi .....	32
<b>Şekil 4.20.</b> CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ve CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi .....	33
<b>Şekil 4.21.</b> MFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -MWCNT içeren numunelerin 8-12,5 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması .....	34
<b>Şekil 4.22.</b> MFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -MWCNT içeren numunelerin 5,85-8,26 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması .....	35
<b>Şekil 4.23.</b> MFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -MWCNT içeren numunelerin 3,95-5,85 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması .....	36
<b>Şekil 4.24.</b> MFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -MWCNT-Boya içeren numunelerin EM kalkanlama özellikleri ..	38

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 1.1.</b> Elektrik ve manyetik alanların özellikleri.....	2
<b>Çizelge 1.2.</b> Elektromanyetik spektrumun belirli aralıklarının özel olarak sınıflandırılması. ....	4
<b>Çizelge 4.1.</b> Cam yüzeyde manyetik $MFe_2O_4$ nanoparçacık içeren su bazlı boya örneklerinin EM kalkanlama değerleri.....	24
<b>Çizelge 4.2.</b> Cam yüzeyde manyetik $MFe_2O_4$ nanoparçacık içeren su bazlı boya örneklerinin EM kalkanlama özelliğine film kalınlığının etkisi .....	24
<b>Çizelge 4.3.</b> Karton yüzeyde manyetik $MFe_2O_4$ nanoparçacık içeren su bazlı boya örneklerinin EM kalkanlama değerleri.....	25
<b>Çizelge 4.4.</b> Cam, karton ve bant yüzeyinde manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacıkların EM kalkanlama değerleri .....	25
<b>Çizelge 4.5.</b> Asetat yüzeyinde manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacık içeren örneklerinin EM kalkanlama özelliğine iletken malzemelerin etkisi .....	26
<b>Çizelge 4.6.</b> Manyetik $Fe_3O_4$ nanoparçacık ve MWCNT içeren örneklerinin EM kalkanlama etkisi.....	28
<b>Çizelge 4.7.</b> $Fe_3O_4$ ve $Fe_3O_4$ -MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi .....	29
<b>Çizelge 4.8.</b> $SnFe_2O_4$ ve $SnFe_2O_4$ -MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi .....	31
<b>Çizelge 4.9.</b> $CoFe_2O_4$ ve $CoFe_2O_4$ -MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi .....	33
<b>Çizelge 4.10.</b> $MFe_2O_4$ -MWCNT içeren numunelerin 8,2-12,5 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması .....	34
<b>Çizelge 4.11.</b> $MFe_2O_4$ -MWCNT içeren numunelerin 5,85-8,26 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması.....	35
<b>Çizelge 4.12.</b> $MFe_2O_4$ -MWCNT içeren numunelerin 3,95-5,85 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması .....	36
<b>Çizelge 4.13.</b> Manyetik $MFe_2O_4$ katkılı boya kaplamaların EM kalkanlama etkisi .....	37
<b>Çizelge 4.14.</b> Manyetik $MFe_2O_4$ katkılı boya kaplamaların standart test sonuçları .....	38
<b>Çizelge 4.15.</b> EM kalkanlama değerlerinin literatür ile karşılaştırılması .....	39

## 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan elektronik cihazlar bize zarar veren elektromanyetik dalgalar yaymaktadır. Mikrodalga fırından elektrik süpürgesine, dizüstü bilgisayarlarından, cep telefonlarına kadar pek çok elektronik cihazdan gelen sürekli elektromanyetik radyasyona maruz kalmaktayız. Bunlara ek olarak yüksek gerilim hatları ve baz istasyonları, sağlık sektöründe kullanılan yüksek teknolojiye sahip tanı ve tedavi cihazları çevreye yoğun elektromanyetik dalga yaymaktadır. Çok ciddi boyutlara ulaşan bu elektromanyetik dalga kirliliği yaşam kalitemizi bozarak sağlığımızı da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu elektromanyetik dalgalar Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ya göre kanıtlanmış ve kanıtlanmamış birçok sağlık problemine neden olmaktadır. Bu nedenle elektromanyetik dalgaların kalkanlanması çevre ve insan sağlığı açısından son derece önem arz etmektedir.

Elektromanyetik dalgaya maruz kalan insanlarda halsizlik, yüksek tansiyon, baş ağrısı, bağışıklık sisteminde zayıflama gibi yaygın rahatsızlıklar, uzun süreli maruz kalmalarda ise kanser gibi ciddi rahatsızlıklara neden olduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Yağmur vd. 2003). Ayrıca Ekim 2001'de IARC (International Agency for Research on Cancer-Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı) tarafından elektromanyetik alanların 2B sınıfı olası kanserojen olarak tanımlanması, ve Gazi Üniversitesi Biyofizik Anabilim Dalı'nın Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile birlikte 9-11 Haziran 2004 tarihlerinde İstanbul'da yaptığı 'Sensitivity of Children to Electro Magnetic Fields-Çocukların Elektromanyetik Alanlara Hassasiyeti' toplantısında elektromanyetik alanların çocuk lösemisini 2 kat arttırdığını duyurması sağlık üzerine olan etkilerin araştırılmasının önemini ortaya koymuştur (Anonim1).

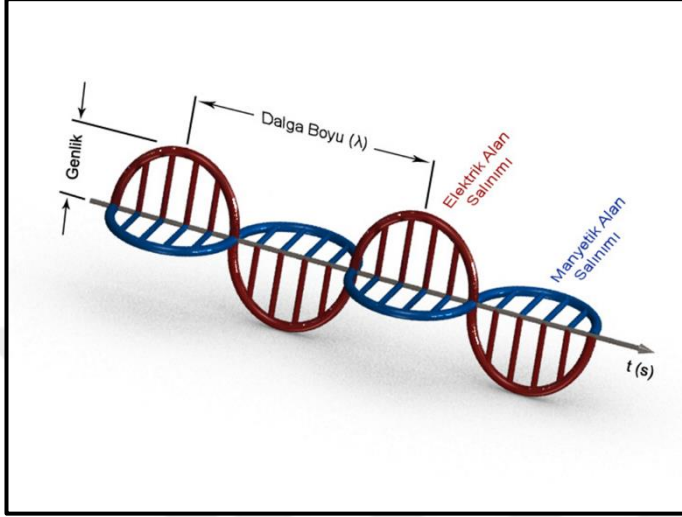
Elektromanyetik dalgaların kalkanlanması sağlık için önemli olduğu kadar askeri ve savunma alanında da çok önemlidir. Özellikle kablo ile veya bir ağ ile bağlanmadan bilgisayarın yaydığı elektromanyetik dalgaları yakalayıp kullanılabilir veri haline dönüştürebilme teknolojisi geliştiğinden beri önemli devlet bilgilerinin ve şifrelerin olduğu bilgisayarların korunması, kozmik odaların dinlenmemesi için vazgeçilmez bir ihtiyaç olmuştur.

Bu tezdeki çalışmanın amacı; spinel ferrit yapısına sahip ( $MFe_2O_4$ ) manyetik nanometal oksitlerin sentezlenmesi ve bu nanoparçacıklar kullanarak elektromanyetik radyasyonu kalkanlayan boyaların geliştirilmesidir. Bunun için tez kapsamında öncelikle değişik metal (II) iyonları (M: Co, Sn, vb.) içeren spinel ferrit yapısına sahip manyetik nanoparçacıklar birlikte çöktürme yöntemine göre sentezlenmiş, uygun yöntemlerle yapıları aydınlatılmıştır. Elde edilen manyetik nanoparçacıkların saf halde ve su bazlı duvar boyasına karıştırılarak elektromanyetik dalgalardan koruma (kalkanlama) oranları ölçülmüştür.



### 1.1. Elektromanyetik Dalga

Elektromanyetik dalga; boşlukta ışık hızında ilerleyen, elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerinin birbirine dik gelmesiyle oluşan dalgadır. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1. Elektromanyetik alanın bileşenleri

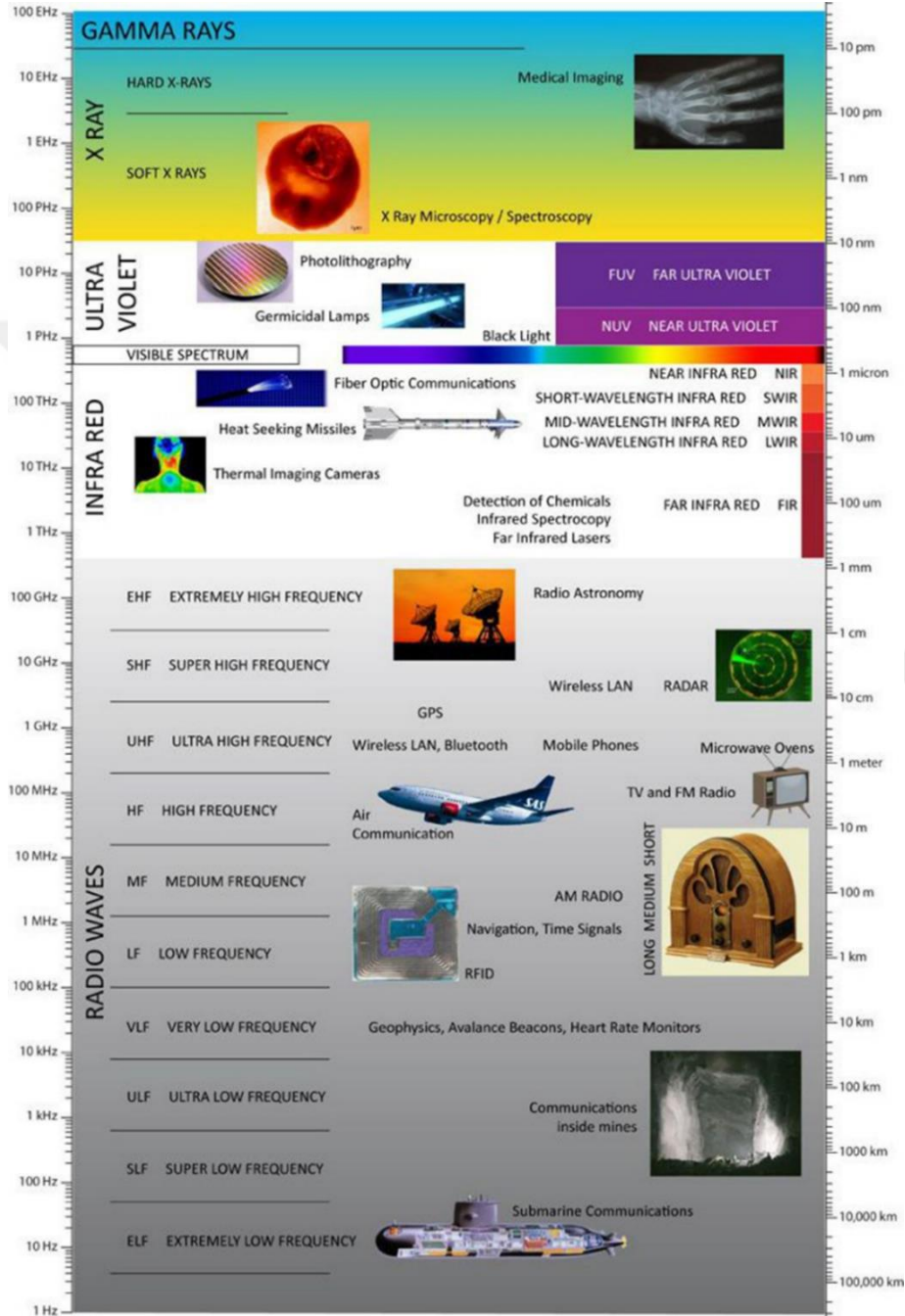
Bir elektromanyetik dalga; dalga boyu, genlik ve faz ile karakterize edilir. Elektrik ve manyetik alanların özellikleri Çizelge 1.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1.1. Elektrik ve manyetik alanların özellikleri

Elektrik Alan	Manyetik Alan
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elektrik alan şiddeti voltaja bağlı olarak artar.</li> <li>2. Ölçü birimi (V/m)’dir.</li> <li>3. Cihaz fişe takılı olduğu sürece oluşur.</li> <li>4. Elektrik alan şiddeti mesafe arttıkça azalır.</li> <li>5. İnce malzemeler ile kalkanlanabilir.</li> <li>6. Bina yapı malzemelerinin büyük çoğunluğu elektriksiz alan için yalıtım etkisi yapar.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manyetik alan şiddeti akım arttıkça artar.</li> <li>2. Ölçü birimi (A/m)’dir.</li> <li>3. Cihaz ancak çalışınca oluşur.</li> <li>4. Manyetik alan şiddeti mesafe arttıkça azalır.</li> <li>5. Kalın malzemeler ile kalkanlanabilir.</li> <li>6. Manyetik alan şiddetini azaltan malzeme son derece sınırlıdır.</li> </ol>

Elektromanyetik spektrum (elektromanyetik tayf) gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar tüm dalga boylarındaki dalgaları kapsayan geniş bir aralığı ifade eder (Şekil 1.2). Gama ışını bölgesinden radyo dalgalarına doğru gidildikçe dalga boyu artar.

Dolayısıyla radyasyonun frekansı ve enerjisi giderek azalır. Dalga boyu ve enerjideki bu farklılaşma sonucunda spektrumun her bölgesi madde ile farklı tip etkileşimlere neden olur. Şekil 1.2’de elektromanyetik spektrumda her bir dalga boyu aralığının büyüklüğü ve etkileşim alanı özetlenmiştir.



Şekil 1.2. Elektromanyetik spektrum (Anonim2)

Elektromanyetik dalgalar enerjisine göre iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılırlar. İnsan sağlığına kısa sürede zarar vermeyen

düşük enerjili dalgalara iyonlaştırıcı olmayan, kısa süre maruz kalınsa dahi sağlığı tehdit eden yüksek enerjili dalgalara iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon denilmektedir. Gama ve X ışınları iyonlaştırıcı radyasyon, ses dalgaları, radyo dalgaları, görünür ışık, mor ötesi gibi dalgalar iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak sınıflandırılır.

Ayrıca, elektromanyetik spektrumu oluşturan belirli aralıklar dalga boyları ve özelliklerine göre kendi içinde bazı özel isimlerle anılırlar. Bu özel sınıflandırma Çizelge 1.2’de verilmiştir (Anonim2).

**Çizelge 1.2.** Elektromanyetik spektrumun belirli aralıklarının özel olarak sınıflandırılması (Anonim2)

Elektromanyetik spektrum	
← yüksek frekans    uzun dalgaboyu →	
Gama ışınları · Röntgen ışınları · Morötesi · Görünür ışık · Kızılötesi · Terahertz ışınımı · Mikrodalga · Radyo dalgaları	
<b>Görünür ışık</b>	Mor · Çivit mavisi · Mavi · Yeşil · Sarı · Turuncu · Kırmızı
<b>Mikrodalgalar</b>	W bandı · V bandı · Q bandı · K <sub>a</sub> bandı · K bandı · K <sub>u</sub> bandı · X bandı · S bandı · C bandı · L bandı
<b>Radyo dalgaları</b>	<b>EHF</b> · SHF · UHF · VHF · HF · MF · LF · VLF · ULF · SLF · ELF
<b>Dalgaboyu tipleri</b>	Mikrodalga · Kısa dalga · Orta dalga · Uzun dalga

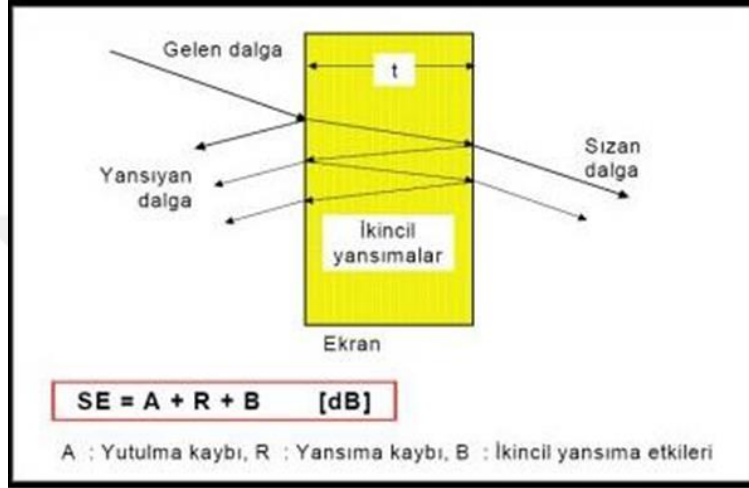
Elektromanyetik dalgalar sadece insanoğlunun teknolojiyi geliştirmesi ile değil, yerkürenin yapısında da olan çeşitli kimyasallardan kaynaklanan ve canlıların maruz kaldığı doğal bir radyasyondur. Yerkürenin içinde bulunan sıvı ferro manyetik çekirdek sürekli statik jeomanyetik alan oluşturmaktadır. Günlük yaşamda yıldırım oluşurken bile elektriksel alan kısa sürede 40 kV/m’ye kadar anlık yükselebilmektedir. Bu da maruz kaldığımız toplam elektromanyetik alanın doğal ortamdaki kaynaklandığını göstermektedir. Maruz kalınan EM radyasyon arttıkça bilim insanları etkilerini azaltmak için kalkanlama yöntemlerini geliştirme ihtiyacı duymuş ve bu konuda çok fazla çalışma yapmışlardır.

## 1.2. Elektromanyetik Radyasyonun Kalkanlanması (Ekranlama)

Elektromanyetik dalganın bir bölgeye geçişinin engellenmesi veya kısmen azaltılmasına elektromanyetik kalkanlama (ekranlama) denir (Palamutçu ve Dağ 2009). Bu terim Elektrik-Elektronik Mühendisliği terminolojisinde “ekranlama” olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2014). Elektromanyetik ekranlamanın ne derece etkili olduğuna “kalkanlama verimi” (*shielding efficiency*) (SE) veya “ekranlama etkinliği” (EE=SE) denilen bir parametre ile tanımlanır ve birimi desibel olarak ifade edilmektedir. Ekranlama etkinliği, Eşitlik 1.1 ile hesaplanmaktadır.

$$SE_{dB} = 20 \log \left( \frac{E_{Ekranlı}}{E_{Ekranlı}} \right) \quad (1.1)$$

Ekranlamada istenilen durum malzemenin elektromanyetik dalga enerjisini zayıflatması ya da tamamen absorbe etmesidir.  $t$  kalınlıktaki bir malzemedan elektromanyetik dalga geçerken üç ayrı yol izleyebilir. Bunlardan biri gelen elektromanyetik dalgaların yansıtılması, ikincisi gelen elektromanyetik dalgaların duvar içerisinde yutulup ikincil yansımalar ile zayıflatılması, üçüncüsü ise duvara gelen elektromanyetik dalgaların malzeme tarafından soğurulmadan diğer tarafa geçirilmesidir (Yılmaz 2014) (Şekil 1.3).



**Şekil 1.3.** Elektromanyetik dalgaların kalkanlanması (Yılmaz 2014)

Bir malzemenin toplam ekranlama derecesi ( $S_E$ ); yutulma kaybı ( $S_A$ ), yansıma kaybı ( $S_R$ ), ikincil yansıma kaybı ( $S_{MR} = S_B$ ) olmak üzere üç ayrı bileşenin toplamı olarak ifade edilmektedir. Bu, eşitlik 1.2’de verilmiştir. Ekranlama yapan malzemenin kalınlığı çok ince olduğu durumlarda ikincil yansıma kaybı ihmal edilir.

$$S_E = S_A + S_R + S_{MR} \quad (1.2)$$

Elektromanyetik alanın ne kadar zayıflatıldı “% azalma” diye bilinen bir terim ile ifade edilir ve Eşitlik 1.3’e göre hesaplanır. Böylece malzemenin ekranlama yüzdesi hesaplanmış olur.

$$\% \text{ Azalma} = (1 - 10^{-S_E/20}) \times 100 \quad (1.3)$$

Hesaplanan % azalma değerinin sayısal değeri kalkanlamanın ne derece iyi gerçekleştiğini gösterir. Elektromanyetik dalgaların kalkanlanmasında etkili olan

parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Aniolezyk vd. 2004):

- Düşük frekanslarda manyetik alanın kalkanlanma etkisi daha önemlidir. Dolayısıyla malzemenin manyetik özellikleri arttıkça kalkanlama verimi artar. Yüksek manyetik özellik ise yutulmayı artırırken yansımayı azaltır.
- Yüksek frekanslarda elektriksel alanın kalkanlama etkisi önemlidir. Bu durumda malzemenin iletkenliğinin artışı ile kalkanlama verimi artar. Ancak yüksek iletkenlik yutulmayı artırdığı gibi yansımaya da artırmaktadır.
- Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar kalkanlanırken yüksek manyetik özellikli malzemeler tercih edilir.
- Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kalkanlanırken yüksek iletken özellikli malzemeler tercih edilir.
- Malzeme kalınlığı arttıkça kalkanlama oranı artar. Manyetik alan için kalın malzeme gerekirken, elektriksel alan için ince malzeme yeterli olur.
- Düşük frekanslarda malzeme yüzeyindeki delikler ve açıklıklar kalkanlamayı etkilemez; ancak, yüksek frekanslarda önemli hatalara sebep olur.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Elektromanyetik Dalga Kalkanlama İçin Yapılan Çalışmalar

Elektromanyetik dalgaları kalkanlamak son derece önemli olduğu için birçok çalışma yapılmıştır. Düşük yoğunlukta ve düşük maliyette olması istenilen özelliklerin başında gelir. Elektromanyetik dalgaları kalkanlamak için özellikle iletken malzemeler tercih edilmektedir. Bu çalışmaların birçoğunda metal veya bunların kompozitleri kullanılmıştır. Bu yöntem hem maliyeti arttırmış hem de özgül ağırlığının fazla olması ve korozyona karşı duyarlılık, kullanılan bölgenin elektriğe karşı topraklanması gibi problemlerden dolayı kullanım alanları kısıtlanmıştır (Dagli 2011; Lee ve vd. 2017). En önemlisi bu tip malzemeleri elektromanyetik dalgaları absorplamadan yansıtıkları için elektromanyetik dalga kirliliği oluşturmaları bir dezavantaj olarak görülmektedir. Yüksek iletkenliklerinden dolayı sahip oldukları mükemmel kalkanlama özellikleri nedeni ile yine de yaygın olarak kullanılmaya devam edilmektedir (Geetha vd. 2009; Ameli vd. 2014). İletken bir polimere grafit, bor gibi malzemeler ekleyerek kompozit malzemeler üretilmiş ve elektromanyetik dalgaları kalkanlamaları araştırılmıştır. Hafif ve esnek malzeme olmaları avantaj olsa da metaller kadar iyi derecede kalkanlama yapamamaları kullanım alanlarını sınırlamıştır (Gana vd. 2015; Zhang vd. 2016; Altun vd. 2017). Bazı çalışmalarda da manyetit veya metaloksit-manyetit karışımları kullanılmıştır (Yalçın vd. 2013; Liu vd. 2015). Grafen oksit ve manyetitin kullanıldığı kompozit malzemeler de çalışılmıştır. Ancak, genellikle iletken polimer kullanıldığı için elektromanyetik dalgayı absorblamanın yanı sıra yansıtma oranlarında da yüksek sonuçlar alınmıştır (Asgharinezhad ve Ebrahimzadeh 2015; Chen vd. 2015). Grafen oksit ve manyetit çeşitli polimerlere katılarak sensör yapımı, ilaç salınımı, su arıtımı gibi farklı alanlarda da kullanımı araştırılmıştır (Kong vd. 2017; Lv vd. 2017).

Elektrik iletkenliği yüksek malzemeler yüksek frekanslı (>300 MHz) elektromanyetik dalgaları kalkanlar. Pratikte, iyi iletkenler elektrik ve manyetik bileşenini eşit olarak kalkanlar. Frekansın 30 MHz'den düşük olduğu durumlarda manyetik bileşenin azaltılması çok zordur ve sadece ferro-manyetik malzemelerle mümkündür (Aniolezyk vd. 2004). Bu nedenle elektriksel alanın kalkanlanması için iletken yapılar kullanılırken, manyetik kalkanlama için ferro- manyetik malzemeler kullanılır (Lee vd. 1999).

Literatür göz önüne alındığında elektromanyetik kalkanlama etkinliği en yüksek malzeme olarak spinel yapılı ferritler olduğu göze çarpmaktadır. Spinel yapılı ferritler hem yüksek frekans hem de ultra yüksek frekans bölgelerinde iletkenlikleri ve manyetik özelliklerindeki kayıptan dolayı manyetik dalgaları soğurmaktadırlar. Fakat manyetik karakterleri yüksek GHz bölgelerinde azalmaktadır (Ren ve Xu 2014). Manyetit, spinel yapısındaki ferrimanyetik,  $Fe_3O_4$  formülüyle gösterilen demir mineralidir. Ferro-ferrik oksit olarak da bilinen manyetit  $FeO.Fe_2O_3$  gösterimi ile demirin iki farklı değerliğe aynı anda (+2 ve +3) sahip olduğunu göstermektedir. Manyetik özelliğini 858 K'in üzerinde kaybetmektedir. Oda sıcaklığında elektronlar  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonları arasında geçiş özelliği göstermektedir. Bu özelliğinden dolayı manyetit yarı metalik malzemeler grubunda bulunmaktadır (Cornell ve Schwertmann 1996).

Spinel yapılu ferrit nanoparçacıklarda istenilen özelliği arttırmak ya da yeni özellikler kazandırmak için kolaylıkla Cu, Ni vb. geçiş metalleri katkılanabilmektedir. Hatta küçük bir miktar  $La^{3+}$  katkılması 1-12 GHz aralığında mikrodalga kalkanlama etkinliğini arttırdığı bulunmuştur (Kefeni vd. 2017). Düşük frekanslar için nanomanyetik ( $Fe_3O_4$ ) parçacıkların sentezi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Chinnasamy vd. 2003; Bisht vd. 2016). Özellikle  $Fe^{+2}$  iyonunun  $M^{+2}$  iyonu (M: Co, Ni vb.) ile yer değiştirdiği spinel ferrit yapılu manyetik nanometal oksitler farklı yöntemlerle geliştirilmiş, elektromanyetik dalgaları engelleme kapasiteleri belirlenmiştir (Zhang vd. 2016; Frolova ve Derhachov 2017; Liu vd. 2017). Bazı çalışmalarda ise bu parçacıkları içeren kompozitler tekstil, ahşap gibi malzemelere uygulanarak kalkanlama özellikleri belirlenmiştir (Palamutçu ve Dağ 2009; Gana vd. 2015).

Elektromanyetik dalgaları kalkanlayan boyalarda Ni, Cu, Ag metalleri ve grafit gibi iletken malzemelerden birini veya çeşitli kombinasyonları kullanılmaktadır. En iyi kalkanlamayı Ag metali yapmasına karşın yüksek maliyeti dezavantaj olarak görülmektedir. En yaygın kullanılanı Ni-Cu tozu (pulu) içeren kompozit boyalardır. Bu boyalar gri ya da siyah renkte olduğu için astar boya olarak kullanılmaktadır. Ayrıca metal içerikli olduğu için elektromanyetik dalgaları yansıtmaktadır (Dagli 2011).

Karbon nanotüpler (CNT) de EM kalkanlamada çeşitli maddeler ile karıştırılarak kullanılmıştır. PAN polimeri elektrospinning yöntemi ile lif çekilmiş ve bu liflere CNT- $CoFe_2O_4$  katkılanmıştır (Jin vd. 2012). 8-12 GHz aralığında yapılan ölçümlerde yaklaşık 4 dB'lik kalkanlama etkinliği görülmüştür. Başka bir çalışmada epoksi içine MWCNT- $Fe_3O_4$ -Fe ((MWCNT-çok duvarlı karbon nanotüp) karışımı kompozit malzeme ile 13-40 GHz aralığında EM kalkanlama değeri ölçülmüş ve 40-100 dB aralığında sonuçlar alınmıştır (Liu vd. 2014). Son yıllarda CNT ile yapılan çalışmalar artırılmış ve silisyum karbür (SC), grafen oksit (GO), epoksit ile karıştırılarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Bu malzemelerin EM kalkanlamasına 8-12 GHz aralığında ölçüm alınmış ve 35-60 dB aralığında kalkanlama tespit edilmiştir (Mei vd. 2016, 2018; Lu vd. 2018; Zhou vd. 2018). Grafen, grafen oksit ve karbon nanotüpler elektrik iletkenliğinde sağladığı avantajlar nedeni ile elektromanyetik dalgaların kalkanlamasında tercih edilen matrisler arasındadır.

Bu tezdeki çalışmanın benzer çalışmalardan farkı,  $MFe_2O_4$ -PEG-MWCNT karışımı ile 3,30-12,4 GHz aralığında EM kalkanlama özelliğinin ayrıntılı olarak ilk defa incelenmesidir. Ayrıca karışıma su bazlı duvar boyası eklenerek 8,2-12,4 GHz band aralığında elektromanyetik dalgaları kalkanlama etkinliğinin ölçülerek EM kalkanlama özelliğine sahip boya geliştirme çalışılmıştır. Bu özellikleriyle literatürdeki önemli bir boşluğu kapatmaktadır.



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

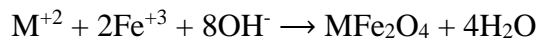
Demir (III) klorür hekza hidrat ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Merck), demir (II) klorür tetra hidrat ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , Merck), kalay (II) klorür di hidrat ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Sigma-Aldrich), ve kobalt (II) klorür hekza hidrat ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Merck) nanoparçacıkların sentezi için öncü bileşikler olarak kullanılmıştır. Baz kaynağı olarak sodyum hidroksit (Merck) ve amonyak (%35, Merck) kullanılmıştır. Ortamın asitliğini ayarlamak için hidroklorik asit (HCl, %37) (Merck) ve nitrik asit  $\text{HNO}_3$  (Merck), manyetik nanoparçacıkları dağıtmak için polietilen glikol (PEG 8000, Acros) ve inert atmosferi sağlamak için argon gazı (%99,9999) kullanılmıştır. Ortamın iletkenliğini sağlamak için çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT, Nanocyl), grafen (Nanografi Firması, saflık %99,9), grafen oksit (Nanografi, Saflık %99,5), bor karbür (Boroptik %94) kullanılmıştır. Kullanılan tüm kimyasallar daha fazla saflaştırılmadan temin edildiği haliyle ve sulu ortamda gerçekleştirilen tüm çalışmalarda ultra saf su kullanılmıştır.

#### 3.2. Manyetik Nanometal Oksit ( $\text{MFe}_2\text{O}_4$ ) Parçacıkların Sentezi ve Karakterizasyonu

##### 3.2.1. Manyetik $\text{Fe}_3\text{O}_4$ nanoparçacıkların sentezi

Manyetik nanoparçacıklar ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 1:2 oranında  $\text{Fe}^{+2}$ :  $\text{Fe}^{+3}$  içeren sulu çözeltide bazik koşullarda argon atmosferi altında birlikte çöktürme yöntemine göre sentezlenmiştir (Bayraktar vd. 2014; Topel vd. 2015). Bunun için öncelikle, 1:2 mol oranında tartılan  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  bileşikleri argon ile yıkanmış 100 ml saf su içinde çözülmüştür. Daha sonra çözelti 800 rpm'de karıştırılarak  $80^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta çözeltiye %32'lik amonyak çözeltisi büret yardımı ile damla damla eklenmiştir. Ortam bazik olur olmaz (pH 10–11) siyah manyetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparçacıkların sentezi başlamıştır. Amonyak ilavesi bittikten sonra karışım  $80^\circ\text{C}$ 'de 1 saat boyunca argon atmosferi altında ısıtılmıştır. Sentezlenen manyetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparçacıkları bir neodimiyum mıknatıs yardımıyla ayrılarak saf su ile yıkanmıştır. Genel sentez denklemi Şekil 3.1'de verilmiştir. Sentezlenen manyetik nanoparçacıklar bir vakumlu etüvde (Nüve)  $40^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuştur.

Genel Sentez Denklemi



$\text{MFe}_2\text{O}_4$ : Spinel ferrit ( M: Fe, Co, Sn)

Şekil 3.1. Manyetik  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkların genel sentez denklemi



### 3.2.2. Manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların sentezi

Sn<sup>+2</sup>-Fe<sup>+3</sup> mol oranı 1:2 olacak şekilde argon gazı ile yıkanmış ultra saf su içinde SnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O ve FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O çözülmüştür. Çözelti 800 rpm karıştırma hızında karıştırılarak argon atmosferinde 85°C'ye ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta çözeltiye eşdeğer miktardaki amonyak (%32) bir büret yardımıyla damla damla eklenmiştir. Sıcaklık 90°C'ye çıkarılarak argon atmosferinde 1 saat karıştırılmıştır. Sentezlenen SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yapısındaki kahverengi manyetik nanoparçacıklar bir Neodimiyum mıknatıs yardımıyla toplanarak ultra saf su ile nötrleşene kadar yıkanmıştır. Sentezlenen nanoparçacıklar bir vakumlu etüvde 40°C'de kurutulmuştur.

### 3.2.3. Manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların sentezi

Manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların sentezi için Co<sup>+2</sup>-Fe<sup>+3</sup> mol oranları 1:2 olacak biçimde CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O ve FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O'den hazırlanan karışım argon gazı ile yıkanmış saf suda çözülmüştür. Çözeltinin sıcaklığı 90°C'ye çıkarılarak bu sıcaklıkta çözeltiye eşdeğer miktardaki %32'lik amonyak çözeltisi argon atmosferinde bir büret yardımıyla damla damla ilave edilmiştir. Ekleme işlemi tamamlandıktan sonra karışım 90°C'de argon atmosferinde 1 saat karıştırılmıştır. Elde edilen siyah renkli karışımdan manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkları bir neodimiyum mıknatıs yardımıyla ayrılarak ultra saf suyla nötrleşene kadar yıkanmıştır. Son aşamada nanoparçacıklar bir vakumlu etüvde 40°C'de kurutulmuştur.

### 3.2.4. Sentezlenen manyetik nanoparçacıkların karakterizasyonu

Sentezlenen manyetik nanoparçacıkların yapıları FT-IR (Fourier transform infrared) ve XRD (X-ışını kırınımı) ölçüleriyle aydınlatılmıştır. FT-IR ölçümleri Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Perkin Elmer TWO model FT-IR spektrometresi ile ATR tekniğiyle gerçekleştirilmiştir. Manyetik nanoparçacıkların kristal fazları X-ışını kırınımı ölçümleriyle aydınlatıldı. Nanoparçacıkların XRD ölçümleri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Bruker Axs D8 Advance Model cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler, Cu K $\alpha$  ışınması ile 0-80° 2 $\theta$  aralığında ve 0,01 derece/s tarama hızında toz kırınımı tekniğine göre gerçekleştirilmiştir.

Manyetik nanoparçacıkların boyut ve morfolojisini belirlemek için Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji Bölümü'nde bulunan Zeiss Leo 906E marka TEM (Transmission electron microscopy) cihazı kullanıldı. Ölçümler, karbon kaplı bakır gridler üzerine kaplanmış örnekler kullanılarak 80 kV'da gerçekleştirildi. Sentezlenen tüm MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yapıdaki nanoparçacıkların manyetik özellikleri oda sıcaklığında  $\pm 1$  Tesla aralığında bir dış manyetik alan uygulanarak gerçekleştirilen Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) ölçümleriyle belirlenmiştir. Ölçümler ODTÜ Merkez Araştırma Laboratuvarında (MERLAB) bulunan Cryogenic Limited PPMS marka Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) ile gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. Elektromanyetik (EM) kalkanlama ölçümleri

Elektromanyetik (EM) kalkanlama ölçümleri Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü ve Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (EMUMAM) gerçekleştirilmiştir. Antalya Bilim Üniversitesi'ndeki ölçümlerde Anritsu VNA Master MS2028C model Vector network analyzer cihazı kullanılmıştır. Ölçümler, 3,95-5,85 GHz için WR187, 5,85-8,20 GHz için WR137, 8,2-12,4 GHz için WR90 model dalga kılavuzları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem her bir dalga kılavuzu ile ölçüm öncesi Anritsu OSLN50A-18 kalibrasyon kiti ile kalibre edilmiştir. Ölçümler, uygun boyutlarda (2,5x2,5 cm ve 2,5x5 cm) kesilmiş cam ve asetat substrat yüzeyinde, ince film yöntemiyle kaplanmış örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (EMUMAM) bulunan Agilent HP8722ES Vector network analyzer cihazı ile yapılan ölçümler 3,30–4,95 GHz ve 4,95–7,05 band aralığında dalga kılavuzu yöntemiyle yapılmıştır. Ölçümler, 3x6 cm boyutlarında kesilmiş 0,5 cm kalınlığındaki cam ve karton substrat üzerine kaplanmış örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen manyetik  $MFe_2O_4$  nanoparçacıklar 10 mL ultra saf su içinde polietilen glikol ( $M=8000$  g/mol) ile PEG: $MFe_2O_4$  oranı ağırlıkça 1:5 olacak biçimde karıştırılmış ve bir homojenizatör (IKA T-18 Dijital Turrax) ile 10000 rpm hızında 15 dakika karıştırılarak dispersiyeye edilmiştir. Bu sürenin sonunda elde edilen karışım ince film yöntemiyle cam, karton ve asetat yüzeylere ince film kaplama tekniğiyle 120 mikron kalınlığında uygulanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulmuş örneklerden 3x6 cm ve 2,5x2,5 cm ebatlarda keserek EM kalkanlama ölçümleri gerçekleştirilmiştir. EM kalkanlama ölçümlerinde, kaplama yöntemi (daldırma ve ince film kaplama), iletkenlik ve uygulama yüzeyi (cam, karton ve asetat) gibi parametreler optimize edilmiştir. İletkenlik için karışıma sırasıyla, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT), karbon siyahı (CB), grafen (GR), grafen oksit (GO) ve bor karbür (BC) 50:1 ve 50:5 oranlarında eklenmiş ve EM kalkanlamaya etkileri incelenmiştir. Daha sonra en iyi kalkanlama etkisi gösteren MWCNT numunesinin, [ $Fe_3O_4$ :PEG(1:1)] ile ağırlıkça 50:1, 50:5 ve 50:10 oranlarının EM kalkanlama etkileri incelenmiştir. Sonuçlardan alınan verilere göre [ $MFe_2O_4$ :PEG(1:1)] ile MWCNT 50:10 oranında karıştırılıp EM kalkanlama etkileri incelenmiştir.

Ayrıca, manyetik  $MFe_2O_4$  yapılı nanoparçacıklar bir su bazlı boyaya katılarak boyanın EM kalkanlama özellikleri test edilmiştir. Bunun için PEG: $MFe_2O_4$  oranı 1:5 ve 1:1 olacak biçimde homojenize edilmiş karışım ağırlıkça 1:1 ve 1:2 oranlarında su bazlı boya ile karıştırılmış ve homojenizatör aracılığıyla 10000 rpm'de 15 dk karıştırılarak homojenize edilmiştir. Elde edilen karışım substrat yüzeyine kaplanmış ve kurutulduktan sonra yukarıda belirtilen frekanslar aralığında EM kalkanlama etkinlikleri ölçülmüştür.

### 3.4. Manyetik nanoparçacık katkılı boya kaplamaları üzerine standart testler

Elde edilen en iyi kalkanlama verimi sergileyen  $MFe_2O_4$ -CNT (50:10) kompozisyonuna sahip nanoparçacık karışımı ağırlıkça 1:2 oranında su bazlı boya ile karıştırılıp 5x5 cm boyutunda kesilmiş cam yüzeylere 120 mikron kalınlığında ince film yöntemi ile kaplanmıştır. Numuneler kurutulduktan sonra bir gece şartlanmış koşullarda bekletilmiştir. Hazırlanan boyalı cam numunelere standart ışık geçirgenliği ve sertlik

testleri uygulanmıştır. Numunelerin ışık geçirgenlikleri Haze-gard plus cihazı ile 550 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Tüm ölçümler üç tekrarlı yapıp ortalama değerleri alınmıştır. Sertlik testleri ise sertliği 9H-6B aralığında değişen kalemler kullanılarak kalem sertliği yöntemine göre yapılmıştır.



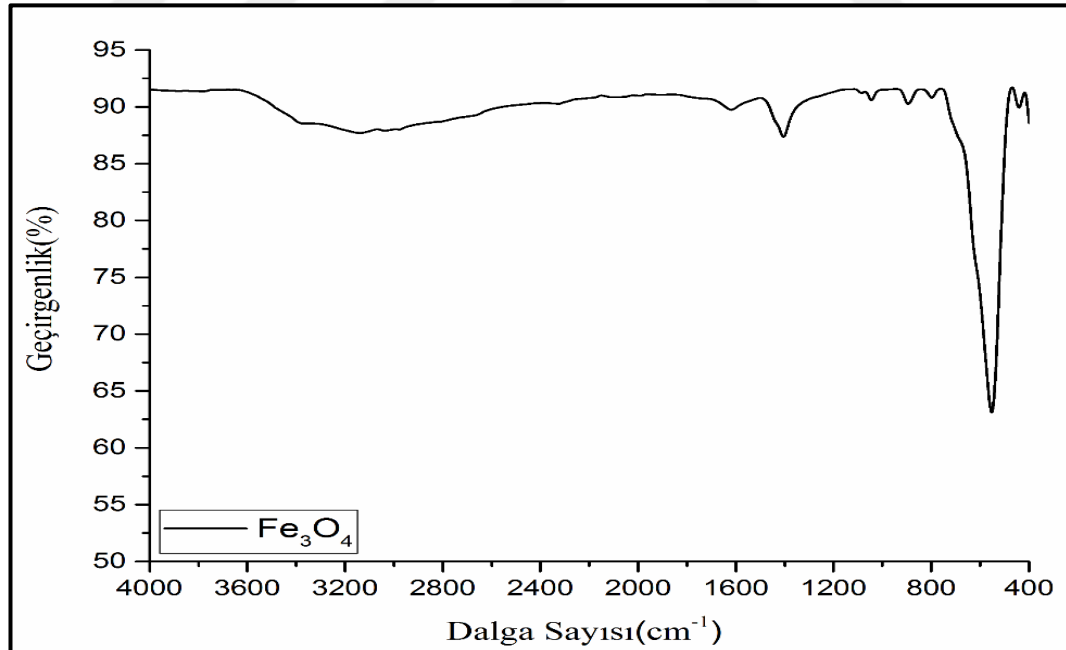
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Manyetik MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparçacıkların Sentezi ve Karakterizasyonu

Bu tezde üç farklı spinel ferit yapılı (MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) manyetik nanoparçacık sentezlenmiştir; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

#### 4.1.1. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların sentezi ve karakterizasyonu

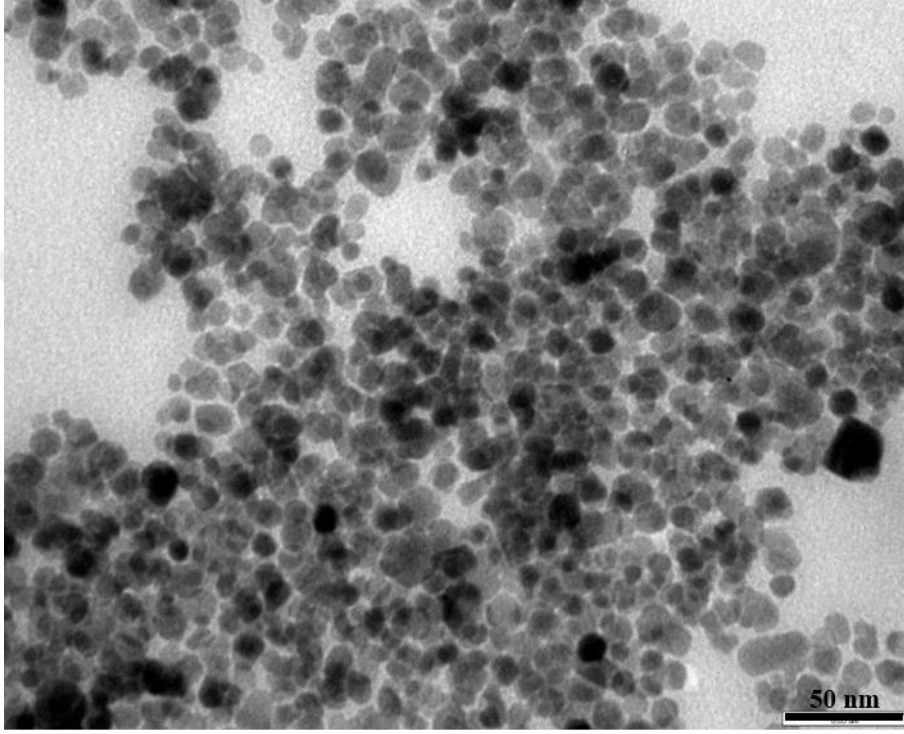
Elektromanyetik kalkanlama için kullanılmak üzere manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> birlikte çöktürme yöntemiyle sentezlenmiştir. Sentezlenen nanoparçacıkların FT-IR spektrumu Şekil 4.1'de görülmektedir. Spinel ferit yapıdaki manyetik nanoparçacık kristal örgüsünde bulunan iyonların titreşimleri infrared spektrumunda 100-1000 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında kendini gösterir (Smith 1998). Genellikle FT-IR spektrumunda metal-oksijen bağına (M-O) ait 2 temel titreşim bandı gözlenir (Shokri vd. 2018). Bunlardan biri 420 cm<sup>-1</sup> civarında diğeri 550-580 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında gelir. Şekil 4.1'de  $\nu_1=553$  cm<sup>-1</sup> deki pik kristal yapıda tetrahedral geometrideki Fe<sub>Tetra</sub>-O gerilme titreşimlerine karşılık gelir. 440 cm<sup>-1</sup>'deki pik kristal örgüde oktahedral olarak koordine olmuş metal iyonlarının Fe<sub>Octa</sub>-O gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Spinel ferit kristal yapısında tetrahedral konfigürasyonda sadece demir(III) iyonları bulunmaktadır. Ancak, oktahedral koordinasyon demir(II) ve demir(III) iyonları tarafından doldurulmuştur. (Brabers 1969; Ahn vd. 2001; Shokri vd. 2018)



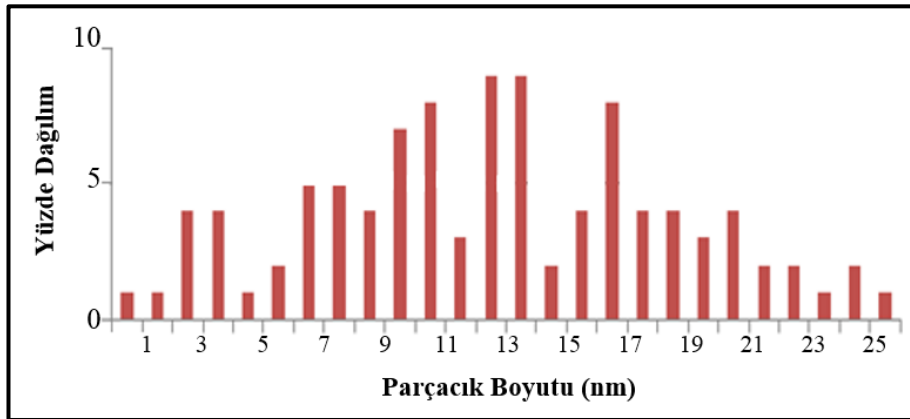
Şekil 4.1. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların FT-IR spektrumu

Sentezlenen manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların boyut ve morfolojisi karbon kaplı bakır TEM grid üzerine kaplanmış örnekler üzerine 80 kV'da gerçekleştirilen

TEM ölçüleriyle belirlenmiştir. Elde edilen TEM görüntüleri Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparçacıkların homojen bir tanecik boyut dağılımına sahip olduğu (monodispers) ve parçacıkların kübik yapıda olduğu açıkça görülmektedir. Görüntüler, ImageJ ve Adobe Photoshop 7 programı ile en az 100 parçacık sayılarak değerlendirilmiş ve ortalama tanecik boyutu  $10\pm 1$  nm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.3’de değerlendirilen parçacıklara ait boyut dağılım grafiği görülmektedir.

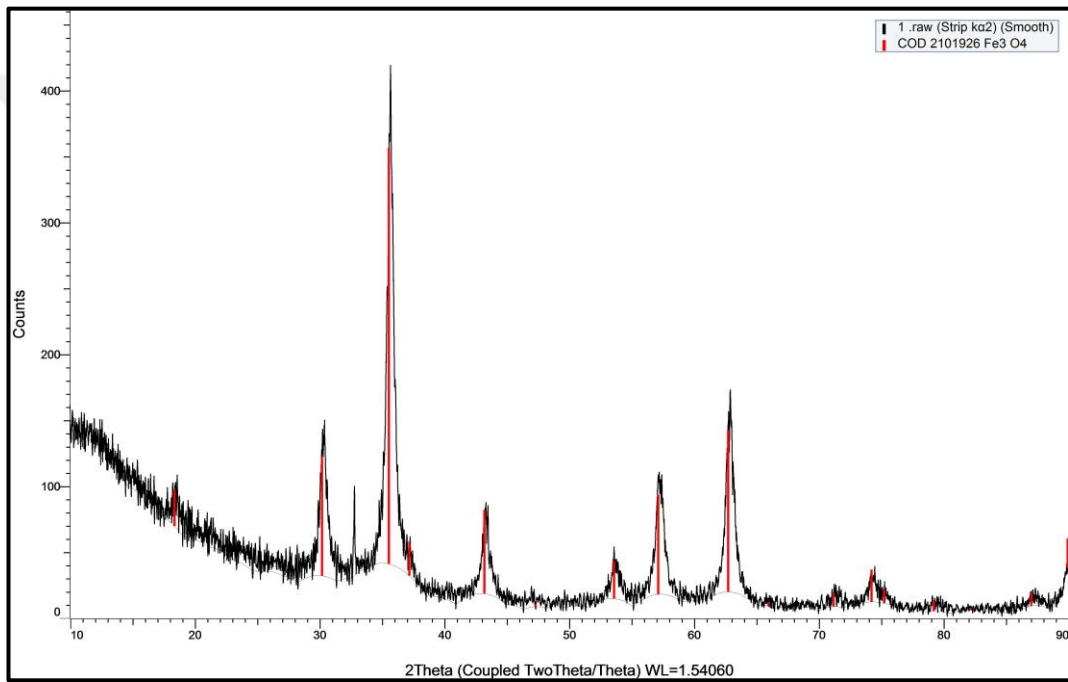


Şekil 4.2. Manyetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanotaneçiklerinin TEM görüntüsü



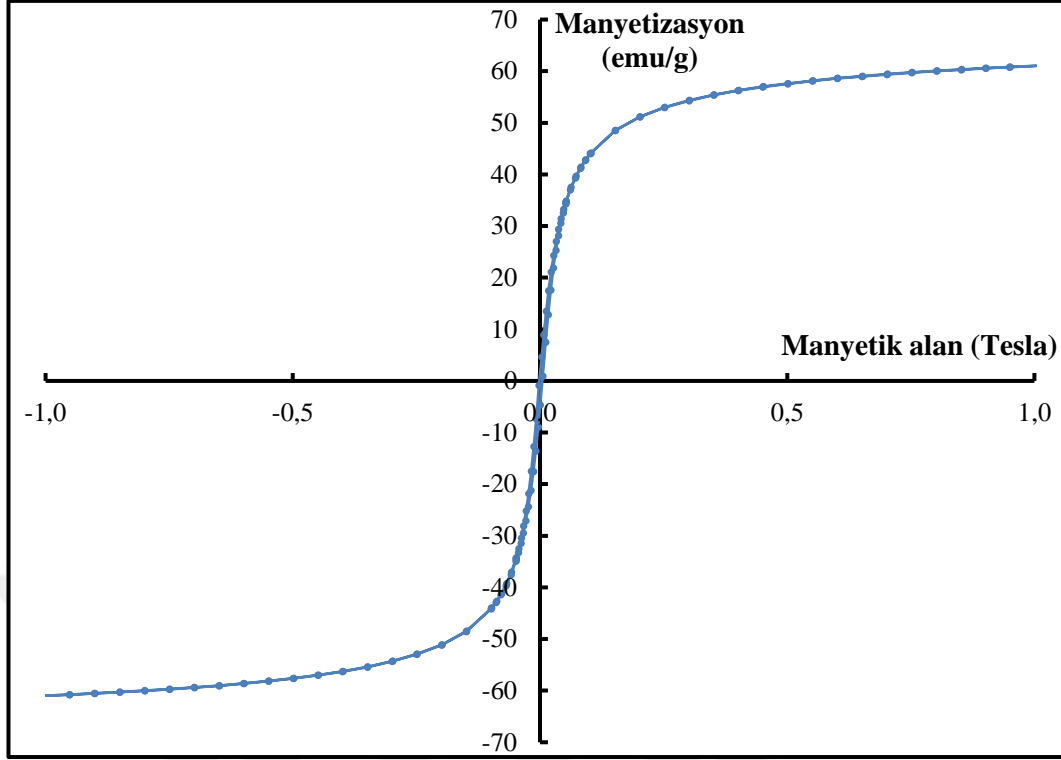
Şekil 4.3. Manyetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparçacıkların boyut dağılımı

Şekil 4.4’de ise manyetik nanoparçacıkların XRD ölçümleri sonucu elde edilen X–ışını kırınım deseni görülmektedir. Elde edilen X–ışını kırınım deseni uluslararası toz kırınım standartlarına göre (JCPDS, Joint Committee on Powder Diffraction Standards) elde edilen nanoparçacıkların kübik manyetik  $Fe_3O_4$  kristallerinden elde edilen kırınımlara karşılık gelmektedir (COD 2101926, JCPDS Cardno.19-0629, Ghandoor vd. 2012, Topel vd. 2015). Şekil 4.4’teki kırınım deseninde  $30,61^\circ$ ,  $35,94^\circ$ ,  $43,51^\circ$ ,  $53,98^\circ$ ,  $57,58^\circ$  ve  $63,07^\circ$   $2\theta$  açı değerlerindeki başlıca pikler kübik fazdaki  $Fe_3O_4$  kristaline ait (220), (311), (400), (422), (511) ve (440) düzlemlerinden gelen yansımalara karşılık gelmektedir (JCPDS Cardno.19-0629, Topel vd., 2015; Taimoory vd. 2017). Bu sonuçlar TEM görüntülerindeki kübik kristallerin varlığını desteklemektedir (Bkz. Şekil 4.2).



Şekil 4.4. Manyetik  $Fe_3O_4$  nanoparçacıkların X–ışını kırınım deseni

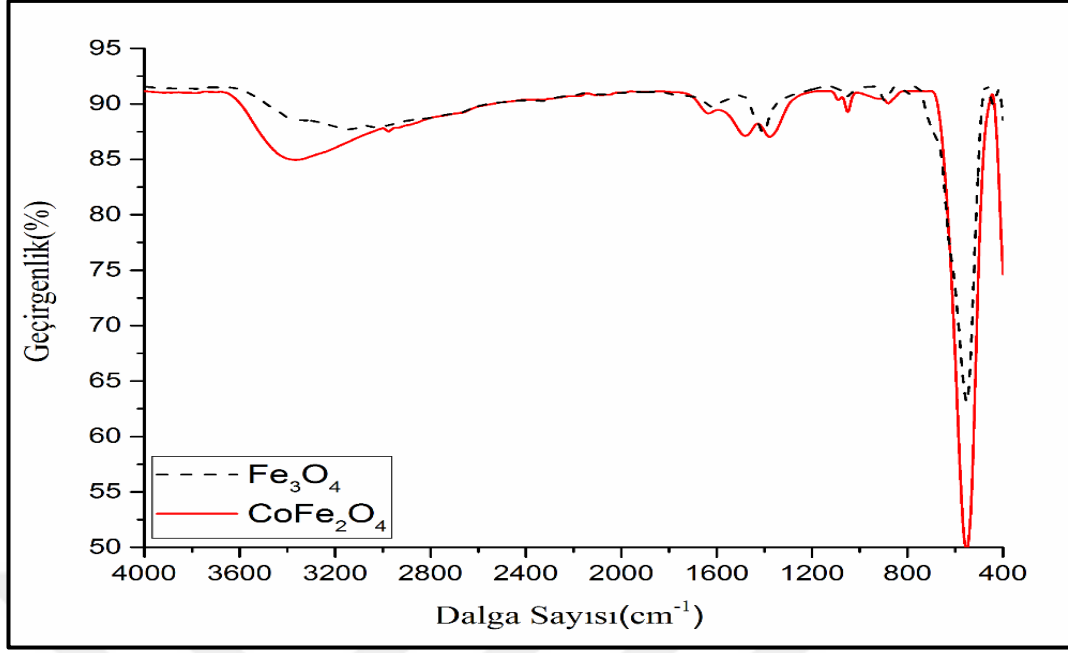
$Fe_3O_4$  nanoparçacıkların manyetik özellikleri oda sıcaklığında  $\pm 1$  Tesla aralığında bir dış manyetik alan uygulanarak gerçekleştirilen Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) ölçümleriyle belirlenmiştir. Sentezlenen manyetik  $Fe_3O_4$  nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki doygun manyetizasyon değeri  $\sim 60$  emu/g olduğu görülmektedir. (Şekil 4.5)



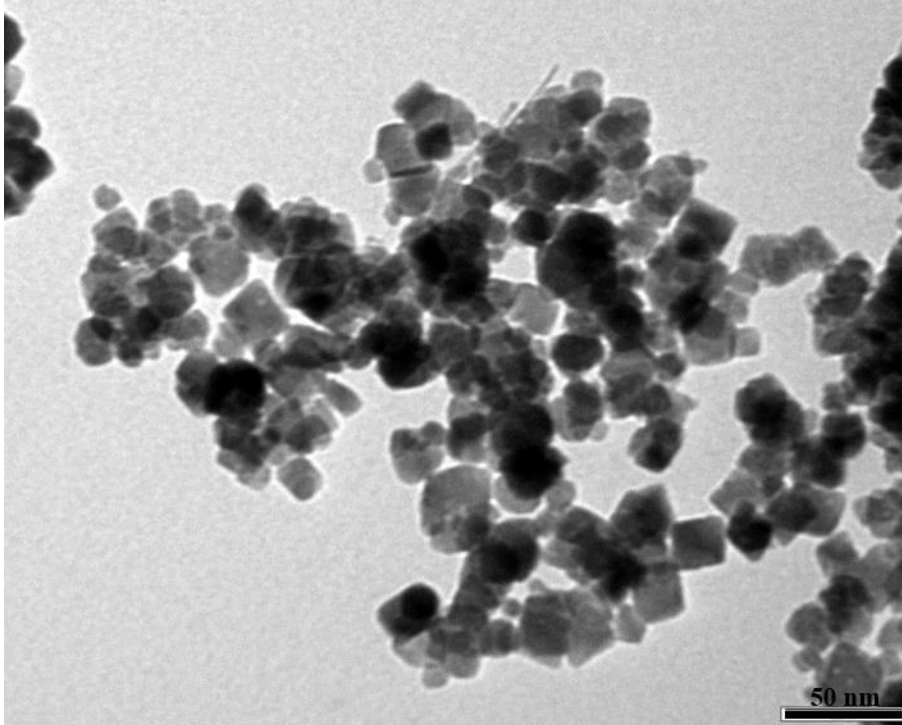
Şekil 4.5. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki manyetizasyon eğrisi

#### 4.1.2. Manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların sentezi ve karakterizasyonu

Elektromanyetik kalkanlama için kullanılmak üzere manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklar birlikte çöktürme yöntemiyle sentezlenmiştir. Sentezlenen nanoparçacıkların FT-IR spektrumu Şekil 4.6'da görülmektedir. Genellikle FT-IR spektrumunda metal-oksijen bağına (M-O) ait 2 temel titreşim bandı gözlenir (Shokri vd. 2018). Bunlardan biri 420 cm<sup>-1</sup> civarında diğeri 550-580 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında gelir. Şekil 4.6'da  $\nu_1 = 553 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pik kristal yapıda tetrahedral geometrideki Fe<sub>Tetra</sub>-O gerilme titreşimlerine karşılık gelir. Oktahedral yapıdaki Co<sub>Octa</sub>-O gerilme titreşimi 392 cm<sup>-1</sup> ve 575 cm<sup>-1</sup> de görülmektedir (Kumbhar vd. 2012). 1024,9 cm<sup>-1</sup>'de gözlenen bant lepidokrokit kalıntısını (-FeOOH), 1629 cm<sup>-1</sup> ve 3407 cm<sup>-1</sup>'de O-H gerilme titreşimine karşılık gelmektedir. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'ün FT-IR spektrumunda 600-650 cm<sup>-1</sup> aralığındaki omuz Fe<sup>+2</sup>-O bağ titreşiminden kaynaklanmaktadır ve bu omuzun CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spektrumunda olmaması kristalde M<sup>+2</sup> iyonunun değiştiğini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4.6. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların FT-IR spektrumu

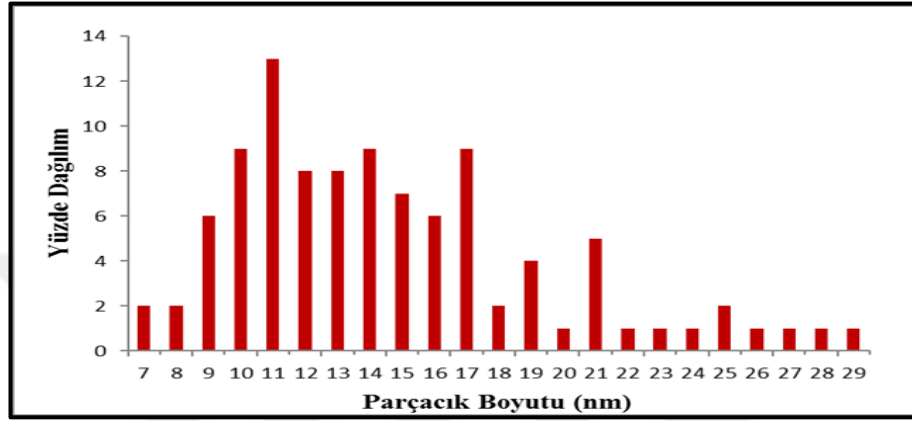


Şekil 4.7. Manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların TEM görüntüsü

Sentezlenen manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklarının boyut ve morfolojisi karbon kaplı bakır TEM grid üzerine kaplanmış örnekler üzerine 80 kV'da gerçekleştirilmiş



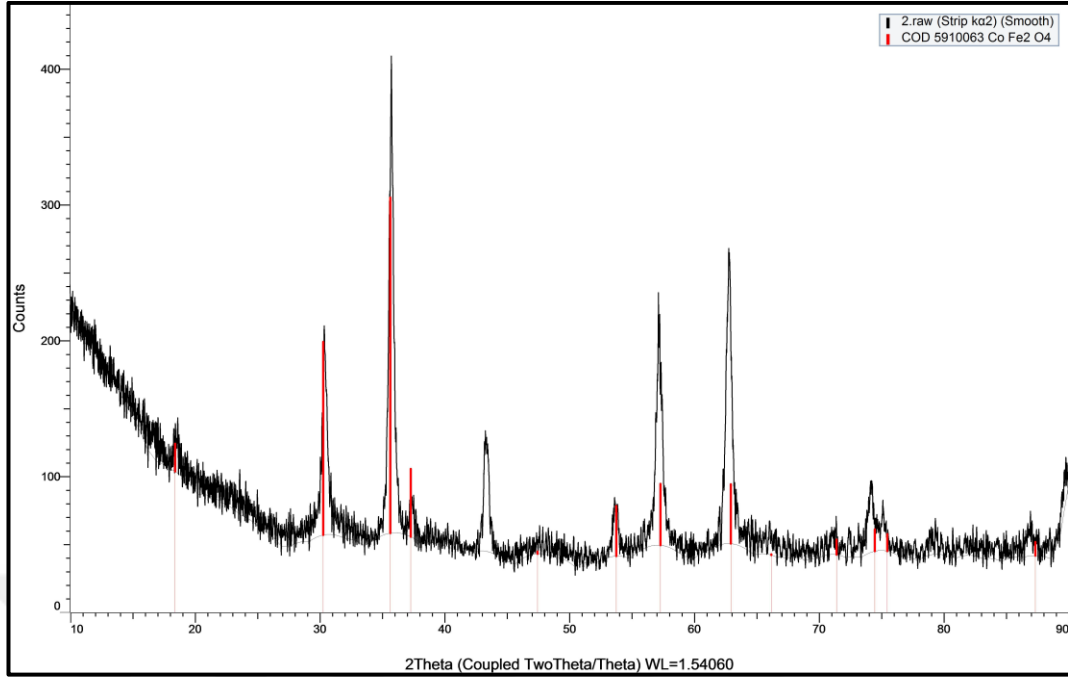
TEM ölçüleriyle belirlenmiştir. Elde edilen TEM görüntüleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.7’de nanoparçacıkların homojen bir tanecik boyut dağılımına sahip olduğu (monodispers) ve parçacıkların kübik yapıda olduğu açıkça görülmektedir. Görüntüler ImageJ ve Adobe Photoshop 7 programı ile en az 100 parçacık sayılarak değerlendirilmiş ve ortalama tanecik boyutu  $15 \pm 5$  nm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.8’de değerlendirilen parçacıklara ait boyut dağılım grafiği görülmektedir.



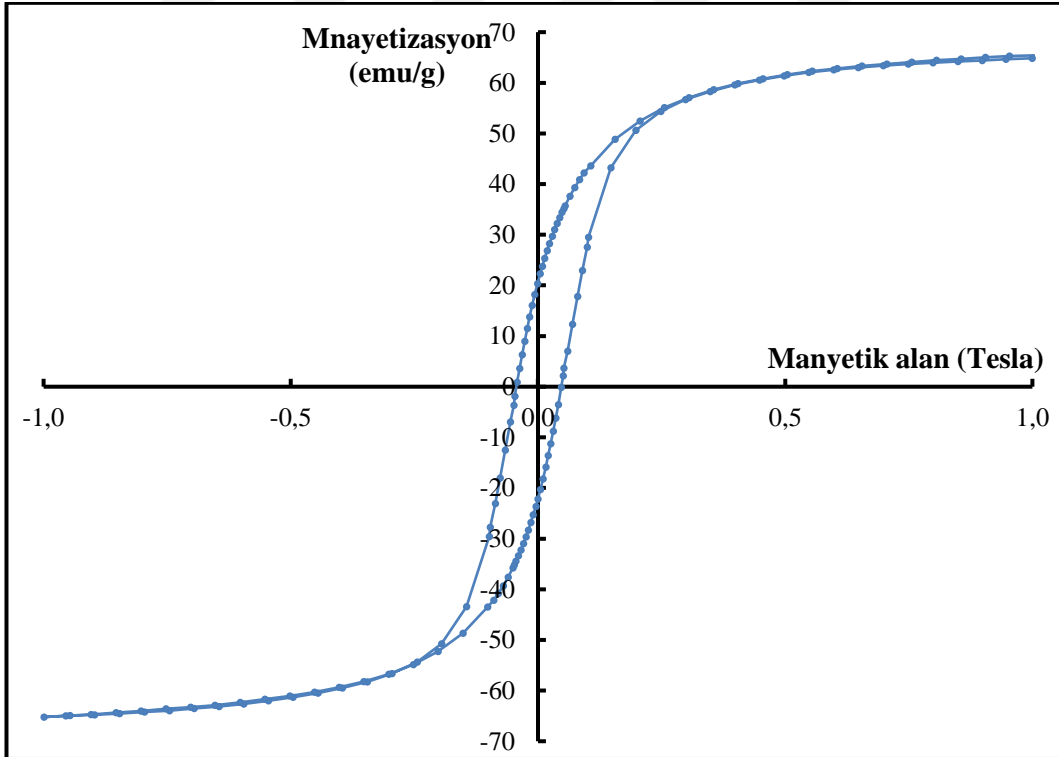
Şekil 4.8. Manyetik  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkların boyut dağılımı

Şekil 4.9’de manyetik  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkların XRD ölçümleri sonucu elde edilen X-ışını kırınım deseni görülmektedir. Elde edilen X-ışını kırınım deseni uluslararası toz kırınım standartlarına göre (JCPDS, Joint Committee on Powder Diffraction Standards) elde edilen nanoparçacıkların  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  kristallerinden elde edilen kırınımlara karşılık gelmektedir (COD 5910063, JCPDS Cardno.22-1086, Kumbhar vd. 2012). Şekil 4.9’deki kırınım deseninde  $30,25^\circ$ ,  $35,63^\circ$ ,  $37,27^\circ$ ,  $53,73^\circ$ ,  $57,29^\circ$ ,  $62,91^\circ$ ,  $71,83^\circ$  ve  $87,32^\circ$   $2\theta$  açısı değerlerindeki başlıca pikler kübik fazdaki  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  kristaline ait (220), (311), (222), (422), (511), (440), (620) (642) düzlemlerinden gelen yansımalara karşılık gelmektedir (JCPDS Cardno.22-1086, Maaz vd. 2007; Sagadevan vd. 2017). Bu sonuçlar, TEM görüntülerindeki kübik kristallerin varlığını desteklemektedir (Bkz. Şekil 4.7).

$\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkların manyetik özellikleri oda sıcaklığında  $\pm 1$  Tesla aralığında bir dış manyetik alan uygulanarak gerçekleştirilen Titresimli Örnek Magnetometresi (VSM) ölçümleriyle belirlenmiştir. Sentezlenen manyetik  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki doygun manyetizasyon değeri  $\sim 64$  emu/g olduğu görülmektedir (Şekil 4.10).



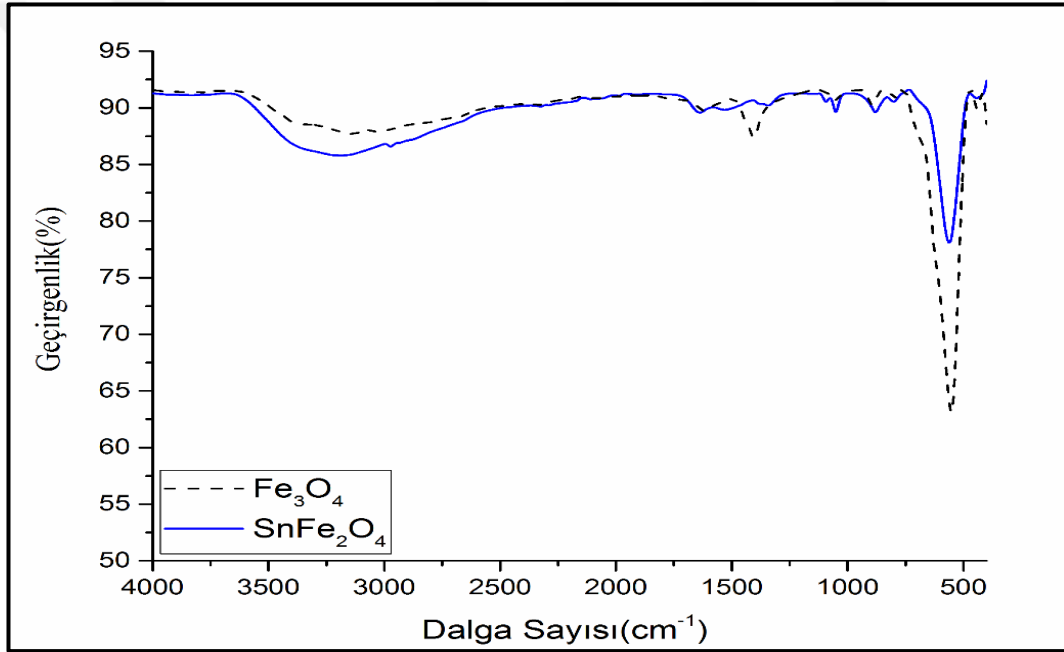
Şekil 4.9. Manyetik  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkların X-ışını kırınım deseni



Şekil 4.10. Manyetik  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki manyetizasyon eğrisi

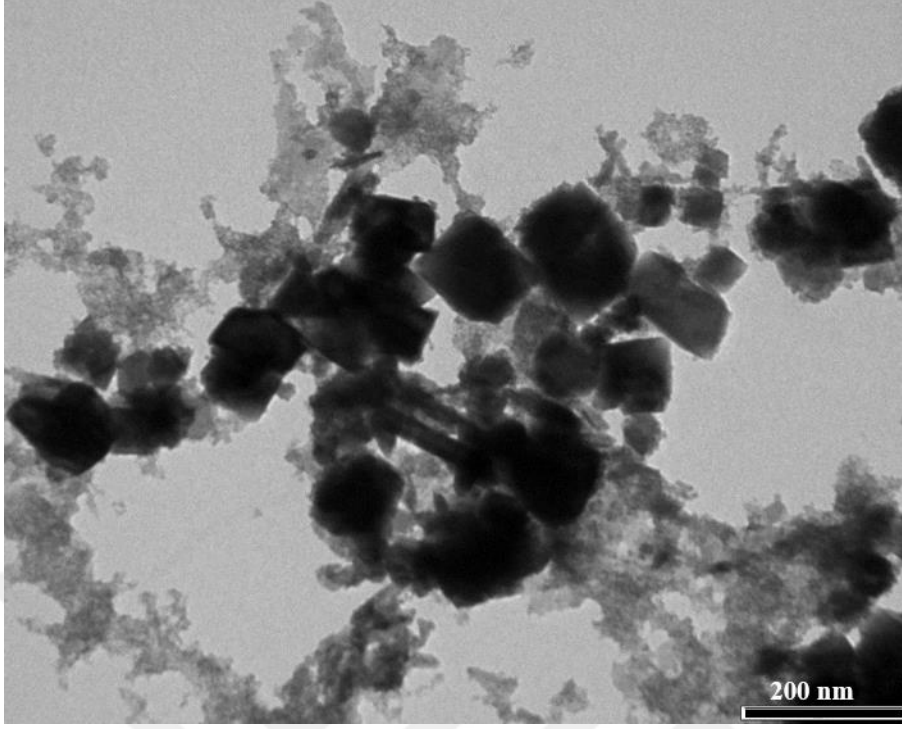
#### 4.1.3. Manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların sentezi ve karakterizasyonu

Elektromanyetik kalkanlama için kullanılmak üzere manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> birlikte çöktürme yöntemiyle sentezlenmiştir. Sentezlenen nanoparçacıkların FT-IR spektrumu Şekil 4.11’de görülmektedir. Genellikle FT-IR spektrumunda metal-oksijen bağına (M-O) ait 2 temel titreşim bandı gözlenir (Shokri vd. 2018). Bunlardan biri 420 cm<sup>-1</sup> civarında diğeri 550-580 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında gelir. Şekil 4.11’de  $\nu_1 = 553$  cm<sup>-1</sup>’deki pik kristal yapıda tetrahedral geometrideki Fe<sub>Tetra</sub>-O gerilme titreşimlerine karşılık gelir. SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yapısına ait karakteristik bandlar 873 cm<sup>-1</sup>’de, 824 cm<sup>-1</sup>’de ve 720 cm<sup>-1</sup>’de görülmektedir (Shokri vd. 2018). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>’ın FT-IR spektrumunda 600-650 cm<sup>-1</sup> aralığındaki omuz Fe<sup>+2</sup>-O bağı titreşiminden kaynaklanmaktadır ve bu omuzun SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spektrumunda olmaması kristalde M<sup>+2</sup> iyonunun değiştiğini açıkça ortaya koymaktadır.

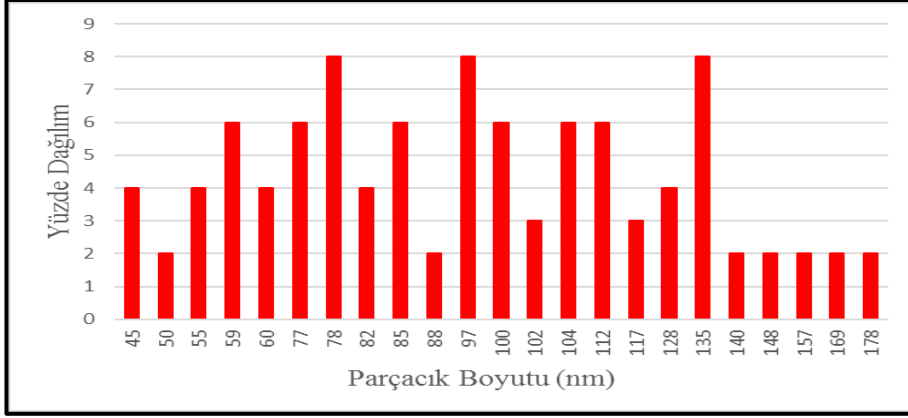


Şekil 4.11. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların FT-IR spektrumu

Sentezlenen manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların boyut ve morfolojisi karbon kaplı bakır TEM grid üzerine kaplanmış örnekler üzerine 80 kV’da gerçekleştirilen TEM ölçümleriyle belirlenmiştir. Elde edilen TEM görüntüleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekil 4.12’de SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> parçacıkların kübik yapıda olduğu açıkça görülmektedir. Görüntüler ImageJ ve Adobe Photoshop 7 programı ile en az 100 parçacık sayılarak değerlendirilmiş ve ortalama tanecik boyutu 95±20 nm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.13’de değerlendirilen parçacıklara ait boyut dağılım grafiği görülmektedir.



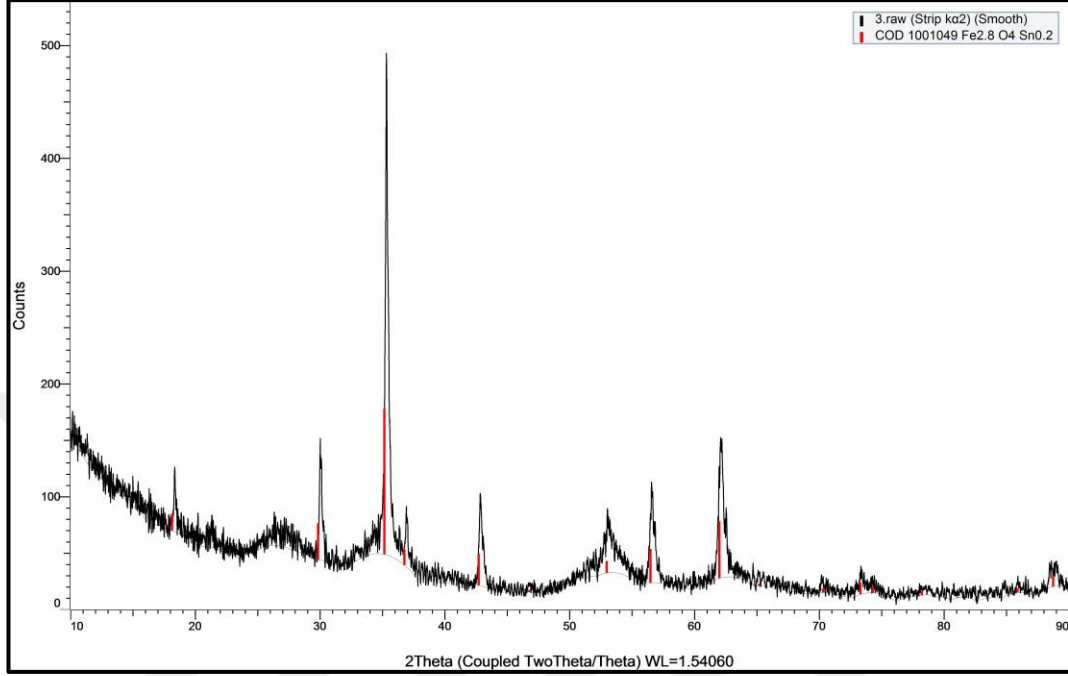
**Şekil 4.12.** Manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların TEM görüntüsü



**Şekil 4.13.** Manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların boyut dağılımı

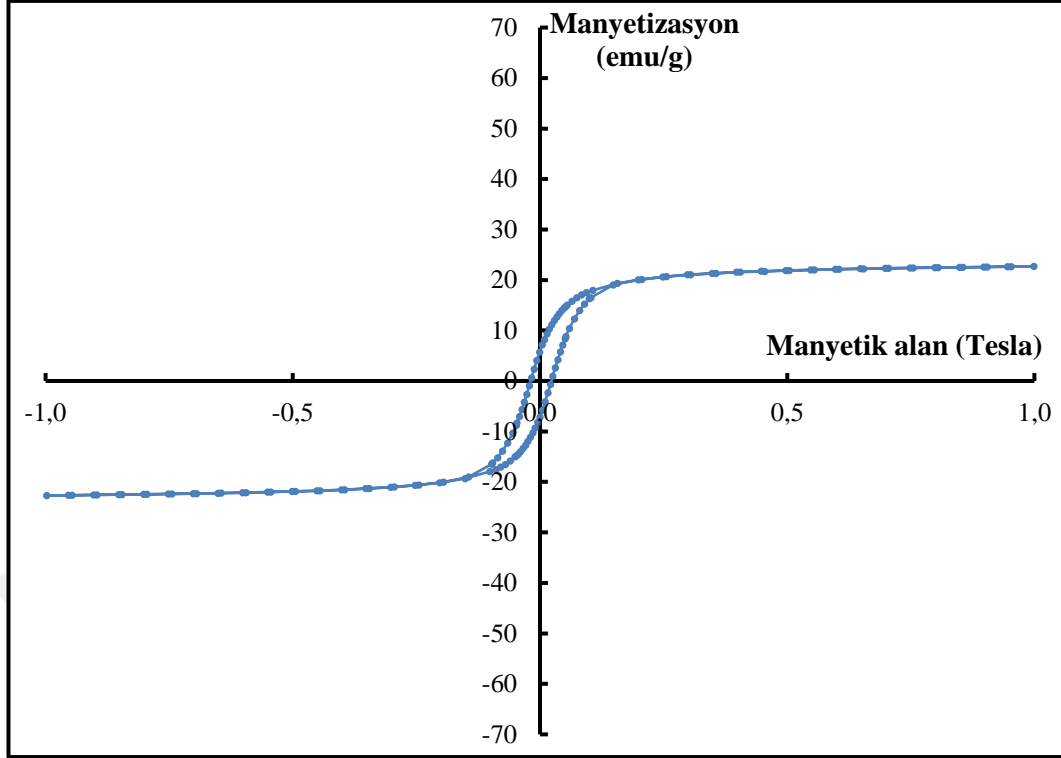
SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların kristal yapısı XRD ölçümleri aydınlatılmıştır. Şekil 4.14'de ölçümlerden elde edilen X-ışını kırınım deseni görülmektedir. Elde edilen X-ışını kırınım deseni uluslararası toz kırınım standartlarına göre (JCPDS, Joint Committee on Powder Diffraction Standards) elde edilen nanoparçacıkların kübik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> kristallerinden elde edilen kırınımlara karşılık gelmektedir (COD 1001049, CPDS card 10-0325, Uwakweh vd. 2009). Şekil 4.14'deki kırınım deseninde 18,05°, 29,84°, 35,15°, 36,77°, 42,71°, 52,98°, 56,47° ve 61,20°. 2θ açı değerlerindeki başlıca pikler kübik fazdaki SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> kristaline ait (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511)

ve (440) düzlemlerinden gelen yansımalara karşılık gelmektedir (JCPDS cardno. 10-0325, Uwakweh vd. 2010). Bu sonuçlar TEM görüntülerindeki kübik kristallerin varlığını desteklenmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.14. Manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların X-ışını kırınım deseni

SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların manyetik özellikleri oda sıcaklığında  $\pm 1$  Tesla aralığında bir dış manyetik alan uygulanarak gerçekleştirilen Titresimli Örnek Magnetometresi (VSM) ölçümleriyle belirlenmiştir. Sentezlenen manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki doymun manyetizasyon değeri  $\sim 22$  emu/g olduğu görülmektedir (Şekil 4.15).



**Şekil 4.15.** Manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki manyetizasyon eğrisi

## 4.2. Elektromanyetik (EM) Dalgaları Kalkanlama Ölçümleri

### 4.2.1. Kullanılacak substratın seçimi

Ağırlıkça 1:5 oranında karıştırılarak elde edilen PEG–MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dispersiyonları bir ticari su bazlı boya ile 1:1 oranında karıştırılarak 3x6 cm boyutlarında 0,5 cm kalınlığında kesilmiş cam yüzeye ‘daldırma’ ve ‘ince film kaplama’ yöntemlerine göre kaplanmış ve EM kalkanlama ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde ölçüm aralığı içinde bazı frekanslarda %50’ye yakın kalkanlama elde edilmiştir. Ancak, istenilen oranlarda kalkanlama elde edilememiştir. Cam substratın da yaklaşık %40 oranında kalkanlama yaptığı ölçülmüş ve MNP’lerin kalkanlamada etkilerinin çok olmadığı, yapılan kalkanlamanın cam substrattan kaynaklandığı görülmüştür. Bu aşamada numunelerin MNP içeren yüzeyinin kalınlığını artırmak için cam yüzeye akma yöntemi ile iki kat kaplama yapılarak ölçümler tekrarlanmıştır. Ayrıca nanoparçacık türünün etkisini kıyaslamak için manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık katkılı örnekler de eklenerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sadece 3,30-4,95 GHz frekans aralığında alınmıştır. İlk ölçümlerde akma ve ince film uygulamaları arasında anlamlı bir fark görülmemiştir. Ancak, ilk ölçümlerde akma yöntemi kullanıldığı için iki kat ölçümler de akma yöntemine göre alınmıştır. Ölçüm sonuçları ve numune içerikleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Cam yüzeyde manyetik  $MFe_2O_4$  nanoparçacık içeren su bazlı boya örneklerinin EM kalkanlama değerleri

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
1	İnce Film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	4,0-5,0	37-43
			4,95-7,05	4,0-5,5	37-47
2	İnce Film	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	4,0-5,0	37-43
			4,95-7,05	5,0-6,0	43-50
3	İnce Film	BOYA	3,30-4,95	3,5-4,5	33-40
			4,95-7,05	4,0-6,5	37-53
11	Akma	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	4,0-5,0	37-43
			4,95-7,05	5,0-5,5	43-47
21	Akma	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	4,0-5,0	37-43
			4,95-7,05	4,0-5,5	37-47
31	Akma	BOYA	3,30-4,95	3,5-4,5	33-40
			4,95-7,05	3,5-5,0	33-44
	Boş	CAM	3,30-4,95	4,0-5,0	37-44

**Çizelge 4.2.** Cam yüzeyde manyetik  $MFe_2O_4$  nanoparçacık içeren su bazlı boya örneklerinin EM kalkanlama özelliğine film kalınlığının etkisi

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
11	Akma İki Kat	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	4,5-5,5	40-47
21	Akma İki Kat	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	4,0-6,0	37-50
31	Akma İki Kat	BOYA	3,30-4,95	3,5-4,5	33-40
41	Akma İki Kat	[PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	4,0-5,5	37-47

Substrat olarak camın uygulandığı sistemlerde hem kalınlık arttırmanın hem de farklı bileşimde manyetik metal oksit kullanmanın anlamlı bir değişim oluşturmadığı belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 4.1 ve 4.2). Elektromanyetik dalgalar en fazla %50'ye kadar kalkanlanmış ve istenilen oranda kalkanlama olmadığı görülmüştür.

Elektromanyetik dalgaları kalkanlarken aynı zamanda yansıma oranının minimum seviyede olması, kalkanlama aracının yansıma yaparak çevreye kendisinin bir elektromanyetik dalga kaynağı oluşturması engellenmek istenir. Yaptığımız ölçümlerde cam substratın çalışılan frekans aralığında yansıma oranının yüksek olduğu görülmüştür. Ölçümlerdeki yansıma grafikleri Ek-1 ve Ek-2'de verilmiştir. Yansıma oranını düşürebilmek için substrat olarak aynı boyut ve kalınlıkta karton yüzey seçilmiştir. Kalınlığın etkisini daha iyi görmek için yüzeyler ince film kaplama yöntemiyle hem iki hem de on kat kaplanmıştır. Çalışılan örneklerin içerikleri ve kalkanlama oranları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Karton yüzeyde manyetik  $MFe_2O_4$  nanoparçacık içeren su bazlı boya örneklerinin EM kalkanlama değerleri

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
111	İnce Film On kat	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	0,4-0,6	5-7
211	İnce Film On kat	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	0,4-0,6	5-7
311	İnce Film On kat	BOYA	3,30-4,95	0,5-1,5	6-16
12	İnce Film iki kat	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	0,5-0,7	6-8
22	İnce Film iki kat	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	0,2-0,6	2-7
32	İnce Film iki kat	BOYA	3,30-4,95	0,5-0,8	6-9
42	İnce Film iki kat	[PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:5)]:BOYA 1:1	3,30-4,95	0,5-0,7	6-8

Sonuçlar incelendiğinde karton numunelerin kalkanlama değerlerinin çok düşük çıktığı görülmüştür. Cam substrattaki kalkanlamaların büyük oranı camın içindeki kuvars ve metal oksitlerden kaynaklandığı öngörülmüştür. Ayrıca, bazı frekanslarda manyetik nanoparçacık içermeyen, sadece boya ile kaplanan numunelerin daha iyi kalkanlama yaptığı gözlenmiştir. Özellikle kullanılan su bazlı boyanın ölçülen frekans aralıklarında metal oksit nanoparçacıkların kalkanlama özelliklerini belirlemede güçlük yarattığı gözlenmiştir. Elde edilen bu ön bulgular sonucunda elektromanyetik kalkanlama (EM) ölçümlerinin boyasız saf manyetik metal oksit nanoparçacıklar üzerinden gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Substrat yüzeyinin etkisini karşılaştırmak için sadece Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklarını içeren örnekler cam, karton ve band gibi üç farklı substrat yüzeyine akma yöntemine göre kaplanarak 3,30–4,95 ve 4,95–7,05 GHz aralığında elektromanyetik kalkanlama özellikleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Cam, karton ve bant yüzeyinde manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların EM kalkanlama değerleri

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
CAM	Akma	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3,30-4,95	3,5-5,0	33-43
			4,95-7,05	4,0-5,5	37-47
KARTON	Akma	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3,30-4,95	0,5-0,8	6-9
			4,95-7,05	1,0-1,5	12-16
BANT	Akma	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	3,30-4,95	TANIMSIZ	
			4,95-7,05	0,0-0,5	0-6



Cam, karton ve bant gibi substratların yüzeyine manyetik  $Fe_3O_4$  nanoparçacıkların EM kalkanlama sonuçları incelendiğinde en yüksek sonucun cam substratta olduğu ölçülmüştür. Bu sonuç camın bileşiminden kaynaklanmaktadır. Kaplanan substrat türünün, manyetik nanoparçacık türünün ve kaplama kalınlığının değişimi EM kalkanlama değerlerinde belirgin bir ilerleme gerçekleştirilmemiştir. Karton ıslandıktan sonra bombe yaptığı, cam da kalkanlamayı perdelediği ve çok fazla yansıma yaptığı için bundan sonraki ölçümler asetat film yüzeyine uygulanarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında kalkanlama etkinliği için çalışılan frekans aralığı değiştirilerek manyetik nanoparçacıkların daha etkili kalkanlama yapacağı düşünülen 8,2-12,5 GHz aralığına çekilmiştir. Ayrıca, manyetik nanoparçacık/PEG dispersiyonlarına farklı özellikte iletkenlik arttırıcı malzemeler ekleyerek EM kalkanlama verimi arttırılmaya çalışılmıştır. Böylece iletken malzemenin türü ve oranının manyetik nanoparçacığın EM kalkanlama verimine katkısı da tez çalışmalarına eklenmiştir.

#### 4.2.2. İletkenlik etkisi

Elektromanyetik kalkanlama performansı malzemenin hem iletkenliği hem de manyetik özelliği ile artmaktadır. Özellikle iletkenlik birincil derecede etkili bir parametredir (Mostaani vd. 2018). Ön çalışmalarda manyetik nanoparçacık içeren karışımlar vardı ve istenilen kalkanlama oranları elde edilememiştir. Manyetik nanotaniciklerin PEG ile oluşturulan dispersiyonlarına ağırlıkça 50:1 ve 50:5 oranlarında karbon siyahı (CB), çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT), grafen oksit (GO), grafen (GR) ve bor karbür (BC) eklenmiş daha sonra karışımlar homojenizatörde 10000 rpm'de 15 dk dağıtıldıktan sonra asetat yüzeyine 120 mikron kalınlığında ince film yöntemiyle kaplanmıştır. 8,2-12,5 GHz band aralığında (X-bandı) elde edilen elektromanyetik kalkanlama ölçüm sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Asetat yüzeyinde manyetik  $Fe_3O_4$  nanoparçacık içeren örneklerinin EM kalkanlama özelliğine iletken malzemelerin etkisi

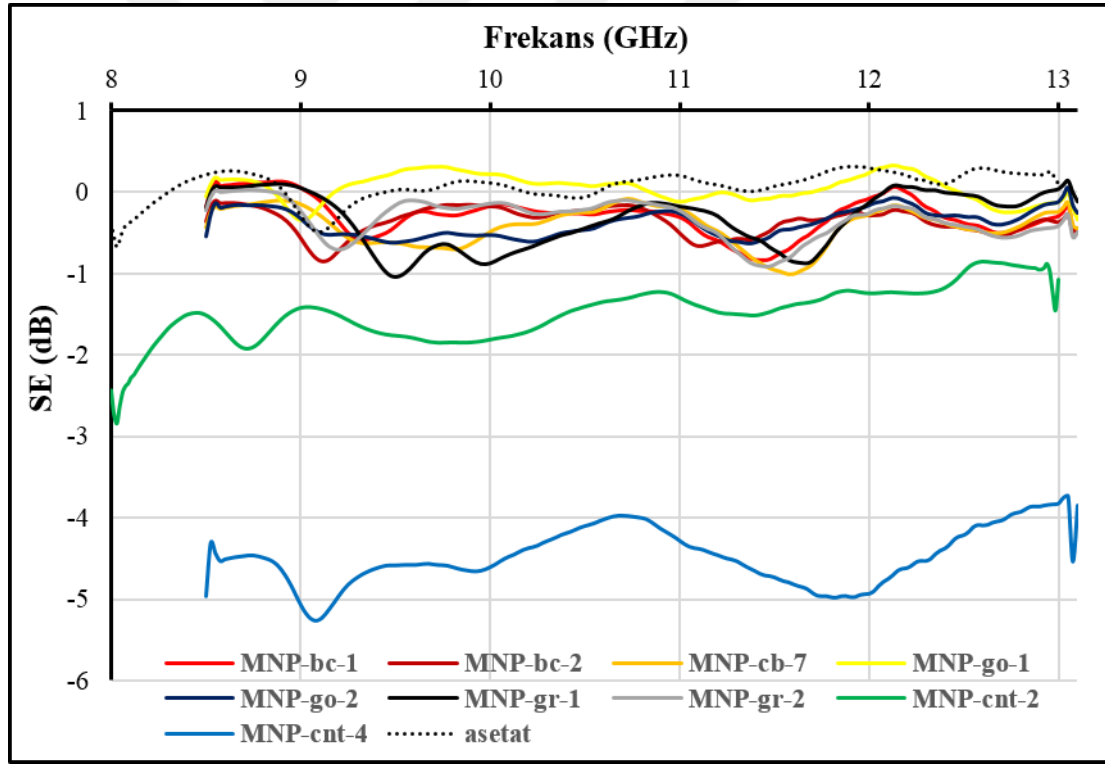
Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
Asetat		Boş (Kontrol grubu)	8,2-12,5	0,0-0,8	0-9
MNP-CNT-2	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:1	8,2-12,5	1,5-2,5	16-20
MNP-CNT-4	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:5	8,2-12,5	3,8-5,3	35-44
MNP-CB-2	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:CB 50:1	8,2-12,5	0,2-0,5	2-6
MNP-CB-7	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:CB 50:5	8,2-12,5	0,2-1,0	2-12
MNP-GO-1	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:GO 50:1	8,2-12,5	0,0-0,2	0-2
MNP-GO-2	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:GO 50:5	8,2-12,5	0,2-0,8	2-9

Devamı arka sayfada

Çizelge 4.5'in devamı

MNP-GR-1	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:GR 50:1	8,2–12,5	0,2-1,0	2-12
MNP-GR-2	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:GR 50:5	8,2–12,5	0,2-0,8	2-9
MNP-BC-1	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:BC 50:1	8,2–12,5	0,2-0,8	2-9
MNP-BC-2	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:BC 50:5	8,2–12,5	0,2-0,8	2-9

Sonuçlar incelendiğinde tüm örnekler için 50:5 oranının EM kalkanlama özelliğinin daha iyi olduğu görülmüştür. İletken materyaller içinde ise en iyi sonucu MWCNT içeren numunelerin verdiği görülmüştür. 50:5 oranında MWCNT içeren numune yaklaşık %40 oranında kalkanlama yapmıştır. Kontrol grubu asetat substrat ise ihmal edilebilir düzeyde bir kalkanlama yapmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.16'de verilmiştir. Şekil 4.16 incelendiğinde 50:5 oranında MWCNT içeren numunenin diğerlerine göre daha iyi kalkanlama etkinliği gösterdiği açıkça görülmektedir.



Şekil 4.16. Numunelerin X bandında (8,2-12,5 GHz) EM kalkanlama sonuçları

Bu aşamada kalkanlama etkinliğinin MWCNT katkılanmasıyla arttığı görülmüştür. Bu nedenle bu aşamadan sonra MWCNT oranı ve film kalınlığı ayrı ayrı artırılarak istenilen EM kalkanlama etkinliğine ulaşılmaya çalışılmıştır.

### 4.3. Manyetik Metal Oksitlerin (MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) Nanoparçacıkları-MWCNT İçeren Numunelerin Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri

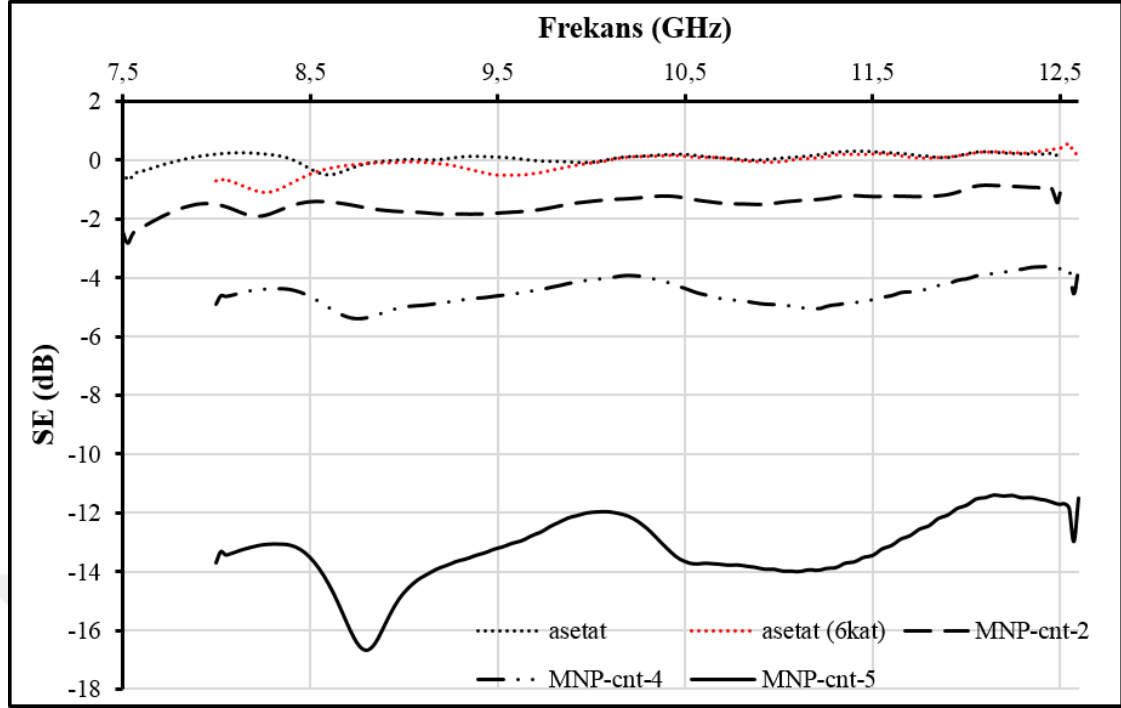
#### 4.3.1. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların elektromanyetik kalkanlama özellikleri

Nanomanyetit:MWCNT oranı 50:1, 50:5, 50:10 olan ve asetat üzerine ince film kaplama yöntemine göre elde edilen numunelerin 8,2-12,5 GHz aralığında gerçekleştirilen EM kalkanlama ölçümleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacık ve MWCNT içeren örneklerinin EM kalkanlama etkisi

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
MNP-CNT-2	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]-MWCNT 50:1	8,2-12,5	1,5-2,5	15,9-25
MNP-CNT-4	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]-MWCNT 50:5	8,2-12,5	3,8-5,3	35-44
MNP-CNT-5	İnce film	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]-MWCNT 50:10	8,2-12,5	12,0-17,0	75-85,9
Asetat	Altı kat	Boş (kontrol grubu)	8,2-12,5	0	0
Asetat	Bir kat	Boş (Kontrol grubu)	8,2-12,5	0	0

MWCNT içeren manyetitlerin, elektromanyetik dalgaları kalkanlama sonuçları incelendiğinde MWCNT oranı arttıkça kalkanlama oranının arttığı görülmüştür. Kontrol grubu olarak altı kat boş asetat numunelerinin EM kalkanlama özellikleri ihmal edilebilir düzeydedir. Elde edilen sonuçlar şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Nanomanyetit-MWCNT farklı oranlardaki EM kalkanlama sonuçları

İnce film kaplamalarda asetat üzerine 120 mikron kalınlığında karışım kaplanmaktadır. Numune kalınlığının etkisini ölçmek için numuneler iki, dört ve altı kat üst üste koyularak ölçümler alınmıştır ve bu ölçümlerin sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Ayrıca, iletken malzemenin etkisini daha iyi kıyaslamak için sadece MNP’lerin PEG içindeki dispersiyonları ile hazırlanmış kaplamaların da EM kalkanlama ölçümleri kalınlığa bağlı olarak incelenmiştir. Çizelge 4.7 ve Şekil 4.18’de sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.7.  $Fe_3O_4$  ve  $Fe_3O_4$ -MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi

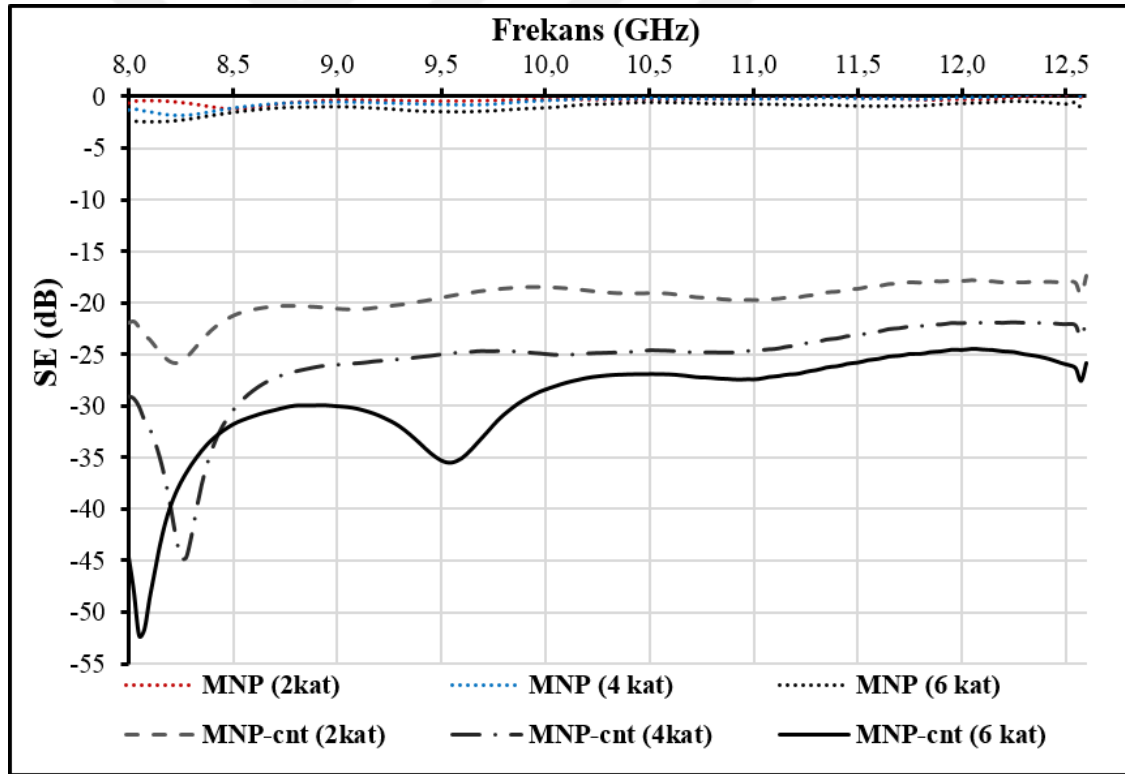
Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
MNP-6	İnce film İki kat	PEG: $Fe_3O_4$ (1:1)	8,2-12,5	0,0-1,5	0,0-15,9
MNP-6	İnce film Dört kat	PEG: $Fe_3O_4$ (1:1)	8,2-12,5	0,8-2,0	9,0-20,6
MNP-6	İnce film Altı kat	PEG: $Fe_3O_4$ (1:1)	8,2-12,5	0,0-2,5	0,0-25,0

Devamı arka sayfada

Çizelge 4.7'in devamı

MNP-CNT-5	İnce film İki kat	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]-MWCNT 50:10	8,2-12,5	18,0-25,0	87,4-94,4
MNP-CNT-5	İnce film Dört kat	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]-MWCNT 50:10	8,2-12,5	22,0-45,0	92,1-99,4
MNP-CNT-5	İnce film Altı kat	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]-MWCNT 50:10	8,2-12,5	24,5-52	94,0-99,75
Asetat	Altı kat	Boş (kontrol grubu)	8,2-12,5	0	0

120 x 6 = 720 mikron kalınlığındaki ağırlıkça 50:10 MNP-MWCNT içeren numuneler en iyi EM kalkanlama etkisi oluşturmuş elektromanyetik dalgaların yaklaşık %99'nu kalkanlamıştır. Kalınlık artışıyla kalkanlama oranının %100'lere çıkarılacağı açıkça görülmektedir. Şekil 4.18 incelendiğinde kalınlığın kalkanlama oranını anlamlı derecede arttırdığı görülmüş ve bu sonuç Mostaani vd. (2018)'nin yaptığı çalışmalar ile paralellik sergilemektedir.



Şekil 4.18. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi

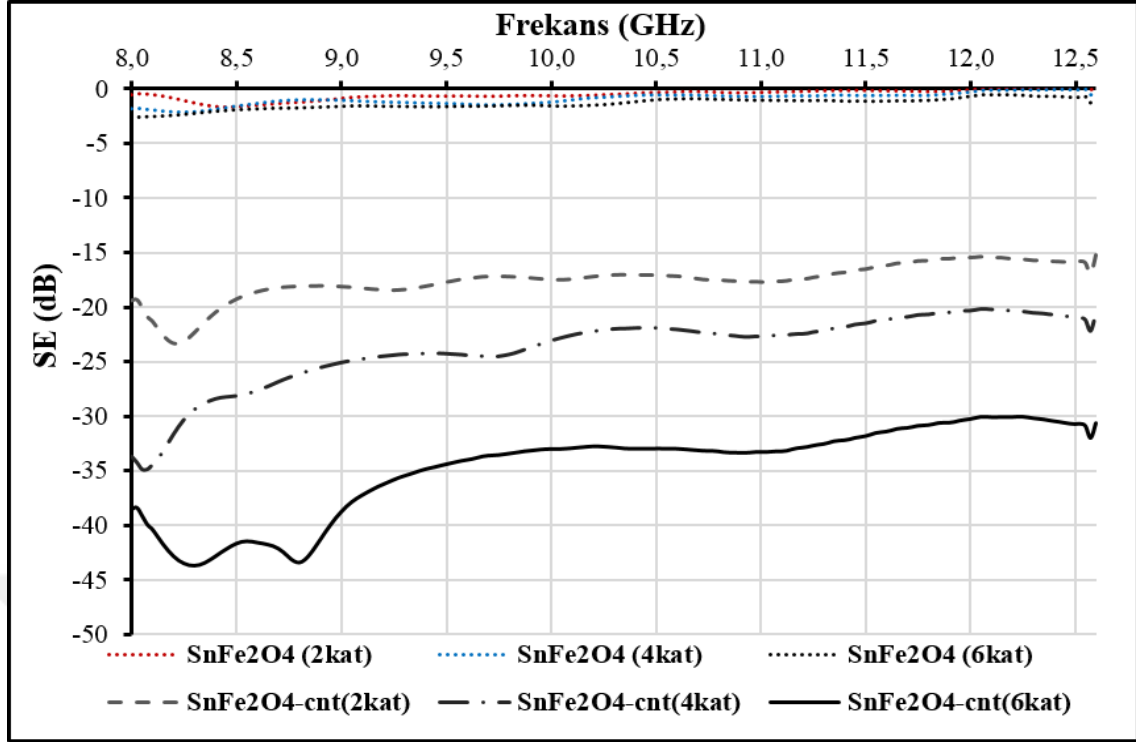
### 4.3.2. Manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların elektromanyetik kalkanlama özellikleri

Tez çalışmasının 4.2.2 bölümünde EM kalkanlamayı en çok artıran iletken malzemenin MWCNT olduğu ve bölüm 4.3.1’de ise manyetit:MWCNT karışım oranının 50:10 en yüksek performans sergilediği belirlenmişti. Manyetik SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıklarının EM kalkanlama etkinliğinin belirlenmesinde yukarıdaki çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre MWCNT katkılanması ve oranın 50:10 tutularak çalışmalara devam edilmesine karar verilmiştir. Manyetit: MWCNT oranı olan 50:10 oranı, SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ile MWCNT karışımı için uygulanmış ve asetat yüzeye kaplanan numunelerin EM kalkanlama özellikleri ölçülmüştür. Sonuçlar ve numune içerikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
SnMNP-1	İnce film İki kat	PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)	8,2-12,5	0,0-1,5	0,0-15,9
SnMNP-1	İnce film Dört kat	PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)	8,2-12,5	0,0-2,0	0,0-20,6
SnMNP-1	İnce film Altı kat	PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)	8,2-12,5	0,8-3,0	9,0-29,0
SnMNP-CNT	İnce film İki kat	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	15,0-24,0	82,2-93,7
SnMNP-CNT	İnce film Dört kat	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	25,0-35,0	94,4-98,2
SnMNP-CNT	İnce film Altı kat	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	30,0-44,0	96,9-99,4

MWCNT içermeyen SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ile kaplanan numunelerin kalınlıkla doğru orantılı olarak kalkanlama yüzdeleri artsa da istenilen oranda kalkanlama yapmamışlardır. SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:MWCNT oranı 50:10 olan numunelerin ise iletkenliğin artması ile EM kalkanlama oranının da artış olduğu görülmektedir. Ayrıca, kalınlık arttıkça kalkanlama yüzdelerinin istenilen değerlere yaklaştığı Şekil 4.19’da görülmektedir. Ancak 8,2 GHz’de ise Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT içeren altı katlı numunenin sonuçlarından daha iyi çıkmamıştır. SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> örneği yaklaşık %99,40 kalkanlama yaparken Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> içeren örnek yaklaşık %99,75 oranında kalkanlama yapmıştır.



Şekil 4.19. SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi

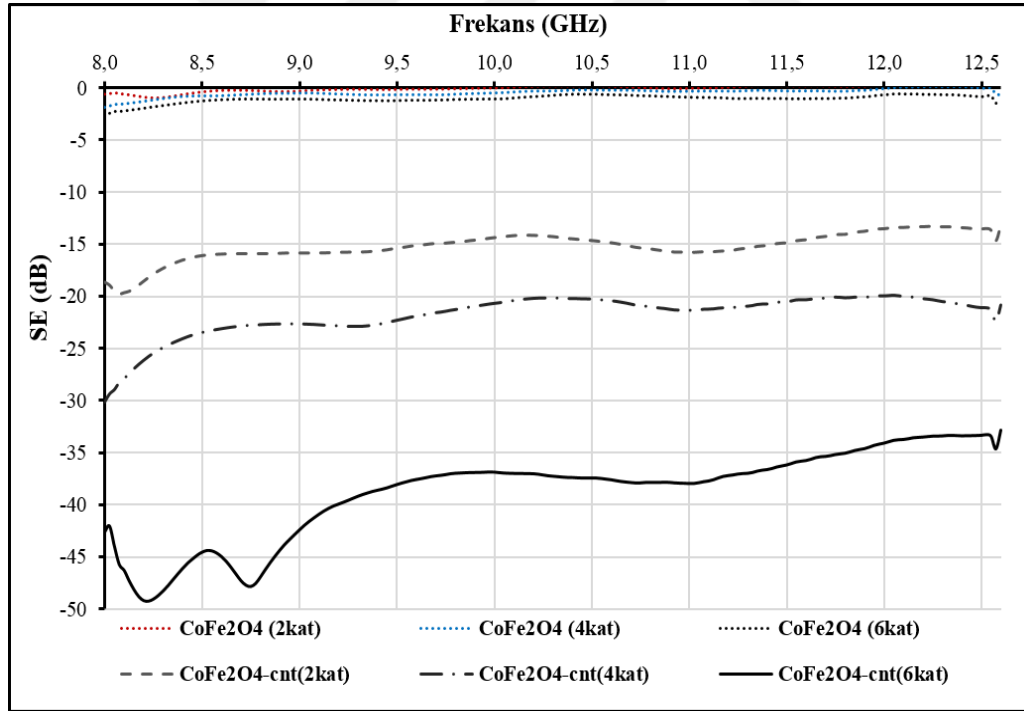
#### 4.3.3. Manyetik CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparçacıkların elektromanyetik kalkanlama özellikleri

EM kalkanlamada en iyi sonucu veren [PEG:Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(1:1)]:MWCNT oranı olan 50:10 oranı, CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ile MWCNT karışımı için de uygulanmış ve asetat yüzeye kaplanan numunelerin EM kalkanlama oranları ölçülmüştür. Sonuçlar ve numune içerikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

MWCNT içermeyip sadece CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> içeren karışımlar kalınlık arttıkça kalkanlama yüzdeleri artsa da ve istenilen oranda kalkanlama yapmamışlardır. [PEG:CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(1:1)]:MWCNT oranı 50:10 olan numunelerin ise iletkenliğin artması ile EM kalkanlama oranında artış olduğu görülmektedir. Ayrıca, kalınlık arttıkça kalkanlama yüzdeleri istenilen değerlere yaklaşmıştır. Kalınlık daha da artırılarak tam kalkanlamanın mümkün olabileceği görülmektedir. Şekil 4.20'de CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT içeren örnekler üzerine gerçekleştirilen EM kalkanlama ölçüm sonuçları incelendiğinde 8,2 GHz frekansında ise Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT içeren altı katlı numunenin daha iyi olduğu görülmektedir. CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> içeren örnekler %99,60 kalkanlama yaparken Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> içeren örnek %99,75 oranında kalkanlama yapmıştır.

**Çizelge 4.9.** CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
CoMNP-1	İnce film İki kat	PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)	8,2-12,5	0,0-0,6	0-6,7
CoMNP-1	İnce film Dört kat	PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)	8,2-12,5	0,0-0,8	0-8,8
CoMNP-1	İnce film Altı kat	PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)	8,2-12,5	0,0-1,2	0-13
CoMNP-CNT-1	İnce film İki kat	[PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	11,0-19,0	71,8-88,3
CoMNP-CNT-1	İnce film Dört kat	[PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	20,0-28,0	90-96
CoMNP-CNT-1	İnce film Altı kat	[PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	34,0-49,0	98-99,6



**Şekil 4.20.** CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT içeren farklı kalınlıklardaki numunelerin elektromanyetik dalga kalkanlama etkisi



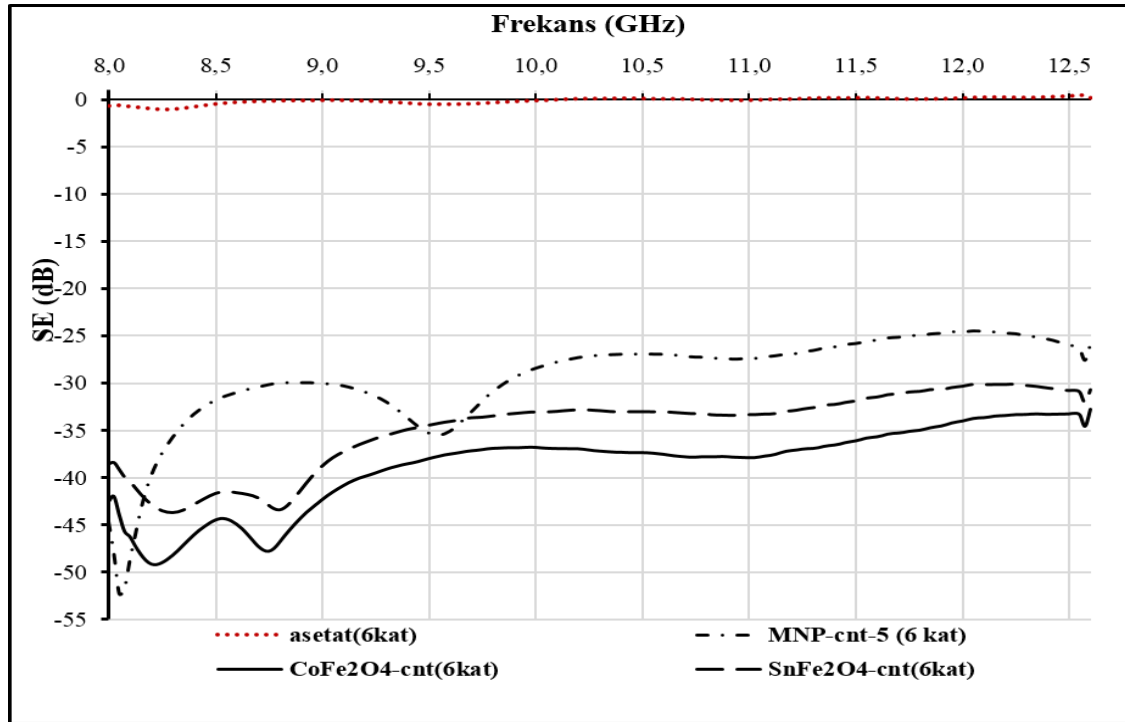
#### 4.4. Manyetik $MFe_2O_4$ Nanoparçacıkların EM Kalkanlama Etkilerinin Karşılaştırılması

##### 4.4.1. Manyetik $MFe_2O_4$ nanoparçacıkların 8,2-12,5 GHz aralığındaki EM kalkanlama etkisinin karşılaştırılması

En iyi kalkanlama etkisinin ölçüldüğü  $MFe_2O_4$ -MWCNT ağırlıkça 50:10 oranındaki karışımı ile kaplanmış numunelerin elektromanyetik dalgaları kalkanlama özellikleri Şekil 4.21 ve Çizelge 4.10'de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.21 incelendiğinde 8,2 GHz frekansında en iyi kalkanlamayı  $Fe_3O_4$ -MWCNT kaplı numunenin yaptığı görülmektedir. Ancak, 8,2-12,5 GHz aralığının tamamı dikkate alındığında en iyi kalkanlamayı  $CoFe_2O_4$ -MWCNT kaplı numune yapmaktadır. Bu etki manyetik  $CoFe_2O_4$  nanoparçacıklarının manyetik özelliğinin yüksek oluşu ile açıklanabilir.

**Çizelge 4.10.**  $MFe_2O_4$ -MWCNT içeren numunelerin 8,2-12,5 GHz aralığında EM kalkanlama özelliklerinin karşılaştırılması

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
MNP-CNT	İnce film Altı kat	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	24,5-52	94-99,8
CoMNP-CNT	İnce film Altı kat	[PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	34,0-49,0	98-99,6
SnMNP-CNT	İnce film Altı kat	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	8,2-12,5	30,0-44,0	96,9-99,4



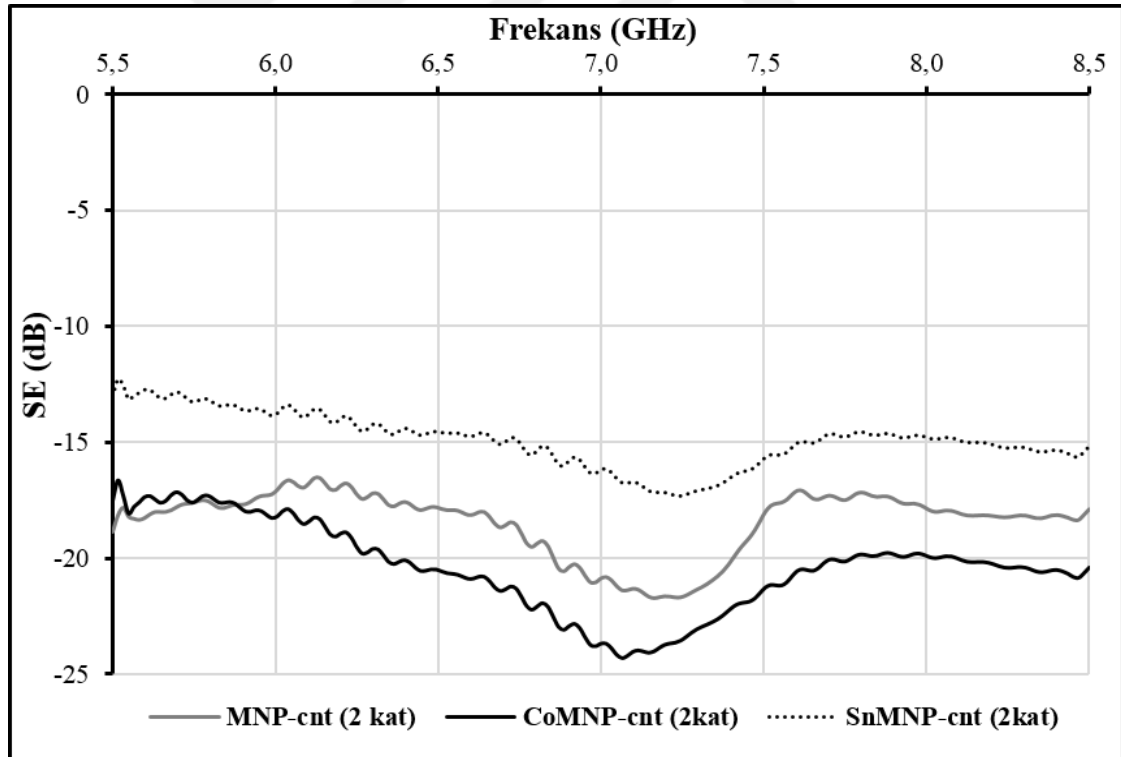
**Şekil 4.21.**  $MFe_2O_4$ -MWCNT içeren numunelerin 8-12,5 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması

#### 4.4.2. Manyetik $MFe_2O_4$ nanoparçacıkların 5,8-8,2 GHz aralığındaki EM kalkanlama etkisinin karşılaştırılması

Hazırlanan numunelerin 5,85-8,26 GHz frekans aralığında elektromanyetik dalga kalkanlama etkinlikleri ölçülmüştür. Sonuçlar ve numune içerikleri Çizelge 4.11 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.**  $MFe_2O_4$ -MWCNT içeren numunelerin 5,85-8,26 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
MNP-CNT	İnce film İki kat	[PEG:Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	5,85-8,26	13-17	77,6 -85,9
CoMNP-CNT	İnce film İki kat	[PEG:CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	5,85-8,26	17-24	85,9-93,7
SnMNP-CNT	İnce film İki kat	[PEG:SnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)]:MWCNT 50:10	5,85-8,26	17-22	85,9-92,1



**Şekil 4.22.**  $MFe_2O_4$ -MWCNT içeren numunelerin 5,85-8,26 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması

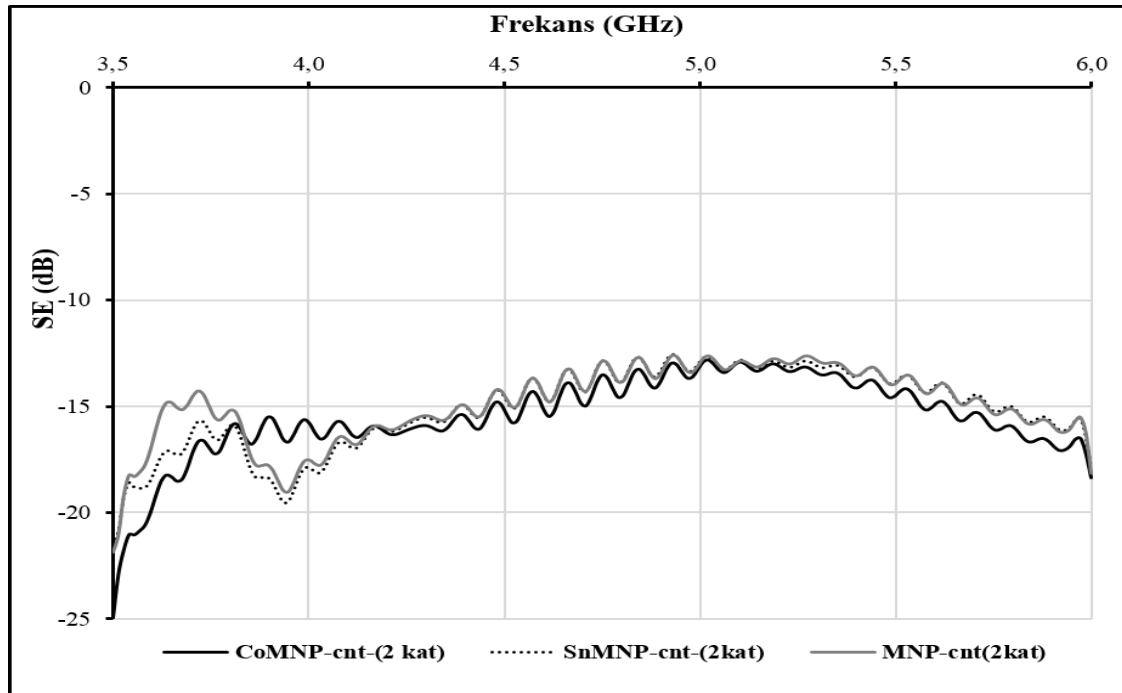
Çizelge 4.11 ve Şekil 4.22’teki sonuçlar incelendiğinde düşük frekanslarda manyetik nanoparçacıkların türünün EM kalkanlama üzerindeki etkileri arasında çok büyük bir fark görülmemiştir. 5,85-8,26 GHz aralığında  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  içeren numuneler en iyi kalkanlamayı sağlamıştır. İki katlı ölçümlerde dahi yaklaşık %92’lere varan kalkanlama değerlerine ulaşılmıştır. Kalınlık arttıkça düşük frekans aralığında da kalkanlama değerinin artacağı açıkça görülmektedir.

#### 4.4.3. Manyetik $\text{MFe}_2\text{O}_4$ nanoparçacıkların 3,9-5,8 GHz aralığındaki EM kalkanlama etkisinin karşılaştırılması

Aynı numunelerin daha düşük frekanslarda da (3,95-5,85 GHz) elektromanyetik dalga kalkanlama etkinlikleri ölçülmüştür. Ölçümlerde kullanılan numune içerikleri ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.23 ve Çizelge 4.12’de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.**  $\text{MFe}_2\text{O}_4$ -MWCNT içeren numunelerin 3,95-5,85 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma
MNP-CNT	İnce film İki kat	[PEG: $\text{Fe}_3\text{O}_4(1:1)$ ]:MWCNT 50:10	3,95-5,85	13-20	74,9-90
CoMNP-CNT	İnce film İki kat	[PEG: $\text{CoFe}_2\text{O}_4(1:1)$ ]:MWCNT 50:10	3,95-5,85	13-23	77,6-92,9
SnMNP-CNT	İnce film İki kat	[PEG: $\text{SnFe}_2\text{O}_4(1:1)$ ]:MWCNT 50:10	3,95-5,85	13-20	77,6-90



**Şekil 4.23.**  $\text{MFe}_2\text{O}_4$ -MWCNT içeren numunelerin 3,95-5,85 GHz EM kalkanlama değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.22 incelendiğinde düşük frekanslarda (3,95-5,85 GHz) manyetik nanoparçacık türüne bağlı olarak EM kalkanlama özellikleri arasında anlamlı bir fark görülmemiştir. Düşük frekans aralığında birbirlerine çok yakın EM kalkanlama değerleri gözlemlenmiştir. İki katlı ölçümlerde dahi yaklaşık %90'lar civarında EM kalkanlama değerlerine ulaşılmıştır. Kalınlık arttıkça kalkanlama değerinin artacağı açıkça görülmektedir.

#### 4.5. Manyetik $\text{MFe}_2\text{O}_4$ Nanoparçacıkları İçeren Boya Numunelerin EM Kalkanlama Özellikleri

1:2 oranında manyetik  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  nanoparçacıkları içeren boya karışımları kaplanarak elde edilen numunelerin 8,2-12,5 GHz aralığında ölçülen EM kalkanlama değerleri Çizelge 4.13'de verilmiştir.

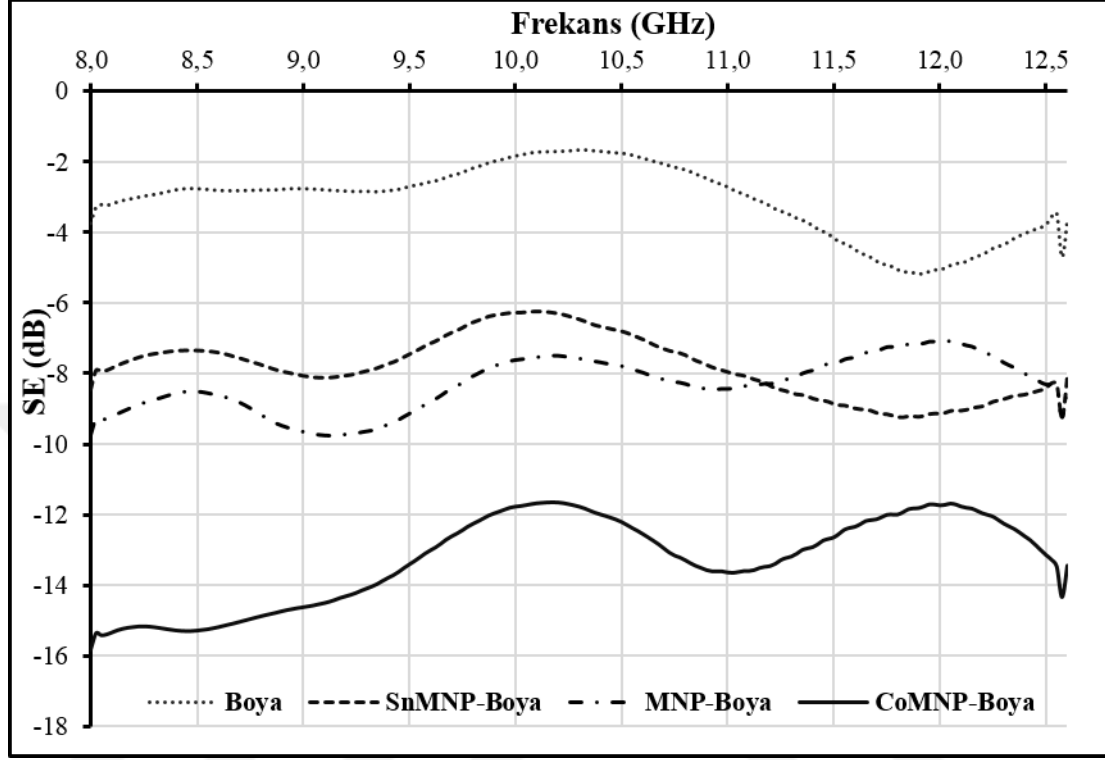
**Çizelge 4.13.** Manyetik  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  katkılı boya kaplamaların EM kalkanlama etkisi

Kod	Kaplama Tekniği	Numune İçeriği	Ölçülen Frekans Aralığı (GHz)	Kalkanlama Değeri (dB) (En düşük ve En yüksek)	% Azalma Miktarı
Boya	İnce Film Altı kat	Boya	8,2-12,5	1,8-5,0	18,7-43,8
MNP-Boya	İnce Film Altı kat	(MNP-MWCNT)-Boya 1:2	8,2-12,5	7,0-10	55,3-68,4
SnMNP-Boya	İnce Film Altı kat	(SnMNP-MWCNT):Boya 1:2	8,2-12,5	6,2-9,0	51,0-64,5
CoMNP-Boya	İnce Film Altı kat	(CoMNP-MWCNT):Boya 1:2	8,2-12,5	11,7-16	74,0-84,2

*Kısaltma: MNP-MWCNT=[PEG:Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(1:1)]:MWCNT 50:10*

Sonuçlar incelendiğinde boyanın belirli bir oranında kalkanlama yaptığı görülmektedir. Beyaz boyanın içeriğindeki  $\text{TiO}_2$ 'in bu kalkanlamada etkili olduğu ön görülmektedir.  $\text{SnFe}_2\text{O}_4$ -MWCNT-Boya içeren karışım diğer manyetik nanoparçacık içeren karışımlara göre en az kalkanlama etkisi göstermiştir. Ancak, 11,5-12,5 GHz frekans aralığında  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -MWCNT-Boya içeren karışımdan daha iyi kalkanlama yapmıştır.  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ -MWCNT-boya içeren karışım ise en iyi kalkanlama etkisini göstermiştir. Boyasız ölçümlerde 8,2 GHz frekansında  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -MWCNT içeren karışım en iyi kalkanlama etkisi gösterirken boyalı karışımda  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  içeren örnekler  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -MWCNT kaplı numunelerden daha etkili bir kalkanlama gerçekleştirmiştir. Çizelge 4.13'de verilen ölçüm sonuçları altı katlı örneklerden elde edilen ölçüm sonuçlarıdır.  $\text{MFe}_2\text{O}_4$ -MWCNT katkılanmış boya içeren numuneler Çizelge 4.7'de verilen altı kat ölçüm sonuçlarına göre daha az kalkanlama etkisi göstermiştir. EM kalkanlama değerindeki yaklaşık üçte bir oranındaki bu azalma, hazırlanan örnekte bulunan  $\text{MFe}_2\text{O}_4$ -MWCNT'nin oranının boya ile seyrelmeden dolayı azalmış olmasından kaynaklanmaktadır. En iyi sonucu  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ -MWCNT-Boya içeren karışım

elektromanyetik dalgaların yaklaşık %84'ünü kalkanlayarak göstermiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.24. MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-MWCNT-Boya içeren numunelerin EM kalkanlama özellikleri

#### 4.6. Manyetik Nanoparçacık Katkılı Boya Kaplamaları Üzerine Standart Testler

Manyetik nanoparçacık-MWCNT içeren boya ile kaplanmış numunelerin ışık geçirgenlik ölçümleri üzerine elde edilen sonuçlar numune içeriklerine bağlı olarak Çizelge 4.14'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.14. Manyetik MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> katkıli boya kaplamaların standart test sonuçları

Numune İçeriği	Geçirgenlik
Boya	1,79
Boya-PEG 1:2	15,7
(MNP-CNT)-Boya 1:2	0,00
(SnMNP-CNT):Boya 1:2	0,03
(CoMNP-CNT):Boya 1:2	0,04

Kısaltma: MNP-MWCNT=[PEG:Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(1:1)]:MWCNT 50:10

Çizelge 4.14’de görüldüğü gibi boyanın belirli bir ışık geçirgenlik özelliği vardır. Katkılanan PEG, seyreltmeden dolayı boyanın renk yoğunluğunu azaltmış ışık geçirgenliğini arttırmıştır. Ancak, manyetik nanoparçacık katkılı boyalarda nanoparçacıklar boyaya opak bir yapı kazandırarak ışık geçirgenlik özelliğini azaltmıştır. Nanoparçacıkların ışık geçirgenlikleri birbirine çok yakın çıkmıştır.

Numunelere uygulanan kalem sertliği testinde, kalem sertlik sınıfının en düşüğü olan HB sınıfı kalem dışında bütün kalemlerde çizilme görülmüştür. Manyetik nanoparçacık katkılı boya ile kaplı numuneler tüm kalemlerde çizilmiş, sadece en yumuşak kalem olan F kodlu kalem ile çizilmemiştir. Nanoparçacıklar boyanın dayanıklılık özelliğini olumsuz yönde etkilemiştir.

Özetle, elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde tez kapsamında geliştirilen kaplamalarla daha ince kaplamalarla oldukça yüksek kalkanlama verimi elde edilmiştir. Çizelge 4.15’te literatürdeki bazı sonuçlar listelenmiştir. Malzemenin iletkenliği ve kalınlığı kalkanlamada önemli parametrelerdir. İletkenlik ve kalınlık arttıkça kalkanlama verimi artmaktadır. Diğer taraftan manyetik nanoparçacık türü ve ölçülen frekans aralığı EM kalkanlama üzerine önemli bir etki oluşturmamıştır.

**Çizelge 4.15.** EM kalkanlama değerlerinin literatür ile karşılaştırılması

Nanoparçacık-Kompozit	Kalınlık(mm)	Ölçüm aralığı (GHz)	Kalkanlama (dB)	Kaynak
MFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -MWCNT (M:Fe,Co,Sn)	0,75	3,95-12,4	52	Bu Çalışmada elde edilen sonuçlar
3D CNT-Epoksi	5	8-12	55	Mei vd. 2018
CNT-GO-PMMA	16	2-18	60	Zhou vd. 2018
Çimento-Paslanmaz çelik toz	5	0,5-1,5	6-9	Fan vd. 2017
Ti <sub>3</sub> AlC <sub>2</sub> Katkılı seramik	23	12-18	40	Tan vd. 2017
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -ZnS-GO	5	2-18	43	Zhang vd. 2017
Odun- BaSO <sub>4</sub> -C-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -NiSO <sub>4</sub>	10	0,3-2,4	52	Kaya ve Çifçi 2016
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -SnS <sub>2</sub> -GO	1,6	8-12	54	Zhang vd. 2016
PS-Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -GO	-----	8-12	30	Chen vd. 2015
PANI-BaTiO <sub>3</sub>	3	12-18	70	Saini vd. 2013
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -CNT-PAN	1	12-18	4	Jin vd. 2012

## 5. SONUÇLAR

Bu tezde, spinel ferrit yapısında, manyetik özellikte  $Fe_3O_4$ ,  $CoFe_2O_4$  ve  $SnFe_2O_4$  nanoparçacıkları sentezlenmiş yapı ve özellikleri FT-IR, TEM, XRD ve VSM ölçümleriyle ile kanıtlanmıştır.

Sentezlenen manyetik  $Fe_3O_4$ ,  $CoFe_2O_4$  ve  $SnFe_2O_4$  nanoparçacıkların boyutları, sırasıyla,  $10\pm 1$ ,  $15\pm 5$  ve  $95\pm 20$  nm olarak hesaplanmıştır.

$MFe_2O_4$  nanoparçacıkların elektromanyetik dalgaları kalkanlama ölçümlerinde kullanılacak substrat (cam, karton, bant, asetat) optimizasyonu yapılmış ve ince kalınlıktaki kaplamalar için asetat yüzeyin en iyi substrat olduğu bulunmuştur.

Sentezlenen  $MFe_2O_4$  nanoparçacıkların su bazlı boya içinde aglomerasyona uğramamaları için PEG (Mw:8000 g/mol) ile ağırlıkça 1:1 oranda karıştırılmalarının yeterli olduğu belirlenmiştir.

Elektromanyetik dalgaları kalkanlamada önemli parametrelerden biri de iletkenlik (Mostaani vd. 2018). İletkenlik özelliği kazandırmak için çeşitli iletken maddeler (MWCNT, GR, GO, BC) denenmiş ve en iyi sonuç MWCNT ile katkılanan numunelerde gözlenmiştir.

Sentezlenen  $MFe_2O_4$  nanoparçacıklara farklı oranlarda MWCNT eklenmiş ve MWCNT oranı arttıkça EM kalkanlama etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. [PEG: $Fe_3O_4(1:1)$ ]:MWCNT oranı 50:1, 50:5, 50:10 olacak biçimde hazırlanan karışımlardan elde edilen kaplamaları EM kalkanlama özellikleri karşılaştırılmış ve en iyi sonucun [PEG: $Fe_3O_4(1:1)$ ]:MWCNT oranı 50:10 olan kaplamalar olduğu bulunmuştur.

Sentezlenen  $MFe_2O_4$  nanoparçacıkların 3,95-12,5 GHz aralığında EM kalkanlama özellikleri ölçülmüş ve en iyi kalkanlamayı 52 dB ve %99,75 kalkanlama oranı ile 8,2 GHz frekansında 50:10 oranında [PEG: $Fe_3O_4(1:1)$ ]:MWCNT içeren kaplama çözeltisi ile hazırlanmış 0,75 mm kalınlığındaki örnekten elde edilmiştir. Ayrıca, kalınlığın EM kalkanlama verimini doğru orantılı olarak etkilediği belirlenmiştir.

EM kalkanlama üzerine manyetik nanoparçacık türünün etkisi incelenmiş 8-12,5 GHz frekansları aralığının geneli göz önüne alındığında en iyi sonucun  $CoFe_2O_4$ -MWCNT, 5,85-8,26 GHz frekansları aralığında  $CoFe_2O_4$ -MWCNT, 3,95-5,85 GHz frekansları aralığında ise aynı oranlarda kalkanlama yaptıkları bulunmuştur.

## 6. KAYNAKLAR

- Altun, M., Karteri, İ., Güneş, M. ve Alma, M.H. 2017. Grafen katkılı odun-plastik nanokompozitlerinin elektromanyetik özellikleri ve elektromanyetik kalkanlama etkinliği karşılaştırmalı çalışması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1): 38-47.
- Ahn, A., Choi, E.J., Kim, S. Ve Ok, H.N., 2001. Magnetization and Mössbauer study of cobalt ferrite particles from nanophase cobalt iron carbonate. *Mater. Lett.*, 50:, 47-52.
- Ameli, A., Nofar, M., Wang, S. Ve Park, C.B. 2014. Light weight polypropylene/stainlesssteel fiber composite foams with low percolation for efficient electromagnetic interference shielding. *ACS Appl. Mat. Interfaces*, 6: 11091-11100.
- Anonim 1: [http:// www.who.int/peh-emf](http://www.who.int/peh-emf) [Son erişim tarihi: 29.06.2019].
- Anonim 1: [https://en.wikipedia.org/wiki/X\\_band](https://en.wikipedia.org/wiki/X_band)[Son erişim tarihi: 29.06.2019].
- Aniolezyk H., Koprowka J., Mamrot P. ve Lichawska J. 2004. Application of ElectricallyConductive Textiles as Electromagnetic Shields in Physiotherapy, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, Vol.12, No,4(48), 47-50.
- Asgharinezhad, A.A. ve Ebrahimzadeh, H. 2015. Coextraction of acidic, basic and amphiprotic pollutants usingmultiwalled carbon nanotubes/magnetite nanoparticles@polypyrrolecomposite, *Journal of Chromatography A*, 1412, 1–11.
- Bayat, M., Yang, H., Ko, F.K., Michelson, D. ve Mei, A. 2017. Electromagnetic interference shielding effectiveness of hybrid multifunctional Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/carbon nanofiber composite, *Polymer* 55, 936–943.
- Bayrakdar, H., Yalçın, O., Cengiz, U., Özüm, S., Anigi, E. ve Topel, Ö. 2014. Comparison effects and electron spin resonance studies of Co–Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel type ferrite nanoparticles. *Spec.Chim.Acta A: Mol.and Biomol. Spec.*, 132: 160–164.
- Bisht, G., Rayamajhi, S., Biplab K.C., Paudel, S.N., Karna, D. ve Shrestha, B.G. 2016. synthesis, characterization, and study of in vitro cytotoxicity of ZnO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic composite nanoparticles in human breast cancer cell line (MDA-MB-231) and mouse fibroblast (NIH 3T3). *Nanoscale Research Letters*, 11: 537-547.
- Brabers, V.A.M. 1969. Infrared Spectra of Cubic and Tetragonal Manganese Ferrites. *Phys. Status Solidi* 33: 563-572.
- Chen, Y., Wang, Y., Zhang, H.B., Li, X., Gui, C.X. ve Yu, Z.Z. 2015. Enhanced electromagnetic interference shielding efficiency of polystyrene/graphene composites with magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles, *Carbon* 82, 67 –76.
- Chinnasamy, C.N., Senoue, M., Jeyadevan, B., Perez, O., Shinoda, K. ve Tohji, K. 2003. Synthesis of size-controlled cobalt ferrite particles with high coercivity and squareness ratio. *Journal of Colloid and Interface Science*, 263: 80–83.



- Cornell, R.M. ve Schwertmann, U. 1996. The iron oxides: Structure, properties, reactions, occurrences and uses. Weinheim: VCH Verlag. pp. 570.
- Dagli, S. 2011. Electromagnetic radiation shielding paints. *Specialised Coatings*, 45-49.
- Fan, Y., Zhang, L., Volski, V., Vandenbosch, G.A.E., Blanpain, B. ve Guo, M. 2017. Utilization of Stainless-steel Furnace Dust as an Admixture for Synthesis of Cement-based Electromagnetic Interference Shielding Composites, *Scientific Reports*, 7:15368., 1-8
- Frolova, L.A. ve Derhachov, M.P. 2017. The effect of contact non-equilibrium plasma on structural and magnetic properties of  $MnXFe_3 - XO_4$  spinels. *Nanoscale Research Letters*, 12: 505-513.
- Gana, W., Liua, Y., Gaoa, L., Zhanb, X. ve Lia, J. 2015. Growth of  $CoFe_2O_4$  particles on wood template using controlled hydrothermal method at low temperature. *Ceramics International*, 41(10): 14876-14885.
- Geetha, S., Kumar, K.K.S., Rao, C.R.K., Vijayan, M. ve Trivedi, D.C. 2009. EMI shielding: methods and materials-A review, *J. Appl. Polym. Sci.* 112: 2073-2086.
- Ghandoor, H.E., Zidan, H.M., Khalil, M.M.H. ve Ismail, M.I.M., 2012. Synthesis and Some Physical Properties of Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) Nanoparticles, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7, 5734 – 5745.
- Jin, X., Ni, Q., Fu, Y., Zhang, L. ve Natsuki, T. 2012. Electrospun Nanocomposite Polyacrylonitrile Fibers Containing Carbon Nanotubes and Cobalt Ferrite, *Polymer Composites*, 317-323.
- Kaya, A.İ. ve Çifçi, A. 2016. İletken Mineral Ve Odun Lifinden Oluşan Kompozit Malzemenin Elektromanyetik Ekranlama Performansı, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2147/345, 815-819.
- Kefeni, K.K., Msagati, T.A.M. ve Mamba, B.B. 2017. Ferrite nanoparticles: Synthesis, characterisation and applications in electronic device, *Materials Science and Engineering B*, 215: 37–55.
- Kumbhar, V.S., Jagadale, A.D., Shinde, N.M. ve Lokhande, C.D. 2012. Chemical synthesis of spinel cobalt ferrite ( $CoFe_2O_4$ ) nano-flakes for supercapacitor application, *Applied Surface Science* 259, 39– 43.
- Kong, D., Wang, N., Qiao, N., Wang, Q., Wang, Z., Zhou, Z. ve Ren, Z. 2017. Facile Preparation of Ion-Imprinted Chitosan Microspheres Enwrapping  $Fe_3O_4$  and Graphene Oxide by Inverse Suspension Cross-Linking for Highly Selective Removal of Copper(II), *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 5, 7401–7409.
- Lee, H.S., Choe, H.B., Baek, İ.Y., Singh, J.K. ve İsmail, M.A. 2017. Study on the Shielding Effectiveness of an Arc Thermal Metal Spraying Method against an Electromagnetic Pulse, *Materials*, 10, 1155, 1-14.
- Lee, C.Y., Song, H.G., Jang, K.S., Oh, E.J., Epstein, A.J. ve Joo J. 1999. Electromagnetic interference shielding efficiency of polyaniline mixtures and multilayer films, *Synthetic metals* 102, 1346-1349.

- Liu, Z., Wu, C., Niu, L., Yang, G., Wang, K., Pei, W. ve Wang Q. 2017. Post-treatment method for the synthesis of monodisperse binary FePt-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*, 12: 540-545.
- Liu, P., Huang, L. ve Zhang, X. 2015. Synthesis, characterization and excellent electromagnetic wave absorption properties of graphene@CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@polyaniline nanocomposites, *Synthetic Metals* 201, 76-81.
- Liu, Y., Song, D., Wu, C. ve Leng, J. 2014. EMI shielding performance of nanocomposites with MWCNTs, nanosized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Fe, *Composites: Part B* 63, 34-40.
- Lu, D., Mo, Z., Liang, B., Yang, L., He, Z., Zhu, H., Tang, Z. ve Gui, X. 2018. Flexible, lightweight carbon nanotube sponges and composites for high-performance electromagnetic interference shielding, *Carbon* 133, 457-463.
- Lv, S., Zhu, L., Li, L., Jia, C. ve Sun, S. 2017. The Adsorption Capacity of GONs/CMC/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetic Composite Microspheres and Applications for Purifying Dye Wastewater, *Materials*, 10, 58;1-12.
- Maaz, K., Mumtaza, A., Hasanaina, S.K. ve Ceylan, A. 2007. Synthesis and magnetic properties of cobalt ferrite (CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles prepared by wet chemical route, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 308, 289-295.
- Mei, H., Zhao, X., Xia, J., Wei, F., Han, D., Xiao, S. ve Cheng, L. 2018. Compacting CNT sponge to achieve larger electromagnetic interference shielding performance, *Materials and Design* 144, 323-330.
- Mei, H., Han, D., Xiao, S., Ji, T., Tang, J. ve Cheng, L. 2016. Improvement of the electromagnetic shielding properties of C/SiC composites by electrophoretic deposition of carbon nanotube on carbon fibers, *Carbon* 109, 149-153.
- Mostaani, F., Moghbeli, M.R. ve Karimian, H., 2018. Electrical conductivity, aging behavior, and Electromagnetic interference (EMI) shielding properties of polyaniline/ MWCNT nanocomposites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 31(10) 1393-1415.
- Naidu, K.C.B. ve Madhuri, W. 2017. Microwave processed bulk and nano NiMg ferrites: A comparative study on X-band electromagnetic interference shielding properties, *Materials Chemistry and Physics* 187, 164-176.
- Palamutçu, S. ve Dağ, N. 2009. Fonksiyonel Tekstiller I: Elektromanyetik Kalkanlama Amaçlı Tekstil Yüzeyleri, *Electronic Journal of Textile Technologies* Vol: 3, No: 1, 87-101.
- Ren, X. ve Xu, G. 2014. Electromagnetic and microwave absorbing properties of NiCoZn-ferrites doped with La<sup>3+</sup>. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 354: 44-48.
- Sagadevan, S., Podder, J. ve Das, I. 2017. Synthesis and Characterization of Cobalt Ferrite (CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) Nanoparticles Prepared by Hydrothermal Method, *Chapter - 5*, 145-152.

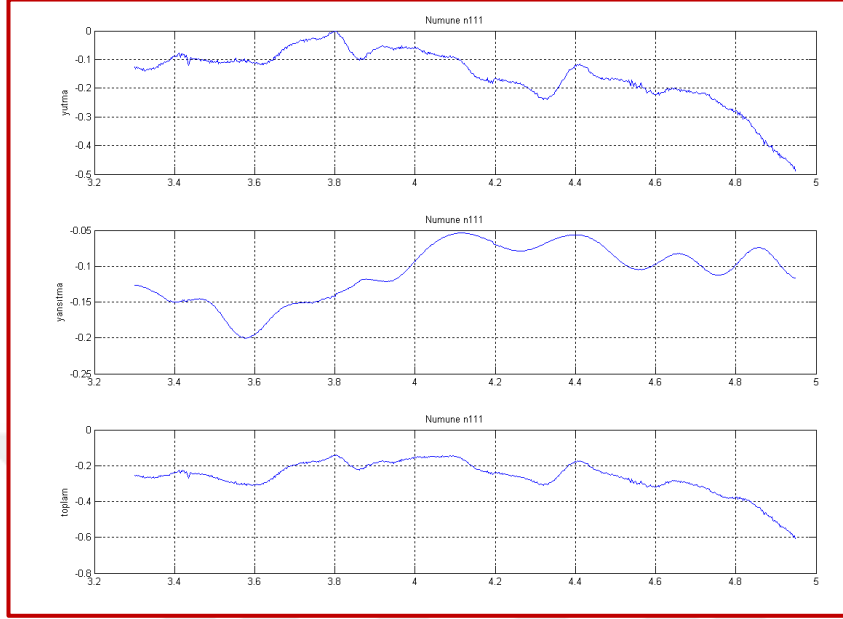
- Saini, P., Arora, M., Gupta, G., Gupta, B.K., Singha, V.N. ve Choudharyb, V. 2013. High permittivity polyaniline-barium titanate nanocomposites with excellent electromagnetic interference shielding responset, *Nanoscale*, 5, 4330-4336.
- Shokri, A., Shayestehb, S.F. ve Boustania, K. 2018. The role of Co ion substitution in SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel ferrite nanoparticles: Study of structural, vibrational, magnetic and optical properties, *Ceramics International* 44, 22092–22101.
- Smith, B. 1998. *Infrared Spectra Interpretation: A Systematic Approach*, CRC Press, New York.
- Taimoory, M.S., Trant, J.F., Rahdar, A., Aliahmad, M., Sadeghfar, F. ve Hashemzaei, M. 2017. Importance of the Inter-Electrode Distance for the Electrochemical Synthesis of Magnetite Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Computational Modelling, and Cytotoxicity, *Journal of Surface Science and Nanotechnology*, Vol. 15, 31-39,
- Tan, Y., Luo, H., Zhou, X., Peng, S. ve Zhang, H. 2018. Dependences of microstructure on electromagnetic interference shielding properties of nanolayered Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> ceramics, *Scientific Reports*, 8:7935,1-8.
- Topel, S.D., Topel, Ö., Bostancıoğlu, R.B. ve Kopalal, A.T. 2015. Synthesis and characterization of Bodipy fonctionalized magnetic iron oxide nanoparticles for potential bioimaging applications. *Colloid and Surfaces Biointerfaces*, 128: 245–253.
- Uwakweh, O.N.C., Moyet, R.P., Mas, R., Morales, C., Vargas, P., Silva, J., Rossa, A. ve López, N. 2010. Mössbauer spectroscopy study of the synthesis of SnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> by high energy ball milling (HEBM) of SnO and  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Journal of Physics: Conference Series* 217, 012087.
- Yalçın, O., Bayrakdar, H. ve Özüm, S. 2013. Spin-flop transition, magnetic and microwave absorption properties of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel type ferrite nanoparticles, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 343, 157–162.
- Yağmur, F., Bozbıyık, A. ve Hancı, H. 2003. Elektromanyetik dalgaların insan biyokimyası üzerinde etkileri. *STED Dergisi*, 8: 296-297.
- Yılmaz, R. 2014. Elektromanyetik kalkanlama özelliği olan malzemeler, *Electronic Journal of Vocational Colleges-May*, 136-150.
- Zhou, E., Xi, J., Guo, Y., Liu, Y., Xu, Z., Peng, L., Gao, W., Ying, J., Chen, Z. ve Gao, C. 2018. Synergistic effect of graphene and carbon nanotube for high-performance electromagnetic interference shielding films, *Carbon* 133, 316-322.
- Zhang, N., Huang, Y., Zong, M., Ding, X., Li, S. ve Wang, M. 2017. Synthesis of ZnS quantum dots and CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles co-loaded with graphene nanosheets as an efficient broad band EM wave absorber, *Chemical Engineering Journal* 308, 214–221.

Zhang, N., Huang, Y., Zong, M., Ding, X., Li, S. ve Wang, M. 2016. Synthesis of core-shell ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> hollow microspheres/reduced graphene oxides for a high-performance EM wave absorber. *Ceramics International* 42: 18879–18886.

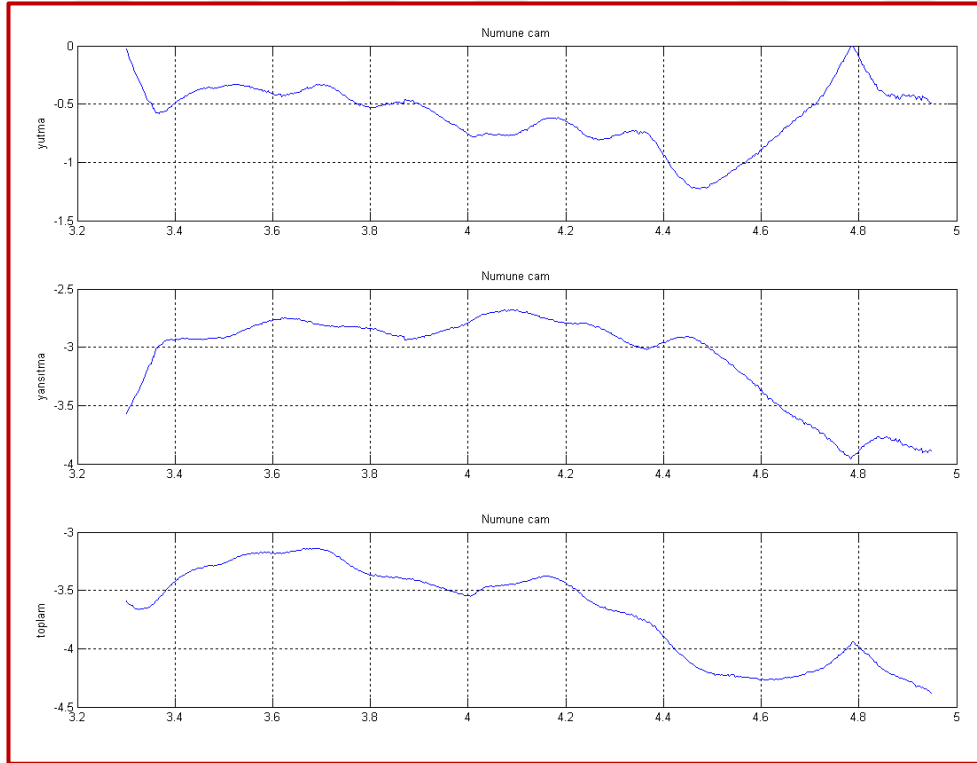


## 7. EKLER

### Ek-1. Cam yüzeyde Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Boya karışımının EM kalkanlaması



### Ek-2. Boş cam yüzeyin EM kalkanlaması



## ÖZGEÇMİŞ

**GÜLAY DEMİRCİ**  
**gdemirci7@gmail.com**



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2016-Devam Ediyor	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 1995-1999	Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Antalya

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Kimya Öğretmeni 2010-Devam Ediyor	TED Antalya Koleji, Antalya
Kimya Öğretmeni 1999-2010	Zafer Dershanesi Yorum Dershanesi Antalya