

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BaTiO<sub>3</sub>, Ni<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>,  
Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> VE Cu<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ÖRNEKLERİNİN  
ELEKTROMANYETİK SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Harun BAYRAKDAR**

**Anabilim Dalı: Fizik**

**Danışman: Doç. Dr. Erdoğan TARCAN**

**İkinci Danışman: Doç. Dr. Kadir ESMER**

**KOCAELİ, 2011**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BaTiO<sub>3</sub>, Ni<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>,  
Cu<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve Cu<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ÖRNEKLERİNİN ELEKTROMANYETİK  
SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Harun BAYRAKDAR**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 13 Aralık 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Ocak 2011**

**Tez Danışmanı**

**Doç. Dr. Erdoğan**

**TARCAN**

(.....)

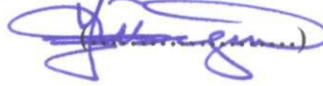


**Üye**

**Prof. Dr. H. Yüksel**

**GÜNEY**

(.....)



**Üye**

**Prof. Dr. Engin**

**BAŞARAN**

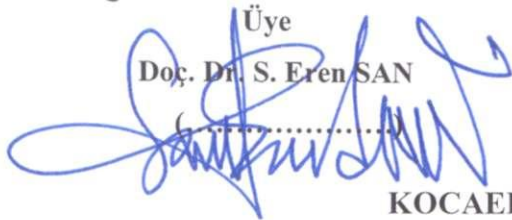
(.....)



**Üye**

**Doç. Dr. S. Eren SAN**

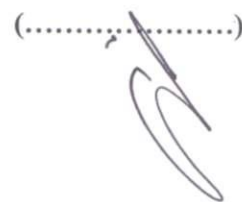
(.....)



**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Ersel ÖZKAZANÇ**

(.....)



**KOCAELİ, 2011**

**KOCAELİ, 2011**

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, sol-jel / yüzey aktif madde destekli hidrotermal yöntemi ile elde edilmiş olan  $BaTiO_3$ ,  $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xNi_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xCo_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ , ( $0 \leq x \leq 1$ ) nanometalik tozların yapısal özellikleri için X-ray analizleri Bruker D8 Advance Diffractometer aleti ile yapıldı. Nanotozların boyutları Malvern Instruments Zeta Sizer Nano-ZS ile ölçüldü. Bu nano boyutlu tozlar parafin ve akrilenmiş epoksi ile polimer kompozit malzemeler oluşturuldu. Oluşturulan bu malzemelerin elektromanyetik özellikleri 8.5- 15 GHz frekans bandı aralığında Agilent 8364B PNA Vector Network Analyzer. incelendi. Alınan ve elde edilen sonuçlara göre bu malzemelerin ölçülen frekans bölgesinde oldukça yüksek soğurma değerine sahip oldukları görüldü.

Bu tez çalışmamda benden bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocalarım Doç. Dr. Kadir ESMER ve Doç. Dr. Erdoğan TARCAN' a çok teşekkür ederim.

Aynı şekilde hiç bir zaman desteklerini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Bekir AKTAŞ' a sonsuz teşekkürler ederim.

Numuneleri hazırlayıp veren Bahçeşehir Üniversitesinden Doç. Dr. Lütfi ARDA, İnönü Üniversitesinden Araş. Gör. Sema VURAL ve örnekler için benden yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Arş. Gör. Nurcan DOĞAN ve Ahmet TEBER'e teşekkür ederim.

Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi Doktora Tezi Destekleme Programına, Doktora tezime yapmış oldukları maddi yardımlar için çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, maddi manevi olarak beni teşvik eden, annem Gönül BAYRAKDAR, babam Hurşit BAYRAKDAR, değerli eşim Sümeyra BAYRAKDAR ve kızım Ebrar BAYRAKDAR' a çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER.....	ix
ÖZET.....	x
İNGİLİZCE ÖZET.....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER.....	4
BÖLÜM 3. MALZEME ve YÖNTEM.....	10
3.1. Maddenin Manyetik Özellikleri.....	10
3.2. Elektromanyetik Dalga Soğurma Ölçüm Teknikleri.....	15
3.2.1. İletim yolu metodu.....	16
3.2.1.1. Dalga kılavuzu.....	17
3.2.1.2. TEM, TE ve TM dalga salınım modları.....	18
3.2.1.3. Dikdörtgen tipli dalga kılavuz.....	18
3.2.1.3.1. Dalga kılavuz içinde TE <sup>Z</sup> modu.....	19
3.2.1.3.2. Dalga kılavuz içinde TM <sup>Z</sup> modu.....	24
3.2.2. Boş uzay metodu.....	26
3.2.2.1. Uzak alan gereksinimi.....	27
3.2.2.2. Numune boyutu.....	27
3.3. Kayıp Mekanizması.....	28
3.4. Saçılma Parametresi (S-Parameter).....	34
3.5. Nicolson-Ross-Weir (NRW) Algoritması.....	36
BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1. Nanomanyetik Tozların Sentezlenmesi.....	39
4.2. Nanotozların Boyutlarının Ölçümü.....	40
4.3. Nanotozların XRD Analizleri.....	41
4.4. Manyetizasyon Ölçümleri.....	44
4.4.1. Co <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları.....	45
4.4.2. Mn <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları.....	47
4.4.3. Ni <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları.....	49
4.4.4. Cu <sub>x</sub> Co <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları.....	51
4.4.5. Cu <sub>x</sub> Mn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları.....	53
4.4.6. Cu <sub>x</sub> Ni <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları.....	55
4.5. Polimer Kompozit Oluşturma.....	58
4.5.1. Nanotozların parafin ile kompozit oluşturma.....	58
4.5.2. Nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturma.....	59
4.6. Elektromanyetik Dalga Soğurma Ölçümleri.....	59
4.6.1. Nanotozlar ve parafin ile kompozit oluşturulan örneklerin ölçüm sonuçları....	60
4.6.2. Nanotozlar ve akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturulan örneklerin ölçüm sonuçları.....	88

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	116
KAYNAKLAR.....	120
ÖZGEÇMİŞ .....	127

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Spinel yapıların gösterimi .....	7
Şekil 2.2: BaTiO <sub>3</sub> XRD sonucu.....	8
Şekil 2.3: BaTiO <sub>3</sub> yapısının gösterimi.....	8
Şekil 3.1: İçi boş bir toroid sargısı .....	10
Şekil 3.2: Sıcaklığa bağlı manyetizasyon eğrisi.....	14
Şekil 3.3: Dikdörtgen tipli dalga kılavuz .....	17
Şekil 3.4: TE <sub>10</sub> modlu dikdörtgen dalga kılavuzu duvarlarında alan dağılımı (kesikli çizgiler manyetik alanı düz çizgiler elektrik alanı gösterir) .....	18
Şekil 3.5: Düzlem yüzeyde yansıma ve iletim .....	29
Şekil 3.6: S parametreleri katsayıları tanımı .....	34
Şekil 4.1: Co <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanotozların XRD ölçüm sonuçları .....	41
Şekil 4.2: Mn <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanotozların XRD ölçüm sonuçları .....	41
Şekil 4.3: Ni <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanotozların XRD ölçüm sonuçları.....	42
Şekil 4.4: Cu <sub>x</sub> Co <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanotozların XRD ölçüm sonuçları .....	42
Şekil 4.5: Cu <sub>x</sub> Mn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanotozların XRD ölçüm sonuçları .....	43
Şekil 4.6: Cu <sub>x</sub> Ni <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanotozların XRD ölçüm sonuçları.....	43
Şekil 4.7: BaTiO <sub>3</sub> nanotozların XRD ölçüm sonuçları .....	44
Şekil 4.8: Co <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0 için VSM ölçüm sonuçları. ....	45
Şekil 4.9: Co <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0.5 için VSM ölçüm sonuçları. ....	46
Şekil 4.10: Co <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=1 için VSM ölçüm sonuçları. ....	46
Şekil 4.11: Mn <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0 için VSM ölçüm sonuçları. ....	47
Şekil 4.12: Mn <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0.6 için VSM ölçüm sonuçları .....	48
Şekil 4.13: Mn <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=1 için VSM ölçüm sonuçları. ....	48
Şekil 4.14: Ni <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0 için VSM ölçüm sonuçları. ....	49
Şekil 4.15: Ni <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0.5 için VSM ölçüm sonuçları. ....	50
Şekil 4.16: Ni <sub>x</sub> Zn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=1 için VSM ölçüm sonuçları. ....	50
Şekil 4.17: Cu <sub>x</sub> Co <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0 için VSM ölçüm sonuçları. ....	51
Şekil 4.18: Cu <sub>x</sub> Co <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0.6 için VSM ölçüm sonuçları. ....	52
Şekil 4.19: Cu <sub>x</sub> Co <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=1 için VSM ölçüm sonuçları. ....	52
Şekil 4.20: Cu <sub>x</sub> Mn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0 için VSM ölçüm sonuçları. ....	53
Şekil 4.21: Cu <sub>x</sub> Mn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0.6 için VSM ölçüm sonuçları.....	54
Şekil 4.22: Cu <sub>x</sub> Mn <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=1 için VSM ölçüm sonuçları .....	54
Şekil 4.23: Cu <sub>x</sub> Ni <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0 için VSM ölçüm sonuçları. ....	55
Şekil 4.24: Cu <sub>x</sub> Ni <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=0.6 için VSM ölçüm sonuçları. ....	56
Şekil 4.25: Cu <sub>x</sub> Ni <sub>1-x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x=1 için VSM ölçüm sonuçları.....	56
Şekil 4.26: Özel olarak imal edilmiş numune tutturucu .....	58
Şekil 4.27: Akriilenmiş epoksinin moleküler yapısı .....	59
Şekil 4.28: BaTiO <sub>3</sub> nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	61
Şekil 4.29: Co <sub>0.4</sub> Zn <sub>0.6</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	63
Şekil 4.30: Co <sub>0.5</sub> Zn <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak	

hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	65
Şekil 4.31: $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	68
Şekil 4.32: $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	71
Şekil 4.33: $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	73
Şekil 4.34: $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	75
Şekil 4.35: $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	77
Şekil 4.36: $\text{Mn}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	79
Şekil 4.37: $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	80
Şekil 4.38: $\text{Ni}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	82
Şekil 4.39: $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	84
Şekil 4.40: $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	85
Şekil 4.41: $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	87
Şekil 4.42: $\text{BaTiO}_3$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	90
Şekil 4.43: $\text{Co}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	92
Şekil 4.44: $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	94
Şekil 4.45: $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	96
Şekil 4.46: $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	98
Şekil 4.47: $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	100
Şekil 4.48: $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	102
Şekil 4.49: $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	104
Şekil 4.50: $\text{Mn}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	105
Şekil 4.51: $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	106
Şekil 4.52: $\text{Ni}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	108
Şekil 4.53: $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	110
Şekil 4.54: $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.....	111

Şekil 4.55: ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması..... 113



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1: Ölçüm teknikleri .....	16
Tablo 4.1: Nanotozların boyutları .....	40
Tablo 4.2: $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ oda sıcaklığında manyetik moment değerleri .....	45
Tablo 4.3: $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	45
Tablo 4.4: $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0.5$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	45
Tablo 4.5: $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=1$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	46
Tablo 4.6: $\text{Mn}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ oda sıcaklığında manyetik moment değerleri .....	47
Tablo 4.7: $\text{Mn}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	47
Tablo 4.8: $\text{Mn}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0.6$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	47
Tablo 4.9: $\text{Mn}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=1$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	48
Tablo 4.10: $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ oda sıcaklığında manyetik moment ölçüm değerleri .....	49
Tablo 4.11: $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	49
Tablo 4.12: $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0.5$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	49
Tablo 4.13: $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=1$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	50
Tablo 4.14: $\text{Co}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ oda sıcaklığında manyetik moment ölçüm değerleri .....	51
Tablo 4.15: $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	51
Tablo 4.16: $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0.6$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	51
Tablo 4.17: $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=1$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	52
Tablo 4.18: $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ oda sıcaklığında manyetik moment ölçüm değerleri .....	53
Tablo 4.19: $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	53
Tablo 4.20: $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0.6$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	53
Tablo 4.21: $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=1$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	54
Tablo 4.22: $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ oda sıcaklığında manyetik moment ölçüm değerleri .....	55
Tablo 4.23: $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	55
Tablo 4.24: $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=0.6$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	55
Tablo 4.25: $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ $x=1$ için $H_c$ ölçüm değerleri .....	56
Tablo 4.26: $\text{BaTiO}_3$ ve parafin için S parametreleri .....	60
Tablo 4.27: $\text{Co}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	61
Tablo 4.28: $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	63
Tablo 4.29: $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	65
Tablo 4.30: $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	68
Tablo 4.31: $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	71
Tablo 4.32: $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	73
Tablo 4.33: $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	75
Tablo 4.34: $\text{Mn}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	77
Tablo 4.35: $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	79
Tablo 4.36: $\text{Ni}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	80
Tablo 4.37: $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	82
Tablo 4.38: $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	84
Tablo 4.39: $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ve parafin için S parametreleri .....	85
Tablo 4.40: Nanotoz ve parafin kompozitlerin soğurma değerleri ve frekansları .....	87
Tablo 4.41: $\text{BaTiO}_3$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri .....	88

Tablo 4.42: $\text{Co}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	90
Tablo 4.43: $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	92
Tablo 4.44: $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	94
Tablo 4.45: $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	96
Tablo 4.46: $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	98
Tablo 4.47: $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	100
Tablo 4.48: $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	102
Tablo 4.49: $\text{Mn}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	104
Tablo 4.50: $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	105
Tablo 4.51: $\text{Ni}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	107
Tablo 4.52: $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	108
Tablo 4.53: $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	110
Tablo 4.54: $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.....	112
Tablo 4.55: Nanotoz ve akrilenmiş epoksi polimer-kompozitlerin soğurma değerleri ve frekansları.....	113

## SİMGELER

$\epsilon_r$	: Kompleks permitivite
$\epsilon_r'$	: Permitivite nin reel kısmı
$\epsilon_r''$	: Permitivite nin imajner kısmı
$\mu_r$	: Kompleks permeabilite
$\mu_r'$	: Permeabilite nin reel kısmı
$\mu_r''$	: Permeabilite nin imajner kısmı
$\chi$	: Manyetik duyarlılık
$H_c$	: Manyetik coercivity
$K_{eff}$	: Etkin anizotropi
$K_1$ and $K_2$	: Anizotropi enerji sabiti
$\beta$	: Faz sabiti
$\beta_c$	: Kritik faz sabiti
$A_{mn}$	: Manyetik alan şiddetinin genliği
$f_c$	: Kritik frekans
$B_{mn}$	: Elektrik alan şiddetinin genliği
$M_S$	: Doyum manyetizasyonu
$\lambda$	: Elektromanyetik dalğanın dalga boyu
$\eta$	: Kırılma indisi
$Z_0$	: Serbest ortam empedansı
$Z$	: Ortamın empedansı
$\Gamma$	: Yansımaya katsayısı
$Z_{Giriş}$	: Normalize edilmiş giriş empedansı
$RL(dB)$	: Yansımaya katsayısı kaybı şiddeti

**BaTiO<sub>3</sub>, Ni<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>,  
Cu<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> VE Cu<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ÖRNEKLERİNİN ELEKTROMANYETİK  
SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Harun BAYRAKDAR**

**Anahtar Kelimeler:** Ferritler, BaTiO<sub>3</sub>, Elektromanyetik Soğurucu, Parafin, Akrillenmiş Epoksi, Polimer, Nanotozlar.

**Özet:** Son yıllarda elektromanyetik soğurucu malzemeler, sahip oldukları uygulama alanlarından dolayı büyük ilgi görmektedirler. Elektromanyetik dalgayı ısıya çevirebilme özelliğine sahip olan ve elektromanyetik dalga soğurucu manyetik malzemeler olarak kullanılan ferritler çok geniş alanlarda kullanılmaktadırlar. Sol-jel ve yüzey aktif madde destekli hidrotermal sentez yöntemi ile elde edilmiş olan BaTiO<sub>3</sub>, Ni<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ( $0 \leq x \leq 1$ ) nanometalik tozların yapısal özellikleri için XRD analizleri yapıldı. BaTiO<sub>3</sub> ın tetragonal yapıda ve diğer nanometalik tozların da spinel yapıda oldukları görüldü. XRD sonuçlarından tüm numunelerin kristal yapıda oldukları ve boyutlarının 35-100 nm arasında değiştiği yapılan ölçümlerle belirlendi. Nanotozlar, parafin ve akrillenmiş epoksi ile 80<sup>0</sup>C deki fırında belirli süre sentezlenerek polimer nanokompozit numuneler oluşturuldu. Tüm numuneler, belirli geometriye sahip özel geliştirilmiş numune kaplarında belirli süre oda sıcaklığında bekletilerek, öngörülen geometrik boyutlarda elde edildi. Elde edilen bu yeni nesil polimer nanokompozit malzemelerin elektromanyetik dalga soğurma özellikleri, 8.5-15 GHz frekans bandı aralığında incelendi. Ölçümlerde iletim / yansıma hat ölçüm tekniği kullanıldı. Yansıma (reflection) ve iletim (transmission) katsayıları için S<sub>11</sub> ve S<sub>21</sub> değerleri ölçüldü. Soğurma katsayıları hem parafin hem de akrillenmiş epoksi ile oluşturulan tüm polimer nanokompozit numuneler için ayrı ayrı hesaplama yoluyla belirlendi. Yansıma kaybı (RL, dB), 8.5-15 GHz frekans bandı aralığında -20 dB den daha düşük değerlerde kaydedildi. Ölçülen ve elde edilen sonuçlar tüm numunelerin, geniş frekans bandı aralığında yüksek elektromanyetik radyasyon soğurduklarını gösterdi.

**INVESTIGATION OF THE ELECTROMAGNETIC ABSORPTION  
PROPERTIES OF BaTiO<sub>3</sub>, Ni<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>,  
Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> AND Cu<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> SAMPLES**

**Harun BAYRAKDAR**

**Keywords:** Ferrites, BaTiO<sub>3</sub>, Electromagnetic Absorber, Paraffin, Acrylated Epoxy, Polymer, Nanopowders

**Abstract:** In recent years, there has been a great interest in electromagnetic absorbing materials due to their potential applications. Ferrites, magnetic materials which absorb electromagnetic waves by transforming their energy to heat, are used in various areas. The crystal structure of nanometallic powders of BaTiO<sub>3</sub>, Ni<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Cu<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ( $0 \leq x \leq 1$ ) prepared by sol-gel and surfactant assisted hydrothermal synthesis method were analyzed by X-ray diffraction spectroscopy (XRD). It was observed that BaTiO<sub>3</sub> had tetragonal structure and the other nanometallic powders had spinel cubic structure. It was determined from the XRD results that all the samples had the crystalline ordering and the nanoparticle sizes were between 35 to 100 nm. These nanopowders with paraffin and acrylated epoxy were used to synthesize nanocomposite polymer samples in an 80<sup>0</sup>C oven. Samples with desired geometry and sizes were obtained by leaving them in containers with certain geometries at room temperature for a specific time. These new generation polymer nanocomposite materials were investigated by dielectric measurements in the range of 8.5-15 GHz band-width and the electromagnetic wave absorbing properties were determined. The transmission/reflection method was used in the measurements. The reflection factor ( $S_{11}$ ) and the transmission factor ( $S_{21}$ ) were measured for reflection and transmission coefficient. The absorption constants for both paraffin and all of the nanocomposite polymer samples prepared by acrylated epoxy method were calculated separately. The reflection loss (RL, dB) were recorded at 8.5-15 GHz frequency range for the values smaller than -20 dB. The measured and calculated results indicate that all of the samples exhibit a strong electromagnetic wave absorption in a wide frequency range.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda, bilimsel, endüstriyel ve tıbbi yönden önem taşıyan pek çok nano yapının manyetik ve elektrik özellikleri üzerine kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır [1-5]. Bu çalışmalara paralel olarak birçok yeni manyetik malzemeler üretilmeye ve endüstride kullanılmaya başlanılmıştır [6]. Nanoteknoloji ile nano ölçekteki olayların değerlendirilip, benzerlerinin geliştirilerek uygulanmasıyla bilimde yeni ufuklar açılmaktadır. Optik, manyetik, termal, elektrik, mekanik özellikleri bakımından nano ölçekteki parçacıklar mikron büyüklüğündeki parçacıklardan oldukça avantajlıdır [7-11]. Bu avantajlar sırasıyla, enerji, çevresel biyoloji, katalizörler, sensörler, elektromanyetik parazitlenme problemi gibi farklı alanlar [8,9], görüntüleme [9], manyetik kayıt [10], manyetik soğutucu [11] ve manyetik yazıcı [12] şeklinde sıralanabilir.

Nanoteknolojinin amaçları doğrultusunda geliştirilen ve önemli gelişmelere pencere açan diğer bir yapı da nanokompozitlerdir. Nanokompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların dağılması ile oluşurlar. Nanokompozit yapılarında matris olarak polimerler, seramikler, metaller ya da kiler kullanılmaktadır. Nanokompozitler genellikle inorganik partiküller (nano boyuttaki dolgu maddeleri) ile güçlendirilmiş polimer matrislerden elde edilerek, çoğunlukla değişik şekil ve büyüklüklerdeki metalik ve/veya manyetik partikül dolgulu dielektrik yapılarıdır [13,14].

Teknolojinin her geçen gün hızlı ilerlemesine bağlı olarak, sanayide yüksek frekanslarda çalışan elektronik cihazların daha yoğun kullanımı gerekmektedir. Yoğun kullanımla birlikte, bu tür cihazların çevreye büyük oranda elektromanyetik gürültü ve sinyal yaymaları kaçınılmazdır. Etrafa yayılan yüksek frekanslı radyasyon, hem insan sağlığına hem de diğer cihazların hassasiyetlerine zarar vermektedir. Bu zararları minimuma indirmek için, ortama yayılan elektromanyetik radyasyonun (EMR) ekranlanması, soğurulması ve parazitlenmelerin giderilmesine

yönelik yeni malzemeler geliştirilmektedir [14-18]. Bu anlamda, son yıllarda polimer-nanotoz kompozitler, birçok araştırmacı tarafından incelenmekte olup, önemli sonuçlar elde edilmektedir [16-22]. Bu yeni nesil kompozit malzemeler; optik, elektronik, mekanik, enerji, fonksiyonel akıllı kaplama, yakıt ve güneş pilleri, katalizörler, elektromanyetik parazitlenme ve soğurucu malzeme gibi farklı birçok alanda da umut verici uygulamalara kapı açmaktadırlar [23,24].

Bu tez çalışması, bu amaca yönelik bazı nano boyutlardaki malzemelerin farklı yapılandırılmasıyla yeni nesil kompleks kompozitler ve polimer kompozit yapıların elde edilmesi ve uygulamaya kazandırılmasını içermektedir.

Tez çalışması doğrultusunda, nano parçacıklı ferriteler ( $Mn/Zn/Ni/Co/CuFe_2O_4$  gibi) ve baryum titanat ( $BaTiO_3$ ), değişik sentezleme yöntemleri ile elde edilmiştir. Elde edilen nano boyuttaki tozların yapısal analizleri ve kristal yapıları XRD yöntemi ile yapılmıştır. Bu nanotozların boyutları ölçülerek, farklı oranlarda ayrı ayrı parafin ve akrilenmiş epoksi ile farklı sentezleme işlemi tabii tutularak, polimer-nanometalik kompozitler üretilmiştir. Üretilen bu farklı nano ölçekteki polimer-kompozitler elektromanyetik soğurma özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir.

Bu tez çalışması, kısaca aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır.

2. Bölümde, Genel Bilgiler başlığı altında, tez konusu ile ilgili bugüne kadar yapılmış literatür çalışmaları incelenmiş, kullanılan örneklerin genel tanımlamaları yapılmış ve kısaca elektromanyetik soğurucular için gerekli bilgiler verilmiştir.

3. Bölümde, Malzeme ve Yöntem başlığı altında, tez çalışmasında kullanılan deneysel yöntemler, deney aletleri, malzemeler, teoriler vb. bilgiler verilmiştir. Elektromanyetik soğurma ölçüm teknikleri, kayıp mekanizması, dalga kılavuzu, salınım modları ve bu elektromanyetik dalga modlarının dalga kılavuzu içindeki yayılımı, saçılma parametresi (S-parameter), Nicolson-Ross-Weir (NRW) algoritması, yine bu bölümde ayrıntılı bir biçimde verilmiştir.

4. Bölümde, Deneysel Sonuçlar ve Tartışma başlığı altında, nanomanyetik tozların sentez yöntemleri, nanotozların boyutları, nanotozların XRD analizleri, nanomanyetik tozların manyetizasyon ölçümleri, kompozit ve polimer oluşturma yöntemleri bu bölümde verilmiştir. Aynı zamanda, elektromanyetik soğurma ölçümlerine bağlı bulgular sırasıyla grafikler ve tablolar halinde verilmiştir. Elde edilen bulguların değerlendirilmesine yönelik kısa yorumlar yapılmıştır.

5. Bölümde, Sonuçlar ve Öneriler başlığı altında, tez çalışmasında elde edilen tüm sonuçlar özetlenmiş ve mevcut literatür bilgisi ile karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Bu tür elektromanyetik soğurucu malzemelerin, soğurma frekans aralığının artırılması için, deneysel sisteminde geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.



## BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

Giriş bölümünde değinilen elektromanyetik radyasyona bağlı ortaya çıkan gürültü, kaçak sinyaller ve zararların minimuma indirilebilmesi için, elektromanyetik soğurucu malzemelerin geliştirilmesi en temel problemlerden birisidir. Modern elektromanyetik soğurma için, en basit metalik malzemelerin değişik yapılarından kompleks kompozit veya polimerik yapılara kadar birçok değişik malzeme kullanılmaktadır [2]. Elektromanyetik dalga için kompozit malzemeler çoğunlukla değişik şekil ve büyüklüklerdeki metalik ve/veya manyetik partikül dolgulu dielektrik yapılardır. Ferromanyetik malzemeler, ferritler, ferroelektrikler, metal ve iletken karbon partikül veya filmler mevcut halleri ile rezonans etkisine dayandıklarından sınırlı frekans bölgelerinde etkindirler [9]. Kompozitler toz metalürjisi, sinterleme ve polimerizasyon, elektroless (otocatalitic) ve benzeri tekniklerle üretilirler.

Günümüzde kullanılan elektromanyetik soğuruculardan tamamen dielektrik olanları bulunduğu gibi, manyetik olanları da bulunmaktadır. Bu iki malzemenin tek, çift ve çok katmanlı olarak dizaynı ile farklı frekanslarda kullanılacak elektromanyetik soğurucular yapmak mümkündür fakat yeterince geniş bir frekans aralığına sahip değillerdir [25].

Elektromanyetik dalganın elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerinin malzeme içinde, kompleks permitivite ( $\epsilon_r = \epsilon_r' + i\epsilon_r''$ ) ve permeabilite ( $\mu_r = \mu_r' + \mu_r''$ ) leri malzemenin dielektrik ve manyetik özelliklerini temsil ederler. Kompleks permitivite ve permeabilitenin reel kısmı; malzemenin elektrik ve manyetik enerjiyi depolama kabiliyetini sembolize eder, imajner kısımları ise; malzemenin elektrik ve manyetik enerjinin kaybını temsil eder. Elektromanyetik dalda soğurucular için kompleks permitivite ve permeabilitenin imajner kısımlarıyla ilgilidir [26,27].

Yalnızca dielektrik soğurucu kullanıldığında, kaplama kalınlığının  $\lambda/\sqrt{\epsilon_r}$  olması gerekmektedir [28]. Dielektrik ile birlikte manyetik soğurucular kullanıldığında malzemenin kalınlığı  $\lambda/\sqrt{\epsilon_r\mu_r}$  ile orantılıdır [28]. Gözlemlendiği gibi soğurucu malzemenin kalınlığı, malzemenin hem permeabilitesine hem de permitivitesine bağlıdır.

Burada ise şöyle bir problem ortaya çıkmaktadır.  $\epsilon_r$  ne kadar küçük olursa, o kadar kalın bir kaplama kullanmak gerekmekte, kaplama kalınlığını azaltmak için  $\epsilon_r$  nin büyütülmek istenmesinde ise, hava ile kaplama arasındaki ara kesit yüzeyinden yansımalar çok artmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda,  $\epsilon_r = 10^3 - 10^4$  mertebesinde olan seramik ferroelektrik soğurucular elde edilmesine ve bu malzemenin çok ince bir kaplaması, soğurma işlemi için yeterli olmasına rağmen, empedans uyumsuzluğundan ötürü hava ile ara kesitinde meydana gelen kuvvetli yansımalar bu malzemenin tek başına kullanımını geçersiz kılmaktadır [29]. Bu yüzden bu malzemeler çok katmanlı yapılarda ve kompozitler şeklinde kullanılmalıdır [30,31].

Olabildiğince geniş frekans aralığında yeterli soğurmayı sağlayacak daha ince kaplamaların etkinliği ancak manyetik malzemelerin ve özellikle de ferritlerin kullanımı ile mümkün olabilir [31,32]. Bu yapılar manyetik tozların (demir ferrit) dielektrik malzeme ile karışımından yapılabilir. Farklı kombinasyondaki ferritler Fe ve Ni tozları manyetik malzeme olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeleri bir arada tutmak için reçine, plastik, kauçuk gibi birleştiriciler kullanılmaktadır. Soğurma bandını genişletmek için farklı manyetik malzemeler [33], kalınlığı azaltmak için ferroelektrik seramikler denenmiştir [31]. Bu manyeto-dielektrik yapıların,  $\lambda/\sqrt{\epsilon_r\mu_r}$  kalınlığındaki bir tabaka önemli oranda soğurma yapabilir. Hatta, bazı manyetik malzemelerin dielektrik matrisleri içerisine yerleştirilmesi ile 10 MHz- 100 GHz arasında soğurma etkinliğinin artabileceği iddia edilmiştir [34].

Farklı iletken yapıların (graphit, fulleren, metal, metal oksit, yarı iletkenler) farklı oranlarda, polimer matrisler içerisinde yerleştirilmesi ile  $\epsilon_r$  ve  $\epsilon_i$  değerleri amaçlar doğrultusunda değiştirilebilir. Bu nedenle, son zamanlarda fiberler de elektromanyetik soğurma çalışmalarının ilgi sahasına girmiştir. Örneğin SiC fiberleri kullanılarak 8–16 GHz aralığında çalışan bir elektromanyetik soğurucu önerilmiştir [35].

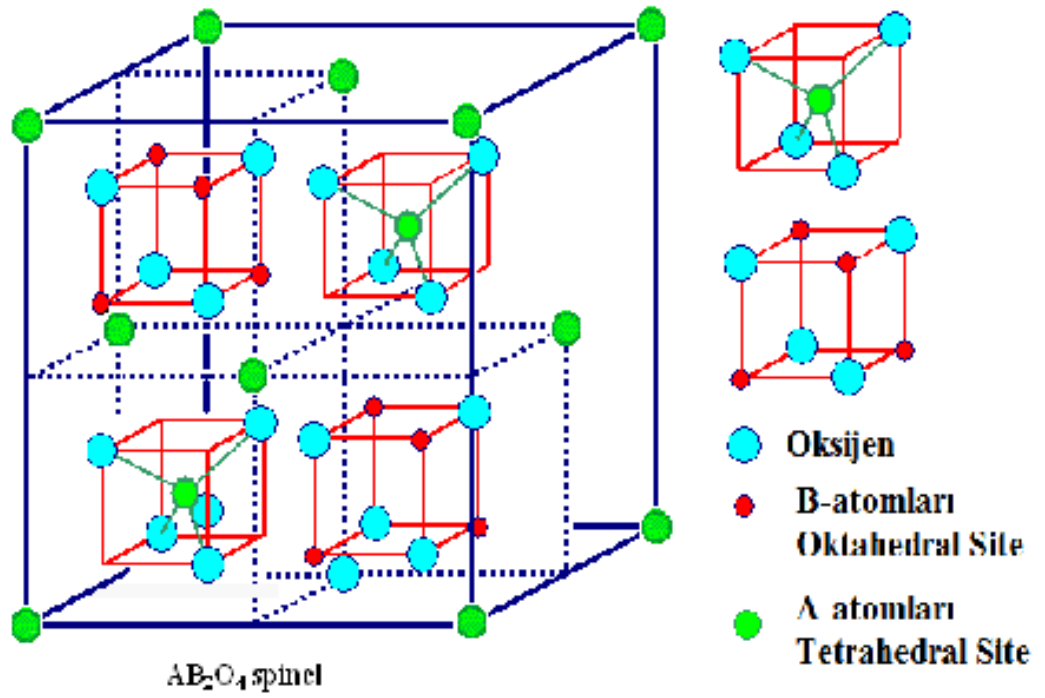
Birçok ferrit kompozisyonu farklı frekans aralıklarında soğurucu malzeme olarak tasarlanmıştır. Örneğin, Ni-Co-Zn-Si-Fe-O maddelerinden oluşan spineller 3 GHz civarında çalışmak üzere önerilmişlerdir [36]. Diğer taraftan  $MFe_2O_4$  (M= Mn,Co, Ni, Cu, Zn, Mg ve benzeri) olmak üzere soğurucu malzeme olarak önerilmişlerdir [35]. Bu malzemeler 0.5–12 GHz civarı için düşünülmüşlerdir. Bu yapılar parçacık boyutları 1.65–1.7 mm arasında olduğunda 0.5-1.5 GHz aralığındaki radyasyonları, 0.1 mm'den küçük parçacıklar ise 2.5-12 GHz arasındaki radyasyonları soğurmaktadır. Ferrit soğurucuların en büyük avantajı çok az bir kalınlıkta kaplama gerektirmeleridir. Diğer taraftan çalışma frekanslarının çok geniş olduğu söylenemez, bu yüzden farklı frekanslarda çalışan bir kaç farklı yapı sinterleme ile bir araya getirilmelidir [37].

Nanomanyetik malzemeler, sergiledikleri değişik fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerden ötürü, biomedikal, bilgisayar teknolojileri, manyet yapımı, elektronik, elektromanyetik ve benzeri birçok uygulama alanı bulmaktadırlar [38,39]. Dolayısıyla bu konuda çok yoğun araştırmalar süre gelmekte ve her geçen gün daha da yoğunlaşarak devam etmektedir.

Diğer yandan, daha geniş ölçekli üretimler için ferrit tozları ile bir polimer içerisinde akışkan bir karışım yapıp boyama tekniği ile ya da plakalar haline getirilip, soğurucu kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. [38,39].

Tez çalışmasında kullandığımız ferritler, spinel yapıdadırlar. Spinel, Neel tarafından, ferritlerin manyetizasyonunu anlatmak üzere ortaya atılmış bir kavramdır [40]. Bu tür malzemelerde manyetik iyonlar, A ve B atomları olmak üzere örgü noktasında konuşlanırlar. A atomları, örgü noktasındaki manyetik iyon yukarı spin yönelimine,

B atomları, örgü noktasındaki manyetik iyon aşağı spin yönelimine sahiptir. A ve B atomlarının örgü noktalarında konuşlanan manyetik iyonların sayıları ve manyetik momentleri farklı olduğundan net bir manyetizasyon oluşur [41]. Bu ferritler yukarıda da belirttiğimiz gibi çeşitli polimerlerle kompozit oluşturularak elektromanyetik soğurucular yapılmakta ve oldukça başarılı sonuçlar alınmaktadır [42-73]. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, spinel ferritlerin yapılarında

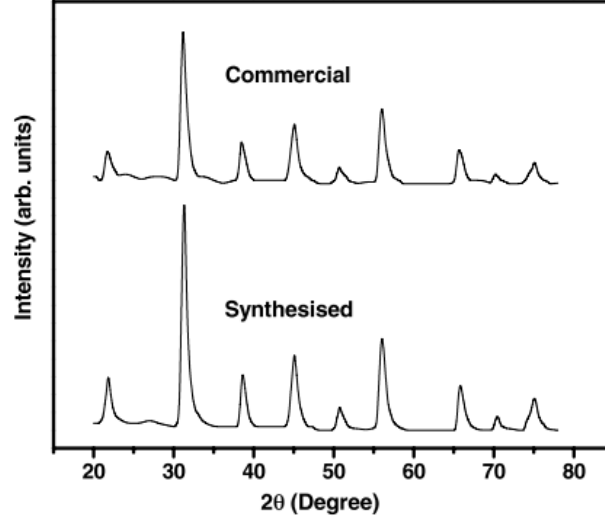


Şekil 2.1: Spinel yapıların gösterimi [61].

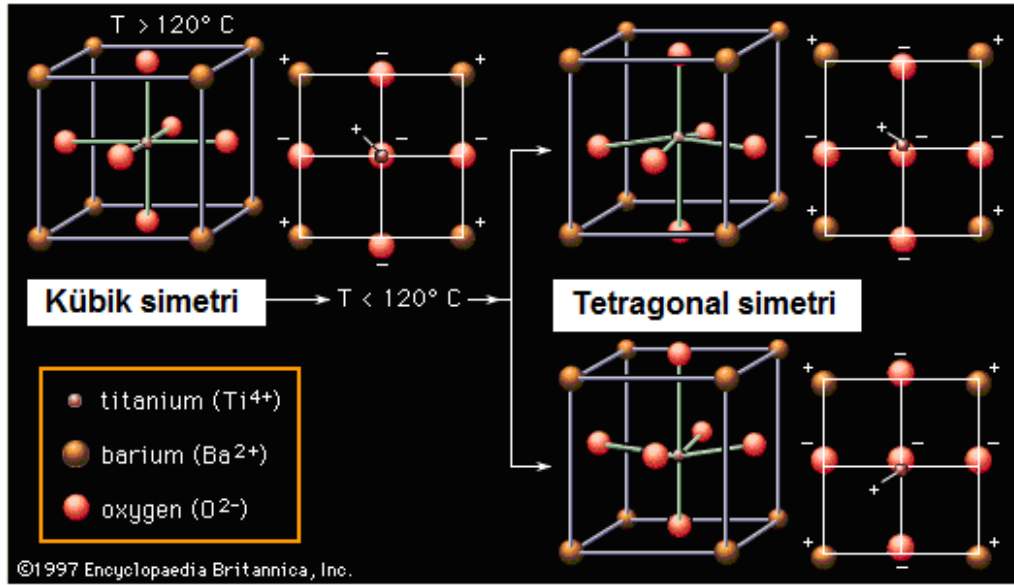
32 oksijen anyonu birim hücrede kapalı kübik yapıda köşelerde bulunurlar, 16 Fe<sup>+3</sup> iyonları ve 8 Fe<sup>+2</sup> iyonları toplam 24 metal katyonlarının 8 tanesi tetrahedral sitede ve 16 tanesi ise oktohedral sitede yer almaktadırlar [74,75].

Örgü yapılarının yansıma düzlemleri (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511), ve (440) dir [74,75].

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, kullandığımız BaTiO<sub>3</sub> tetragonal yapıdadırlar ve örgü yapılarının yansıma düzlemleri (100), (101), (111), (200), (210), (211), (202), ve (211) dir [61,62]. (JCPDS# 31-0174), [76,77].



Şekil 2.2: BaTiO<sub>3</sub> XRD sonucu [62].



Şekil 2.3: BaTiO<sub>3</sub> yapısının gösterimi.

Şekil 2.3’de gösterildiği gibi BaTiO<sub>3</sub> yapısal olarak, baryum iyonu 12 adet O iyonuyla çevrelenmiştir. Tüm O ve Ba atomlarının tek başlarına oluşturduğu yapı Yüzey Merkezli Kübik yapıdır ve O’ ler yüzey merkezlerinde yer almakta, baryum

atomları ise köşelere yerleşmiş durumdadır. Ti iyonu ise 6 O atomunun oluşturduğu oktahedral boşluğa yerleşir ve her iyonunu saran 6 O atomunun civarında minimum enerji pozisyonları olduğu varsayımı söz konusudur. Ti atomu rastgele olarak bu 6 mümkün minimum enerji bölgesinden birindedir. Bunu sonucu olarak ta bu tür yapı malzemeler doğal olarak polarize durumdadır. Aynı zamanda, Ti +4 değerlikte olduğu için polarizasyon derecesi yüksektir ve elektrik alan uygulandığında bu Ti iyonu o an bulunduğu rastgele pozisyondan düzenli bir pozisyona hareket eder. Böylece, yüksek kütle polarizasyonu ve yüksek dielektrik sabiti gözlenir.

## BÖLÜM 3. MALZEME VE YÖNTEM

### 3.1. Maddenin Manyetik Özellikleri

Bilindiği gibi maddeler, manyetik özellikleri bakımından manyetik alanda ki mıknatıslanmalarına göre paramanyetik, ferromanyetik ve diamanyetik olmak üzere üç kısımda toplanırlar [78-80].

Maddelerin mıknatıslanması, birim hacimdeki atomlara ait manyetik momentlerin uygulanan dış manyetik alanla aynı doğrultulu hale gelmeleri olarak tanımlanır [78-80].

Mıknatıslanmayı belirleyen  $M$  değerinin artması, ancak birim hacimdeki ( $N$  tane) tüm atomlara ait her birinin manyetik momenti  $\mu$  ile verilen toplam dipol momentlerinin alanla çakışması haline karşılık gelen  $M = \mu (N / V)$  değerine kadardır [78-80]. Mıknatıslanma vektörü olarak ta bilinen  $M$  niceliği, birim hacim başına manyetik momenti gösterir ve SI deki birimi  $A / m$  dir. Aynı zamanda, mıknatıslanma vektörünün şiddeti, birim hacimdeki maddenin toplam manyetik momentini verir [78-80].



Şekil 3.1: İçi boş bir toroid sargısı [80].

Bir maddenin toplam manyetik alanı, maddenin mıknatıslanmasına ve ona uygulanan dış alana bağlıdır. Şekil 3.1’de gösterilen içinden akım geçen içi boş bir toroid sargısının içinde akım tarafından oluşturulan manyetik alan  $\vec{B}_o$  olsun. Eğer bu sarm içi bölgeye manyetik bir çekirdek madde konursa ve bu çekirdek maddenin oluşturduğu manyetik alan da  $\vec{B}_m$  ise, bu kez oluşturulan toplam manyetik alan değeri  $\vec{B} = \vec{B}_o + \vec{B}_m$  olacaktır. Diğer taraftan  $\vec{M}$  mıknatıslanma vektörü cinsinden  $\vec{B}_m = \mu_0 \vec{M}$  olarak ifade edilir. Buna göre maddedeki toplam alan [78-80],

$$\vec{B} = \vec{B}_o + \vec{B}_m \quad (3.1)$$

dir.  $\vec{B}$  ‘yi veren tüm bağıntılarda boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısı  $\mu_0$ , I akım şiddeti ve akımın şekline bağlı geometrik çarpanlar bulunmaktadır. Bu bağıntıların  $\mu_0$  ‘a bölünmesiyle oluşan bağıntıya manyetik alan şiddeti denir ve bu alan  $\vec{H}$  sembolüyle gösterilir. Buna göre boşlukta yani manyetik maddelerin bulunmadığı bir ortam için veya bir bobin içinde bir çekirdek madde yoksa [78-80],

$$\vec{H} = \vec{B}_o / \mu_0 \quad (3.2)$$

Buradan içinde manyetik maddeden çekirdek bulunan bir kangalın oluşturduğu toplam manyetik alan akı yoğunluğu [78-80]

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (3.3)$$

bağıntısı elde edilir. SI birim sisteminde  $\vec{H}$  ve  $\vec{M}$  ’ in boyutları A/m dir [78-80].

Genellikle paramanyetik ve diamanyetik maddelerde ve maddelerin çoğunda  $\vec{M}$  mıknatıslanması,  $\vec{H}$  alan şiddetiyle orantılıdır. Buna göre bu tür maddelerde [78-80],

$$\vec{M} = \chi \vec{H} \quad (3.4)$$



bağımsız geçerli olur. Burada  $\chi$  niceliğine maddenin alınganlığı (duygunluk) denir ve boyutsuzdur. Paramanyetik maddelerde  $\chi$  pozitifir ve  $\vec{M}$  vektörüyle  $\vec{H}$  vektörü aynı yönlüdürler. Madde diamanyetik ise  $\chi$  negatifir ve  $\vec{M}$  ile  $\vec{H}$  ters yöndedirler [78-80].

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0(\vec{H} + \chi\vec{H}) = \mu_0(1 + \chi)\vec{H} \quad (3.5)$$

ve

$$\mu = \mu_0(1 + \chi) = \vec{B} / \vec{H} \quad (3.6)$$

olarak alınır [78-80],

$$\vec{B} = \mu\vec{H} \quad (3.7)$$

elde edilir.  $\mu$  sabitine maddenin geçirgenliği adı verilir. Maddelerin  $\mu$  geçirgenlikleri,  $\mu_0$  serbest uzayın geçirgenliği olmak üzere göre aşağıdaki gibi [78-80],

Paramanyetik maddelerde  $\mu > \mu_0$

Diamanyetik maddelerde  $\mu < \mu_0$

Ferromanyetik maddelerde  $\mu \gg \mu_0$

ayrılırlar. Paramanyetik ve diamanyetik maddeler için  $\chi$  çok küçük olduğundan bunların  $\mu$  değeri yaklaşık olarak  $\mu_0$ 'a eşittir [78-80].

Ferromanyetik maddeler; demir, kobalt, nikel, güçlü manyetik maddelerdir ve bunlara ferromanyetik madde denir. Ferromanyetik maddeler devamlı (sürekli) mıknatısların yapımında kullanılırlar. Bunlar zayıf bir manyetik alan içinde bile birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipollere sahiptirler. Bu manyetik dipoller bir kere paralel hale getirildikten sonra dış alan ortamdaki kaldırılabilir bile madde mıknatıslanmış olarak kalır. Bu sürekli yönelme komşu manyetik momentler arasındaki kuvvetli etkileşimden kaynaklanır [78-80].

Bu tür maddeler bir manyetik alan içinde alan yönünde ve çok şiddetli olarak mıknatıslanırlar. Ferromanyetik maddeler bir mıknatısça kuvvetli olarak çekilirler ve

çubuk şeklinde iseler asıldıklarında, çubuğun uzun ekseni alan doğrultusuna paralel oluncaya kadar bir moment etkisinde kalırlar. Bu maddelerin manyetik momentleri, termik etkilere rağmen dış manyetik alanla üst üste gelirler. Eğer maddenin sıcaklığı, Curie sıcaklığı adı verilen değerden daha yukarıya çıkarılırsa bu üst üste gelme bozulur ve madde ferromanyetik halden diamanyetik hale gelir. Ferromanyetizma atom ve iyonların kendine özgü bir özelliği değil, komşu atom ve iyonların yapısal kurgu içinde etkileşim biçimlerinden kaynaklanır. Ferromanyetik bir madde bir selonoidin veya halka sarımın içine sokularak, bunların içinde ferromanyetik madde yokken ki (Boşluk veya hava) halinden çok daha büyük değerlerde B değerleri elde edilir [78-80].

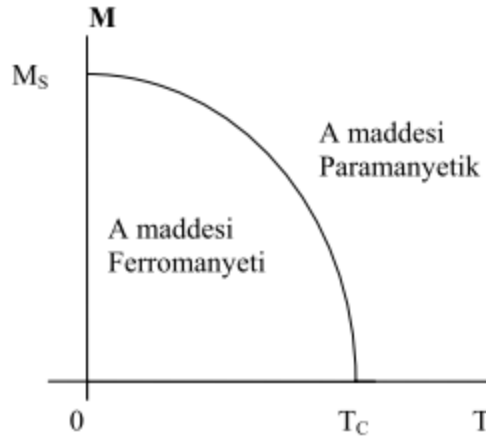
Paramanyetik maddeler; Paramanyetik maddelerin mıknatıslanmaları çok zayıf ve bu mıknatıslanması da mıknatıslayıcı alan yönündedir. Bu tür, sıvı oksijen, azot oksit, ozon, platin, palladyum, alüminyum, krom, manganez, v.b. gibi maddeler kuvvetli bir mıknatıs tarafından hafifçe çekilirler. Bu tür maddeleri oluşturan maddelerin atom ve iyonlarının büyük bir kısmında elektronların spin ve açılal momentumundan kaynaklanan manyetik etkiler birbirlerini yok ederler. N atomdan oluşan bir maddenin  $\mu$  manyetik momentleri, onları etkileyen dış alanın doğrultusuna göre yönelecektir ve tüm atomların toplam manyetik momentlerinin ( $N\mu$ ) bu alanla tam çakışabilmesi mümkün olamaz. Çünkü dış ortamın termik etkisiyle atomların hareketlenmesi bunu bozar. Paramanyetik bir madde bir dış alana konduğunda onun sahip olacağı toplam manyetik momentin değeri, bu momentin mümkün olan maksimum ( $N\mu$ ) değerinden oldukça küçük olacaktır [78-80].

Bazı koşullar altında paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının alanla doğru, mutlak sıcaklıkla ters orantılı olduğu Pierre Curie tarafından bulunmuştur. Bu bağıntı

$$M = C(B/T) \quad (3.8)$$

şeklinde olup [78-80], mıknatıslanmanın artan alanla ve azalan sıcaklıkta arttığını göstermektedir.  $B=0$ ' da mıknatıslanma sıfırdır ve bu durumda dipol momentler rastgele yönelmişlerdir. Çok yüksek dış etkili alanlar ve düşük sıcaklıklarda mıknatıslanma maksimum ve doyum değerine ulaşır. Ferromanyetik bir maddenin

sıcaklığı Curie Sıcaklığı ( $T_C$ ) denen bir sıcaklığa ulaşınca bu maddenin kendiliğinden mıknatıslığı kaybolur ve madde paramanyetik duruma geçer. Curie Sıcaklığı'nın altında manyetik momentler paralel dizildiklerinden madde ferromanyetiktir. Curie sıcaklığının üstünde ise dipoller gelişigüzel yönelmekte ve madde paramanyetik olmaktadır. Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının mutlak sıcaklıkla değişimi Şekil 3.2' de gösterilmiştir. Şekilde, Curie sıcaklığının altında manyetik momentleri düzgün dizilir, bu bölgede madde ferromanyetik olur. Buna karşın  $T_C$  nin üstünde ise madde paramanyetiktir [78-80].



Şekil 3.2: Sıcaklığa bağlı manyetizasyon eğrisi [78-80].

Diamanyetik maddeler; Atomları sürekli manyetik dipol momente sahip olmayan maddeler diamanyetik maddeler denir [78-80].

Gümüş, bizmut gibi paramanyetik maddelere bir dış alan uygulanınca madde tarafından bu alana zıt yönde zayıf bir manyetik dipol moment oluşur. Her madde böyle davranmakla birlikte bu etki onlarda önemsenmeyecek kadar küçüktür. Diamanyetik maddelerde normal konumda çekirdek etrafında zıt yönde ve aynı hızla dönen elektronlar birbirlerinin manyetik momentlerini yok ederler. Bir dış alan uygulanınca elektronlar fazladan  $q\vec{v}\times\vec{B}$  gibi ek bir manyetik kuvvet altında kalırlar. Ek kuvvet nedeniyle elektronların gördüğü merkezci kuvvet artık aynı olamaz ve manyetik momenti alana antiparalel elektronun, hızı artarken paralel alanınki azalır. Sonuçta elektronların manyetik momentleri birbirlerini yok edemez ve madde manyetik alana zıt yönde bir dipol moment gösterir [78-80].

Diamanyetik maddelerin mıknatıslanmaları çok zayıf ve mıknatıslanması da mıknatıslayıcı alanla zıt yönlüdür. Bu maddeler kuvvetli bir mıknatıs tarafından hafifçe itilirler. Bakır, gümüş, kurşun, bizmut vb. metaller, bütün yarı metaller ve organik maddelerin çoğu diamanyetiklerdir. Bu maddelerin atomlarının daimi bir manyetik momenti yoktur fakat bunların atomlarında dış bir manyetik alan etkisi manyetik bir dipol momenti oluşturulabilir [78-80].

### 3.2. Elektromanyetik Dalga Soğurma Ölçüm Teknikleri

Elde etmiş olduğumuz tüm polimer kompozit numunelerin elektromanyetik soğurulma ölçümleri, Agilent 8364B PNA serisi vektörel network analizör kullanılarak, iletim yolu (Transmission Line) metodu ile yapıldı.

Network analizörle yapılan malzeme karakterizasyonlarında genellikle iki metot kullanılır. Bunlar:

- 1) İletim yolu metodu (Transmission Line Method)
- 2) Boş uzay metodu (Free Space Method)' dur.

Kompleks  $\mu_r$  değerlerinin ölçümünde çeşitli yöntemler kullanılır ve bu kullanılan yöntemleri; malzemelerin özellikleri ve çalışılan frekans bandı belirler. Yaygın kullanılan yöntemler [63]:

- İletim / yansıma hat tekniği
- Açık- sonlandırılmış koaksiyel prob tekniği
- Açık ortam tekniği
- Rezonans tekniği

dir. Tablo 3.1'de, ölçüm tekniklerine göre, ölçülen malzeme tipi, ölçülen değerler ile incelenecek olan elektriksel ve manyetik özellik değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1: Ölçüm teknikleri.

Ölçüm Teknikleri	Malzeme	S parametresi	Elektriksel Parametreler
İletim / Yansımaya hat tekniği	Koaksiyel hat, dalga kılavuzu	$S_{11}, S_{21}$	$\epsilon_r, \mu_r$
Açık-Sonlandırılmış koaksiyel prob tekniği	Sıvılar, biyolojik malzemeler, Yoğun akışkanlar	$S_{11}$	$\epsilon_r$
Açık ortam tekniği	Yüksek sıcaklık malzemeler, Geniş yüzeyli malzemeler, Katılar, Sıvılar	$S_{11}, S_{21}$	$\epsilon_r, \mu_r$
Rezonans tekniği	Düzensiz geometri katılar, dalga kılavuzu ve sıvılar	Frekans ve Q faktörü	$\epsilon_r, \mu_r$

İletim / yansımaya tekniği: Geniş band ölçümlerinde yaygın kullanılır. Bu teknikte, dalga kılavuzunun TEM (Transverse Electromagnetic) modu ve koaksiyel hat da ise TE (Transverse Electric) modu kullanılır.

Açık-sonlandırılmış koaksiyel prob tekniği: Elektromanyetik dalganın TEM ve TE modu kullanılır.

Rezonans tekniği: Yüksek geçirgenlikle ölçüm yapmakla birlikte yine elektromanyetik dalganın TEM veya TE modu kullanılır.

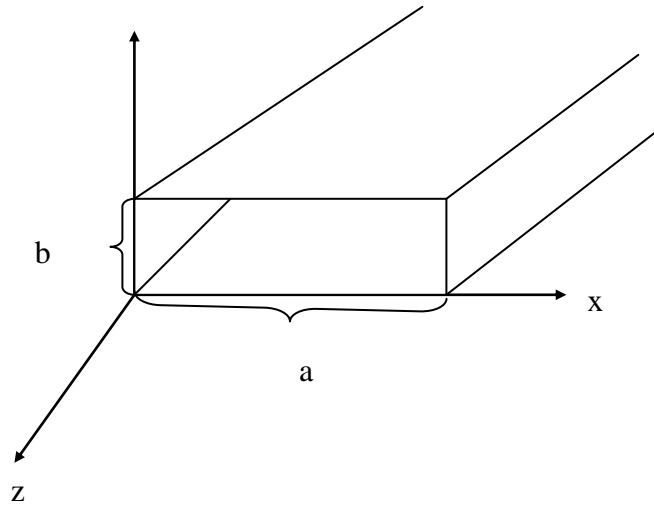
### 3.2.1. İletim yolu metodu

Bu metod’ da alınan ölçümlerde düzlemsel yapıya sahip numuneler dalga kılavuzları arasına konularak,  $S_{11}$ ,  $S_{21}$  parametreleri yardımı ile malzemenin dielektrik geçirgenlik ve manyetik geçirgenlik değerleri hesaplanır. Bu metotla yapılan ölçümlerde malzeme yüzeyinin alanı dalga kılavuzunun ara kesit alanına eşit olması ya da büyük olması gerekir. Elektromanyetik soğurucularının geçirgenlik (soğurulma) özellikleri farklı metotlarla ölçülmektedir. Bu metotlardan biri de, iletim yolu metodu (Transmission Line) yaklaşımıdır. Bu teoride ortamın geçirgenlik yapısını ifade etmek için eşdeğer devreler ve bu devrelere ait ortamda ilerleyen

elektromanyetik dalganın aynı ortamda sahip olduğu eşdeğer voltaj ve akım değerleri yardımı ile yapıların geçirgenlikleri hakkında fikir sahibi olunabilir [63,71].

### 3.2.1.1. Dalga kılavuzu

Dalga kılavuzu, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi genelde dikdörtgen biçiminde bakır ya da pirinç borulardan oluşmaktadır. Yüksek derecede iletkenlik sağlamak için içleri altın ya da gümüş kaplama yapılır.



Şekil 3.3: Dikdörtgen tipli dalga kılavuz.

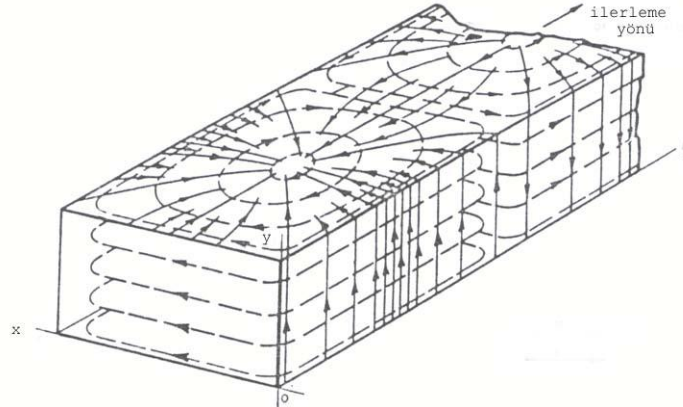
Dalga kılavuzlarının boyutları  $a = \lambda$  yani a kenarı, uygulanan frekanstaki dalga boyu kadar,  $b = \lambda/2$  b kenarı, uygulanan frekanstaki dalga boyunun yarısı kadar,  $z = n\lambda$  ( $n=1,2,3,4\dots$ ) z düzlemindeki ise, uygulanan frekanstaki dalga boyunun katları kadardır. Elektrik alan bileşeni daima dalga kılavuzunun geniş yüzeyine diktir ve dalga kılavuzu boyunca her yarı dalga boyunda en büyük ve en küçük değerini alır. Buna karşın manyetik alan bileşeni geniş yüzeye paraleldir ve elektrik alan bileşeninin minimum olduğu yerde maksimumdur. Elektromanyetik dalganın boş ortam veya herhangi bir ortamda yayılmasının dalga denklemleri, bu dalga denklemlerinin çözümü, belirttiğimiz üzere, kullandığımız iletim yolu metoduna göre kullanılan dalga kılavuzlarında ilerleyen elektromanyetik dalganın dalga modları ve bu modlara göre elektromanyetik dalganın dalga kılavuzunda ilerlemesi ve buna bağlı olarak gücü, giriş empedansı, dalga kılavuzu içine konulan herhangi bir maddenin sonucu olarak oluşturduğu empedans, kırıcılığı, yansıma, yansıma kaybı,

iletim, vb... gibi parametrelerin analitik denklemlerinin çözümü ayrıntılı olarak [78,81] de çözülmüştür. Biz burada kısaca bahsedeceğiz.

### 3.2.1.2. TEM, TE ve TM dalga salınım modları

Mod, elektromanyetik sınır değer problemlerinde verilen ve bir bölgede yayılan elektromanyetik dalgayı ifade eden dalga biçimleri olarak ifade edilir.

Dalgaların kılavuz içindeki yayılımını, elektromanyetik dalgayı ifade eden elektrik ve manyetik dalgaları dikkate alınarak incelenir [78,81]. Elektriksel ve manyetik alan çizgileri her zaman birbirine diktir ve beraberce dalga kılavuzu içinde elektromanyetik dalga olarak yol alırlar. Şekil 3.4' de gösterildiği gibi dalgalar, dalga kılavuzu içinde hareket ederken pek çok değişik şekil gösterirler. Bu modlar oluşturulurken bazı fiziksel kaidelere uymak zorundadırlar. Bunlar, elektriksel alan çizgileri her zaman iletken yüzeyine ve manyetik alan çizgilerine diktirler. Fakat iletken yüzeyinden çok az bir ayrılma durumunda bile bu şart ortadan kalkar ve yüzeye paralel hale gelebilir [78, 81].



Şekil 3.4: TE<sub>10</sub> modlu dikdörtgen dalga kılavuzu duvarlarında alan dağılımı (kesikli çizgiler manyetik alanı düz çizgiler elektrik alanı gösterir) [78,81]

### 3.2.1.3. Dikdörtgen tipli dalga kılavuz

Burada Maxwell denklemleri veya dalga denklemlerinden uygun sınır şartlarını kullanarak vektör potansiyelleri yardımıyla söylediğimiz elektromanyetik dalganın dalga kılavuzu içinde hareketini inceleyeceğiz.

Uzun kenarını +z yönü olarak kabul ettiğimiz bir dikdörtgen dalga kılavuzunu göz önüne alalım. TEM<sup>z</sup> (Transverse Electromagnetic) çok basit yapıda olmasına rağmen, dalga kılavuzunun yan duvarlarda sınır şartlarını tam olarak göstermez. Bundan nedenle, TE (Transverse Electric) ve TM (Transverse Magnetic) modlarını ele almak gerekir.

### 3.2.1.3.1. Dalga kılavuz içinde TE<sup>z</sup> modu

Kaynağın bulunmadığı lineer homojen bir ortamda elektromanyetik alanlarla ilgili Maxwell denklemleri:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (3.9)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (3.10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (3.11)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (3.12)$$

Bir elektromanyetik modunda elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin her ikisi de birbirine uzayın her noktasında diktir ve eş fazlı yüzey şekli olarak yayılırlar. Ek olarak eğer eş fazlı yüzey alanı eşdeğer genliğe de sahipse uniform düz dalga da denilir.

Zamana bağımlı uniform düz dalgayı ( $\mu_r$ ,  $\varepsilon_r$ ) elektrik ve manyetik alan geçirgenliğine bağlı z yönünde ilerleyen bir elektromanyetik dalga olarak ele alalım. Dalganın elektrik alan bileşenini x yönünde ve manyetik alan bileşenini de y yönünde kabul edelim ( $\vec{E}_x^+ = E_0^+ \cos(\omega t - \beta z)$  ve  $\vec{H}_y^+ = E_0^+/\eta \cos(\omega t - \beta z)$ ). (+ işaretinin olmasının nedeni +z yönünde ilerlemesinden dolayıdır.) Burada;  $\omega$ , açısal frekans,  $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}$  ortamın empedansıdır [78, 81].



Vektör potansiyelleri yardımıyla bulduğumuz elektrik ve manyetik alanların aracılığı ile uygun sınır şartlarını kullanıp dalga kılavuzları içinde ilerleyen dalgayı inceleyelim.

TE<sup>z</sup> modu Kartezyen koordinatları için bilinen [78,81]  $\nabla^2 \vec{F} + \beta^2 \vec{F} = 0$  dalga denklemi TE için gerekli F vektör potansiyeli ifadesi;

$$\vec{F}_{z(x,y,z)} = f(x)g(y)h(z) \quad (3.13)$$

Kartezyen koordinatlarda yazılıp dalga denkleminde yerine koyulup çözümlerse;

$$\vec{F}_{z(x,y,z)} = [C_1 \cos(\beta_x x) + D_1 \sin(\beta_x x)] [C_2 \cos(\beta_y y) + D_2 \sin(\beta_y y)] [A_3 e^{-i\beta_z z} + B_3 e^{i\beta_z z}] \quad (3.14)$$

şeklinde bulunur. Uygun sınır şartları kullanıldığında [78,81];

alt duvar	üst duvar
(a) $E_x(0 \leq x \leq a, y = 0, z) = E_x(0 \leq x \leq a, y = b, z) = 0$	
(b) $E_z(0 \leq x \leq a, y = 0, z) = E_z(0 \leq x \leq a, y = b, z) = 0$	
sol duvar	sağ duvar
(c) $E_y(x = 0, 0 \leq y \leq b, z) = E_y(x = a, 0 \leq y \leq b, z) = 0$	
(d) $E_z(x = 0, 0 \leq y \leq b, z) = E_z(x = a, 0 \leq y \leq b, z) = 0$	

Bu sınır şartlarını kullanarak elektrik alan vektör potansiyelinin sabitlerini bulup, buna göre vektör potansiyellerini ifade edip, daha önceden bahsettiğimiz nicelikleri bulmaya çalışalım. TE<sup>z</sup> modu için  $E_z = 0$  olduğu için direk olarak E<sub>x</sub> ve E<sub>y</sub> için verilen sınır şartlarını kullanabiliriz [78,81].

$$\vec{E}_x^+ = -\frac{1}{\epsilon} \frac{\partial \vec{F}_z}{\partial y} \quad (3.15)$$

denklemi yardımıyla +z yönünde ilerleyen dalga için;

$$\bar{E}_x^+ = -\frac{\beta_y}{\varepsilon} [C_1 \cos(\beta_x x) + D_1 \sin(\beta_x x)] [-C_2 \sin(\beta_y y) + D_2 \cos(\beta_y y)] A_3 e^{-i\beta_z z} \quad (3.16)$$

şeklinde elektrik alan bileşeni elde edilir. Sınır şartlarını kullanarak gerekli işlemleri yaptığımızda;

$$\beta_x^2 + \beta_y^2 + \beta_z^2 = \beta^2 = \frac{1}{\lambda_x^2} + \frac{1}{\lambda_y^2} + \frac{1}{\lambda_z^2} = \frac{1}{\lambda^2} \quad (3.17)$$

şeklinde faz sabiti ve dalga boylarına göre ifadeleri alınır. Bulunan değerlere göre elektrik alan ve manyetik alanın değerleri;

$$\begin{aligned} \bar{E}_x^+ &= A_{mn} \frac{\beta_y}{\varepsilon} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-i\beta_z z} \\ \bar{E}_y^+ &= -A_{mn} \frac{\beta_x}{\varepsilon} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-i\beta_z z} \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\bar{E}_z^+ = 0$$

$$\begin{aligned} \bar{H}_x^+ &= A_{mn} \frac{\beta_x \beta_y}{\omega \mu \varepsilon} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-i\beta_z z} \\ \bar{H}_y^+ &= A_{mn} \frac{\beta_y \beta_z}{\omega \mu \varepsilon} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-i\beta_z z} \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\bar{H}_z^+ = -iA_{mn} \frac{\beta_c^2}{\omega \mu \varepsilon} \cos(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-i\beta_z z}$$

şeklinde elde edilir. Burada bulunan  $A_{mn}$  manyetik alan şiddetinin genliği,  $\beta_c$  kritik faz sabiti olup [78,81]

$$\beta_c^2 = \left( \frac{2\pi}{\lambda_c} \right)^2 = \beta^2 - \beta_z^2 = \beta_x^2 + \beta_y^2 = \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 \quad (3.20)$$

şeklinde dir.

$$\beta_z = 0 \quad (3.21)$$

olduğunda;

$$\beta_c = w_c \sqrt{\mu\varepsilon} = 2\pi f_c \sqrt{\mu\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (3.22)$$

Buradan;

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (3.23)$$

şeklinde kritik frekansı elde edilir [78,81].  $\beta_z$  (3.20) denkleminde;

$$(\beta_z)_{mn} = \begin{cases} \mp \sqrt{\beta^2 - \beta_c^2} = \mp \beta \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \Leftarrow f > f_c \\ 0 \Rightarrow f = f_c \\ \mp i\beta \sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 - 1} \Leftarrow f < f_c \end{cases} \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilir. Eğer  $f > f_c$  ise; dalga yayılır ve genliğinde herhangi bir azalma meydana gelmez. Eğer  $f = f_c$  ise; durağan dalga oluşur. Eğer  $f < f_c$  ise; dalga ortamda yayılamaz, tepki meydana gelir ve geri yansır [78,81].

Dalğanın empedansı ise [78,81];

$$Z^{+z}(TE_{mn}^z) = \frac{E_x}{H_y} = -\frac{E_y}{H_x} = \frac{w\mu}{\beta_z} \quad (3.25)$$

denkleminde;

$$Z^{+z}(TE_{mn}^z) = \begin{cases} \frac{w\mu}{\beta\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{\eta}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \Leftarrow f \rangle f_c \\ \infty \Rightarrow f = f_c \\ \frac{iw\mu}{\beta\sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2-1}} \Leftarrow f \langle f_c \end{cases} \quad (3.26)$$

olarak bulunur. Eğer  $f \rangle f_c$  ise;  $Z^{+z}$  kılavuz içinde var olan  $\eta$  empedanstan daha büyük olur ve dalga kılavuz içinde yayılır. Eğer  $f = f_c$  ise;  $\infty$  olur. Eğer  $f \langle f_c$  ise;  $TE_{mn}^z$  dalga, kılavuz içinde depo edilir gibi davranır [78,81].

$$\beta_z = \frac{2\pi}{\lambda_z} \Rightarrow \lambda_z = \lambda_g = \frac{2\pi}{\beta_z} \quad (3.27)$$

idi. Buradan;

$$(\lambda_z)_{nm} = (\lambda_g)_{nm} = \begin{cases} \frac{2\pi}{\beta\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \Leftarrow f \rangle f_c \\ \infty \Rightarrow f = f_c \\ i \frac{2\pi}{\beta\sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2-1}} = i \frac{\lambda}{\sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2-1}} \Leftarrow f \langle f_c \end{cases} \quad (3.28)$$

kılavuz içinde dalga boyu ile yayılabilir. Burada bulunan  $f \langle f_c$ , fiziksel bir ifade değildir ve alınmaz [78,81].

### 3.2.1.3.2. Dalga kılavuz içinde $TM^z$ modu

Yine biz +z yönünde ilerleyen dalga ele aldığımızda ve  $TE^z$  modu için yapılan işlemleri yaptığımızda [78,81];

$$\vec{A}_{z(x,y,z)} = [C_1 \cos(\beta_x x) + D_1 \sin(\beta_x x)][C_2 \cos(\beta_y y) + D_2 \sin(\beta_y y)][A_3 e^{-i\beta_z z} + B_3 e^{i\beta_z z}] \quad (3.29)$$

şeklinde manyetik vektör potansiyeli elde edilir [78,81].

$TE^z$  için kullanılan sınır şartlarını kullanıp aynı çeşit işlemleri yaptıktan sonra [78,81];

$$A_z^+ = D_1 D_2 A_3 \sin(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-i\beta_z z} \quad (3.30)$$

olarak bulunur.  $D_1, D_2, A_3$  değerleri keyfi değerler olup  $B_{mn}$  şeklinde gösterilebilir. Buna göre [78,81];

$$\vec{A}_z^+ = B_{mn} \sin(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-i\beta_z z} \quad (3.32)$$

ve

$$\beta_x = \frac{2\pi}{\lambda_x} = \frac{m\pi}{a} \Rightarrow \lambda_x = \frac{2a}{m} \quad (3.32)$$

$$\beta_y = \frac{2\pi}{\lambda_y} = \frac{n\pi}{b} \Rightarrow \lambda_y = \frac{2b}{n} \quad (3.33)$$

olarak faz sabitleri ve dalga boyları elde edilir. Burada  $m, n = 1, 2, 3, \dots$  değerlerini alır. Bunlara göre elektrik alan ve manyetik alanın değerleri [78,81];

$$\vec{E}_x^+ = -B_{mn} \frac{\beta_x \beta_z}{\omega \mu \epsilon} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-i\beta_z z}$$

$$\vec{E}_y^+ = -B_{mn} \frac{\beta_y \beta_z}{\omega \mu \epsilon} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-i\beta_z z} \quad (3.34)$$

$$\vec{E}_z^+ = -iB_{mn} \frac{\beta_c^2}{\omega\mu\epsilon} \sin(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-i\beta_z z}$$

$$\vec{H}_x^+ = B_{mn} \frac{\beta_y}{\mu} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-i\beta_z z}$$

$$\vec{H}_y^+ = -B_{mn} \frac{\beta_x}{\mu} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-i\beta_z z} \quad (3.35)$$

$$\vec{H}_z^+ = 0$$

olarak elde edebiliriz. Burada bulunan  $B_{mn}$  elektrik alan şiddetinin genliğini göstermektedir.  $TE^z$  için yaptığımız işlemlerin aynısını yaptığımızda [78,81];

$$Z^{+z}(TE_{mn}^z) = \begin{cases} \eta \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \Leftarrow f \rangle f_c \\ 0 \Rightarrow f = f_c \\ -i\eta \sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 - 1} \Leftarrow f \langle f_c \end{cases} \quad (3.36)$$

$$\text{olarak dalgaın empedansını, } (\beta_z)_{mn} = \frac{2\pi}{\lambda z} = \begin{cases} \beta \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \Leftarrow f \rangle f_c \\ 0 \Leftarrow f = f_c \\ -i\eta \sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 - 1} \Leftarrow f \langle f_c \end{cases}$$

durumuna göre;

$$(f_c)_{mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (3.37)$$

olarak ta kritik frekansı [78,81],

$$(\lambda_z)_{nm} = (\lambda_g)_{nm} = \begin{cases} \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \leftarrow f > f_c \\ \infty \Rightarrow f = f_c \\ i \frac{\lambda}{\sqrt{\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 - 1}} \leftarrow f < f_c \end{cases} \quad (3.38)$$

ve dalga boyunu ifade etmiş oluruz [78,81].

Elde ettiğimiz bu bulgular doğrultusunda dikdörtgen tipli dalga kılavuzu içinde ilerleyen elektromanyetik dalganın yayılımını daha net bir şekilde ifade edebiliriz. Buradan elde edebileceğimiz bir durumda, dalga kılavuzlarının (kavite ve rzonatörlerin de) boyutlarının frekansa bağlı olarak değiştiğini ve kullanılan frekansa göre kullanılacak olan dalga kılavuzlarının da değiştiğini görebilmektir.

Dalga kılavuzu içindeki elektromanyetik dalganın belirtildiği gibi bir empedansa sahip olması bize, dalga kılavuzu ile alınan ölçümler için dalga kılavuzuna koyulacak herhangi bir numuneden dolayı empedans değişimi ve buna bağlı olarak yansıma kaybının bu ifadeye bağlanmasını mümkün kılacaktır. Bu durumu ilerleyen bölümlerde göreceğiz.

### 3.2.2. Boş uzay metodu

Boş uzay (Free-Space) metodu ile yapılan ölçümlerde mikrodalga antenleri ya da dalga kılavuzları kullanılarak malzemenin soğurulma karakterizasyonu hesaplanır. Yine S parametreleri yardımı ile malzemenin her bir frekansa karşı göstermiş olduğu etkin dielektrik geçirgenlik ve etkin manyetik geçirgenlik gibi değerleri hesaplanabilir. Elektrik ve manyetik geçirgenliğe sahip malzemelerde ölçüm yapılacak bant aralığında, mikrodalga sinyalinin dalga boyu ile ölçüm yapılacak olan malzemenin boyutları arasındaki ilişki büyük önem arz etmektedir. Düzgün ve hatasız bir ölçüm, deney düzeneklerinin ve ölçüm parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ile olur. Boş uzay metodu ölçümlerinde, ölçüm sonuçlarına etki eden parametreleri; Uzak-alan gereksinimi, numune büyüklüğü ve ölçüm sistemi olarak

tanımlanabilir. Bu teknikte geniş band frekans uygulamalarında elektromanyetik dalganın TEM (Transverse Electromagnetic) modu kullanılır. Boş uzay ölçüm tekniği, her türlü dış ortam şartlarında, geniş band frekans ölçümlerinde kullanılır. Ölçülecek malzemeyi tahrip etmez. Bu teknikte ölçülecek malzemenin geniş ve düz bir yüzeyi olmalıdır. Network analizöre bağlı iki horn anten arasına ölçülecek malzeme konularak ölçüm yapılır. Ölçüme başlamadan önce network analizör mutlaka kalibre edilmelidir. Bu teknikte kompleks yansımaya  $S_{11}$  ve iletim katsayısı parametresi  $S_{21}$  ölçülür. Ölçülen  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  parametreleri, malzemenin kompleks dielektrik ve manyetik geçirgenlik değerleri olan  $\epsilon_r$  ve  $\mu_r$  ile ilişkilidir. Okunan  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerleri bir bilgisayar yazılımıyla analiz edilerek  $\epsilon_r$  ve  $\mu_r$  değerleri belirlenir [63,82,83].

### **3.2.2.1. Uzak alan gereksinimi**

Boş uzay ölçümünde, anten ya da dalga kılavuzundan yayılan düzlemsel dalga ile karakterize edilecek olan örneğin etkileşimi (girişim, kırınım, yansımaya vb) büyük önem taşır. Antenle numune arasındaki uzaklığın ( $d$ ) bağlı koşulu;  $d > 2D^2/\lambda$  olmalıdır. Burada  $\lambda$  ; elektromanyetik dalganın dalga boyu,  $D$ ; Anten aralığının en büyük değeridir. Şayet antenimiz dairesel bir yapıya sahipse; burada “D” antenimizin dış yüzeydeki en büyük çapı, Dikdörtgensel yapıya sahip antenlerde köşegen uzunluğu olarak tanımlanır. Bağlı koşul sağlandığı zaman, serbest-ortam dalga için düzgün iletim yolu olarak katkı sağlar. Çoğu ölçüm düzeneklerinde yukarıdaki bağlı koşul ile ortak-eksen (Co-axial) yansımaya ölçümleri de Serbest ortamda elde edilebilir.

### **3.2.2.2. Numune boyutu**

Boş uzay (Free-Space) metodu kullanılarak düzgün yüzeye sahip numuneler için yapılacak olan elektromanyetik soğurulma ölçümlerinde, numune boyutu kullanılan EM dalganın dalga boyundan çok küçük ise numunenin elektromanyetik dalgaya vereceği yanıt dalga-parçacık etkileşmesine benzer. Bu nedenle etkin, anlamlı bir ölçüm sonucu almak için numune boyutu kullanılan elektromanyetik dalga boyundan çok büyük olması gereklidir. Aynı zamanda, elektromanyetik dalganın numuneden



saçılma etkisini azaltmak için numune boyutu dalga boyundan 2 kat daha büyük olmalıdır.

### 3.3. Kayıp Mekanizması

Elektromanyetik soğurucu malzemeler kendi içerisinde geçen ya da etkileşimde bulunan elektromanyetik dalganın gücünü zayıflatırlar. Bu zayıflatma özelliğini belirleyen parametreler kırılma indisi ( $\eta$ ), etkin elektrik geçirgenlik ( $\epsilon_r$ ) ya da etkin manyetik geçirgenlik ( $\mu_r$ )' dir. Etkin elektrik geçirgenliğin ve etkin manyetik geçirgenliğin reel kısmı, malzeme içerisinde ilerleyen dalganın sahip olduğu enerjiyi, sanal kısmı ise malzeme içerisinde soğurulma kaybını ifade eder. Fiziksel olarak, açıklayacak olursak, soğurulma mekanizmasında malzeme içerisindeki bu güç kaybı ısıya dönüşür. Dielektrik ya da ferroelektrik malzemeler manyetik alana maruz bırakıldıklarında, elektromanyetik dalganın gücünde azalma olur. Mühendislik uygulamalarında sadece toplam soğurulma kaybına bakılır, bu nedenle temelde farklı kayıp mekanizmaları, normalize edilmiş olan karmaşık elektrik geçirgenlik ( $\epsilon_r$ ) ve manyetik geçirgenlik değerleri ( $\mu_r$ ) ile ifade edilir [63,64,83]

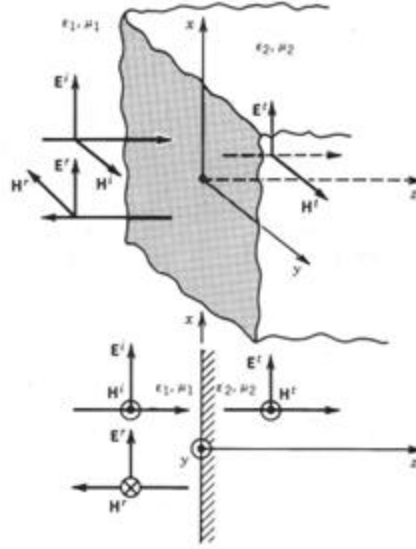
$$\epsilon_r = \epsilon_r' + i\epsilon_r'' \quad (3.39)$$

$$\mu_r = \mu_r' + i\mu_r'' \quad (3.40)$$

Bu iki eşitlikte de, reel kısımlar mekanizmadaki depolanan enerjiyi, imajner kısımlar ise malzeme içerisinde kaybolan enerji olarak tanımlanır. Boş uzay metodunda kayıp elektromanyetik soğurucu malzeme arasındaki kırılmaya da bağlıdır ve [63,64,78-83]

$$\eta = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (3.41)$$

olarak verilir. Şekil 3.5'de gösterildiği gibi, elektromanyetik dalganın düzlem bir yüzeyde, yansıma ve iletim olayını inceleyecek olursak [78];



Şekil 3.5: Düzlem yüzeyde yansıma ve iletim [78].

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (3.42)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (3.43)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (3.44)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (3.45)$$

Zamana bağımlı “uniform” düz dalgayı  $(\mu_r, \epsilon_r)$  elektrik ve manyetik alan geçirgenliğine bağlı  $z$  yönünde ilerleyen bir elektromanyetik dalga olarak ele alalım. Dalganın elektrik alan bileşenini  $x$  yönünde ve manyetik alan bileşenini de  $y$  yönünde kabul edelim ( $\vec{E}_x^+ = E_0^+ \cos(\omega t - \beta z)$  ve  $\vec{H}_y^+ = E_0^+ / \eta \cos(\omega t - \beta z)$ ). (+ işaretinin olmasının nedeni  $+z$  yönünde ilerlemesinden dolayıdır.) Burada;  $\omega$ , açısal frekans,  $\eta = \sqrt{\mu / \epsilon}$  ortamın empedansıdır [78, 81].

Zamana bağlı elektromanyetik dalganın elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin çözümleri için, dalga eşitlikleri ve Maxwell denklemleri uygulanır. İlgili Maxwell denklemleriyle elde edilen Helmholtz dalga denklemleri aşağıdadır [78],

$$\nabla^2 E + \beta^2 E = 0 \quad (3.46)$$

$$\nabla^2 H + \beta^2 H = 0 \quad (3.47)$$

Elektrik alanın yalnızca x bileşenini aldığımız için;  $\vec{E}_x(x, y, z) = f(x)g(y)h(z)$  şeklinde alabiliriz. Dalga +z yönünde ilerlediği için  $\vec{E}_x(z) = h(z)$  şeklinde de kısaltabiliriz ve h(z) ise;  $h(z) = Ae^{-i\beta_z z} + Be^{+i\beta_z z}$  şeklinde gösterilebilir. + işaret -z yönünde ve - işarette +z yönünde ilerlediğini göstermektedir. Buna göre [78];

$$\vec{E}_x(z) = Ae^{-i\beta_z z} + Be^{+i\beta_z z}$$

$$\text{veya} \quad (3.48)$$

$$\vec{E}_x(z) = E_0^+ e^{-i\beta_z z} + E_0^- e^{+i\beta_z z}$$

şeklinde gösterilir [78].  $\beta$ ; faz sabitini göstermektedir ve  $\beta_z = \beta$  ve  $\beta_x = 0, \beta_y = 0$  dır ve ayrıca  $E_0^+$  ve  $E_0^-$  + ve - yönde ilerleyen dalganın genliğini temsil etmektedir.

Manyetik alan içinde çözüm aynı şekilde olmaktadır. Buna göre Maxwell denklemini kullanarak [78];

$$\vec{\nabla}_x \vec{E} = -iw\mu \vec{H} \quad (3.49)$$

Burdan

$$\vec{H} = -\frac{1}{iw\mu} \nabla_x E = -\frac{1}{iw\mu} \begin{bmatrix} \hat{a}_x & \hat{a}_y & \hat{a}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

çözüm olarak [78];

$$\vec{H} = \hat{a}_y \frac{1}{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}} [E_x^+ - E_x^-] \quad (3.51)$$

ve

$$\vec{H} = \hat{a}_y (H_y^+ + H_y^-)$$

olarak elde edilir [78]. Ayrıca  $\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \eta$  olarak gösterilen karakteristik empedanstır ve yalnızca enine elektromanyetik dalgalar için geçerlidir. Gelen elektromanyetik dalganın mevcut olduğu empedans ise [78];

$$Z_w = \frac{E_x^+}{H_y^+} = \eta \quad (3.52)$$

Şeklin de ifade edilir. Gelen elektromanyetik dalga herhangi bir yüzeyde yansıma, kırınım ve ortamda iletim yapıyorsa (Şekil 3.5' deki gibi) [78];

$$\Gamma = \left( \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right) \quad (3.53)$$

şeklinde yansıma sabiti verilir. Burada  $Z_L = \left[ \frac{\mu}{(\varepsilon - i \frac{\sigma}{\omega})} \right]^{\frac{1}{2}} = (1+i) \left( \frac{\omega \mu}{2\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} = (1+i)R_s$

şeklinde verilen iletkenin karakteristik empedansıdır [78].  $R_s$  ise yüzey direncidir.  $Z_0$  ise;  $\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$  şeklinde ortamın karakteristik empedansıdır. Yansıma sabiti kısaca; yansıyan ve gelen dalganın genlikleri oranı olarak ta söylenebilir.  $E_0$ ; x yönünde polarize olmuş elektrik alanın genliği olarak kabul edildikten sonra [78];

$$\begin{aligned} \vec{E}^i &= \hat{a}_x E_0 e^{-i\beta_1 z} \\ \vec{E}^r &= \hat{a}_x \Gamma E_0 e^{i\beta_1 z} \\ \vec{E}^t &= \hat{a}_x T E_0 e^{-i\beta_2 z} \end{aligned} \quad (3.54)$$

ve

$$\begin{aligned}
\vec{H}^i &= \hat{a}_y \frac{E_0}{\eta_1} e^{-i\beta_1 z} \\
\vec{H}^r &= -\hat{a}_y \frac{\Gamma E_0}{\eta_1} e^{i\beta_1 z} \\
\vec{H}^t &= \hat{a}_y \frac{TE_0}{\eta_2} e^{-i\beta_2 z}
\end{aligned} \tag{3.55}$$

şeklinde gelen, yansıyan ve kırılan dalgayı ifade ettikten sonra [78];

$$\begin{aligned}
T = 1 + \Gamma &= \frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = \frac{E^t}{E^i} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \frac{H^r}{H^i} \\
ve \\
\Gamma &= \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = \frac{E^r}{E^i} = -\frac{H^r}{H^i}
\end{aligned} \tag{3.56}$$

şeklinde gösterilen Fresnell katsayıları elde edilir [78]. Durağan dalga oranının gücü ise;

$$P_{swr} = (SWR)^2 \tag{3.57}$$

olarak alınır [78].

Yayılan elektromanyetik dalganın hızı, gücü ve enerjisi vardır. Bunları kısaca belirtecek olursak [78];

$$\vec{v}_p^+ = + \frac{dz}{dt} = \frac{w}{\beta} = \frac{w}{w\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}. \tag{3.58}$$

şeklinde faz hızı gösterilir [78]. Elektrik ve manyetik alanın enerji ve güç yoğunlukları;

$$\begin{aligned}
W_e^+ &= \frac{1}{2} \epsilon E_x^{+2} = \frac{1}{2} \epsilon E_0^{+2} \cos^2(wt - \beta z) \\
ve \\
W_m^+ &= \frac{1}{2} \mu H_y^{+2} = \frac{1}{2} \mu H_0^{+2} \cos^2(wt - \beta z)
\end{aligned} \tag{3.59}$$

Toplam güç yoğunluğu ise [78];

$$P = E^+ x H^+ = \hat{a}_x E_0^+ \cos(\omega t - \beta z) x \hat{a}_y \left[ \frac{1}{\sqrt{\mu/\epsilon}} E_0^+ \cos(\omega t - \beta z) \right] \quad (3.60)$$

Buradan

$$P = \hat{a}_z \left( \frac{1}{\sqrt{\mu/\epsilon}} E_0^{+2} \cos^2(\omega t - \beta z) \right) \quad (3.61)$$

şeklinde elde edilmiş olur [78]. Toplam enerji yoğunluğu  $W = W_e + W_m$  şeklinde gösterilir ve buna göre grup hızı;

$$\bar{v}_e^+ = \frac{P^+}{W^+} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (3.62)$$

Ortalama güç yoğunluğu ise [78];

$$P_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}(E^+ x H^{+*}) = \hat{a}_z \frac{|E_0^+|^2}{2\eta} \quad (3.63)$$

olarak ifade edilir [78]. Gönderilen elektromanyetik dalganın malzeme yüzeyindeki yansımaya katsayısı,  $\Gamma$  formül (3.53) deki gibidir ve birçok uygulamada metal üzerine “ı” kalınlığında sürülmüş / kaplanmış soğurucu malzemenin normalize edilmiş giriş empedansı (normal açıdaki kırılma için)

$$Z_L = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh\left(\frac{2\pi ft}{c} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}\right) \quad (3.64)$$

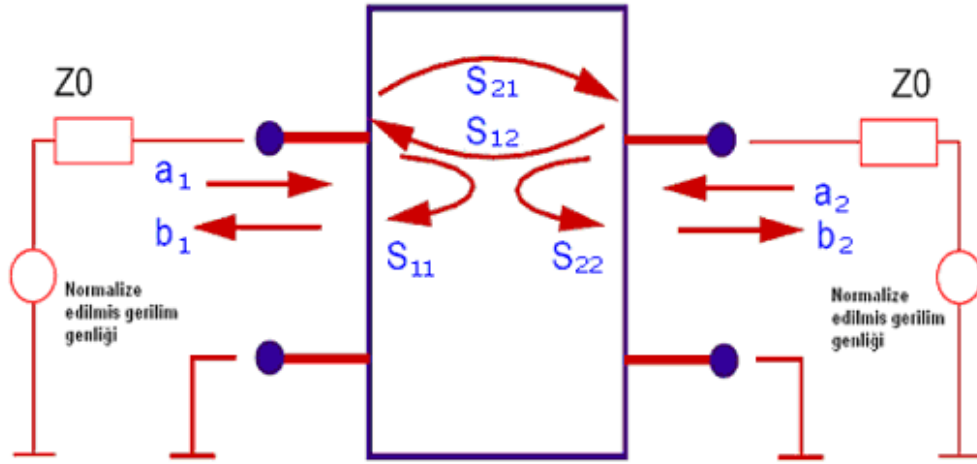
dir [63-72,83]. Genel durumda elektromanyetik soğurucu malzemelerin karakterizasyonunda, yansımaya kaybı için, yansımaya katsayısının desibel (dB) türünden şiddetine bakılır [63,64]. Bu nedenle yansımaya katsayısı kaybı şiddeti [63-72,83];

$$RL(dB) = -20 \log|\Gamma| \quad (3.65)$$

Yukarıda bahsedildiği gibi teoriksel olarak elektromanyetik dalganın yayılımının (serbest ortam, dielektrik ortam, manyetik ortam, çok katmanlı ortam vb.) en kapsamlı anlatımı referans [67,68 ve 71,72] da verilmiştir ve bunun için burada ayrıntıya girilmeden kısaca bahsedilmiştir.

### 3.4.Saçılma Parametresi (S-Parameter)

Lineer iki uçlu aygıtlar, admittans matrisi, empedans matrisi, transfer matrisi, S matrisi (saçılma matrisi) ile karakterize edilebilirler. S parametreleri, diğer iki uçlu parametrelerine göre, yüksek frekanslarda ölçümleri daha kolay olduğundan, mikro devre tasarımlarında çok daha kullanışlıdır.



Şekil 3.6: S parametreleri katsayıları tanımı.

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi, kurulu olan bir devreye bir ağın verdiği cevaplar, giriş ve çıkış sinyalleri ile tanımlanır. Port 1 ve Port 2’ de ki giriş sinyalleri sırasıyla  $a_1$  ve  $a_2$  parametresi ile aynı Port’ lardaki çıkış sinyalleri ise  $b_1$  ve  $b_2$  parametreleri ile tanımlanır. Bu parametreler aynı zamanda voltaj ya da akım cinsinden de tanımlanabilir. Giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki bağıntı “ saçılma parametresi [S]” olarak tanımlanır. Bir ağ üzerindeki çıkış sinyali parametresini, saçılma [S] parametresi ve giriş sinyali parametresi türünden yazacak olursak [63];

$$[b] = [S][a] \quad (3.66)$$

şeklinde ifade edilir ve  $b_1 = S_{11} \cdot a_1 + S_{12} \cdot a_2$  dir.  $b_2 = S_{21} \cdot a_1 + S_{22} \cdot a_2$  dir.  $\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$  S parametresi;

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (3.67)$$

dir [63]. S parametreleri şekilde ve formülde görüldüğü üzere; S parametreleri  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{21}$  ve  $S_{12}$  olarak ifade edilir. Buradan S parametrelerini;

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad \text{Giriş yansımaya katsayısı}$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad \text{Çıkış yansımaya katsayısı}$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad \text{İleri yönde iletim katsayısı}$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad \text{Geri yönde iletim katsayısı}$$

şeklinde tanımlanırlar [63,64,83]. Bu S parametrelerin den de ifade edildiği üzere saçılma parametresi matrisi elemanlarının “1 ve 2” değişkenleri kaynaktan çıkan sinyali ve test edilecek yapıya ait port bağlantılarını ifade etmektedir. En genel manada yansımaya ( $\Gamma$ ) ve geçiş (T) katsayısının saçılma parametresi türünden ifade edecek olursak; yansımaya katsayısı ( $\Gamma$ ) [64];



$$\Gamma_i = S_{ii} = \frac{b_i}{a_i} \quad (3.68)$$

$$\Gamma_j = S_{jj} = \frac{b_j}{a_j} \quad (3.69)$$

olarak ifade edilir. Geçiş katsayısı ise  $(T)$  [64];

$$T_{j \rightarrow i} = S_{ij} = \frac{b_i}{a_j} \quad (3.70)$$

ifade edilir.

Bu ifadeler göre yansıma ve iletim katsayılarını S parametreleri ile ifade edersek [64];

$$S_{11} = \frac{(1 - T^2)\Gamma}{1 - \Gamma^2 T^2} \quad (3.71)$$

$$S_{21} = \frac{(1 - \Gamma^2)T}{1 - \Gamma^2 T^2} \quad (3.72)$$

bağlantıları elde edilir. Burada  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  denklem çifti: Nicolson-Ross-Weir denklemi olarak adlandırılır. Nicolson-Ross-Weir (NRW) denkleminin çözülmesi, özelliği bilinmeyen malzemenin dielektrik  $\epsilon_r$  ve manyetik geçirgenlik  $\mu_r$  değerlerinin hesap yoluyla belirlenmesinde yardımcı olur. NRW denkleminin çözülmesi için farklı birçok yöntem vardır [67-72,83].

### 3.5. Nicolson-Ross-Weir (NRW) Algoritması

Elektromanyetik soğurucu malzeme karakterizasyonlarında S-parametreleri yardımı ile etkin elektrik geçirgenlik ve etkin manyetik geçirgenlik sabitlerini hesaplamak için bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi farklı algoritmalar kullanılır. Bunlardan en tanınmış olanı NRW algoritmasıdır. Nicolson ve Ross (1970) ve Weir (1974)  $S_{11}$

ve  $S_{21}$  parametrelerini kullanarak, dielektrik geçirgenlik ve manyetik geçirgenlik hesaplamaları için yeni denklemler elde ettiler. Bu algoritmalar Nicolson-Ross-Weir (NRW) algoritması olarak literatüre girdi. NRW algoritmasında, yansımaya ve geçiş denklemleri  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  parametreleri ile yeniden düzenlenmiş ve böylelikle yansımaya katsayısı ( $\Gamma$ ) [63],

$$\Gamma = K \pm \sqrt{K^2 - 1} \quad (3.73)$$

dir. Burada  $K = \frac{(S_{11}^2 - S_{21}^2) + 1}{2S_{11}}$  olarak ifade edilir [63].

Denklem (3.45)' de (+) veya (-) işaretinin belirlenmesi  $|\Gamma| \leq 1$  koşulu ile belirlenir. Geçiş katsayısı ise ( $T$ ) [63];

$$T = \frac{(S_{11} + S_{21}) - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (3.74)$$

olarak ifade edildikten sonra dielektrik ve manyetik geçirgenlikleri bu ifadelerle göre [63];

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma}{(1 - \Gamma)\Lambda \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0^2}\right) - \left(\frac{1}{\lambda_c^2}\right)}} \quad (3.75)$$

$$\varepsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r \left[ \left(\frac{1}{\lambda_c^2}\right) - \left(\frac{1}{\Lambda^2}\right) \right]} \quad (3.76)$$

olarak ifade edilir. Burada  $\frac{1}{\Lambda^2} = \left[ \frac{1}{2\pi D} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right]^2$  olarak ifade edilir ve  $\lambda_0$ ; uygulama yaptığımız frekansın serbest ortamdaki dalga boyunu  $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$ ,  $\lambda_c$ ; iletim yolundaki

frekansın eşik dalga boyunu  $\lambda_c = c/2a$  (  $a$ ; dalga kılavuzunun alt uzunluğu) (Co-aksiyel hat için  $\infty$  olarak alınır) ve  $D$ ; dalga kılavuzunun köşegen uzunluğunu gösterir [63].

## BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Nanomanyetik Tozların Sentezlenmesi

$Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  spinel ferrit nanotozlar ve  $BaTiO_3$  polikristal nanotozlar sol-jel tekniği ile Bahçeşehir Üniversitesinde Doç. Dr. Lütfi ARDA tarafından sentezlendi. Sentezler genel hatlarıyla şu şekilde yapıldı;

Zn, Ni ve Fe nanotozlar bir kap içine atılıp çözelti haline getirilerek 12 saat oda sıcaklığında sıcaklığa dayanıklı bir kap içinde manyetik karıştırıcı ile temiz ve homojen bir yapı oluncaya kadar karıştırıldı. Bu karışım  $400^\circ C$  de 10 dk. bekletildi. Bu işlemlerden sonra hazırlanan tozlar  $950^\circ C$  de 30 dk. tavlandı.

$BaTiO_3$  polikristal tozlar ise; Baryum asetat, puratronic metaller (Alfa Aeser) ve Titanyum (IV) tert-butoxide (Aldrich) sıcaklığa dayanıklı kapalı bir kap içinde metanol katılarak oda sıcaklığında çözelti elde edildi. Çözeltiyi bir arada tutmak için buzul asetik asit bu çözelti içine atıldı. Bu karışım manyetik karıştırıcı ile 12 saat boyunca homojen ve transparan bir yapı oluncaya kadar oda sıcaklığında karıştırıldı sonra kabın kapağı açılarak aynı sıcaklıkta 3 gün boyunca karıştırıldı. Polikristal yapı elde edildikten sonra  $950^\circ C$  de 10 dk. tavlandı.

Diğer kullandığımız spinel ferrit nanotozlar için yüzey aktif madde destekli hidrotermal sentez yöntemi ile İnönü Üniversitesinde Sema Vural tarafından sentezlendi. Bununla ilgili sentezler genel hatlarıyla şu şekilde yapıldı;

Feritlerin sentezinde 0,003 mol cetyltrimethylammoniumbromide (CTAB) 35 ml. su içerisinde çözüldü. Çözeltiye 0,004 mol  $FeCl_3.6H_2O$  eklenerek berrak çözelti oluncaya kadar manyetik olarak karıştırıldı. Karıştırmaya 10 dk. devam edildikten sonra stokiyometrik miktarlarda  $CoCl_2.6H_2O$  ve  $CuCl_2 * 2H_2O$  eklenerek çözümleri sağlandı. Son hacim 40 ml. ye tamamlandı. Daha sonra çözeltinin pH'ı,

2M NaOH kullanılarak 11 olacak şekilde ayarlandı. 30 dk. karıştırılmaya devam edildi. Çözelti teflon kaba aktarılarak 130°C de 15 saat autoclave' da bekletildi. Oda sıcaklığına soğutulduktan sonra elde edilen koyu renkli çökelek birkaç defa saf su ile yıkandı. Elde edilen çökelek son olarak 500°C de 5 saat kül fırınında bekletilerek yapının oluşumu tamamlandı.

#### 4.2. Nanotozların Boyutlarının Ölçümü

Sol-jel ve yüzey aktif madde destekli hidrotermal sentezi ile oluşturulan tüm nanotozların boyutları Malvern Instruments Zeta Sizer Nano-ZS ölçüm aleti ile ölçüldü. Buna göre ölçüm sonuçları aşağıdaki tabloda 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Nanotozların boyutları.

<b>BaTiO<sub>3</sub></b>	d = 82 nm
--------------------------	-----------

<b>Co<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>x = 0</b>	<b>x = 0.4</b>	<b>x = 0.5</b>	<b>x = 0.8</b>	<b>x = 1</b>
<b>d</b>	42 nm	40 nm	34 nm	53 nm	48 nm

<b>Cu<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>x = 0</b>	<b>x = 0.6</b>	<b>x = 1</b>
<b>d</b>	41 nm	55 nm	48 nm

<b>Cu<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>x = 0</b>	<b>x = 0.6</b>	<b>x = 1</b>
<b>d</b>	57 nm	50 nm	42 nm

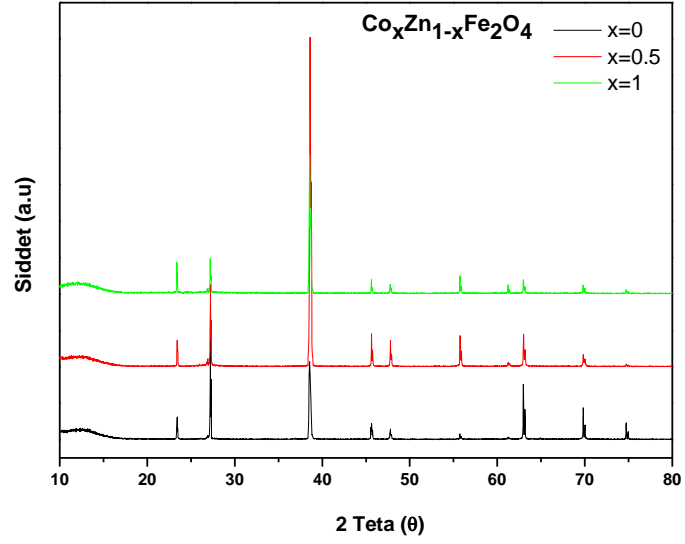
<b>Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>x = 0</b>	<b>x = 0.6</b>	<b>x = 1</b>
<b>d</b>	54 nm	62 nm	64 nm

<b>Mn<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>x = 0</b>	<b>x = 0.2</b>	<b>x = 0.6</b>	<b>x = 1</b>
<b>d</b>	58 nm	62 nm	64 nm	62 nm

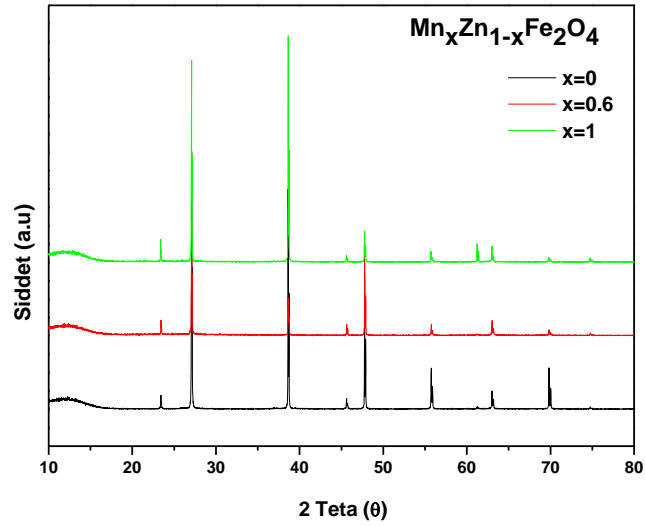
<b>Ni<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>x = 0</b>	<b>x = 0.5</b>	<b>x = 1</b>
<b>d</b>	85 nm	98 nm	72 nm

### 4.3. Nanotozların XRD Analizleri

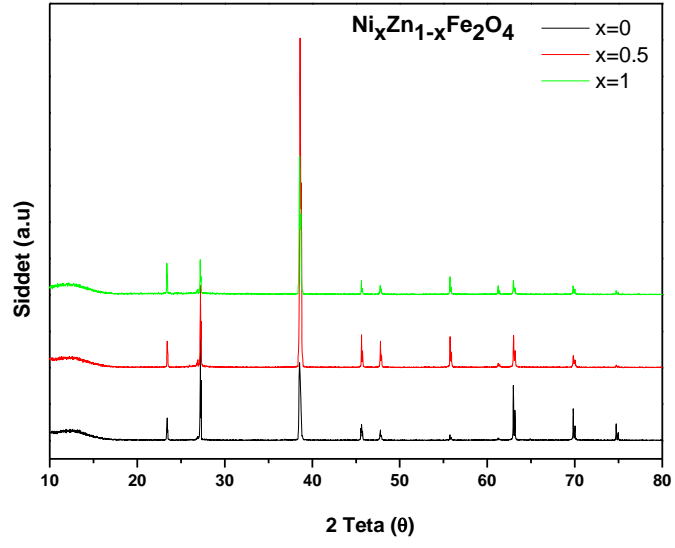
Nanotozların yapısal özelliklerinin incelenmesi için yapılan XRD analizleri Bruker D8 Advance Diffractometer ile yapıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir;



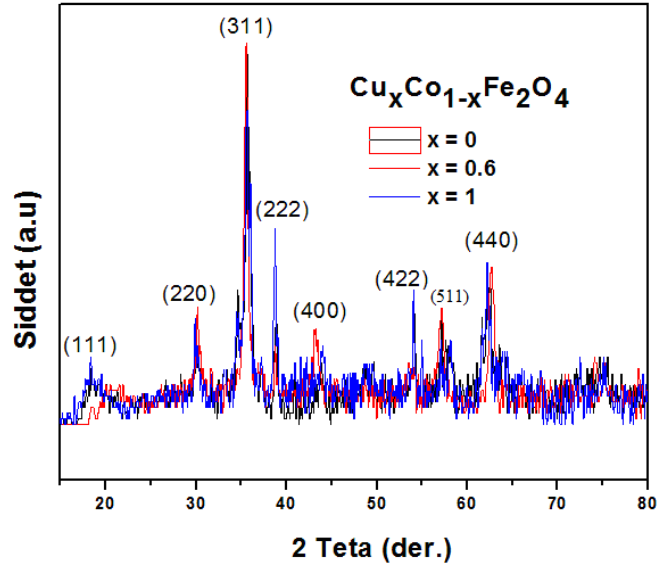
Şekil 4.1:  $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların XRD ölçüm sonuçları.



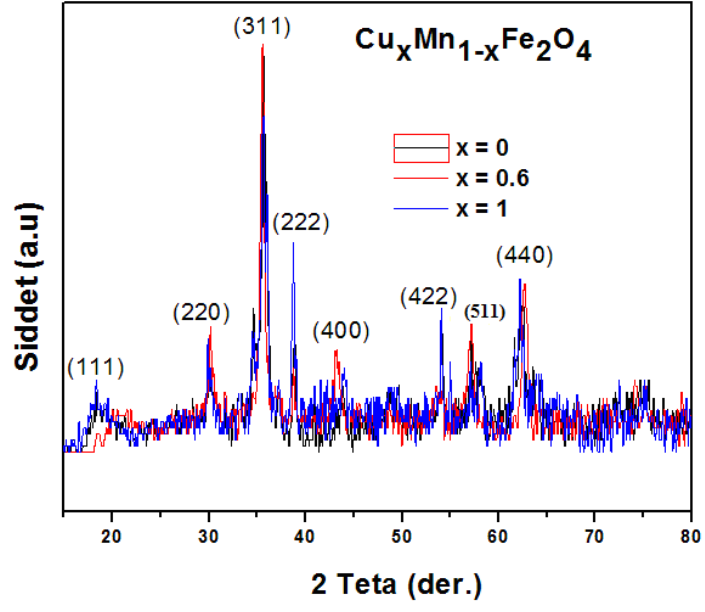
Şekil 4.2:  $\text{Mn}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların XRD ölçüm sonuçları.



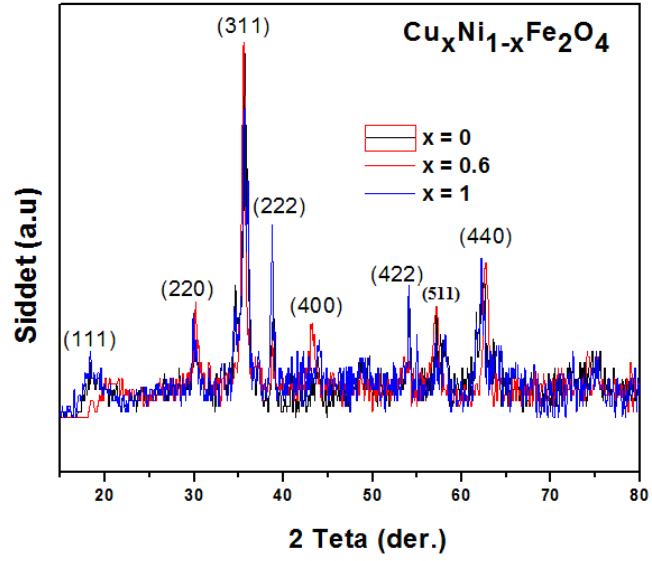
Şekil 4.3:  $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  nanotozların XRD ölçüm sonuçları.



Şekil 4.4:  $Cu_xCo_{1-x}Fe_2O_4$  nanotozların XRD ölçüm sonuçları.

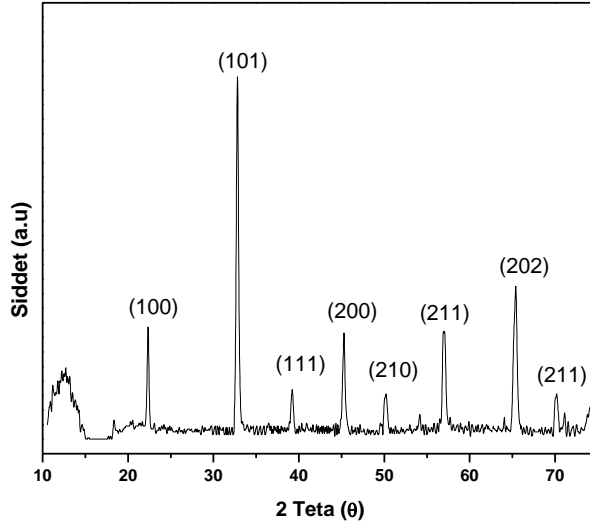


Şekil 4.5:  $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların XRD ölçüm sonuçları.



Şekil 4.6:  $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların XRD ölçüm sonuçları.





Şekil 4.7: BaTiO<sub>3</sub> nanotozların XRD ölçüm sonuçları.

Bu grafiklerden de görüldüğü üzere kullanılan ferrit nanotozların örgü yapılarının yansıma düzlemleri, (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511), (440) olduğu gözlemlenmiştir [74,75].

Grafiklerden, kullandığımız BaTiO<sub>3</sub> nanotozlar tetragonal yapıdadırlar ve örgü yapılarının yansıma düzlemleri (100), (101), (111), (200), (210), (211), (202), ve (211) olarak bulunmuştur [61,62,76,77].

Elde edilen numunelerin yapısal özellikleri referans katalog ile karşılaştırıldığında, yapılan sentezlerin başarılı olduğu görülmektedir.

#### 4.4. Manyetizasyon Ölçümleri

Elde edilen tüm nanomanyetik ferrit tozlarının manyetizasyon ölçümleri Quantum Design Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Model 6000 ile yapılmıştır. Manyetizasyon ölçümleri ile malzemenin; manyetik özelliği, permeabilitesi ( $\mu_r$ ) ve susceptibility ( $\chi$ ) hakkında bilgiler elde edilir. Manyetik geçirgenlik birim hacimdeki manyetik momenti ile orantılıdır ( $\mu_r \cong m/V$ ) [78,80]. Manyetik

duygunluk ise  $\chi = M / H$  dir [78,80]. Manyetizasyonu yüksek olan malzemeler belirtildiği üzere elektromanyetik soğurucu malzeme olarak çok rahat kullanılabilir [42]. Bizim bu numuneleri seçme nedenlerimizden biri de bu yüksek manyetizasyona sahip olan manyetik malzeme olmalarıdır.

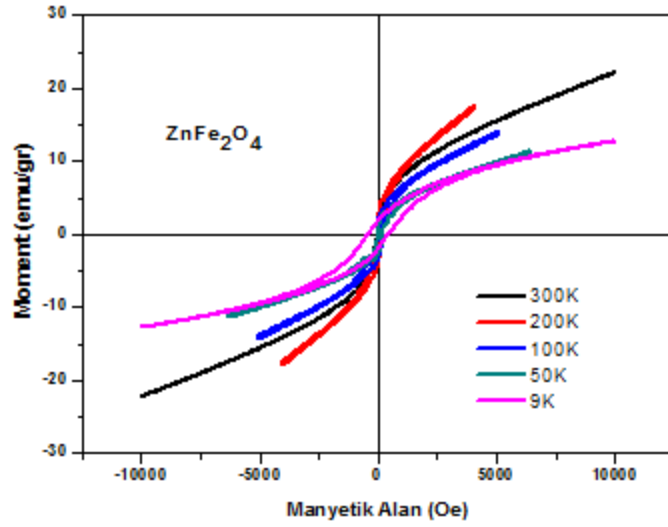
#### 4.4.1. $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları

Tablo 4.2:  $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  oda sıcaklığında manyetik moment değerleri.

$\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	Moment (emu/gr)
<b>x=0</b>	7
<b>x=0.5</b>	29.08
<b>x=1</b>	82.62

Tablo 4.3:  $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

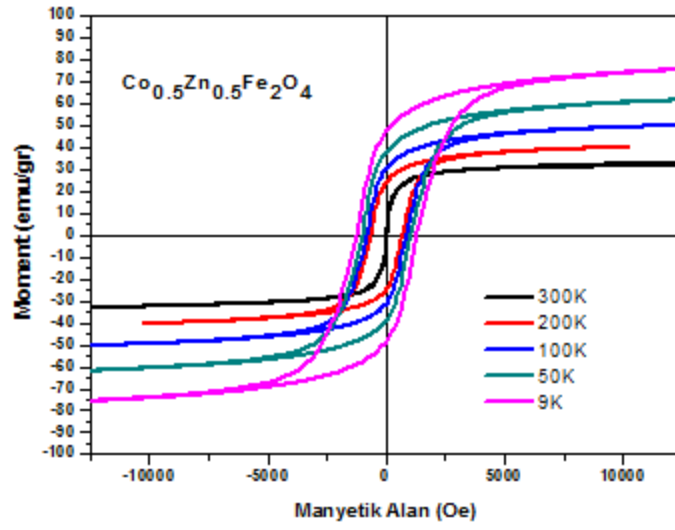
	<b>300K</b>	<b>200K</b>	<b>100K</b>	<b>50K</b>	<b>9K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	20.71	117.09	147.06	183.31	417.29



Şekil 4.8:  $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.4:  $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0.5 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

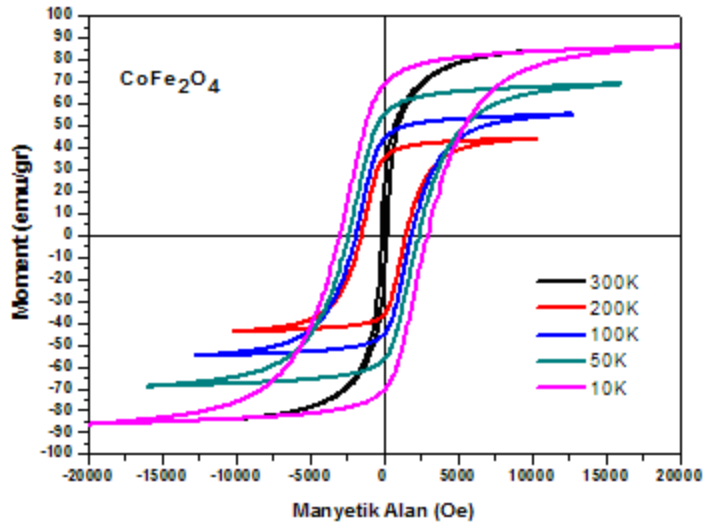
	<b>300K</b>	<b>200K</b>	<b>100K</b>	<b>50K</b>	<b>9K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	18.01	651.95	827.94	1039.56	1286.80



Şekil 4.9:  $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=0.5$  için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.5:  $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için  $H_c$  ölçüm değerleri.

	300K	200K	100K	50K	9K
$H_c$ (Oe)	161.34	1530.70	1853.70	2318.36	2896.90



Şekil 4.10:  $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için VSM ölçüm sonuçları.

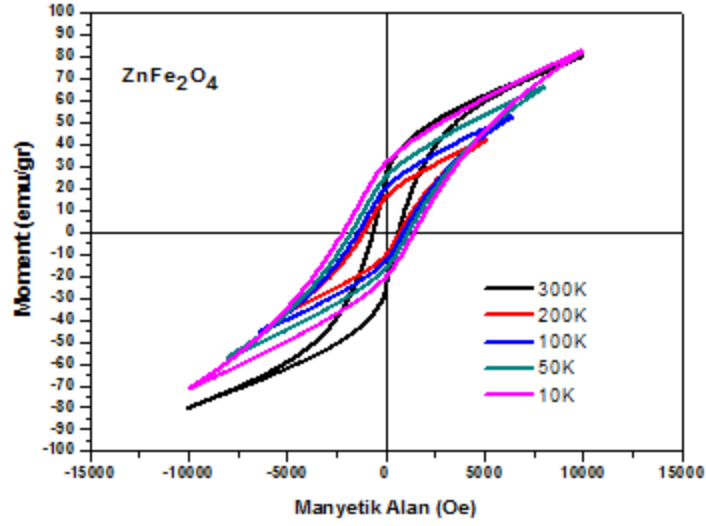
#### 4.4.2. $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları

Tablo 4.6:  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  oda sıcaklığında manyetik moment değerleri.

$Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$	Moment (emu/gr)
x=0	70.21
x=0.6	10
x=1	16.20

Tablo 4.7:  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  x=0 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

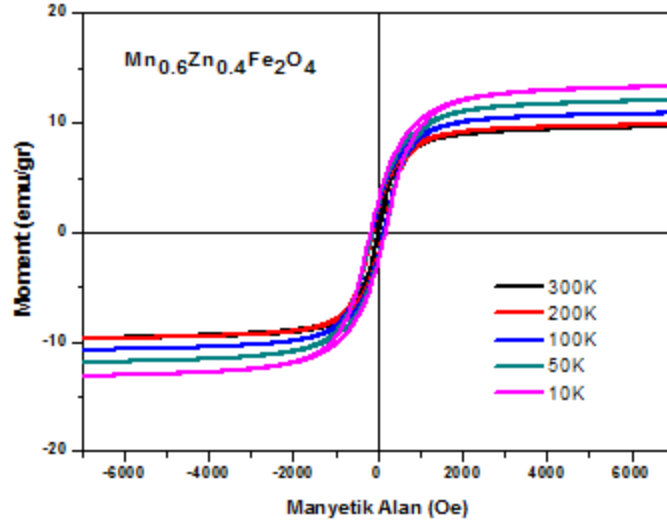
	300K	200K	100K	50K	9K
$H_c$ (Oe)	648.09	732.69	917.37	1128.87	1423.94



Şekil 4.11:  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  x=0 için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.8:  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  x=0.6 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

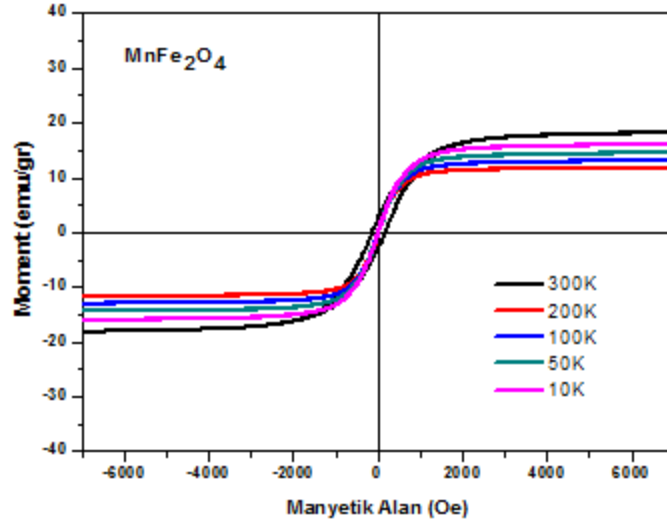
	300K	200K	100K	50K	10K
$H_c$ (Oe)	22.10	121.52	133.84	150.44	168.81



Şekil 4.12:  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$   $x=0.6$  için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.9:  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$   $x=1$  için  $H_c$  ölçüm değerleri.

	300K	10K
$H_c$ (Oe)	1.52	158.25



Şekil 4.13:  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$   $x=1$  için VSM ölçüm sonuçları.

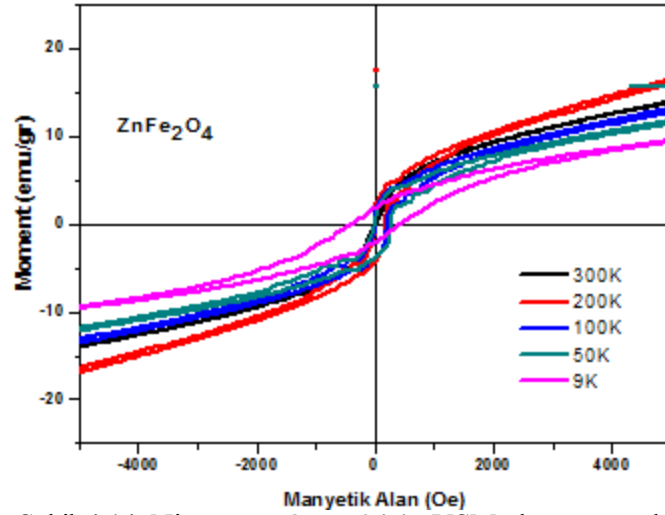
#### 4.4.3. $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları

Tablo 4.10:  $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  oda sıcaklığında manyetik moment ölçüm değerleri.

$\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	Moment (emu/gr)
x=0	7.04
x=0.6	33.42
x=1	19.09

Tablo 4.11:  $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

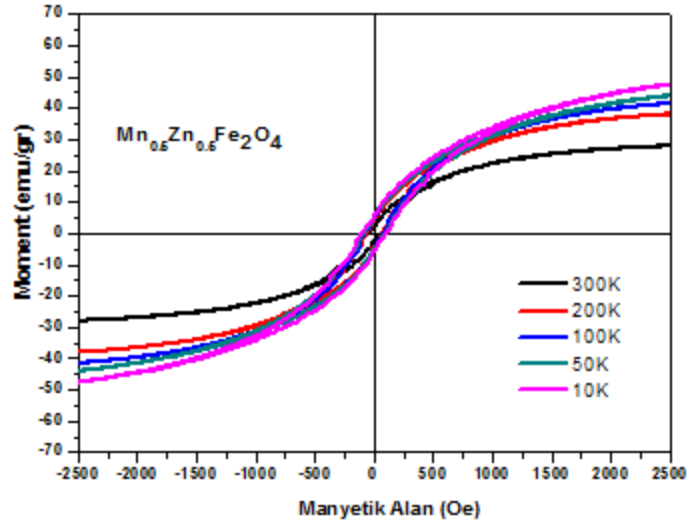
$H_c$ (Oe)	300K	200K	100K	50K	9K
$H_c$ (Oe)	16.84	156.96	204.56	252.69	409.93



Şekil 4.14:  $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.12:  $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0.5 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

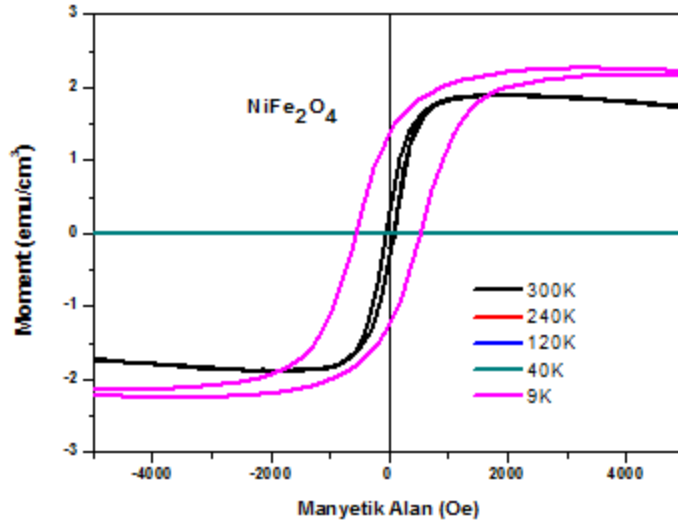
$H_c$ (Oe)	300K	200K	100K	50K	9K
$H_c$ (Oe)	58.11	64.19	72.27	88.54	100.72



Şekil 4.15:  $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=0.5$  için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.13:  $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$   $H_c$  ölçüm değerleri.

	300K	9K
$H_c$ (Oe)	96.19	526.60



Şekil 4.16:  $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için VSM ölçüm sonuçları.

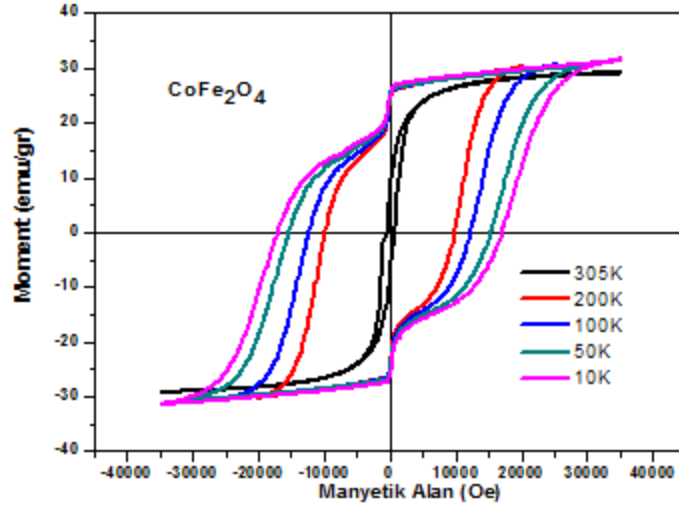
#### 4.4.4. $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları

Tablo 4.14:  $\text{Co}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  oda sıcaklığında manyetik moment ölçüm değerleri.

$\text{Co}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	Moment (emu/gr)
<b>x=0</b>	28.30
<b>x=0.6</b>	27.06
<b>x=1</b>	11.23

Tablo 4.15:  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

	<b>300K</b>	<b>200K</b>	<b>100K</b>	<b>50K</b>	<b>9K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	654.08	9750.49	12191.62	15275.15	17022.48

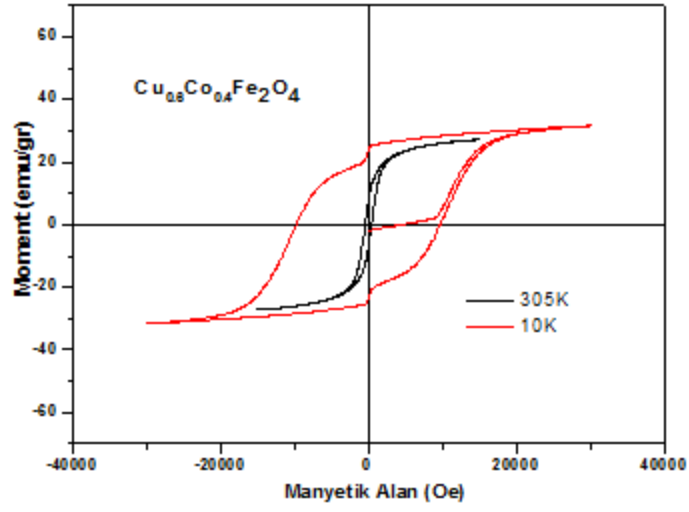


Şekil 4.17:  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.16:  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0.6 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

	<b>305K</b>	<b>10K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	410.85	9744.52

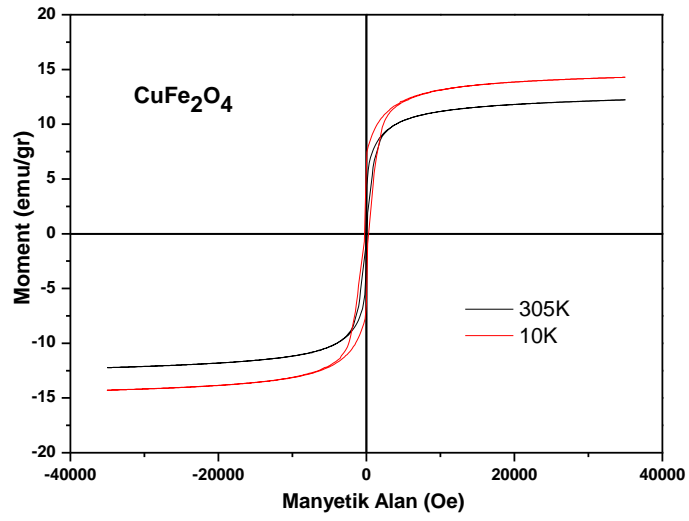




Şekil 4.18:  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=0.6$  için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.17:  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için  $H_c$  ölçüm değerleri.

	305K	10K
$H_c$ (Oe)	70.67	248.12



Şekil 4.19:  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için VSM ölçüm sonuçları.

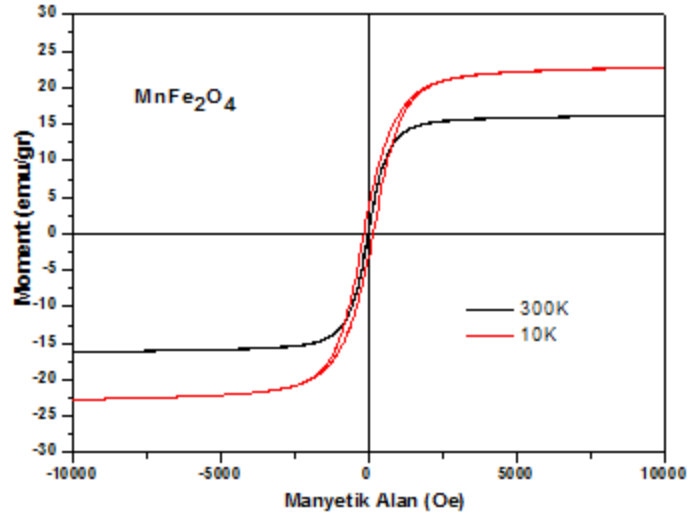
#### 4.4.5. $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları

Tablo 4.18:  $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  oda sıcaklığında manyetik moment ölçüm değerleri.

$\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	Moment (emu/gr)
<b>x=0</b>	16.13
<b>x=0.6</b>	9.45
<b>x=1</b>	11.64

Tablo 4.19:  $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

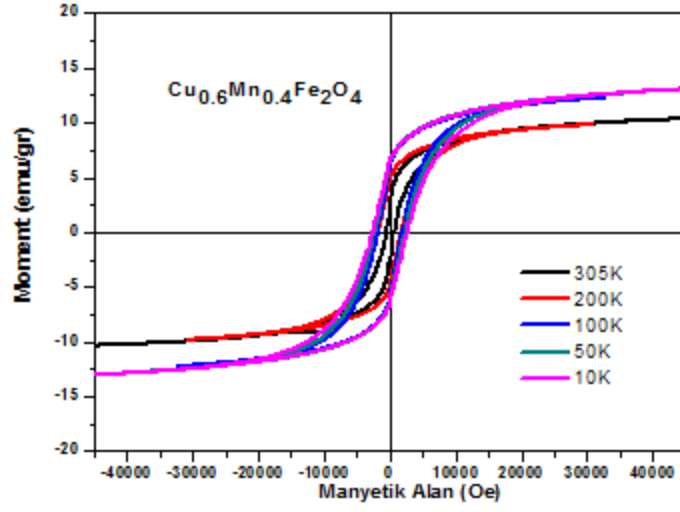
	<b>300K</b>	<b>9K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	7.31	157.76



Şekil 4.20:  $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.20:  $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0.6 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

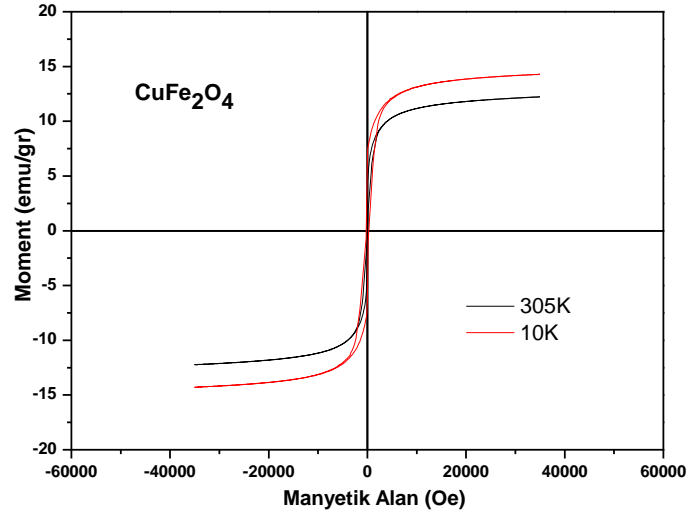
	<b>305K</b>	<b>200K</b>	<b>100K</b>	<b>50K</b>	<b>10K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	483.80	1790.26	1926.18	2176.89	2607.12



Şekil 4.21:  $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=0.6$  için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.21:  $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için  $H_c$  ölçüm değerleri.

	<b>305K</b>	<b>10K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	64.57	296.77



Şekil 4.22:  $\text{Cu}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için VSM ölçüm sonuçları.

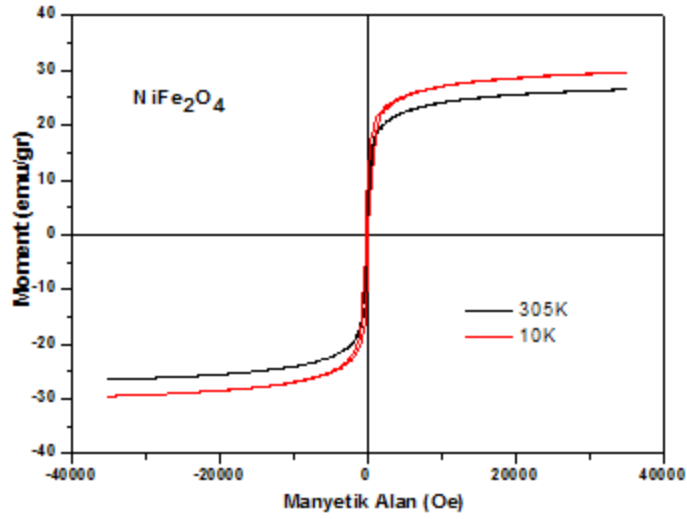
#### 4.4.6. $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanometalik toz örneklerin VSM ölçümleri ve sonuçları

Tablo 4.22:  $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  oda sıcaklığında maneytik moment ölçüm değerleri.

$\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$	Moment (emu/gr)
<b>x=0</b>	24.57
<b>x=0.6</b>	17.20
<b>x=1</b>	11.53

Tablo 4.23:  $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

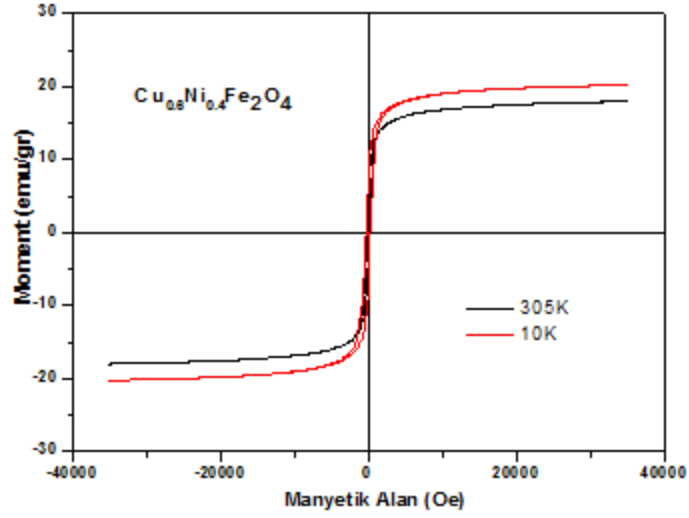
	<b>305K</b>	<b>10K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	131.92	190.68



Şekil 4.23:  $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0 için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.24:  $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  x=0.6 için  $H_c$  ölçüm değerleri.

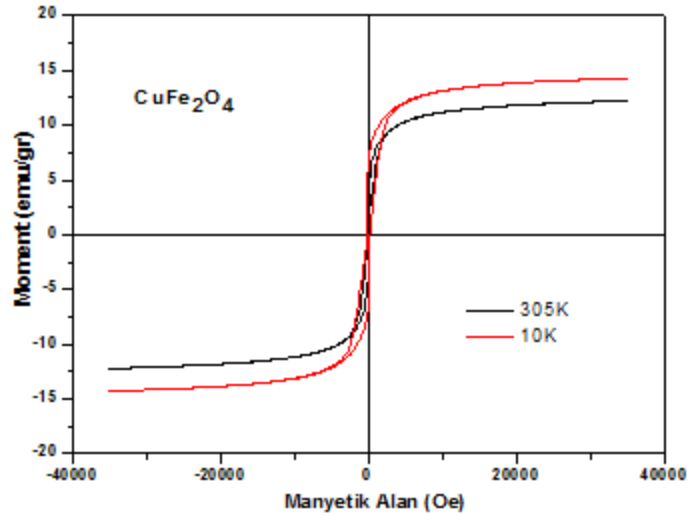
	<b>305K</b>	<b>10K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	220.01	339.23



Şekil 4.24:  $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=0.6$  için VSM ölçüm sonuçları.

Tablo 4.25:  $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için  $H_c$  ölçüm değerleri.

	<b>305K</b>	<b>10K</b>
<b><math>H_c</math> (Oe)</b>	63.84	293.46



Şekil 4.25:  $\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$   $x=1$  için VSM ölçüm sonuçları.

Yukarıdaki şekillerden, sol-gel ve yüzey aktif madde destekli hidrotermal sentez yöntemiyle elde edilen değişik varyasyonlardaki spinel ferritlerin manyetizasyon ve coercivity ( $H_c$ ) değerlerinin sıcaklıkla ve  $x$  değerlerine göre değişimleri görülmektedir. Manyetik malzemelerin coercivity si ( $H_c$ ) genellikle o manyetik malzemenin manyetokristal anizotropisine bağlıdır [84]. Spinel ferritler için düşük sıcaklıkta alınan ölçüm sonuçlarındaki coercivity değerleri bulk malzemeninkinden

oldukça yüksek değerlere sahiptir [85]. Bilindiği gibi manyetik malzemelere manyetik alan uyguladığında, malzeme içerisindeki manyetik momentlerin alan doğrultusunda yönelme eğilimlerine bağlı olarak, dışarıdan uygulanan manyetik alanın yönü önemlidir. Çünkü manyetik anizotropi gösteren malzemelerdeki manyetik momentler, kristalin bir doğrultusunda uygulanan dış manyetik alana bağlı hemen düzenlenirken, kristalin başka bir doğrultusunda uygulanan dış manyetik alan için daha zor düzenlenirler. Yani, manyetik malzemenin manyetik düzeninin kolay mı yoksa zor mu olacağı uygulanan alanın yönünün, kristalin hangi doğrultusunda olacağına bağlıdır. İşte bu tip özellik gösteren malzemelere “manyetik anizotropik” malzemeler denir. Ayrıca manyetik düzenin hemen sağlandığı eksene “kolay eksen”, manyetik düzenin daha geç olduğu eksene “zor eksen” adı verilir. Dolayısıyla kolay eksen doğrultusunda manyetik düzen daha az dış manyetik alanla sağlanırken, zor eksen doğrultusundaki düzenin sağlanması için daha yüksek dış alan gereklidir. Kolay ve zor eksenler arasındaki farklılık elektron yörüngelerindeki eşleşmeden kaynaklanır. Kolay eksen doğrultusundaki yörüngeler daha düşük enerji düzeylerindedirler. Bu nedenle, bu eksen doğrultusundaki manyetik momentleri yönlendirmek daha kolaydır. Zor eksen doğrultusundaki yörüngeler için ise bu olayın tam tersi geçerlidir [80,86].

Manyetizasyon ölçüm sonuçlarından görüldüğü üzere düşük sıcaklıkta coercivity artmıştır. Bu durum, yukarıda kısaca anlatıldığı manyetokristal anizotropi ile açıklanamaz. Bunun kaynağı, parçacıkların yüzeyinde spinlerin düzensizliğinden meydana gelen exchange anizotropi olduğu düşünülmektedir ve literatürle uyumludur [85-87].

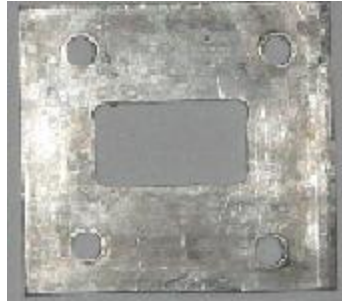
Sentezlenen nano boyuttaki manyetik tozların oda sıcaklığında alınan manyetizasyon ölçümlerinden görüldüğü üzere, literatürdeki çalışmaları göz önüne aldığımızda, bazı elektromanyetik soğurucu malzeme için, Lee S.P. ve arkadaşları  $MnZnFe_2O_4$  için yaklaşık 50 emu/gr [42], Wu K.H. ve arkadaşları  $NiZnFe_2O_4$  için yaklaşık 30 emu/gr [48], Li Y. ve arkadaşları  $ZnFe_2O_4$  35 emu/gr [51] olarak bulmuşlardır. Elde ettiğimiz sonuçlar göz önüne alındığında literatüre uygun ve doyum manyetizasyon değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Bu nedenle, daha önce de belirttiğimiz üzere bu tür malzemeler, elektromanyetik soğurucu olarak çok rahat kullanılacak özelliktedirler [42,48,51].

Oda sıcaklığında ve düşük sıcaklıkta yapılan manyetizasyon ölçümlerinden, numunelerin coercivity leri değerlerine göre bu tür malzemelerin yumuşak (soft) veya sert (hard) manyetik malzemeler olduğu görülür [78]. Sert (hard) manyetik malzemeler manyetik kayıt teknolojilerinde vb. [78, 84-87], yumuşak (soft) manyetik malzemeler ise manyetik soğutucu vb. [11,78] olarak endüstride yaygın kullanım alanlarına sahiptirler. Bu tez çalışmasında, başarılı bir şekilde sentezlenen nanomanyetik tozlar, elde edilen bu bulgulara göre endüstride rahat kullanılabilir niteliktedirler.

#### **4.5. Polimer Kompozit Oluşturma**

##### **4.5.1. Nanotozların parafin ile kompozit oluşturma**

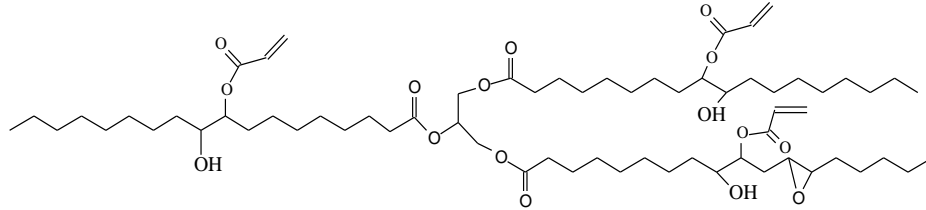
Mevcut olan bütün nanotozlar parafin ile birlikte 1' e 5 oranında alınıp cam bir kabın içinde homojen bir yapı oluncaya kadar manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Oluşan bu homojen karışım, şekil 4.aa da gösterilen,  $a = 19.4$  mm,  $d$  (cross section length) = 21.5 mm and  $c$  (thickness) = 2 mm olan özel olarak dizayn edilmiş bir kabın içine döküldü ve 15 dakika oda sıcaklığında bekletilerek istenilen boyutlarda yapı oluşturuldu.



Şekil 4.26: Özel olarak imal edilmiş numune tutturucu.

#### 4.5.2. Nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturma

Burada da mevcut olan nanotozları şekil 4.27’de moleküler yapısı gösterilen akrilenmiş epoksi (Acrilated Epoxy) ile birlikte 1’ e 5 oranında alınıp cam bir kabin içine koyuldu. Polimerizasyon işlemi için bu karışıma polimer başlatıcısı olarak silver hexafluoroantimonate tuzu eklenerek homojen bir yapı oluncaya kadar manyetik karıştırıcıda, 80 °C deki fırın sıcaklığında karıştırıldı. Polimerizasyon işlemi tamamlandıktan sonra oluşan bu polimer nanokompozitler, a = 19.4 mm, d (cross section length) = 21.5 mm and c (thickness) = 2 mm olan özel olarak dizayn edilmiş bir kabin içine döküldü ve 30 dakika oda sıcaklığında bekletilerek istenilen boyutlarda yapı oluşturuldu.



Şekil 4.27: Akrilenmiş epoksinin moleküler yapısı.

#### 4.6. Elektromanyetik Dalga Soğurma Ölçümleri

Elde edilen polimer nanokompozit numunelerin, Agilent 8364B PNA serisi Network analizör ile 8.5-15 GHz frekans aralığında yansımaya kaybı (Reflection Loss, RL) ölçümleri yapıldı. Hazırlanan örnek boyutlarının küçük olmasından dolayı açık alan ölçümü yerine, açık uçlu dalga kılavuzları arasında, geçiş/yansımaya metodu kullanıldı ve tüm numunelerin aynı kalınlık (2 mm) değerinde elektromanyetik soğurulma ölçümleri alındı. Ölçümler, yukarıda belirtilen geometrik değerlerde (a,d ve c) mikrodalga kılavuzlarının arasına adapte edilen numune tutturucu ile sabitlenerek alındı. Ölçüm sonuçlarından, değişik katkı oranlarındaki ferritler ve baryum titanat (BaTiO<sub>3</sub>), parafin ve akrilenmiş epoksi ile oluşturulan polimer nanokompozitlerin 8.5-15 GHz frekans aralığında, yansımaya kaybı değerlerinin değiştiği gözlemlendi. Her bir numunenin etkin manyetik geçirgenliği ve 8.5-15 GHz frekans aralığında yansımaya kaybı ölçüm sonuçları grafikler ile aşağıda görülmektedir. Sırasıyla ilk

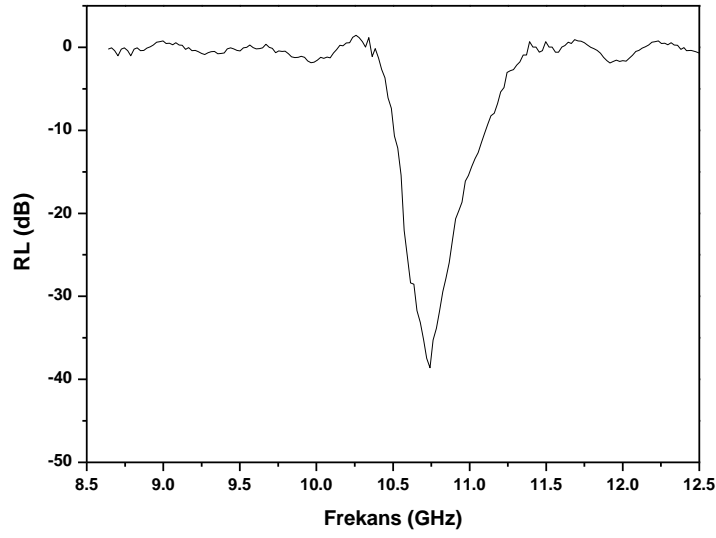


olarak nanotozların parafinle oluşturulan polimer nanokompozit yapıların ölçüm sonuçları şekil ve tablo halinde, ikinci olarak ise, nanotozların akrilenmiş epoksi ile oluşturulan polimer nanokompozit yapıların ölçüm sonuçları şekil ve tablo halinde verilmiştir.

#### 4.6.1. Nanotozlar ve parafin ile kompozit oluşturulan örneklerin ölçüm sonuçları

Tablo 4.26: BaTiO<sub>3</sub> ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.04E+10	0.20553	-0.27604	1.10E+10	-7.19521	
1.04E+10	0.00839	-0.0416	1.10E+10	-6.86812	
1.04E+10	-0.0777	-0.32139	1.10E+10	-6.4031	
1.04E+10	-0.28226	-0.66798	1.10E+10	-6.18098	
1.04E+10	-0.64693	-0.91873	1.11E+10	-6.14081	
1.05E+10	-1.28252	-1.51868	1.11E+10	-5.91845	
1.05E+10	-1.86592	-1.83959	1.11E+10	-5.80414	
1.05E+10	-2.48254	-2.67042	1.11E+10	-5.30612	
1.05E+10	-3.00224	-3.03663	1.11E+10	-5.08249	
1.06E+10	-3.81693	-3.85439	1.12E+10	-4.78316	
1.06E+10	-4.61409	-5.51123	1.12E+10	-4.74252	
1.06E+10	-5.84019	-6.33496	1.12E+10	-4.39643	
1.06E+10	-6.72582	-7.09762	1.12E+10	-4.22942	
1.06E+10	-7.69519	-7.13411	1.12E+10	-3.75772	
1.07E+10	-8.54215	-7.9283	1.13E+10	-3.93801	
1.07E+10	-9.61435	-5.78391	1.13E+10	-3.35306	
1.07E+10	-10.84143	-6.31249	1.13E+10	-3.69419	
1.07E+10	-11.78946	-4.31508	1.13E+10	-3.18451	
1.07E+10	-12.61153	-3.96168	1.14E+10	-3.37991	
1.08E+10	-12.77805	-2.19981	1.14E+10	-3.24037	
1.08E+10	-12.80118	-2.36198	1.14E+10	-3.1783	
1.08E+10	-12.22325	-0.96126	1.14E+10	-3.04597	
1.08E+10	-11.6589	-1.73707	1.14E+10	-2.85761	
1.08E+10	-10.78141		1.15E+10	-2.48254	
1.09E+10	-9.97171		1.15E+10	-1.86592	
1.09E+10	-9.01041		1.15E+10	-1.28252	
1.09E+10	-8.39053				
1.09E+10	-7.80569				
1.10E+10	-7.64026				



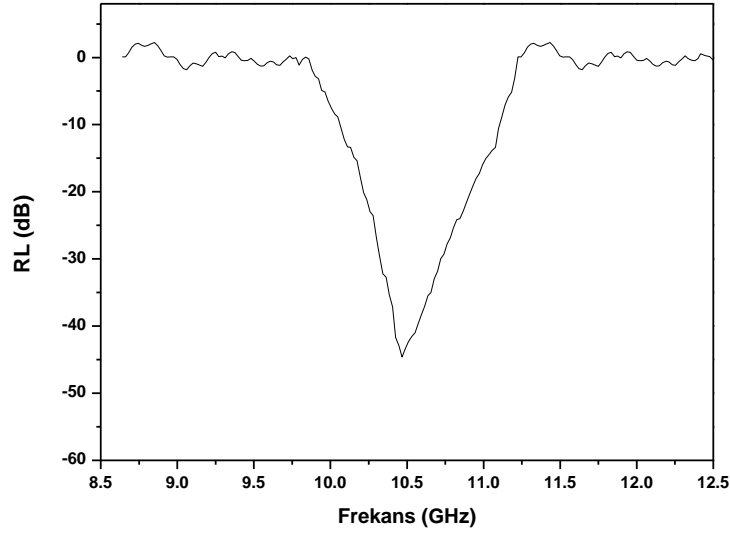
Şekil 4.28: BaTiO<sub>3</sub> nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.27: Co<sub>0.4</sub>Zn<sub>0.6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.01E+10	-0.05527	0.0682	1.05E+10	-6.39987	-7.33579
1.01E+10	-1.87089	0.43517	1.05E+10	-7.3017	-9.70671
1.01E+10	-1.57566	0.27084	1.05E+10	-8.03619	-9.50414
1.01E+10	-1.40594	0.59384	1.06E+10	-8.75538	-9.88949
1.02E+10	-1.60755	0.52757	1.06E+10	-8.90542	-8.39067
1.02E+10	-1.93884	0.5347	1.06E+10	-9.60158	-8.49617
1.02E+10	-2.3	0.20355	1.06E+10	-10.09433	-7.42889
1.02E+10	-2.32781	0.44197	1.06E+10	-11.34752	-7.47467
1.02E+10	-2.28976	-0.45708	1.07E+10	-11.67913	-7.81349
1.03E+10	-2.40448	-0.61833	1.07E+10	-12.13846	-7.34976
1.03E+10	-2.87178	-1.56074	1.07E+10	-11.78752	-7.00358
1.03E+10	-3.30921	-1.48254	1.07E+10	-12.05654	-6.32933
1.03E+10	-3.62159	-3.05829	1.07E+10	-11.84628	-6.21325
1.03E+10	-3.64429	-3.03056	1.08E+10	-11.68881	-5.83975
1.04E+10	-3.76753	-4.22156	1.08E+10	-11.05188	-5.46754
1.04E+10	-4.17702	-4.47074	1.08E+10	-10.40645	-5.57565
1.04E+10	-4.83929	-4.75004	1.08E+10	-10.09129	-5.17011
1.04E+10	-5.47335	-5.09868	1.08E+10	-9.64903	-3.40094
1.04E+10	-5.74334	-5.07791	1.09E+10	-9.51668	-2.90796
1.05E+10	-5.97747	-7.348	1.09E+10	-8.95627	-1.03801

Tablo 4.27: (Devam)  $\text{Co}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.09E+10	-8.65989	-0.72302
1.09E+10	-8.1559	0.61107
1.10E+10	-7.95971	-1.52891
1.10E+10	-7.55574	-0.34561
1.10E+10	-7.29748	-2.7444
1.10E+10	-6.62041	-1.30701
1.10E+10	-6.57258	-0.68994
1.11E+10	-5.71024	0.43207
1.11E+10	-5.94922	0.21683
1.11E+10	-5.04704	0.42253
1.11E+10	-5.26527	0.04094
1.11E+10	-4.64937	0.52435
1.12E+10	-4.6371	0.79978
1.12E+10	-4.42475	0.47254
1.12E+10	-4.08072	1.2242
1.12E+10	-4.09257	0.94331
1.12E+10	-3.92904	1.30777
1.13E+10	-3.76753	0.99941
1.13E+10	-3.64429	0.95534
1.13E+10	-2.87178	0.47925
1.13E+10	-2.40448	0.43883
1.14E+10	-1.93884	0.42588
1.14E+10	-1.60755	0.38861
1.14E+10	-1.40594	0.56084
1.14E+10	-0.84126	0.51737
1.14E+10	-0.10686	0.61099
1.15E+10	0.28073	0.5261
1.15E+10	0.01974	0.58956



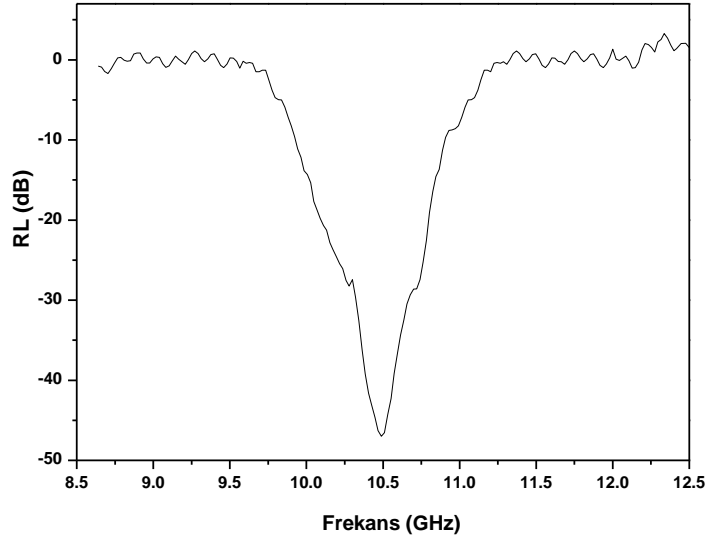
Şekil 4.29:  $\text{Co}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.28:  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
9.313E9	-0.05353	0.02112	9.754E9	-0.83092	-3.75822
9.334E9	0.02683	0.01823	9.775E9	-1.03566	-4.33497
9.355E9	0.14324	-0.01193	9.796E9	-1.09572	-3.41443
9.376E9	0.16749	-0.17222	9.817E9	-1.10061	-3.44628
9.397E9	0.01727	-0.34444	9.838E9	-1.29883	-3.60951
9.418E9	-0.14957	-0.64599	9.859E9	-1.58278	-3.80658
9.439E9	-0.21026	-1.59854	9.88E9	-1.81272	-5.35094
9.46E9	-0.11144	-2.11333	9.901E9	-1.89098	-5.74069
9.481E9	0.0512	-1.96762	9.922E9	-1.78694	-7.90705
9.502E9	0.04878	-3.04537	9.943E9	-1.80083	-8.20931
9.523E9	-0.04427	-3.30742	9.964E9	-1.72645	-10.7298
9.544E9	-0.22798	-4.30168	9.985E9	-2.05088	-10.55376
9.565E9	-0.0365	-4.01871	1.0006E10	-2.05608	-11.99996
9.586E9	-0.0948	-6.27069	1.0027E10	-2.129	-10.77179
9.607E9	-0.07487	-5.30115	1.0048E10	-1.93103	-10.84911
9.628E9	-0.09468	-5.76806	1.0069E10	-1.93819	-8.1879
9.649E9	-0.32784	-5.22514	1.009E10	-2.1331	-7.52369
9.67E9	-0.32608	-4.95406	1.0111E10	-2.48181	-5.48096
9.691E9	-0.28659	-4.961	1.0132E10	-2.82729	-5.41943
9.712E9	-0.28096	-4.40998	1.0153E10	-3.01721	-4.02056
9.733E9	-0.54725	-4.80798	1.0174E10	-3.20889	-4.00069

Tablo 4.28: (Devam)  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0195E10	-3.62316	-2.75163	1.0699E10	-6.30328	0.75877
1.0216E10	-4.20213	-2.04993	1.072E10	-6.04327	0.64926
1.0237E10	-4.9659	-1.88381	1.0741E10	-5.56496	0.7959
1.0258E10	-5.56496	-1.29435	1.0762E10	-4.9659	0.29529
1.0279E10	-6.04327	-1.90875	1.0783E10	-4.20213	0.39933
1.03E10	-6.52665	-1.38177	1.0804E10	-3.62316	-0.03805
1.0321E10	-7.17213	-1.88057	1.0825E10	-3.20889	0.1081
1.0342E10	-7.98749	0.17375	1.0846E10	-3.01721	0.69595
1.0363E10	-8.64323	0.09916	1.0867E10	-2.48181	0.57794
1.0384E10	-9.17409	0.58814	1.0888E10	-2.1331	1.02782
1.0405E10	-9.49746	0.08746	1.0909E10	-1.93819	0.62533
1.0426E10	-9.83677	0.10989	1.093E10	-1.93103	0.9353
1.0447E10	-10.20384	0.20368	1.0951E10	-1.89098	0.20618
1.0468E10	-10.35504	0.0278	1.0972E10	-1.81272	0.57865
1.0489E10	-10.25801	0.07899	1.0993E10	-1.58278	0.40057
1.051E10	-9.75596	0.08106	1.1014E10	-1.29883	0.37639
1.0531E10	-9.31903	0.18099	1.0195E10	-3.62316	-2.75163
1.0552E10	-8.62659	0.40683	1.1035E10	-1.10061	0.65564
1.0573E10	-8.07039	0.42387	1.1056E10	-1.09572	0.29571
1.0594E10	-7.57264	0.59993	1.1077E10	-1.03567	0.67823
1.0615E10	-7.15227	0.34593	1.0699E10	-6.30328	0.75877
1.0636E10	-6.71496	0.44922	1.072E10	-6.04327	0.64926
1.0657E10	-6.46517	0.36025	1.0741E10	-5.56496	0.7959
1.0678E10	-6.3098	0.46595	1.0762E10	-4.9659	0.29529



Şekil 4.30:  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.29:  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
9.229E9	0.23799	-0.24451	9.67E9	-0.46237	0.4652
9.25E9	0.31239	-0.22565	9.691E9	-0.25258	0.43371
9.271E9	0.05244	-0.17802	9.712E9	-0.10354	0.41169
9.292E9	0.08785	-0.20721	9.733E9	0.09485	0.34013
9.313E9	-0.02319	-0.12239	9.754E9	-0.06343	0.39092
9.334E9	0.22137	-0.12172	9.775E9	-0.16247	0.34454
9.355E9	0.34895	-0.09548	9.796E9	-0.18754	0.39078
9.376E9	0.29149	-0.02401	9.817E9	-0.06989	0.4004
9.397E9	0.05903	-0.023	9.838E9	0.21524	0.41656
9.418E9	-0.16417	0.05225	9.859E9	0.12239	0.48144
9.439E9	-0.19062	0.05421	9.88E9	0.06148	0.51042
9.46E9	-0.16795	0.10792	9.901E9	-0.22148	0.65497
9.481E9	-0.05418	0.19235	9.922E9	-0.14359	0.69953
9.502E9	-0.20765	0.3288	9.943E9	-0.07256	0.88508
9.523E9	-0.40984	0.39082	9.964E9	0.11602	0.88406
9.544E9	-0.5039	0.40373	9.985E9	0.0646	-7.78259
9.565E9	-0.49857	0.52945	1.0006E10	-0.13883	-7.14333
9.586E9	-0.30909	0.43527	1.0027E10	-0.07542	-7.18672
9.607E9	-0.21455	0.49109	1.0048E10	-0.21062	-5.98659
9.628E9	-0.26638	0.44813	1.0069E10	-0.20397	-5.71987
9.649E9	-0.42942	0.48373	1.009E10	-0.34011	-4.84675

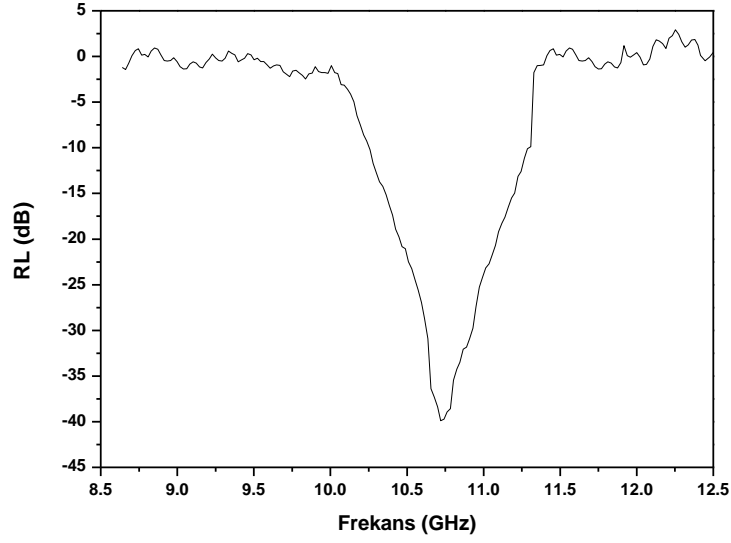
Tablo 4.29: (Devam) CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.0111E10	-0.48231	-4.78276	1.0972E10	-6.60421	-0.35715
1.0132E10	-0.38805	-4.25999	1.0993E10	-6.69003	-0.44163
1.0153E10	-0.33823	-4.14171	1.1014E10	-7.21505	-0.29331
1.0174E10	-0.36275	-3.75496	1.1035E10	-7.86786	-0.26899
1.0195E10	-0.6181	-3.29068	1.1056E10	-8.69195	-0.22221
1.0216E10	-0.71699	-3.23099	1.1077E10	-9.46739	-0.20725
1.0237E10	-0.82513	-2.73779	1.1098E10	-10.35177	-0.17437
1.0258E10	-0.59667	-2.91604	1.1119E10	-11.37542	-0.04812
1.0279E10	-0.55756	-2.34247	1.114E10	-12.55496	0.55554
1.03E10	-0.66472	-2.42294	1.1161E10	-13.47271	0.63224
1.0321E10	-0.76788	-1.48963	1.1182E10	-14.55875	0.50792
1.0342E10	-0.90958	-1.19894	1.1203E10	-13.47271	0.70987
1.0363E10	-0.71058	-0.89325	1.1224E10	-12.55496	0.59308
1.0384E10	-0.67608	-0.49858	1.1245E10	-11.37542	0.75103
1.0405E10	-0.41762	-0.68163	1.1266E10	-10.35177	0.627
1.0426E10	-0.60737	-0.25791	1.1287E10	-9.46739	0.61724
1.0447E10	-0.65025	0.21757	1.1308E10	-8.69195	0.42861
1.0468E10	-0.65229	-0.28203	1.1329E10	-7.86786	0.40039
1.0489E10	-0.68078	-0.47997	1.135E10	-7.21505	0.30964
1.051E10	-0.37807	-0.36303	1.1371E10	-6.69003	0.28458
1.0531E10	-0.65484	-0.1099	1.1392E10	-6.6042	0.36615
1.0552E10	-0.69613	-0.24594	1.1413E10	-6.26614	0.34045
1.0573E10	-1.14593	-0.39321	1.1434E10	-6.20455	0.36336
1.0594E10	-1.16021	-0.11851	1.1455E10	-5.69859	0.29727
1.0615E10	-1.33214	-0.15951	1.1476E10	-5.65774	0.31003
1.0636E10	-1.53102	-0.11656	1.1497E10	-5.2706	0.2874
1.0657E10	-1.84085	-0.01476	1.1518E10	-5.24536	0.30073
1.0678E10	-2.40119	-0.15081	1.1539E10	-5.07943	0.35071
1.0699E10	-2.77904	-0.47818	1.156E10	-4.72784	0.35406
1.072E10	-3.184	-0.46326	1.1581E10	-4.33325	0.36833
1.0741E10	-3.43492	-0.31838	1.1602E10	-3.78209	0.30887
1.0762E10	-3.78209	-0.32626	1.1623E10	-3.43492	0.3194
1.0783E10	-4.33325	-0.05687	1.1644E10	-3.184	0.33293
1.0804E10	-4.72784	-0.36979	1.1665E10	-2.77904	0.34006
1.0825E10	-5.07943	-0.17526	1.1686E10	-2.40119	0.33885
1.0846E10	-5.27059	-0.3305	1.1707E10	-1.84085	0.31125
1.0867E10	-5.24536	-0.15796	1.1728E10	-1.53102	0.31268
1.0888E10	-5.65774	-0.28006	1.1749E10	-1.33214	0.25382
1.0909E10	-5.69859	-0.43642	1.177E10	-1.16021	0.25201

Tablo 4.29: (Devam) CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.093E10	-6.26613	-0.40515	1.219E10	-0.05418	0.19433
1.0951E10	-6.20455	-0.05724	1.2211E10	-0.20765	0.2204
1.1854E10	-0.37807	0.1663	1.2232E10	-0.40984	0.25773
1.1875E10	-0.36275	0.1751	1.2253E10	-0.5039	0.28319
1.1896E10	-0.33823	0.15721	1.2274E10	-0.49857	0.33319
1.1917E10	0.02767	0.15908	1.2295E10	-0.30909	0.36016
1.1938E10	0.23799	0.13548	1.2316E10	-0.21454	0.39409
1.1959E10	0.31239	0.1197	1.2337E10	-0.26638	0.39604
1.198E10	0.05244	0.11393	1.2358E10	-0.42942	0.36944
1.2001E10	0.08785	0.0905	1.2379E10	-0.46237	0.27751
1.2022E10	-0.02319	0.11016	1.24E10	-0.25258	0.17503
1.2043E10	0.22137	0.11084	1.24167E10	0.44036	0.13211
1.2064E10	0.34895	0.13551	1.24467E10	0.03096	0.00929
1.2085E10	0.29149	0.14172	1.24768E10	-0.02694	-0.00808
1.2106E10	0.05903	0.12917	1.25068E10	0.06484	0.01945
1.2127E10	-0.16418	0.13641	1.25368E10	0.15731	0.04719
1.2148E10	-0.19062	0.13921	1.25668E10	-0.03295	-0.00988
1.2169E10	-0.16795	0.16003	1.1791E10	-1.14593	0.23331





Şekil 4.31: CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.30: Cu<sub>0.6</sub>Co<sub>0.4</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve parafin için S parametreleri.

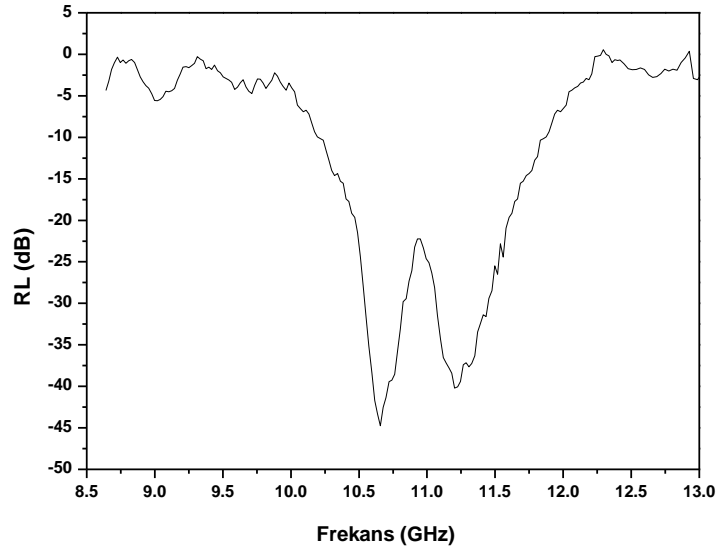
Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
8.641E9	-1.06664	0.33742	1.0405E10	-11.84566	1.54341
8.662E9	-0.99671	-0.02004	1.0426E10	-12.87259	1.5057
8.683E9	-0.59078	0.28616	1.0447E10	-13.37243	1.47125
8.704E9	-0.11804	-0.08222	1.0468E10	-13.81455	1.45355
8.725E9	0.17529	0.06139	1.0489E10	-13.13025	1.43851
9.376E9	-0.30421	0.24642	1.051E10	-12.76501	1.18859
9.397E9	-0.57047	0.15648	1.0531E10	-12.17683	1.14997
9.418E9	-0.83733	0.18555	1.0552E10	-12.11737	0.78081
9.439E9	-1.02165	-0.04908	1.0573E10	-11.89955	0.76786
9.46E9	-1.1642	-2.02139	1.0594E10	-11.05009	0.61377
9.481E9	-1.25635	-1.98978	1.0615E10	-10.21634	0.65799
9.502E9	-1.46989	-2.3502	1.0636E10	-9.20251	0.58045
9.523E9	-1.71369	-1.95064	1.0657E10	-9.08119	0.45932
9.544E9	-1.72909	-2.89376	1.0678E10	-8.43628	0.48036
9.565E9	-0.91302	-0.27514	1.0699E10	-8.04072	0.0294
9.586E9	-0.92872	-1.20685	1.072E10	-7.16836	0.20922
9.607E9	-1.07173	-1.01093	1.0741E10	-6.86471	0.01582
1.0321E10	-7.52683	1.94803	1.0762E10	-6.86787	0.41406
1.0342E10	-8.61954	2.02624	1.0783E10	-7.19906	0.31438
1.0363E10	-9.74974	1.80574	1.0804E10	-7.59645	1.10138
1.0384E10	-10.84755	1.82253	1.0825E10	-7.74975	1.0472

Tablo 4.30: (Devam)  $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0846E10	-8.13223	-0.14905	1.1644E10	-3.19057	-2.42256
1.0867E10	-8.67563	-0.16361	1.1665E10	-3.13643	-2.60844
1.0888E10	-9.70746	-1.14259	1.1686E10	-3.07094	-2.66861
1.0909E10	-10.59289	-0.99078	1.1707E10	-2.8822	-2.29512
1.093E10	-11.27424	-1.58143	1.1728E10	-2.55227	-1.9922
1.0951E10	-11.47594	0.38822	1.1749E10	-2.21796	-1.8751
1.0972E10	-11.65764	-0.07821	1.177E10	-2.07762	-1.71659
1.0993E10	-11.86131	0.66462	1.1791E10	-2.13754	-1.61393
1.1014E10	-12.40661	0.05323	1.1812E10	-2.01282	-1.20437
1.1035E10	-12.3597	-0.17095	1.1833E10	-1.88574	-0.67591
1.1056E10	-12.16703	-0.3818	1.1854E10	-1.38915	-0.38317
1.1077E10	-11.54314	-0.63136	1.1875E10	-1.33416	-0.12717
1.1098E10	-11.46482	1.81664	1.1896E10	-1.24912	-0.37105
1.1119E10	-11.62286	1.67481	1.1917E10	-1.19058	-0.2564
1.114E10	-11.49308	1.41524	1.1938E10	-1.06584	-0.40158
1.1161E10	-11.20624	1.98788	1.1959E10	-1.03253	-0.29253
1.1182E10	-10.32611	0.51145	1.198E10	-0.89794	-0.22419
1.1203E10	-10.00564	0.96725	1.2001E10	-0.94486	-0.36505
1.1224E10	-9.68622	-0.19132	1.2022E10	-0.72502	-0.68457
1.1245E10	-9.75317	0.23408	1.2043E10	-0.08553	-1.00479
1.1266E10	-9.0704	-1.27997	1.2064E10	-0.06982	-1.22599
1.1287E10	-8.79113	-1.19606	1.2085E10	-0.03657	-1.39704
1.1308E10	-7.8676	-0.70894	1.2106E10	0.17196	-1.50761
1.1329E10	-8.18134	-0.14165	1.2127E10	-0.00341	-1.76387
1.135E10	-7.04714	0.21035	1.2148E10	-0.05568	-2.05643
1.1371E10	-7.54288	0.43387	1.2169E10	-0.30718	-2.07491
1.1392E10	-6.46205	0.3843	1.219E10	-0.20475	-2.01016
1.1413E10	-6.06207	0.32846	1.2211E10	-0.23255	-1.89356
1.1434E10	-5.91307	0.25838	1.2232E10	-0.21129	-1.64746
1.1455E10	-5.47063	0.1706	1.2253E10	-0.35674	-1.67134
1.1476E10	-5.37338	0.07483	1.2274E10	-0.53085	-1.6238
1.1497E10	-4.79322	-0.46016	1.2295E10	-0.57101	-1.51728
1.1518E10	-4.71728	-0.8012	1.2316E10	-0.55961	-1.15603
1.1539E10	-4.5047	-1.47886	1.2337E10	-0.5047	-0.88083
1.156E10	-4.4328	-1.53594	1.2358E10	-0.56001	-0.57413
1.1581E10	-4.3216	-1.69709	1.2379E10	-0.76045	-0.5549
1.1602E10	-3.93995	-1.87243	1.24E10	-0.86044	-0.59575
1.1623E10	-3.79952	-2.07098	1.24167E10	-0.8327	-0.50975

Tablo 4.30: (Devam)  $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.24467E10	-0.71841	-0.39898
1.24768E10	-0.55682	-0.10316
1.25068E10	-0.62193	-0.22162
1.25368E10	-0.55141	-0.28418
1.25668E10	-0.59335	-0.63662
1.25969E10	-0.30873	-0.56868
1.26269E10	-0.13082	-0.67411
1.26569E10	0.10968	-0.48319
1.2687E10	-0.89794	-0.73681
1.2717E10	-0.94486	-0.82013
1.2747E10	-0.72502	-1.00829
1.27771E10	-0.08553	-1.07115
1.28071E10	-0.06982	-1.14923
1.28371E10	-0.03657	-1.2495
1.28671E10	0.17196	-1.56738
1.28972E10	-0.00341	-1.4704
1.29272E10	-0.05568	-1.27169
1.29572E10	-0.30718	-1.1298



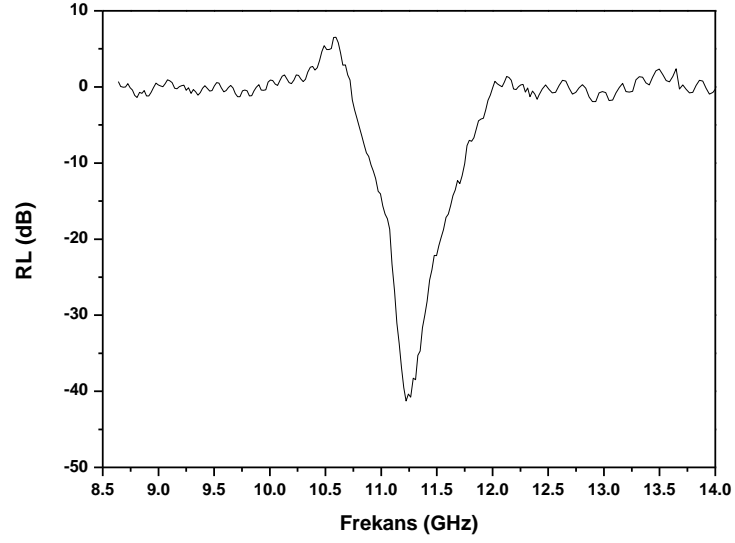
Şekil 4.32:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.31:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0006E10	0.52168	2.11202	1.0447E10	4.83976	7.09693
1.0027E10	0.94203	1.55581	1.0468E10	5.76383	6.19431
1.0048E10	1.28144	3.14993	1.0489E10	6.8172	7.48401
1.0069E10	1.43345	2.47917	1.051E10	8.05046	6.62911
1.009E10	1.55077	0.36948	1.0531E10	9.21014	6.55316
1.0111E10	1.72513	0.57746	1.0552E10	10.22572	4.97657
1.0132E10	1.97772	2.32118	1.0573E10	11.41623	4.79118
1.0153E10	2.27784	3.33877	1.0594E10	12.26398	3.66059
1.0174E10	2.43839	4.52128	1.0615E10	13.14819	3.56172
1.0195E10	2.34851	2.22923	1.0636E10	12.86387	4.20004
1.0216E10	2.35086	3.42561	1.0657E10	12.41798	4.21504
1.0237E10	2.3078	2.80046	1.0678E10	11.66494	4.28968
1.0258E10	2.52134	4.39353	1.0699E10	10.92055	3.48458
1.0279E10	2.53387	5.10786	1.072E10	10.23374	3.66069
1.03E10	2.71102	5.82865	1.0741E10	9.59898	3.22674
1.0321E10	2.47023	6.67298	1.0762E10	9.09334	3.40601
1.0342E10	2.56319	5.94511	1.0783E10	8.47677	3.70213
1.0363E10	2.78136	6.75308	1.0804E10	7.92393	3.66046
1.0384E10	3.3034	5.54683	1.0825E10	7.37457	3.74555
1.0405E10	3.77653	6.62142	1.0846E10	6.93426	3.02778
1.0426E10	4.34156	5.5437	1.0867E10	6.52651	3.13752

Tablo 4.31: (Devam)  $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

1.0909E10	5.61759	3.01694
1.093E10	5.3994	2.90785
1.0951E10	5.02506	2.54604
1.0972E10	5.09041	2.53881
1.0993E10	4.89506	1.86897
1.1014E10	4.81957	1.83252
1.1035E10	4.70604	1.47431
1.1056E10	4.58492	1.2935
1.1077E10	4.72032	1.20675
1.1098E10	4.60442	0.82717
1.1119E10	4.72903	0.91746
1.114E10	4.49646	0.62201
1.1161E10	4.40809	0.63577
1.1182E10	4.19865	0.41359



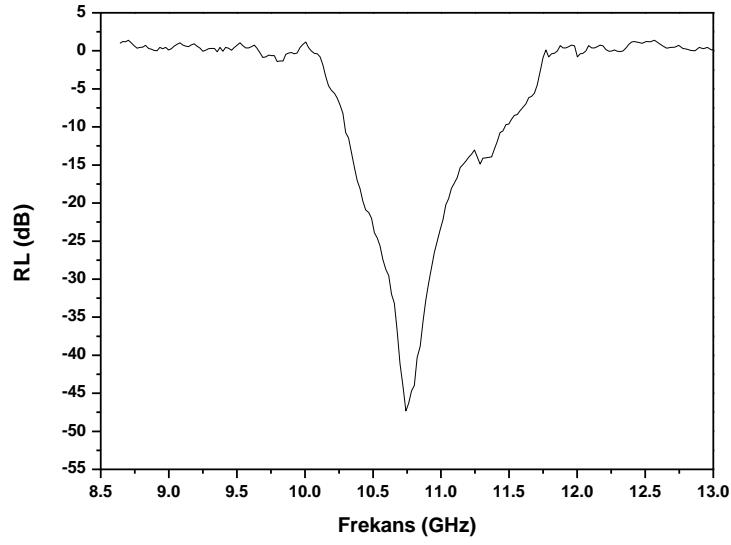
Şekil 4.33:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.32:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0006E10	0.52168	2.11202	1.0405E10	3.77653	6.62142
1.0027E10	0.94203	1.55581	1.0426E10	4.34156	5.5437
1.0048E10	1.28144	3.14993	1.0447E10	4.83976	7.09693
1.0069E10	1.43345	2.47917	1.0468E10	5.76383	6.19431
1.009E10	1.55077	0.36948	1.0489E10	6.8172	7.48401
1.0111E10	1.72513	0.57746	1.051E10	8.05046	6.62911
1.0132E10	1.97772	2.32118	1.0531E10	9.21014	6.55316
1.0153E10	2.27784	3.33877	1.0552E10	10.22572	4.97657
1.0174E10	2.43839	4.52128	1.0573E10	11.41623	4.79118
1.0195E10	2.34851	2.22923	1.0594E10	12.26398	3.66059
1.0216E10	2.35086	3.42561	1.0615E10	13.14819	3.56172
1.0237E10	2.3078	2.80046	1.0636E10	12.86387	4.20004
1.0258E10	2.52134	4.39353	1.0657E10	12.41798	4.21504
1.0279E10	2.53387	5.10786	1.0678E10	11.66494	4.28968
1.03E10	2.71102	5.82865	1.0699E10	10.92055	3.48458
1.0321E10	2.47023	6.67298	1.072E10	10.23374	3.66069
1.0342E10	2.56319	5.94511	1.0741E10	9.59898	3.22674
1.0363E10	2.78136	6.75308	1.0762E10	9.09334	3.40601
1.0384E10	3.3034	5.54683	1.0783E10	8.47677	3.70213

Tablo 4.32: (Devam)  $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0825E10	7.37457	3.74555
1.0846E10	6.93426	3.02778
1.0867E10	6.52651	3.13752
1.0888E10	6.16033	2.98301
1.0909E10	5.61759	3.01694
1.093E10	5.3994	2.90785
1.0951E10	5.02506	2.54604
1.0972E10	5.09041	2.53881
1.0993E10	4.89506	1.86897
1.1014E10	4.81957	1.83252
1.1035E10	4.70604	1.47431
1.1056E10	4.58492	1.2935
1.1077E10	4.72032	1.20675
1.1098E10	4.60442	0.82717
1.1119E10	4.72903	0.91746
1.114E10	4.49646	0.62201
1.1161E10	4.40809	0.63577
1.1182E10	4.19865	0.41359



Şekil 4.34:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

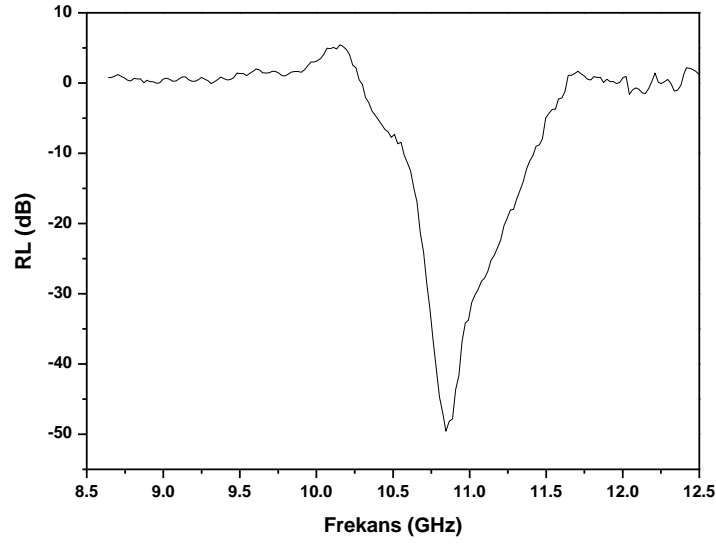
Tablo 4.33:  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0006E10	1.41057	-2.63227	1.0405E10	-2.02346	-3.79418
1.0027E10	1.35171	-2.29639	1.0426E10	-2.35194	-4.97792
1.0048E10	1.50727	-1.76924	1.0447E10	-2.39553	-4.49716
1.0069E10	1.45428	-1.03566	1.0468E10	-2.84632	-5.18439
1.009E10	1.32715	-0.15882	1.0489E10	-3.16195	-4.01111
1.0111E10	1.11779	0.51707	1.051E10	-3.44385	-4.44649
1.0132E10	0.7049	0.55938	1.0531E10	-4.17144	-3.2239
1.0153E10	0.59364	0.94179	1.0552E10	-4.69213	-3.41757
1.0174E10	0.13213	0.56377	1.0573E10	-5.91694	-5.70891
1.0195E10	-0.05608	0.45804	1.0594E10	-6.69671	-5.32145
1.0216E10	-0.56987	0.08547	1.0615E10	-7.89586	-7.08481
1.0237E10	-0.7773	-0.56726	1.0636E10	-8.96263	-6.1851
1.0258E10	-1.12021	-1.05882	1.0657E10	-10.17035	-7.30626
1.0279E10	-1.27353	-2.15057	1.0678E10	-11.34253	-4.87027
1.03E10	-1.455	-2.51021	1.0699E10	-12.41581	-5.69475
1.0321E10	-1.64096	-3.34125	1.072E10	-13.0606	-5.23623
1.0342E10	-1.83777	-3.07363	1.0741E10	-13.76416	-5.06659
1.0363E10	-1.92927	-3.59342	1.0762E10	-13.38702	-6.03711
1.0384E10	-2.15102	-3.56559	1.0783E10	-13.2826	-5.24936



Tablo 4.33: (Devam)  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0825E10	-11.55807	-5.15987	1.135E10	-2.16107	0.27906
1.0846E10	-10.23284	-4.60823	1.1371E10	-1.65677	-0.11033
1.0867E10	-9.49099	-3.48077	1.1392E10	-1.37792	0.17986
1.0888E10	-8.81848	-2.84866	1.1413E10	-1.19893	-0.6099
1.0909E10	-7.84315	-1.60123	1.1434E10	-1.04418	0.02075
1.093E10	-7.25796	-2.42934	1.1455E10	-1.03134	0.29524
1.0951E10	-6.49804	-0.23044	1.1476E10	-0.62652	0.69734
1.0972E10	-6.44322	-1.52439	1.1497E10	-0.58935	0.80569
1.0993E10	-6.04933	-0.48292	1.1518E10	-0.34027	0.4182
1.1014E10	-5.77363	-0.75082	1.1539E10	-0.32648	0.73161
1.1035E10	-5.35076	1.20083	1.156E10	-0.30441	0.36931
1.1056E10	-5.06589	0.48661	1.1644E10	0.04719	0.60787
1.1077E10	-5.14768	1.39737	1.1665E10	0.07907	-0.06177
1.1098E10	-5.10615	1.77004	1.1686E10	-0.02087	0.21285
1.1119E10	-5.08524	0.47286	1.1707E10	0.19924	0.14471
1.114E10	-4.80822	0.94299	1.1728E10	0.31406	0.26697
1.1161E10	-4.74354	-0.78446	1.1749E10	0.26234	0.15535
1.1182E10	-4.72083	0.21361	1.177E10	0.05313	-0.19227
1.1203E10	-4.57149	0.50169	1.1791E10	-0.14776	-0.2776
1.1224E10	-4.25506	0.43507	1.1812E10	-0.17156	-0.64141
1.1245E10	-3.89992	0.79465	1.1833E10	-0.15115	-0.62305
1.1266E10	-3.40388	-0.46962	1.1854E10	-0.04876	-0.6432
1.1287E10	-3.09143	-0.01688	1.1875E10	-0.18689	-0.78037
1.1308E10	-2.8656	-0.72895	1.1896E10	-0.36886	-0.88963
1.1329E10	-2.50114	0.02789			



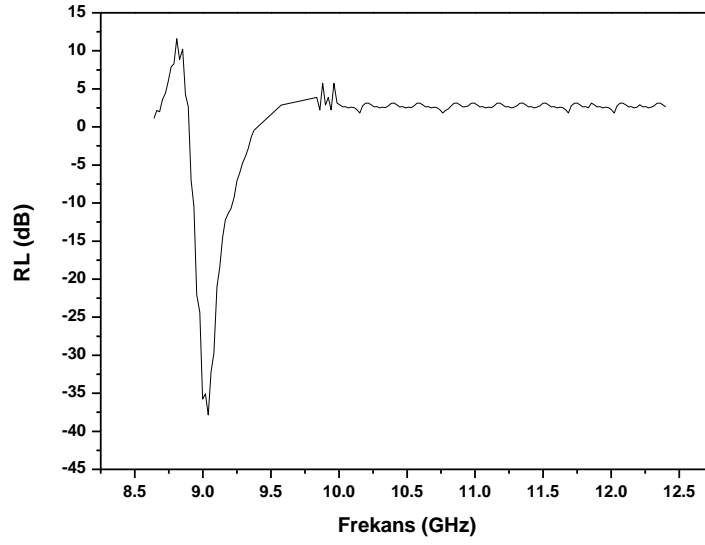
Şekil 4.35:  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.34:  $\text{Mn}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
8.641E9	2.08471	0.5401	9.103E9	2.88633	0.12484
8.662E9	3.01096	0.5977	9.124E9	4.03027	0.03984
8.683E9	3.50748	1.04975	9.145E9	3.07459	-0.15475
8.704E9	3.47221	1.37218	9.166E9	3.55174	-0.10328
8.725E9	3.69217	1.5908	9.187E9	1.48161	0.29122
8.746E9	3.74903	1.57611	9.208E9	0.92949	0.67284
8.767E9	3.35587	1.54268	9.229E9	-2.43487	0.89032
8.788E9	3.30171	1.61824	9.25E9	-3.62767	0.82826
8.809E9	2.53992	1.80931	9.271E9	-7.65746	0.57336
8.83E9	2.32459	2.05949	9.292E9	-8.45949	0.6143
8.851E9	1.44221	2.03413	9.313E9	-12.41883	0.62195
8.872E9	1.17853	1.82926	9.334E9	-12.17462	0.9717
8.893E9	0.61546	1.40428	9.355E9	-13.14157	0.98519
8.914E9	0.56221	1.05735	9.376E9	-11.17311	0.78617
8.935E9	0.59871	1.14771	9.397E9	-10.32638	0.43656
8.956E9	0.39208	1.1047	9.418E9	-7.29674	0.28925
8.977E9	0.75089	1.02667	9.439E9	-6.39978	0.34653
8.998E9	0.69125	0.56169	9.46E9	-5.04939	0.58508
9.019E9	1.23741	0.12785	9.481E9	-4.23225	0.5644
9.04E9	1.54736	-0.22548	9.502E9	-4.29484	0.40465
9.061E9	2.09529	-0.22267	9.523E9	-3.37528	0.07847
9.082E9	2.7456	0.08626	9.544E9	-3.21044	-0.08405

Tablo 4.34: (Devam)  $Mn_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$  ve parafin için S parametreleri.

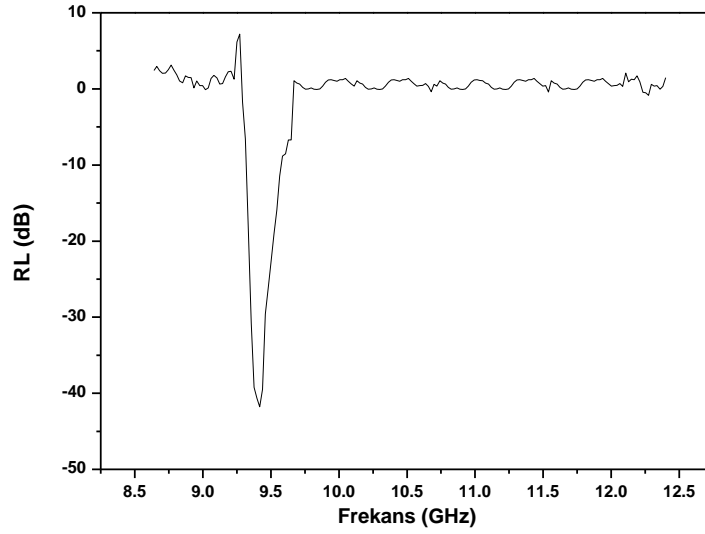
9.586E9	-2.09253	0.28565
9.607E9	-1.64845	0.43493
9.628E9	-1.35621	0.1718
9.649E9	-1.68359	0.01423
9.67E9	-1.49571	0.09361
9.691E9	-1.87958	0.40471
9.712E9	-1.7217	0.68117
9.733E9	-1.55098	0.68594
9.754E9	-1.68597	0.46631
9.775E9	-1.48475	0.30053
9.796E9	-3.15039	0.37136
9.817E9	-3.10952	0.61604
9.838E9	-4.03339	0.75936
9.859E9	-3.91262	0.64109
9.88E9	-2.80797	0.31317
9.901E9	-2.38052	0.12804
9.922E9	-1.54583	0.26187
9.943E9	-3.44909	0.42333
9.964E9	-2.71904	0.59193
9.985E9	-3.98065	0.38221
1.0006E10	-2.95586	0.32156



Şekil 4.36:  $Mn_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.35:  $MnFe_2O_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
9.019E9	-0.6543	2.34563	9.481E9	-8.47246	1.43498
9.04E9	-0.58116	3.41697	9.502E9	-7.34341	1.61378
9.061E9	-0.6688	3.67158	9.523E9	-6.20704	2.56013
9.082E9	0.00445	3.27248	9.544E9	-5.19338	3.18001
9.103E9	-0.11487	3.01628	9.565E9	-3.74125	2.77565
9.124E9	0.52723	2.79515	9.586E9	-2.8854	2.92578
9.145E9	-0.6297	2.8784	9.607E9	-2.78958	2.25484
9.166E9	-1.12425	2.37997	9.628E9	-2.19198	2.79569
9.187E9	-1.96897	1.7117	9.649E9	-2.19015	2.81925
9.208E9	-2.17709	0.50591	9.67E9	-1.77434	2.67314
9.229E9	-3.62387	-0.26861	9.691E9	-1.08965	2.04812
9.25E9	-2.01068	-0.63659	9.712E9	-0.47734	1.14726
9.271E9	-2.34899	-0.4796	9.733E9	0.03101	0.92592
9.292E9	-0.5722	-0.44586	9.754E9	-0.38706	0.73348
9.313E9	-2.15106	-0.51259	9.775E9	-0.26222	0.92824
9.334E9	-5.83642	-0.79931	9.796E9	-0.64081	0.67208
9.355E9	-10.04886	-0.8086	9.817E9	-0.51375	0.19415
9.376E9	-12.79773	-0.40019			
9.397E9	-13.26028	0.34513			
9.418E9	-13.64152	0.80757			
9.439E9	-12.89017	1.22223			
9.46E9	-9.65363	0.94556			



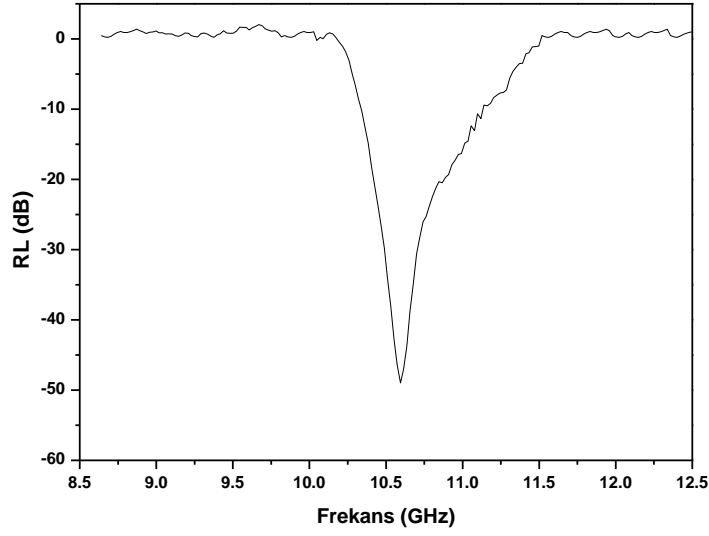
Şekil 4.37:  $MnFe_2O_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.36:  $Ni_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0006E10	-0.06114	0.81817	1.0468E10	-10.12814	-1.57334
1.0027E10	0.0616	0.73389	1.0489E10	-11.31358	-1.25173
1.0048E10	0.01535	0.19468	1.051E10	-12.75696	-1.43186
1.0069E10	0.19543	0.13636	1.0531E10	-13.80683	-1.15865
1.009E10	0.26135	-1.96402	1.0552E10	-14.5803	-0.63343
1.0111E10	0.20571	-2.84711	1.0573E10	-14.0034	-0.32447
1.0132E10	0.05502	-4.21128	1.0594E10	-13.00351	0.08933
1.0153E10	-0.14552	-5.50802	1.0615E10	-11.5473	-0.8005
1.0174E10	-0.31139	-6.35262	1.0636E10	-10.38874	-0.63143
1.0195E10	-0.55067	-7.28463	1.0657E10	-9.09901	-0.99665
1.0216E10	-0.91656	-7.10431	1.0678E10	-8.42386	-0.74985
1.0237E10	-1.46793	-8.12408	1.0699E10	-7.75074	0.28129
1.0258E10	-1.98322	-7.09503	1.072E10	-7.526	0.08528
1.0279E10	-2.55431	-7.41264	1.0741E10	-7.07123	0.16864
1.03E10	-3.05771	-6.05966	1.0762E10	-6.6753	0.03788
1.0321E10	-3.77514	-6.81693	1.0783E10	-6.3195	0.10129
1.0342E10	-4.42098	-5.29483	1.0804E10	-6.053	-0.01077
1.0363E10	-5.42842	-5.14359	1.0825E10	-6.09081	0.07623
1.0384E10	-6.21588	-4.02816	1.0846E10	-5.86854	0.31588
1.0405E10	-7.06074	-3.32463	1.0867E10	-5.75044	0.36142
1.0426E10	-7.89751	-2.14372	1.0888E10	-5.32605	0.5403
1.0447E10	-8.86463	-1.555	1.0909E10	-5.14881	0.42838

Tablo 4.36: (Devam)  $Ni_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.0951E10	-4.85367	0.30728	1.135E10	-1.03134	-0.75625
1.0972E10	-4.42049	0.45451	1.1371E10	-0.62652	-0.61833
1.0993E10	-4.3197	0.39198	1.1392E10	-0.58935	-0.29637
1.1014E10	-3.67904	0.46788	1.1413E10	-0.34027	0.16193
1.1035E10	-3.88882	0.55089	1.1434E10	-0.32648	0.31709
1.1056E10	-3.17493	0.43415	1.1455E10	-0.30441	0.15786
1.1077E10	-3.37524	0.5362	1.1476E10	0.0249	0.3927
1.1098E10	-2.80192	0.4238	1.1497E10	0.21419	-0.29031
1.1119E10	-2.83647	0.53011	1.1518E10	0.28115	0.06941
1.114E10	-2.72101	0.397	1.1539E10	0.14069	0.24756
1.1161E10	-2.48832	0.46449	1.156E10	0.01173	0.72201
1.1182E10	-2.38333	0.35021	1.1581E10	-0.01874	0.80195
1.1203E10	-2.29032	0.29094	1.1602E10	0.03307	0.50287
1.1224E10	-2.27165	0.20683	1.1623E10	0.05343	0.64735
1.1245E10	-2.16107	0.27676	1.1644E10	0.03752	0.52335
1.1266E10	-1.65677	0.23378	1.1665E10	0.0387	0.74296
1.1287E10	-1.37792	0.21952	1.1686E10	0.08033	0.60057
1.1308E10	-1.19893	0.13342	1.1707E10	0.21824	0.72603
1.1329E10	-1.04418	0.12483	1.1749E10	0.44194	0.38541
1.135E10	-1.03134	-0.75625	1.177E10	0.47389	0.41701
1.1371E10	-0.62652	-0.61833	1.1791E10	0.39921	0.26786
1.1392E10	-0.58935	-0.29637	1.1812E10	0.45777	0.29453
1.1413E10	-0.34027	0.16193	1.1833E10	0.41648	0.13429
1.1434E10	-0.32648	0.31709	1.1854E10	0.51663	-0.02069
1.1455E10	-0.30441	0.15786	1.1875E10	0.50535	-0.03201
1.1476E10	0.0249	0.3927	1.1896E10	0.45284	-0.03232
1.1497E10	0.21419	-0.29031	1.1917E10	0.34792	-0.0136
1.1287E10	-1.37792	0.21952	1.1938E10	0.29942	-0.16066
1.1308E10	-1.19893	0.13342	1.1959E10	0.28349	-0.16396
1.1329E10	-1.04418	0.12483	1.198E10	0.30571	-0.26702



Şekil 4.38:  $\text{Ni}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

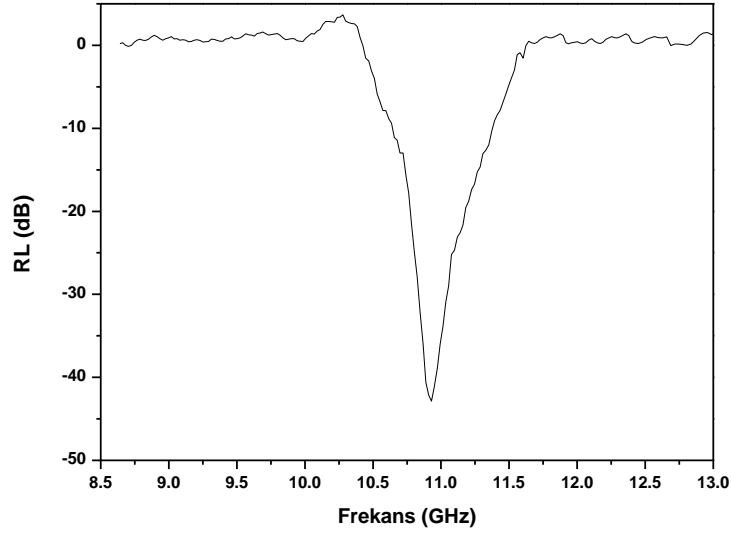
Tablo 4.37:  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0006E10	0.94513	0.89298	1.0468E10	-3.70549	1.52915
1.0027E10	0.92923	0.9941	1.0489E10	-3.80783	1.4676
1.0048E10	1.12429	0.94667	1.051E10	-4.32423	0.92348
1.0069E10	1.13177	1.03733	1.0531E10	-4.32645	0.69932
1.009E10	1.22616	0.87162	1.0552E10	-5.20775	0.239
1.0111E10	0.96483	0.89892	1.0573E10	-5.93225	-1.24359
1.0132E10	0.91289	0.76227	1.0594E10	-7.17751	-3.23078
1.0153E10	0.87182	0.77037	1.0615E10	-8.2858	-6.27053
1.0174E10	0.8626	0.65921	1.0636E10	-9.27643	-8.12808
1.0195E10	0.74741	0.64412	1.0657E10	-10.77195	-9.65436
1.0216E10	0.32181	0.66804	1.0678E10	-11.95391	-10.45248
1.0237E10	-0.01443	0.52711	1.0699E10	-13.52868	-11.10489
1.0258E10	-0.51852	0.64639	1.072E10	-14.04422	-9.80516
1.0279E10	-0.63367	0.63376	1.0741E10	-14.28411	-8.83719
1.03E10	-1.04149	0.81643	1.0762E10	-13.70839	-7.63113
1.0321E10	-1.33297	0.92167	1.0783E10	-12.96407	-6.40202
1.0342E10	-1.96043	1.06194	1.0804E10	-11.99664	-5.51024
1.0363E10	-2.26929	1.29149	1.0825E10	-11.27806	-5.03858
1.0384E10	-2.61772	1.34881	1.0846E10	-10.30186	-4.41646
1.0405E10	-2.62636	1.74843	1.0867E10	-9.67168	-3.45375
1.0426E10	-2.94615	1.61692	1.0888E10	-8.40487	-3.10525
1.0447E10	-3.12658	1.84902	1.0909E10	-8.22521	-2.29512

Tablo 4.37: (Devam)  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.0951E10	-6.85784	-1.99843	1.1497E10	0.45777	1.24082
1.0972E10	-5.88568	-1.4395	1.1518E10	0.41648	0.67541
1.0993E10	-5.51966	-0.56628	1.1539E10	0.51663	0.10682
1.1014E10	-5.26856	0.18836	1.156E10	0.50535	0.05667
1.1035E10	-4.79037	0.26915	1.1581E10	0.45284	0.07409
1.1056E10	-4.57961	0.51768	1.1602E10	0.34792	0.02251
1.1077E10	-4.08353	0.46248	1.1623E10	0.29942	0.0488
1.1098E10	-4.22184	0.63857	1.1644E10	0.28349	0.00593
1.1119E10	-4.01265	0.63897	1.1665E10	0.30571	0.01982
1.114E10	-4.22184	0.72805	1.1686E10	0.26833	-0.10853
1.1161E10	-4.32645	1.07483	1.1707E10	0.20312	-0.0049
1.1182E10	-3.80783	0.9982	1.1728E10	0.1062	-0.11886
1.1203E10	-3.70549	1.22785	1.1749E10	0.06167	-1.24083
1.1224E10	-3.12658	0.93365	1.177E10	0.10376	-2.1578
1.1245E10	-2.94615	1.07985	1.1791E10	0.11837	-2.3768
1.1266E10	-2.62636	0.76875	1.1812E10	0.14615	-2.49454
1.1287E10	-2.61772	0.8492	1.1833E10	0.08955	-2.37048
1.1308E10	-2.26929	1.42769	1.1854E10	0.06712	-1.73114
1.1329E10	-1.96043	1.35432	1.1875E10	0.1055	-1.67337
1.135E10	-1.33297	1.80561	1.1896E10	0.206	-2.30457
1.1371E10	-1.04149	1.50174	1.1917E10	0.26631	-2.55451
1.1392E10	-0.63367	1.77976	1.1938E10	0.31391	-2.53789
1.1413E10	-0.51852	1.09785	1.1959E10	0.2708	-0.99769
1.1434E10	-0.01443	1.2987	1.198E10	0.66666	-0.90136
1.1455E10	0.47389	1.11483	1.2001E10	0.76334	0.00154
1.1476E10	0.39921	1.05555	1.1497E10	0.45777	1.24082

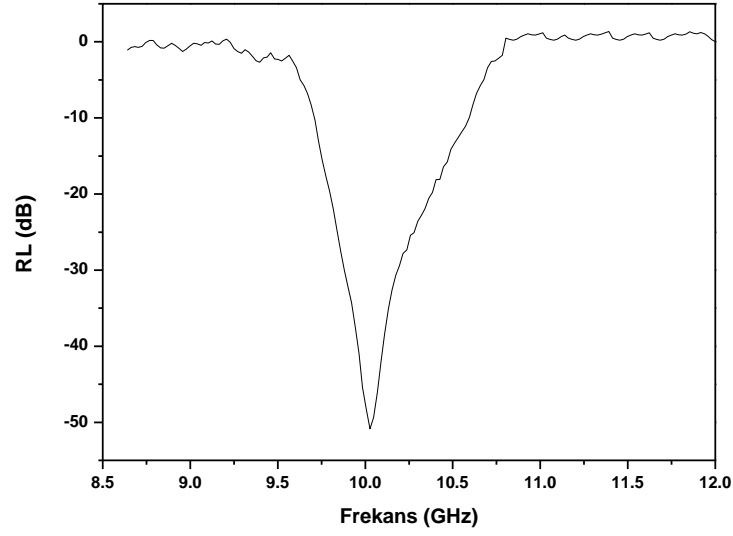




Şekil 4.39:  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.38:  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
9.502E9	1.59743	0.2952	9.964E9	10.67179	4.24305
9.523E9	1.88953	0.20352	9.985E9	9.74849	5.63991
9.544E9	2.29822	0.1311	1.0006E10	9.06602	7.29429
9.565E9	2.84945	0.05091	1.0027E10	8.50913	8.36234
9.586E9	3.63006	0.26435	1.0048E10	8.1729	6.4819
9.607E9	4.2995	0.14373	1.0069E10	7.72371	7.73835
9.628E9	4.91593	0.17514	1.009E10	7.59384	6.27756
9.649E9	5.44391	0.17642	1.0111E10	7.06288	9.35632
9.67E9	6.06633	0.22986	1.0132E10	6.96341	8.03544
9.691E9	6.87576	0.08014	1.0153E10	6.54593	10.70418
9.712E9	7.61057	0.12754	1.0174E10	6.33133	9.16246
9.733E9	8.34371	0.30137	1.0195E10	6.09198	8.99428
9.754E9	8.94074	0.03237	1.0216E10	5.70752	6.47986
9.775E9	9.52075	0.23002	1.0237E10	5.4942	6.18997
9.796E9	10.438	0.27583	1.0258E10	5.02837	5.433
9.817E9	11.36161	1.01054	1.0279E10	5.01874	5.10386
9.838E9	12.63294	2.32184	1.03E10	4.56054	0.37317
9.859E9	13.43622	2.68282	1.0321E10	4.38888	0.34539
9.88E9	14.12891	2.88857	1.0342E10	3.92716	0.3608
9.901E9	13.71389	3.29313	1.0363E10	3.70488	0.30072
9.922E9	12.78925	3.64006	1.0384E10	3.48227	0.30711
9.943E9	11.68786	3.89569	1.0405E10	3.28167	0.30132



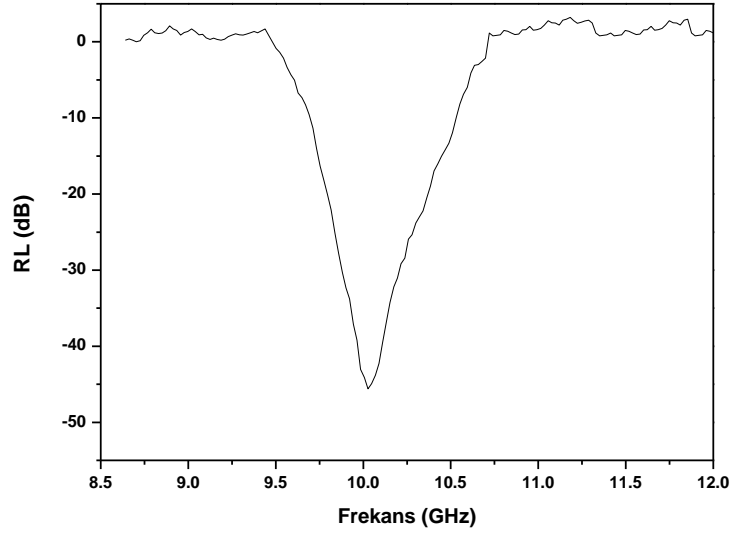
Şekil 4.40: NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.39: ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve parafin için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
9.502E9	1.74022	8.05259	9.964E9	10.52855	4.75561
9.523E9	1.63535	8.10593	9.985E9	11.23011	1.76826
9.544E9	1.33823	8.46534	1.0006E10	11.72894	3.3375
9.565E9	1.55982	7.92512	1.0027E10	12.88689	0.75645
9.586E9	1.55115	7.95261	1.0048E10	13.61018	1.74592
9.607E9	1.51632	7.16427	1.0069E10	14.94053	0.80436
9.628E9	1.44063	7.3221	1.009E10	15.31668	1.55461
9.649E9	1.16543	9.04209	1.0111E10	15.83069	1.10157
9.67E9	1.49938	9.22756	1.0132E10	15.60068	1.43795
9.691E9	1.7474	9.31816	1.0153E10	15.21345	3.75872
9.712E9	2.33556	8.86264	1.0174E10	14.67671	2.28501
9.733E9	2.5463	8.92083	1.0195E10	13.72776	3.34818
9.754E9	2.87608	6.91525	1.0216E10	12.77067	0.59551
9.775E9	3.31423	7.66204	1.0237E10	11.88692	1.42367
9.796E9	3.93458	6.4497	1.0258E10	11.17268	1.24574
9.817E9	4.85652	7.81757	1.0279E10	10.77936	0.24946
9.838E9	5.66673	5.46665	1.03E10	10.12153	0.11415
9.859E9	6.33631	6.56258	1.0321E10	9.87063	0.55331
9.88E9	6.98182	4.57372	1.0342E10	9.00657	0.52962
9.901E9	7.66684	5.56658	1.0363E10	8.80801	0.66556
9.922E9	8.7357	3.61187	1.0384E10	8.26609	0.21896
9.943E9	9.63611	4.29579	1.0405E10	7.98432	0.19667

Tablo 4.39: (Devam)  $ZnFe_2O_4$  ve parafin için S parametreleri.

1.0447E10	7.10803	1.72417
1.0468E10	6.58332	1.79176
1.0489E10	5.89075	3.60352
1.051E10	5.55732	3.53613
1.0531E10	5.2234	3.6508
1.0552E10	4.9225	3.68977
1.0573E10	4.62791	3.66732
1.0594E10	4.1518	4.04381
1.0615E10	3.44732	3.88509
1.0636E10	2.8343	5.28869
1.0657E10	2.39615	5.09631
1.0678E10	2.07586	4.80696
1.0699E10	1.4232	4.62105
1.072E10	1.07076	4.26898
1.0741E10	1.04115	4.57861
1.0762E10	0.89325	4.24039
1.0783E10	0.73947	5.06316
1.0804E10	0.03866	4.65303
1.0825E10	0.0141	4.54828
1.0846E10	0.07083	3.41251
1.0867E10	0.08058	3.0808
1.0888E10	0.04157	3.39471
1.0909E10	0.00785	3.07944
1.093E10	0.08133	3.31651
1.0951E10	0.32137	2.90237
1.0972E10	0.58524	2.75513
1.0993E10	0.73259	1.91858
1.1014E10	0.76388	1.58807



Şekil 4.41: ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanotozların parafin ile kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Elde edilen ölçüm sonuçları, soğurmanın en yüksek olduğu değeri ve bu değere karşılık gelen frekansı değerleri tablo halinde aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.40: Nanotoz ve parafin kompozitlerin soğurma değerleri ve frekansları.

Numuneler	Soğurma (dB)	Soğurmanın maksimum olduğu frekans (GHz)
BaTiO <sub>3</sub> / Parafin	-38.41	10.73
Co <sub>0.4</sub> Zn <sub>0.6</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-44.53	10.46
Co <sub>0.5</sub> Zn <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-46.84	10.48
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-39.84	10.73
Cu <sub>0.6</sub> Co <sub>0.4</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-44.45	10.64
Cu <sub>0.6</sub> Mn <sub>0.4</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-40.93	11.22
Cu <sub>0.6</sub> Ni <sub>0.4</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-46.65	10.74
CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-49.37	10.85
Mn <sub>0.5</sub> Zn <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-37.51	9.03
MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-41.65	9.41
Ni <sub>0.2</sub> Zn <sub>0.8</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-48.79	10.59
Ni <sub>0.5</sub> Zn <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-42.35	10.92
NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-50.67	10.02
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> / Parafin	-45.36	10.03

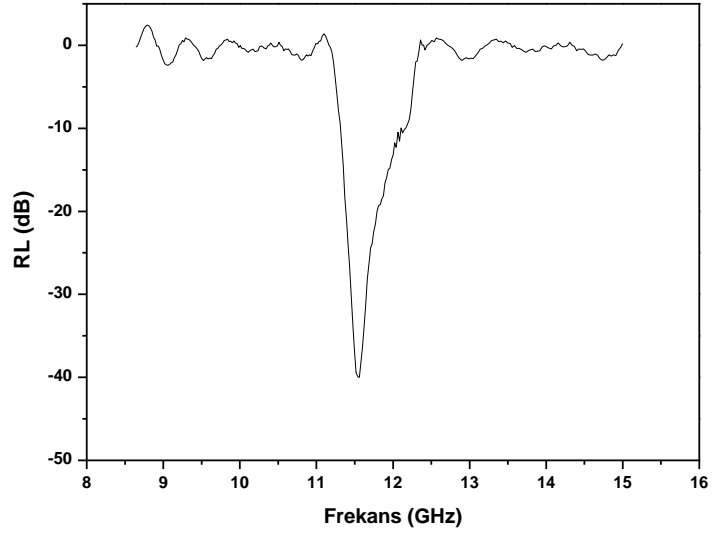
**4.6.2. Nanotozlar ve akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturulan örneklerin ölçüm sonuçları**

Tablo 4.41: BaTiO<sub>3</sub> ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.1098E10	0.30904	6.31249	1.1854E10	6.5551	0.61124
1.1119E10	0.1608	4.31508	1.1875E10	6.0982	1.06173
1.114E10	0.06814	3.96168	1.1896E10	5.96895	0.96278
1.1161E10	0.05713	2.19981	1.1917E10	5.62126	1.05211
1.1182E10	0.04737	2.36198	1.1938E10	5.36572	0.82621
1.1203E10	0.12665	0.96126	1.1959E10	5.00242	0.76691
1.1224E10	0.13285	1.73707	1.198E10	4.82889	0.08262
1.1245E10	0.28711	1.29357	1.2001E10	4.79751	0.03495
1.1266E10	0.34857	1.66261	1.2022E10	4.62379	0.81884
1.1287E10	0.2836	1.90703	1.2043E10	4.53449	0.84312
1.1308E10	0.16057	1.66351	1.2064E10	4.14541	1.5616
1.1329E10	0.00656	2.03033	1.2085E10	3.97069	1.53557
1.135E10	0.0607	1.60846	1.2106E10	3.73684	1.90394
1.1371E10	0.22052	1.84394	1.2127E10	3.70509	0.31749
1.1392E10	0.50542	1.35147	1.2148E10	3.43471	6.94513E-4
1.1413E10	1.00197	1.42687	1.2169E10	3.30424	1.74465
1.1434E10	1.45775	1.11744	1.219E10	2.93572	1.17377
1.1455E10	1.93948	1.09412	1.2211E10	3.07657	1.38956
1.1476E10	2.3455	1.06064	1.2232E10	2.61958	0.00607
1.1497E10	2.98197	0.81161	1.2253E10	2.88609	0.08113
1.1518E10	3.60476	0.98556	1.2274E10	2.4879	0.70823
1.1539E10	4.56265	0.68809	1.2295E10	2.64055	0.85548
1.156E10	5.25455	0.84661	1.2316E10	2.53154	0.46555
1.1581E10	6.01187	0.7163	1.2337E10	2.48304	0.0783
1.1602E10	6.67355	0.75544	1.2358E10	2.37967	1.51569
1.1623E10	7.51121	0.70579	1.2379E10	2.23251	0.05728
1.1644E10	8.46987	0.52054	1.24E10	1.93948	1.07653
1.1665E10	9.21052	0.53398	1.24167E10	1.45775	0.98871
1.1686E10	9.85276	0.19417	1.24467E10	1.00197	0.04461
1.1707E10	9.98285	0.23495	1.24768E10	0.50542	0.38939
1.1728E10	10.00092	0.12083	1.25068E10	0.47052	0.84818
1.1749E10	9.54941	0.17939	1.25368E10	0.22052	2.19963
1.177E10	9.10852	0.33596	1.25668E10	0.16057	2.55346
1.1791E10	8.42298	0.54688	1.25969E10	0.00656	3.1546
1.1812E10	7.7904	0.52307	1.26269E10	0.00656	1.8169
1.1833E10	7.03938	0.71704	1.26569E10	0.13898	2.23198

Tablo 4.41: (Devam) BaTiO<sub>3</sub> ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.2717E10	0.05159	1.8716
1.2747E10	0.14666	2.84375
1.27771E10	0.10923	2.60355
1.28071E10	0.2254	2.89006
1.28371E10	0.18508	1.57423
1.28671E10	0.17705	1.81016
1.28972E10	0.13676	1.10395
1.29272E10	0.06291	1.44502
1.29572E10	0.00356	1.68173
1.29873E10	0.0378	1.15215
1.30173E10	0.0934	1.32064
1.30473E10	0.17088	0.32036
1.30774E10	0.29083	0.64942
1.31074E10	0.39125	0.69004
1.31374E10	0.45512	0.82646
1.31674E10	0.4099	0.99671
1.31975E10	0.37076	0.64748
1.32275E10	0.41179	0.88849
1.32575E10	0.38567	0.34068
1.32876E10	0.4027	0.70603
1.33176E10	0.31669	0.80669
1.33476E10	0.23131	0.71324
1.33777E10	0.1175	0.95585
1.34077E10	0.09023	0.55198
1.34377E10	0.02584	0.97862
1.34677E10	0.0131	0.92731



Şekil 4.42: BaTiO<sub>3</sub> nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

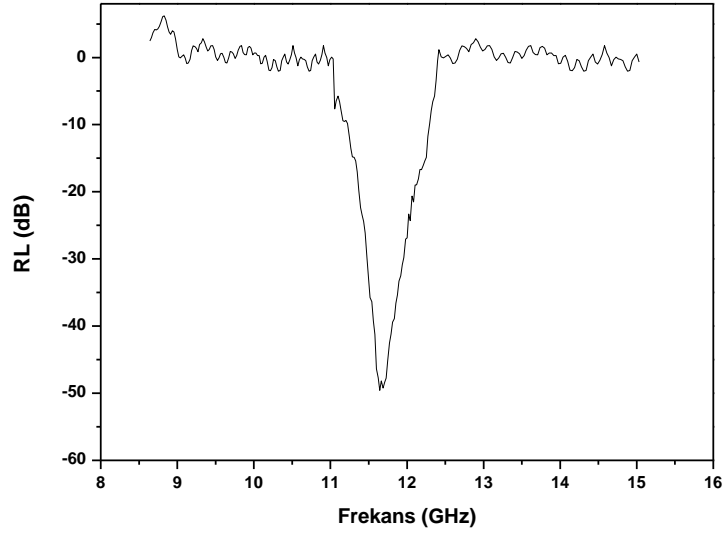
Tablo 4.42: Co<sub>0,4</sub>Zn<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.1014E10	0.01561	-1.21019	1.1455E10	-5.85609	1.94853
1.1035E10	-0.05057	-0.63883	1.1476E10	-6.68129	2.18355
1.1056E10	-1.71192	1.51117	1.1497E10	-7.35337	2.01004
1.1077E10	-1.44178	2.42299	1.1518E10	-8.01146	2.17753
1.1098E10	-1.28648	3.16901	1.1539E10	-8.14875	2.66722
1.1119E10	-1.47096	3.9268	1.156E10	-8.78576	2.81122
1.114E10	-1.77411	1.94203	1.1581E10	-9.23664	3.03731
1.1161E10	-2.10457	2.96213	1.1602E10	-10.38335	2.79361
1.1182E10	-2.13002	1.75015	1.1623E10	-10.68679	2.88332
1.1203E10	-2.0952	4.53409	1.1644E10	-11.10709	2.7985
1.1224E10	-2.20018	3.49374	1.1665E10	-10.78596	2.80136
1.1245E10	-2.62777	4.8436	1.1686E10	-11.03213	2.86017
1.1266E10	-3.02803	3.70154	1.1707E10	-10.83973	2.76698
1.1287E10	-3.31388	3.5383	1.1728E10	-10.69565	2.76645
1.1308E10	-3.33465	1.775	1.1749E10	-10.11283	2.15446
1.1329E10	-3.44742	1.6253	1.177E10	-9.52224	2.08373
1.135E10	-3.82211	1.57735	1.1791E10	-9.23386	1.92151
1.1371E10	-4.4281	1.4393	1.1812E10	-8.82918	1.82549
1.1392E10	-5.00829	2.07717	1.1833E10	-8.70807	1.8046
1.1413E10	-5.25534	1.91618	1.1854E10	-8.19528	1.53632
1.1434E10	-5.46958	2.26294	1.1875E10	-7.92408	1.54916

Tablo 4.42: (Devam)  $\text{Co}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.1917E10	-7.2834	1.29186	1.24167E10	0.25688	-3.18688
1.1938E10	-6.91375	1.20341	1.24467E10	0.01806	-3.084
1.1959E10	-6.67743	1.17992	1.24768E10	-0.01571	-2.6608
1.198E10	-6.05789	1.19472	1.25068E10	0.03782	-2.06224
1.2001E10	-6.01412	1.02758	1.25368E10	0.09176	-2.30352
1.2022E10	-5.22506	1.07965	1.25668E10	-0.01922	-2.04224
1.2043E10	-5.44373	1.01983	1.25969E10	-0.20199	-2.1976
1.2064E10	-4.61821	1.10547	1.26269E10	-0.18615	-1.14336
1.2085E10	-4.8179	1.19817	1.26569E10	-0.05746	-0.48448
1.2106E10	-4.25433	1.26801	1.2687E10	0.23619	0.40624
1.2127E10	-4.2431	1.41979	1.2717E10	0.39314	0.48416
1.2148E10	-4.04879	1.45058	1.2747E10	0.36652	0.39664
1.2169E10	-3.73399	1.68195	1.27771E10	0.30281	-0.43792
1.219E10	-3.74483	2.01401	1.28071E10	0.19047	-0.43792
1.2211E10	-3.5952	2.2846	1.28371E10	0.4321	-0.67456
1.2232E10	-3.44742	2.75651	1.28671E10	0.49476	-0.6568
1.2253E10	-3.33465	3.19719	1.28972E10	0.63288	-0.8896
1.2274E10	-2.62777	3.73277	1.29272E10	0.52425	-1.25088
1.2295E10	-2.20018	4.00718	1.29572E10	0.34927	-1.50128
1.2316E10	-1.77411	4.24897	1.29873E10	0.21924	-1.14
1.2337E10	-1.47096	4.29207	1.30173E10	0.2706	-0.91824
1.2358E10	-1.28648	4.14825			
1.2379E10	-0.76978	3.70411			
1.24E10	-0.09778	3.0633			





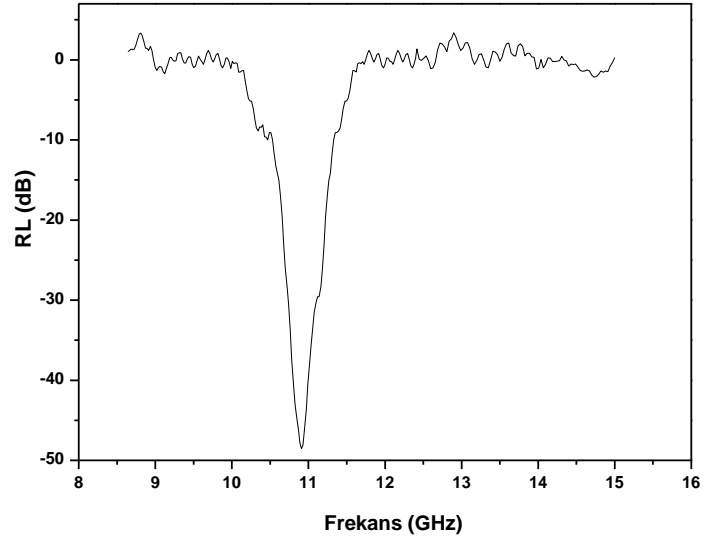
Şekil 4.43:  $\text{Co}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.43:  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.051E10	-2.42273	-1.1516	1.0951E10	-12.19495	0.87828
1.0531E10	-2.66637	-0.45302	1.0972E10	-11.64879	1.03896
1.0552E10	-3.10226	0.15069	1.0993E10	-10.78324	0.89186
1.0573E10	-3.53412	0.21532	1.1014E10	-10.08799	0.84444
1.0594E10	-3.77151	0.41414	1.1035E10	-9.4658	0.99266
1.0615E10	-4.01112	0.36998	1.1056E10	-8.94034	0.54033
1.0636E10	-4.52895	0.51086	1.1077E10	-8.3937	0.08545
1.0657E10	-5.25266	0.51118	1.1098E10	-8.08146	0.04534
1.0678E10	-6.20738	0.58244	1.1119E10	-7.88725	0.05928
1.0699E10	-6.9562	0.85986	1.114E10	-7.8791	0.01801
1.072E10	-7.55409	0.79856	1.1161E10	-7.55409	0.03904
1.0741E10	-8.15831	0.98228	1.1182E10	-6.9562	0.00475
1.0762E10	-8.96517	0.74692	1.1203E10	-6.20738	0.01586
1.0783E10	-9.98436	0.86388	1.1224E10	-5.25266	-0.08682
1.0804E10	-10.80403	0.615	1.1245E10	-4.52895	-0.00392
1.0825E10	-11.46761	0.67936	1.1266E10	-4.01112	-0.09509
1.0846E10	-11.87182	1.14215	1.1287E10	-3.77151	-0.99266
1.0867E10	-12.29597	1.08346	1.1308E10	-3.10226	-1.72624
1.0888E10	-12.7548	1.44449	1.1329E10	-2.66637	-1.90144
1.0909E10	-12.9438	1.20139	1.135E10	-2.42273	-1.99563
1.093E10	-12.82252	1.42381	1.1371E10	-2.41379	-1.89638

Tablo 4.43: (Devam)  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.1413E10	-2.2659	-1.3387
1.1434E10	-1.97847	-1.84366
1.1455E10	-1.62354	-2.04361
1.1476E10	-1.37576	-2.03031
1.1497E10	-1.36965	-0.79816
1.1518E10	-1.29458	-0.72109
1.1539E10	-1.03865	0.00123
1.156E10	-0.68407	-0.04802
1.1581E10	-0.3512	-0.20479
1.1602E10	-0.35824	-0.43369
1.1623E10	-0.4076	-0.41427
1.1644E10	-0.11835	0.1678
1.1665E10	-0.09358	0.15323
1.1686E10	-0.11851	0.14402
1.1707E10	-0.05993	0.07279
1.1728E10	-0.14875	0.04004
1.1749E10	0.00665	0.02772
1.177E10	0.21431	0.00986
1.1791E10	0.30942	0.09545
1.1812E10	0.22165	0.03421
1.1833E10	0.04183	0.00106
1.1854E10	-0.06692	-0.0936
1.1875E10	0.03354	-0.10961
1.1896E10	0.17906	-0.04603
1.1917E10	0.20936	-0.09678
1.1938E10	0.02159	-0.10052
1.1959E10	-0.18696	-0.19286
1.198E10	-0.26283	-0.25171
1.2001E10	-0.13929	-0.3132



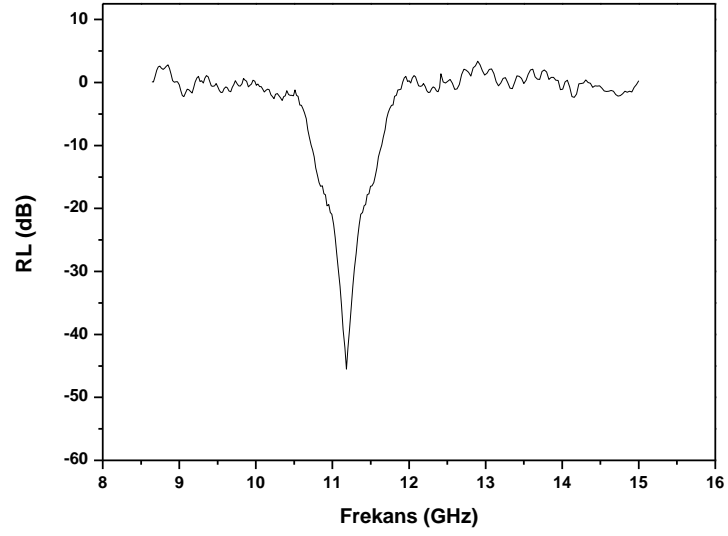
Şekil 4.44:  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.44:  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.051E10	0.2363	1.28868	1.0951E10	3.87785	0.27656
1.0531E10	0.40927	1.04279	1.0972E10	4.12763	0.40906
1.0552E10	0.43508	0.57009	1.0993E10	4.18127	0.35279
1.0573E10	0.7162	0.29202	1.1014E10	4.5094	0.4211
1.0594E10	0.72513	0.0804	1.1035E10	4.91741	0.4958
1.0615E10	0.83259	0.72045	1.1056E10	5.43247	0.39073
1.0636E10	0.95689	0.56829	1.1077E10	5.91712	0.48258
1.0657E10	1.15053	0.89698	1.1098E10	6.46986	0.38142
1.0678E10	1.50074	0.67486	1.1119E10	7.10963	0.4771
1.0699E10	1.7369	0.25316	1.114E10	7.84685	0.3573
1.072E10	1.99	0.07675	1.1161E10	8.42044	0.41804
1.0741E10	2.14683	0.15178	1.1182E10	9.09922	0.31519
1.0762E10	2.36381	0.03409	1.1203E10	8.42044	0.26185
1.0783E10	2.70828	0.09116	1.1224E10	7.84685	0.18615
1.0804E10	2.9549	0.00969	1.1245E10	7.10964	0.24909
1.0825E10	3.17465	0.06861	1.1266E10	6.46986	0.2104
1.0846E10	3.29412	0.28429	1.1287E10	5.91712	0.19757
1.0867E10	3.27835	0.32528	1.1308E10	5.43247	0.12008
1.0888E10	3.53609	0.48627	1.1329E10	4.91741	0.11235
1.0909E10	3.56162	0.38555	1.135E10	4.50941	0.68063
1.093E10	3.91633	0.49802	1.1371E10	4.18127	0.5565

Tablo 4.44: (Devam) CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.1413E10	3.91633	0.14573	1.1875E10	0.22672	0.02881
1.1434E10	3.87785	0.28538	1.1896E10	0.2114	0.02909
1.1455E10	3.56162	0.14207	1.1917E10	0.01729	0.01224
1.1476E10	3.53609	0.35343	1.1938E10	0.14874	0.14459
1.1497E10	3.29412	0.26128	1.1959E10	0.19524	0.14756
1.1518E10	3.27835	0.06247	1.198E10	0.03277	0.24032
1.1539E10	3.17465	0.2228	1.2001E10	0.05491	0.34773
1.156E10	2.9549	0.64981	1.2022E10	0.01449	0.35508
1.1581E10	2.70828	0.72176	1.2043E10	0.13836	0.32429
1.1602E10	2.36381	0.45258	1.2064E10	0.2181	0.28508
1.1623E10	2.14683	0.58262	1.2085E10	0.18218	0.27461
1.1644E10	1.99	0.47102	1.2106E10	0.0369	0.29347
1.1665E10	1.7369	0.66866	1.2127E10	0.10261	0.36945
1.1686E10	1.50074	0.54052	1.2148E10	0.11914	0.45711
1.1707E10	1.15053	0.65343	1.2169E10	0.10497	0.44141
1.1728E10	0.95689	0.62133	1.219E10	0.03386	0.34716
1.1749E10	0.83259	0.34687	1.2211E10	0.12978	0.23844
1.177E10	0.72513	0.37531	1.2232E10	0.25615	0.04619
1.1791E10	0.71621	0.24108	1.2253E10	0.31494	0.18643
1.1812E10	0.43508	0.26508	1.2274E10	0.31161	0.46152
1.1833E10	0.40927	0.12086	1.2295E10	0.19318	0.77462
1.1854E10	0.2363	0.01862			



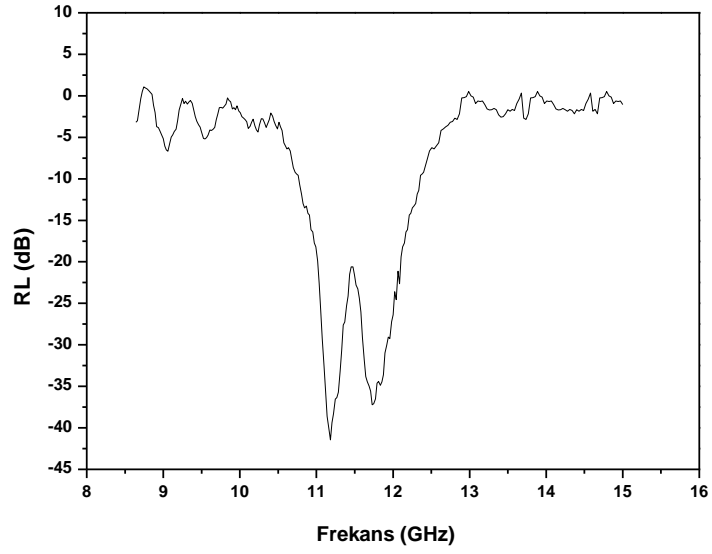
Şekil 4.45: CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.45: Cu<sub>0,6</sub>Co<sub>0,4</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.051E10	0.85267	1.13838	1.093E10	4.29871	3.54291
1.0531E10	0.9993	1.1719	1.0951E10	4.3765	1.83314
1.0552E10	1.11132	1.49235	1.0972E10	4.73046	2.23803
1.0573E10	1.5086	1.5036	1.0993E10	4.84965	1.59321
1.0594E10	1.61025	1.63735	1.1014E10	5.30558	2.12393
1.0615E10	1.71003	1.59896	1.1035E10	6.02146	2.31853
1.0636E10	1.6621	1.66628	1.1056E10	6.89563	2.50156
1.0657E10	1.77437	1.77142	1.1077E10	7.79979	2.71819
1.0678E10	2.04182	1.75316	1.1098E10	8.67804	0.59319
1.0699E10	2.30576	2.14462	1.1119E10	9.47653	0.71631
1.072E10	2.45675	1.98852	1.114E10	10.29807	0.94163
1.0741E10	2.50914	2.15641	1.1161E10	10.69794	0.44455
1.0762E10	2.55246	1.81071	1.1182E10	11.05164	1.72617
1.0783E10	2.86181	1.89724	1.1203E10	10.5042	0.83963
1.0804E10	3.15196	1.21408	1.1224E10	10.21201	0.16607
1.0825E10	3.45728	1.26111	1.1245E10	9.74147	1.50527
1.0846E10	3.60376	2.29953	1.1266E10	9.6939	0.736
1.0867E10	3.54624	2.31216	1.1287E10	9.51964	0.99429
1.0888E10	3.77383	3.16197	1.1308E10	8.84008	0.05812
1.0909E10	3.83458	3.03019	1.1329E10	8.17308	1.59511

Tablo 4.45: (Devam)  $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.1371E10	7.26495	2.30584	1.2127E10	4.84965	0.56037
1.1392E10	6.74902	1.11807	1.2148E10	4.73046	0.57844
1.1413E10	6.43257	1.44276	1.2169E10	4.3765	0.63356
1.1434E10	5.73469	0.68422	1.219E10	4.29871	0.30777
1.1455E10	5.49177	0.11743	1.2211E10	3.83458	0.28553
1.1476E10	5.49429	0.06566	1.2232E10	3.77383	0.02912
1.1497E10	5.75925	0.13552	1.2253E10	3.60376	0.12963
1.1518E10	6.07716	0.12885	1.2274E10	3.54624	0.40465
1.1539E10	6.1998	0.66312	1.2295E10	3.45728	0.60128
1.156E10	6.50579	0.34568	1.2316E10	3.15196	0.59674
1.1581E10	6.9405	1.08958	1.2337E10	3.03962	0.80118
1.1602E10	7.76597	0.61295	1.2358E10	2.55246	0.5625
1.1623E10	8.47431	0.56188	1.2379E10	2.50914	0.06003
1.1644E10	9.01939	0.75291	1.24E10	2.45675	0.36472
1.1665E10	9.18075	0.53795	1.24167E10	2.30576	0.04777
1.1686E10	9.32612	0.94031	1.24467E10	2.04182	0.03284
1.1707E10	9.48905	0.5089	1.24768E10	1.77437	0.01547
1.1728E10	9.92529	0.62983	1.25068E10	1.6621	0.08533
1.1749E10	9.88776	0.34404	1.25368E10	1.71003	0.05688
1.177E10	9.73362	0.20602	1.25668E10	1.61025	0.0646
1.1791E10	9.23451	0.28878	1.25969E10	1.5086	0.05869
1.1812E10	9.17186	0.01884	1.26269E10	1.11132	0.09909
1.1833E10	9.29829	0.2192	1.26569E10	1.06733	0.14746
1.1854E10	9.19447	0.22521	1.2687E10	0.9993	0.15861
1.1875E10	8.96499	0.19037	1.2717E10	0.95246	0.15545
1.1896E10	8.26089	0.22701	1.2747E10	0.85267	0.14019
1.1917E10	8.00451	0.38625	1.27771E10	0.82602	0.15556
1.1938E10	7.74898	0.13397	1.28071E10	0.71835	0.21124
1.1959E10	7.80254	0.51182	1.28371E10	0.75589	0.23901
1.198E10	7.25632	0.42055	1.28671E10	0.58001	0.2313
1.2001E10	7.03291	0.66309	1.28972E10	0.06842	0.19956
1.2022E10	6.29408	0.63284	1.29272E10	0.05586	0.15467
1.2043E10	6.54507	0.58727	1.29572E10	0.02926	0.17276
1.2064E10	5.63771	0.62865	1.29873E10	0.13757	0.15317
1.2085E10	6.0343	0.36988	1.30173E10	0.00273	0.16482
1.2106E10	5.16964	0.54717			



Şekil 4.46:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

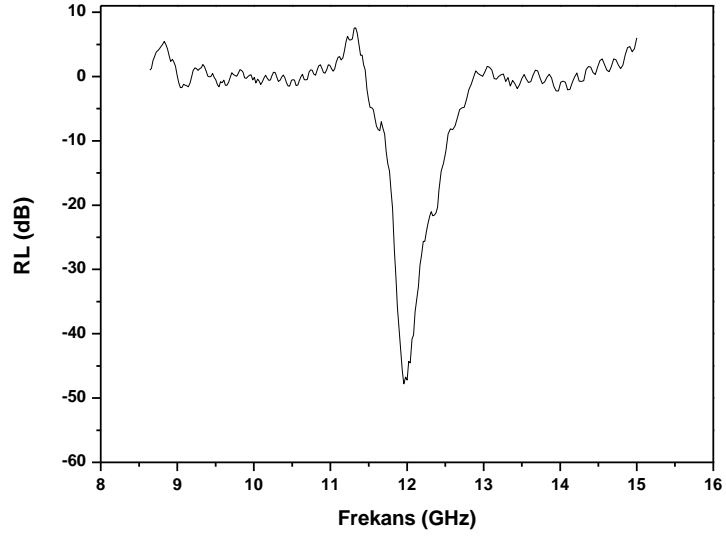
Tablo 4.46:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.1518E10	1.2751	1.06921	1.1959E10	12.74413	1.422
1.1539E10	1.30107	1.7762	1.198E10	12.46147	1.32054
1.156E10	1.37115	1.13594	1.2001E10	12.58399	1.50801
1.1581E10	1.72196	1.6541	1.2022E10	11.81009	1.4229
1.1602E10	2.05746	0.79804	1.2043E10	11.87395	1.16845
1.1623E10	2.2038	0.42334	1.2064E10	10.88793	1.10709
1.1644E10	2.2399	0.4834	1.2085E10	10.71486	0.80196
1.1665E10	1.87324	0.00786	1.2106E10	9.76423	0.91635
1.1686E10	2.16909	0.22887	1.2127E10	9.26741	0.95815
1.1707E10	2.3784	0.51821	1.2148E10	8.70295	0.81147
1.1728E10	3.10578	0.80509	1.2169E10	7.83367	0.77292
1.1749E10	3.59459	1.35015	1.219E10	7.4197	0.22702
1.177E10	3.92479	1.5688	1.2211E10	6.83524	0.04829
1.1791E10	4.72663	1.61396	1.2232E10	6.84052	0.29771
1.1812E10	5.46623	2.0006	1.2253E10	6.44143	0.58368
1.1833E10	7.18347	1.53079	1.2274E10	6.10889	0.94975
1.1854E10	8.29041	2.09967	1.2295E10	5.79161	1.4516
1.1875E10	9.57822	1.97186	1.2316E10	5.60735	1.6056
1.1896E10	10.40414	1.79727	1.2337E10	5.77253	1.97199
1.1917E10	11.37507	1.87735	1.2358E10	5.73681	1.82719
1.1938E10	12.1972	1.0999	1.2379E10	5.64989	1.21779

Tablo 4.46: (Devam)  $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.24167E10	4.72663	0.12228
1.24467E10	3.92479	0.08407
1.24768E10	3.59459	0.0396
1.25068E10	3.10578	0.21844
1.25368E10	2.3784	0.1456
1.25668E10	2.16909	0.16537
1.25969E10	2.2038	0.15025
1.26269E10	2.05746	0.25368
1.26569E10	1.72196	0.37749
1.2687E10	1.37115	0.40605
1.2717E10	1.30107	0.39795
1.2747E10	1.2751	0.3589
1.27771E10	0.94192	0.39823
1.28071E10	0.54612	0.54076
1.28371E10	0.3323	0.61187
1.28671E10	0.04825	0.59214
1.28972E10	0.23124	0.51087
1.29272E10	0.12184	0.39596
1.29572E10	0.05821	0.44226
1.29873E10	0.0083	0.39211
1.30173E10	0.19629	0.42194





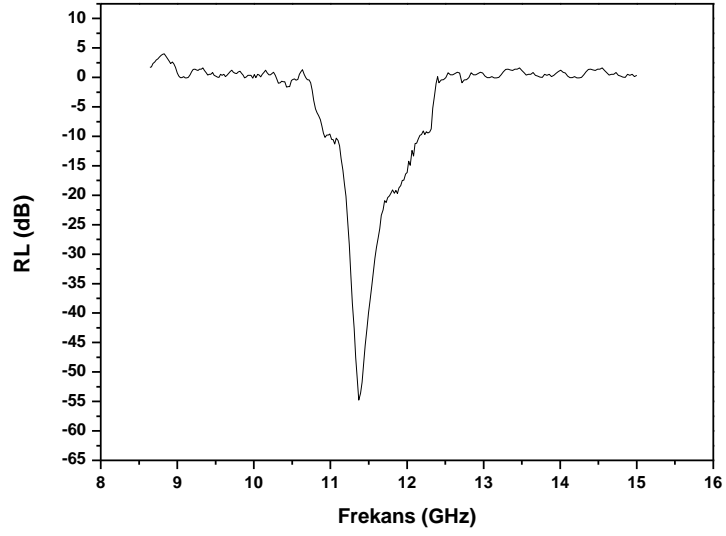
Şekil 4.47:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.47:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.1014E10	2.10111	1.95268	1.1434E10	9.72079	1.90652
1.1035E10	2.11156	2.27016	1.1455E10	9.10046	1.5487
1.1056E10	2.25918	2.59051	1.1476E10	8.52812	1.62697
1.1077E10	2.05852	2.96577	1.1497E10	7.99915	1.43411
1.1098E10	2.13599	2.64227	1.1518E10	7.57778	1.51378
1.1119E10	2.3178	3.00137	1.1539E10	7.06397	1.64539
1.114E10	2.75283	2.46526	1.156E10	6.60328	1.62687
1.1161E10	3.14711	2.94285	1.1581E10	6.14548	1.66469
1.1182E10	3.61797	2.46387	1.1602E10	5.77855	1.34568
1.1203E10	4.03313	3.15419	1.1623E10	5.43876	1.39445
1.1224E10	4.80319	2.75303	1.1644E10	5.13361	1.32578
1.1245E10	5.681	3.32623	1.1665E10	4.68133	1.34086
1.1266E10	6.70872	2.94627	1.1686E10	4.4995	1.29238
1.1287E10	7.67512	2.91251	1.1707E10	4.18755	1.13157
1.1308E10	8.52143	2.21181	1.1728E10	4.24201	1.12836
1.1329E10	9.51352	2.12941	1.1749E10	4.07922	0.83065
1.135E10	10.21998	1.62693	1.177E10	4.0163	0.81446
1.1371E10	10.95682	1.58299	1.1791E10	3.9217	0.65525
1.1392E10	10.71989	1.86668	1.1812E10	3.82076	0.57489
1.1413E10	10.34832	1.82759	1.1833E10	3.9336	0.53633

Tablo 4.47: (Devam)  $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.1875E10	3.94086	0.40776
1.1896E10	3.74705	0.27645
1.1917E10	3.67341	0.28256
1.1938E10	3.49887	0.18382
1.1959E10	3.48529	0.12963
1.198E10	3.27492	0.14955
1.2001E10	3.22679	0.11377
1.2022E10	2.84096	0.24958
1.2043E10	2.98637	0.245
1.2064E10	2.48209	0.38774
1.2085E10	2.66574	0.41746
1.2106E10	2.24029	0.39381
1.2127E10	2.23063	0.45761
1.2148E10	2.07612	0.50522
1.2169E10	1.96061	0.61942
1.219E10	1.94145	0.77047
1.2211E10	1.81891	0.90008
1.2232E10	1.9405	1.05205
1.2253E10	1.84052	1.16009
1.2274E10	1.88946	1.36509
1.2295E10	1.85165	1.48402
1.2316E10	1.75051	1.60772
1.2337E10	1.04449	1.56126
1.2358E10	0.60918	1.41486
1.2379E10	0.20246	0.98934
1.24E10	0.02944	0.60127
1.24167E10	0.18012	0.04777
1.24467E10	0.08754	0.03284
1.24768E10	0.07348	0.01547
1.25068E10	0.00631	0.08533



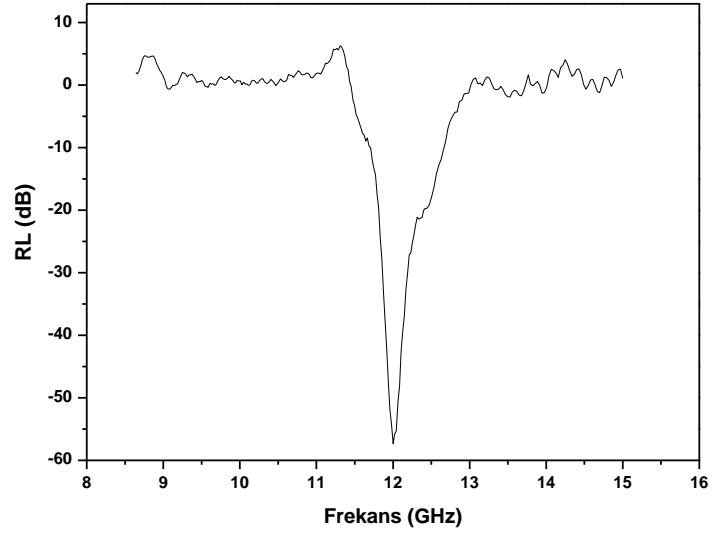
Şekil 4.48:  $\text{Cu}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.48:  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.1518E10	-1.03723	0.70636	1.1959E10	-11.49612	0.1892
1.1539E10	-1.17919	-0.41744	1.198E10	-12.09314	0.12863
1.156E10	-1.34723	-0.015	1.2001E10	-12.74459	0.23731
1.1581E10	-1.5194	-0.64795	1.2022E10	-12.39539	0.13809
1.1602E10	-1.70164	0.02479	1.2043E10	-12.2987	-0.17091
1.1623E10	-1.78636	0.24806	1.2064E10	-11.2386	-0.24675
1.1644E10	-1.99169	-0.09807	1.2085E10	-10.70192	-0.57014
1.1665E10	-1.87358	0.15987	1.2106E10	-9.47486	-0.55382
1.1686E10	-2.17772	-0.54214	1.2127E10	-8.78795	-0.57173
1.1707E10	-2.21808	0.01844	1.2148E10	-8.16526	-0.69366
1.1728E10	-2.63549	0.26244	1.2169E10	-7.26218	-0.79078
1.1749E10	-2.92773	0.61986	1.219E10	-6.72034	-1.27165
1.177E10	-3.18875	0.71617	1.2211E10	-6.01671	-1.50151
1.1791E10	-3.86244	0.37174	1.2232E10	-5.96595	-1.93054
1.1812E10	-4.34457	0.65032	1.2253E10	-5.60123	-2.28372
1.1833E10	-5.47865	0.32828	1.2274E10	-5.34596	-2.64971
1.1854E10	-6.20066	0.8097	1.2295E10	-4.95441	-3.09541
1.1875E10	-7.31098	0.75782	1.2316E10	-4.69064	-3.26039
1.1896E10	-8.29873	0.4743	1.2337E10	-4.76637	-3.56835
1.1917E10	-9.41699	0.54033	1.2358E10	-4.72792	-3.44651
1.1938E10	-10.50234	-0.0549	1.2379E10	-4.70855	-2.99611

Tablo 4.48: (Devam)  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

<b>Frekans (Hz)</b>	<b>S<sub>21</sub></b>	<b>S<sub>11</sub></b>
1.24167E10	-4.39216	-0.09553
1.24467E10	-4.37114	0.06568
1.24768E10	-4.23286	0.03094
1.25068E10	-3.93987	0.17066
1.25368E10	-3.61104	0.11375
1.25668E10	-3.15174	0.12919
1.25969E10	-2.86243	0.11738
1.26269E10	-2.65333	0.19819
1.26569E10	-2.31587	0.29492
1.2687E10	-2.00099	0.31723
1.2717E10	-1.53404	0.3109
1.2747E10	-1.27585	0.28039
1.27771E10	-1.11012	0.31112
1.28071E10	-0.96684	0.42247
1.28371E10	-0.95494	0.47802
1.28671E10	-0.58011	0.46261
1.28972E10	-0.5457	0.39912
1.29272E10	-0.31506	0.30934
1.29572E10	-0.30229	0.34552
1.29873E10	-0.28186	0.30634
1.30173E10	0.02306	0.32964



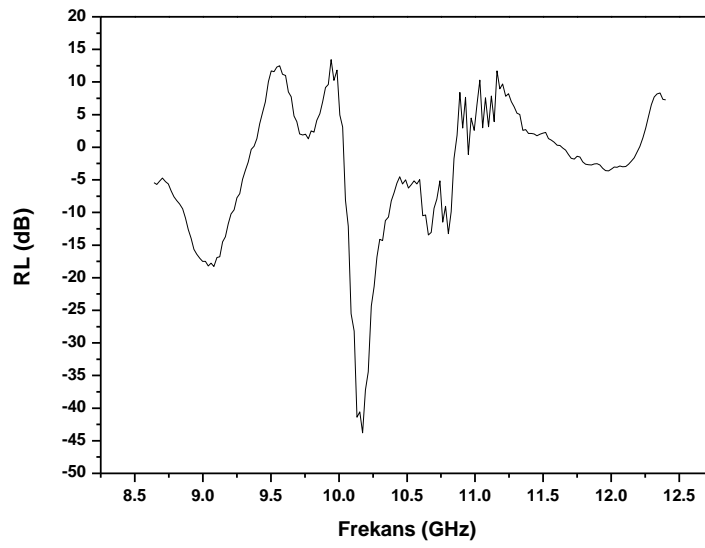
Şekil 4.49:  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.49:  $\text{Mn}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
9.754E9	1.46781	2.70132	1.0174E10	13.68139	0.90089
9.775E9	1.65148	3.7408	1.0195E10	11.93166	0.11748
9.796E9	1.33255	3.69592	1.0216E10	11.179	0.42124
9.817E9	1.38556	4.20248	1.0237E10	8.48599	0.67944
9.838E9	0.90008	4.32775	1.0258E10	7.68869	0.14568
9.859E9	0.62457	3.26399	1.0279E10	6.48835	0.29023
9.88E9	0.13752	3.72044	1.03E10	5.762	0.56852
9.901E9	0.44053	2.98955	1.0321E10	5.81764	1.91308
9.922E9	0.56563	4.08324	1.0342E10	5.00025	2.69503
9.943E9	1.58247	3.52383	1.0363E10	4.85373	2.46702
9.964E9	0.73297	4.29656	1.0384E10	4.18832	2.72302
9.985E9	1.1571	3.51838	1.0405E10	3.86003	2.00711
1.0006E10	0.68301	1.17889	1.0426E10	3.46528	2.65486
1.0027E10	1.17378	1.6942	1.0447E10	3.20552	2.91165
1.0048E10	4.16433	0.06895	1.0468E10	3.49652	5.50789
1.0069E10	5.2246	0.64508	1.0489E10	3.32952	5.58099
1.009E10	8.80663	0.6094	1.051E10	3.67074	7.65497
1.0111E10	9.51955	1.36581	1.0531E10	3.5304	7.06558
1.0132E10	13.03896	0.08029	1.0552E10	3.37864	7.48463
1.0153E10	12.82188	0.36199	1.0573E10	3.49864	7.02091

Tablo 4.49: (Devam)  $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.0615E10	4.80034	7.46991	1.0699E10	4.49597	8.38906
1.0636E10	4.76402	7.30949	1.072E10	4.11601	8.21359
1.0657E10	5.58524	7.25024	1.0741E10	3.37407	8.22976
1.0678E10	5.47789	7.00844	1.0762E10	5.06586	8.07628



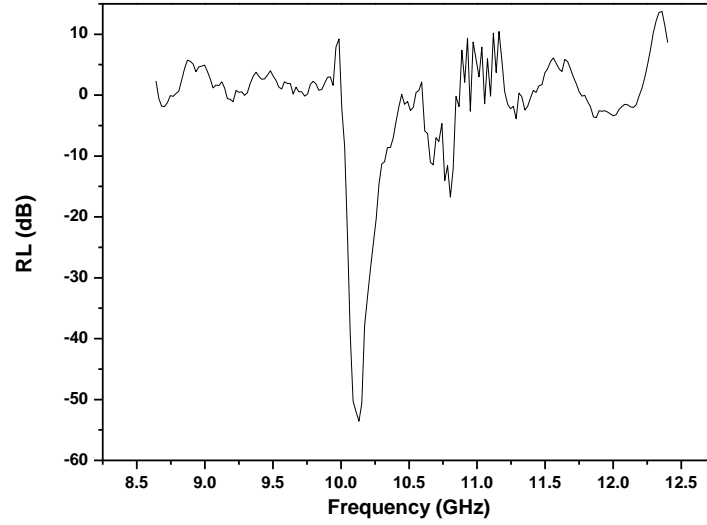
Şekil 4.50:  $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.50:  $MnFe_2O_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
9.754E9	-1.54058	-0.83366	9.922E9	-0.16146	0.7125
9.775E9	-1.5844	-1.11368	9.943E9	0.56193	1.61534
9.796E9	-1.24777	-0.86494	9.964E9	-0.24466	1.35982
9.817E9	-1.30743	-0.90909	9.985E9	-0.0755	1.90875
9.838E9	-0.98638	-0.53192	1.0006E10	-1.5361	1.2975
9.859E9	-0.93515	-0.28581	1.0027E10	-2.32553	1.2891
9.88E9	-0.68788	0.04208	1.0048E10	-4.16821	0.22548
9.901E9	-0.26552	0.57284	1.0069E10	-6.27443	-0.05892

Tablo 4.50: (Devam)  $MnFe_2O_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.009E10	-7.64887	-0.87159	1.0342E10	-2.34599	-4.54365
1.0111E10	-7.88014	-1.36777	1.0363E10	-2.34508	-4.33722
1.0132E10	-8.07076	-1.66493	1.0384E10	-2.13717	-4.17864
1.0153E10	-7.69509	-2.24052	1.0405E10	-1.79483	-3.73655
1.0174E10	-6.07681	-2.42893	1.0426E10	-1.48867	-3.41931
1.0195E10	-5.48623	-2.99362	1.0447E10	-1.2345	-3.14687
1.0216E10	-4.9217	-3.48694	1.0468E10	-1.44353	-3.1052
1.0237E10	-4.35352	-3.98948	1.0489E10	-1.38111	-2.96969
1.0258E10	-3.84669	-4.28249	1.051E10	-1.5704	-2.97479
1.0279E10	-3.12063	-4.5785	1.0531E10	-1.50687	-2.88095
1.03E10	-2.6927	-4.63383	1.0552E10	-1.19738	-2.637
1.0321E10	-2.64479	-4.59722	1.0573E10	-1.15098	-2.72259



Şekil 4.51:  $MnFe_2O_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

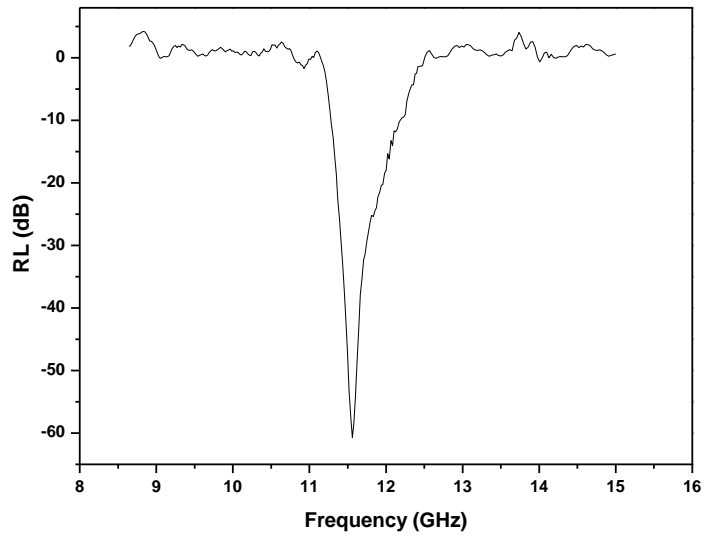
Tablo 4.51: Ni<sub>0,2</sub>Zn<sub>0,8</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.1014E10	-0.08531	0.12718	1.1833E10	-8.49916	-0.58063
1.1035E10	0.08595	0.71742	1.1854E10	-8.18901	-0.71839
1.1056E10	0.02142	-0.11273	1.1875E10	-8.02421	-0.72845
1.1077E10	0.2727	0.61296	1.1896E10	-7.43202	-0.72873
1.1098E10	0.36469	-0.18633	1.1917E10	-7.18469	-0.71209
1.1119E10	0.28706	0.5697	1.1938E10	-6.83358	-0.84281
1.114E10	0.07677	-0.37686	1.1959E10	-6.77285	-0.84574
1.1161E10	-0.20306	0.10303	1.198E10	-6.16838	-0.93735
1.1182E10	-0.43452	-0.70964	1.2001E10	-6.02774	-1.04344
1.1203E10	-0.76841	-1.1311	1.2022E10	-5.13376	-1.05069
1.1224E10	-1.27897	-1.72924	1.2043E10	-5.42649	-1.02029
1.1245E10	-2.04836	-1.23191	1.2064E10	-4.43032	-0.98156
1.1266E10	-2.76741	-1.53756	1.2085E10	-4.70984	-0.97122
1.1287E10	-3.56431	-1.63895	1.2106E10	-3.90982	-0.98985
1.1308E10	-4.26676	-2.25122	1.2127E10	-3.95804	-1.06489
1.1329E10	-5.26786	-2.3123	1.2148E10	-3.79693	-1.15147
1.135E10	-6.16907	-1.37223	1.2169E10	-3.47222	-1.13596
1.1371E10	-7.57486	-1.24963	1.219E10	-3.32572	-1.04288
1.1392E10	-8.67369	-0.96344	1.2211E10	-3.19594	-0.93549
1.1413E10	-9.85261	-0.55606	1.2232E10	-3.16988	-0.74562
1.1434E10	-11.02025	-0.41814	1.2253E10	-3.01558	-0.51587
1.1455E10	-12.36978	-0.55968	1.2274E10	-2.31187	-0.24418
1.1476E10	-14.13289	-0.35093	1.2295E10	-1.92276	0.06506
1.1497E10	-15.78706	-0.95805	1.2316E10	-1.67299	0.31003
1.1518E10	-17.80117	-0.6383	1.2337E10	-1.45706	0.47322
1.1539E10	-19.26616	-0.47995	1.2358E10	-1.43914	0.53222
1.156E10	-20.34547	-0.05821	1.2379E10	-0.87424	0.28106
1.1581E10	-19.54046	0.01285	1.24E10	-0.82239	-0.11926
1.1602E10	-18.1452	-0.25301	1.24167E10	-0.47481	-0.62357
1.1623E10	-16.11319	-0.12457	1.24467E10	-0.45557	-0.75255
1.1644E10	-14.49654	-0.2348	1.24768E10	-0.42478	-0.72475
1.1665E10	-12.69684	-0.0396	1.25068E10	0.03475	-0.83653
1.1686E10	-11.75473	-0.16616	1.25368E10	0.29888	-0.791
1.1707E10	-10.81545	-0.05464	1.25668E10	0.39232	-0.80336
1.1728E10	-10.50184	-0.08634	1.25969E10	0.19632	-0.79391
1.1749E10	-9.86725	-0.35742	1.26269E10	0.01637	-0.85855
1.177E10	-9.31477	-0.32933	1.26569E10	-0.02616	-0.93593
1.1791E10	-8.81829	-0.4619	1.2687E10	0.04614	-0.95378
1.1812E10	-8.4464	-0.43819	1.2717E10	0.07456	-0.94872



Tablo 4.51: (Devam)  $Ni_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.2747E10	0.05236	-0.92431	1.28972E10	0.61669	-1.01929
1.27771E10	0.054	-0.94889	1.29272E10	0.66127	-0.94747
1.28071E10	0.1121	-1.03798	1.29572E10	0.55707	-0.97641
1.28371E10	0.30453	-1.08242	1.29873E10	0.63877	-0.94507
1.28671E10	0.50112	-1.07009	1.30173E10	0.58116	-0.96371



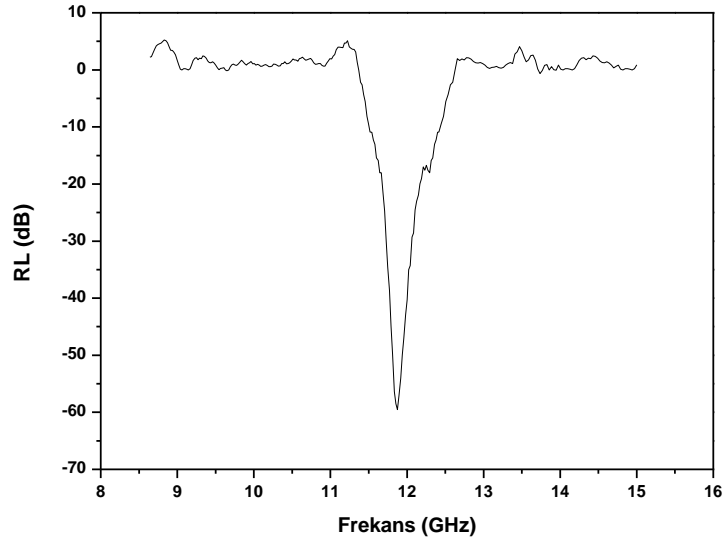
Şekil 4.52:  $Ni_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.52:  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.1518E10	2.55695	3.60091	1.1749E10	8.09345	2.90761
1.1539E10	2.56539	2.99897	1.177E10	9.06109	2.96714
1.156E10	2.87776	3.04002	1.1791E10	10.52189	2.68182
1.1581E10	3.054	3.17066	1.1812E10	11.67641	2.88596
1.1602E10	3.61947	3.36141	1.1833E10	13.21462	2.99647
1.1623E10	3.71943	3.34523	1.1854E10	13.7182	3.31202
1.1644E10	4.22385	2.44066	1.1875E10	13.95252	3.36536
1.1665E10	4.22602	2.48924	1.1896E10	13.39016	3.15344
1.1686E10	5.08685	2.51992	1.1917E10	12.66312	3.32259
1.1707E10	5.79454	2.75736	1.1938E10	11.71815	3.33507
1.1728E10	7.01089	2.86652	1.1959E10	11.01625	3.64286

Tablo 4.52: (Devam)  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.198E10	10.06271	3.83902	1.24167E10	2.55695	2.78505
1.2001E10	9.44716	4.04399	1.24467E10	2.21661	3.14779
1.2022E10	8.20976	4.12933	1.24768E10	1.91492	3.06961
1.2043E10	8.03426	4.16238	1.25068E10	1.30203	3.38398
1.2064E10	6.87039	4.2724	1.25368E10	1.01731	3.25594
1.2085E10	6.69864	4.45721	1.25668E10	0.61896	3.29069
1.2106E10	5.74905	4.69047	1.25969E10	0.50648	3.26411
1.2127E10	5.39153	4.77656	1.26269E10	0.01409	3.44593
1.2148E10	5.14626	4.71255	1.26569E10	0.46289	3.66356
1.2169E10	4.67917	4.67995	1.2687E10	0.38995	3.71377
1.219E10	4.47329	4.36521	1.2717E10	0.44714	3.69952
1.2211E10	3.98873	4.09055	1.2747E10	0.40681	3.63088
1.2232E10	4.12383	3.67293	1.27771E10	0.50464	3.70001
1.2253E10	3.9195	3.17822	1.28071E10	0.49362	3.95056
1.2274E10	4.12383	2.67091	1.28371E10	0.44232	4.07555
1.2295E10	4.22602	2.01916	1.28671E10	0.33984	4.04087
1.2316E10	3.71943	1.69611	1.28972E10	0.29247	3.89801
1.2337E10	3.61947	1.51827	1.29272E10	0.27691	3.69602
1.2358E10	3.054	1.48209	1.29572E10	0.29862	3.77741
1.2379E10	2.87776	1.80939	1.29873E10	0.26211	3.68926
1.24E10	2.56539	1.681	1.30173E10	0.1984	3.74169



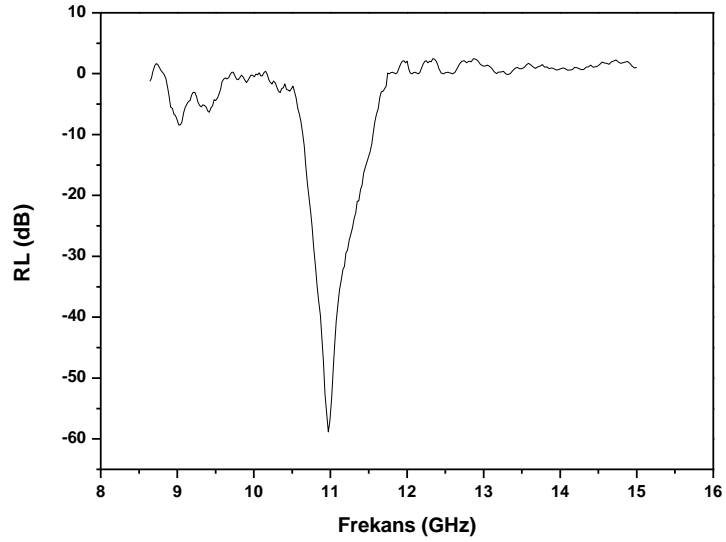
Şekil 4.53:  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  nanotuzların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.53:  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$	Frekans (Hz)	$S_{21}$	$S_{11}$
1.051E10	0.49529	6.97033	1.0951E10	13.49929	2.41311
1.0531E10	0.71719	6.48918	1.0972E10	14.19523	1.26573
1.0552E10	0.95325	6.21084	1.0993E10	13.77826	1.59336
1.0573E10	1.3904	5.48281	1.1014E10	12.84928	0.61635
1.0594E10	1.60493	5.24687	1.1035E10	11.74272	0.04778
1.0615E10	1.8984	5.1734	1.1056E10	10.72188	0.58536
1.0636E10	2.309	5.14557	1.1077E10	9.79425	0.23005
1.0657E10	2.86283	6.77716	1.1098E10	9.10858	0.34242
1.0678E10	3.6471	6.76366	1.1119E10	8.54907	0.51957
1.0699E10	4.31968	6.1948	1.114E10	8.21126	0.2162
1.072E10	4.93901	6.01682	1.1161E10	7.75997	0.39056
1.0741E10	5.46946	5.53196	1.1182E10	7.62948	0.23884
1.0762E10	6.09481	5.91382	1.1203E10	7.09603	0.06746
1.0783E10	6.90804	5.49609	1.1224E10	6.9961	0.51625
1.0804E10	7.64629	6.15655	1.1245E10	6.57665	0.11172
1.0825E10	8.38287	5.58987	1.1266E10	6.36105	0.11617
1.0846E10	8.9827	3.86023	1.1287E10	6.12057	0.17189
1.0867E10	9.56544	2.42836	1.1308E10	5.73431	1.207
1.0888E10	10.48699	1.09869	1.1329E10	5.51999	1.28571
1.0909E10	11.41494	1.81281	1.135E10	5.05198	2.58201
1.093E10	12.69224	0.86328	1.1371E10	5.0423	2.52474

Tablo 4.53: (Deavm) NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

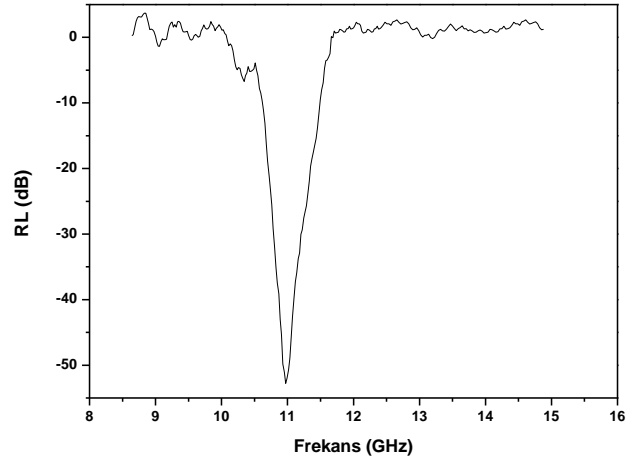
Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.1413E10	4.40948	1.98057	1.1728E10	0.49529	3.25122
1.1434E10	3.9456	1.86411	1.1749E10	0.02589	3.8672
1.1455E10	3.72227	2.39433	1.177E10	0.00944	3.94461
1.1476E10	3.49861	2.22814	1.1791E10	0.04744	4.3732
1.1497E10	3.29707	2.83272	1.1812E10	0.05397	4.44774
1.1518E10	3.09975	2.58118	1.1833E10	0.02784	4.71566
1.1539E10	2.78086	2.46969	1.1854E10	0.00526	4.90805
1.156E10	2.309	2.18856	1.1875E10	0.05448	5.0248
1.1581E10	1.8984	2.17118	1.1896E10	0.21525	5.32274
1.1602E10	1.60493	2.74013	1.1917E10	0.39199	5.40225
1.1623E10	1.3904	2.68348	1.1938E10	0.49069	5.75852
1.1644E10	0.95325	3.03008	1.1959E10	0.51165	5.71037
1.1665E10	0.71719	2.90581	1.198E10	0.42904	5.76897
1.1686E10	0.69736	3.15246	1.2001E10	0.49616	5.79792
1.1707E10	0.59829	3.13377	1.1728E10	0.49529	3.25122



Şekil 4.54: NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Tablo 4.54: ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ve akrilenmiş epoksi için S parametreleri.

Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>	Frekans (Hz)	S <sub>21</sub>	S <sub>11</sub>
1.051E10	1.301	3.53508	1.114E10	12.03328	0.20789
1.0531E10	1.6738	3.18963	1.1161E10	11.29893	0.09513
1.0552E10	1.95067	2.76513	1.1182E10	11.01885	0.46109
1.0573E10	2.60725	1.88554	1.1203E10	10.05428	0.44135
1.0594E10	2.8425	1.43403	1.1224E10	9.83262	0.55463
1.0615E10	3.21065	0.76271	1.1245E10	9.22765	0.18246
1.0636E10	3.69976	0.38503	1.1266E10	8.91311	0.1639
1.0657E10	4.39228	0.37475	1.1287E10	8.60673	0.41064
1.0678E10	5.42146	0.01464	1.1308E10	7.93488	1.43681
1.0699E10	6.32592	0.05554	1.1329E10	7.34914	1.49313
1.072E10	7.07339	0.46881	1.135E10	6.576	3.00293
1.0741E10	7.79399	0.31143	1.1371E10	6.20379	2.94678
1.0762E10	8.5587	0.13882	1.1392E10	5.83102	3.04233
1.0783E10	9.75189	0.00989	1.1413E10	5.49512	3.0748
1.0804E10	10.75705	0.07983	1.1434E10	5.16626	3.0561
1.0825E10	11.7533	0.46301	1.1455E10	4.63477	3.36984
1.0846E10	12.53647	0.97355	1.1476E10	3.84834	3.23758
1.0867E10	13.09333	0.28125	1.1497E10	3.164	4.40724
1.0888E10	14.38598	0.63038	1.1518E10	2.67488	4.24693
1.0909E10	15.19341	1.45493	1.1539E10	2.31734	4.0058
1.093E10	16.67851	0.6703	1.156E10	1.58876	3.85088
1.0951E10	17.09842	1.29551	1.1581E10	1.19532	3.55749
1.0972E10	17.67222	0.91797	1.1602E10	1.16227	3.81551
1.0993E10	17.41545	1.19829	1.1623E10	0.99716	3.53366
1.1014E10	16.98318	3.13227	1.1644E10	0.82549	4.2193
1.1035E10	16.38401	1.90418	1.1665E10	0.04315	3.87752
1.1056E10	15.32466	2.79015	1.1686E10	0.01574	3.79023
1.1077E10	14.25623	0.49626	1.1707E10	0.07907	2.84376
1.1098E10	13.26969	1.1864	1.1728E10	0.08995	2.56733
1.1119E10	12.47235	1.03811	1.1749E10	0.0464	2.82892



Şekil 4.55:  $ZnFe_2O_4$  nanotozların akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit oluşturularak hazırlanmış numunenin elektromanyetik dalga soğurması.

Benzer şekilde, akrilenmiş epoksi ile elde edilen ölçüm sonuçları, soğurmanın en yüksek olduğu değeri ve bu değere karşılık gelen frekansı yine tablo halinde aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.55: Nanotoz ve akrilenmiş epoksi polimer-kompozitlerin soğurma değerleri ve frekansları.

Numuneler	Soğurma (dB)	Soğurmanın maksimum olduğu frekans (GHz)
$BaTiO_3$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-38.85	11.53
$Co_{0.4}Zn_{0.6}Fe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-48.92	11.66
$Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-48.33	10.91
$CoFe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-45.23	11.18
$Cu_{0.6}Co_{0.4}Fe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-41.18	11.16
$Cu_{0.6}Mn_{0.4}Fe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-47.23	11.97
$Cu_{0.6}Ni_{0.4}Fe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-54.59	11.35
$CuFe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-56.31	12

Tablo 4.55: (Devam) Nanotoz ve akrilenmiş epoksi polimer-kompozitlerin soğurma değerleri ve frekansları.

Numuneler	Soğurma (dB)	Soğurmanın maksimum olduğu frekans (GHz)
$Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-43.11	10.19
$MnFe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-53.34	10.12
$Ni_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-60	11.56
$Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-59.26	11.87
$NiFe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-58.15	10.98
$ZnFe_2O_4$ / Akrilenmiş epoksi polimer kompozit	-52.25	10.96

Kullanılan nanotozların, parafin ve akrilenmiş epoksi ile elde edilen kompozit-polimer numuneleri, yukarıdaki şekillerde de görüldüğü gibi her iki polimer yapılar için de elektromanyetik soğurulmalarının gerçekleştiği ve belirli frekans aralığında ise numunelerin soğurulma değerlerinin farklılık gösterdiği gözlemlendi. Bu duruma neden olarak, numune yapılarındaki ferrit karışım oranlarının (x'e göre değişimleri) farklılık göstermesi ve özellikle ferritlerdeki katyonların aktif rol oynadıkları söylenebilir [53, 57, 73]. Ayrıca yine şekillerden, akrilenmiş epoksi ile oluşturulan polimerik yapının, parafin ile oluşturulan yapıya göre daha yüksek soğurma değerine ve bu duruma karşılık gelen frekans değerinin de daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre, elde edilen her iki tür nanokompozit numunelerin, elektromanyetik soğurucular için istenilen oranlarda ve istenilen frekans için uygulanabilir olduğunu söylenebilir.

Ferrit nanotozlar akrilenmiş epoksi ile polimer-kompozit yapı oluşturulması ve bu polimer-kompozit yapının elektromanyetik soğurma ölçüm sonuçları literatüre kazandırılmıştır.

Tablo 4.40 ve 4.55' de görüldüğü gibi aynı tür numunelerde, soğurma frekanslarının yakın değerlerde olmakla birlikte değişmesi, polimer-kompozit yapılardaki manyetik malzeme oranının değişmesinden dolayıdır. Soğurma grafiklerinden görüldüğü gibi,

numunelerin soğurma frekanslarındaki kaymalar, soğurucu malzeme kalınlığından ve kristal yapıdaki spinel ferritlerin atom içindeki yerleşiminden kaynaklanıyor şeklinde yorumlanabilir. Çünkü soğurmanın maksimum olduğu yerde frekans kaymalarına, soğurucu malzeme kalınlığı, yapıdaki kimyasal etkileşmeler ve katkılanmadaki manyetik malzeme oranının neden olduğu literatürde de vurgulanmaktadır [53,57,73].



## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Literatürde spinel ferrit olarak bilinen kompleks ferrit ( $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xNi_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xCo_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ , ( $0 \leq x \leq 1$ )) nanomanyetik ve Baryum titanat ( $BaTiO_3$ ) nano tozların farklı karıştırma oranlarında parafin ve akrilenmiş epoksi ile polimer nanokompozit yapılar elde edildi. Farklı polimer-ferrit/baryum titanat nanokompozit yapıların elektromanyetik soğurucu malzeme olabilecekleri düşünülerek elektromanyetik soğurucu özellikleri araştırıldı. Elektromanyetik soğurucu malzeme olarak hazırlanan  $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  ve  $BaTiO_3$  nanotozlar sol-jel metodu ile Bahçeşehir Üniv. ve diğer  $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xNi_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xCo_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xMn_{1-x}Fe_2O_4$  nanotozlar yüzey aktif madde destekli hidrotermal sentez yöntemi ile İnönü Üniv. de elde edildi. Nanotozların başarı ile sentezlendiği XRD çalışmasından elde edilen kristal yapı analizinden görüldü. Tozların ölçüm sonucunda boyutlarının nanometre mertebesinde oldukları gözlemlendi.

Ferrit ve baryum titanat nanotozların, manyetik olmayan parafin ve akrilenmiş epoksi ile polimer kompozit oluşturma işlemleri başarılı bir şekilde yapıldı.

Tüm polimer nanokompozit yapıların farklı karışım oranlarında sergilemiş oldukları elektromanyetik soğurma ölçümleri için iletim yolu tekniği (Transmission Line) kullanıldı. Sistemin kalibresi var olan şartlarda en iyi şekilde yapılmaya çalışıldı. İletim yolu tekniği ile tüm numunelerin  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerleri ölçüldü. Bu  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerleri kullanılarak yansımaya katsayısı kaybı şiddeti (Reflection Loss (RL), dB) değerleri, verilen Nicolson-Ross-Weir (NRW) algoritması ile hesaplandı. Hesaplanan değerlerinin birbirleriyle uyum içerisinde olduğu ve bu değerlerin çok iyi sonuçlar olduğu görüldü. Keza, yansımaya kaybı (RL, dB), 8.5- 15 GHz frekans bandı aralığının da -20 dB den daha düşük olduğu kaydedildi.

$Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xNi_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xCo_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ , ( $0 \leq x \leq 1$ ) nanomanyetik ve Baryum titanat ( $BaTiO_3$ ) örnekleriyle yapılan elektromanyetik soğurma ölçüm sonuçları, Verma ve diğerleri tarafından yapılan  $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  örnekleri için (2002) [54] ve (2003) [55] ( $RL, \sim -37$  dB), Peng ve diğerleri tarafından yapılan  $Ni_{0.5-x}Zn_{0.5-x}M(Co,Cu,Mg)Fe_2O_4$  örnekleri için (2005) [56] ( $RL, \sim -44$  dB), Xie ve diğerleri tarafından yapılan  $Ni_{1-x-y}Zn_yCo_xFe_2O_4$  örnekleri için (2007) [57] ( $RL, \sim -40$  dB), Lee ve diğerleri tarafından yapılan  $Mn_{1-x}Zn_xFe_2O_4$  örnekleri için (2007) [42] ( $RL, \sim -15$  dB), Lima ve diğerleri tarafından yapılan  $NiZnFe_2O_4$  örnekleri için (2008) [58] ( $RL, \sim -15$  dB) gibi sonuçlar elde etmişlerdir. Tablo 4.40 ve 55 'deki elde edilen ölçüm sonuçları literatürdeki elektromanyetik soğurma ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldıklarında elde edilen sonuçların oldukça başarılı ve iyi oldukları görülmektedir.

Spinel ferrit ( $Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xNi_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xCo_{1-x}Fe_2O_4$ ,  $Cu_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ , ( $0 \leq x \leq 1$ ) ve Baryum titanat ( $BaTiO_3$ ) nano tozların polimer nanokompozit yapıları 8.5- 15 GHz frekans bandı aralığında yüksek soğurulma değerlerine sahip oldukları gözlemlendi. Literatürde,  $(CaCoTi)_xFe_{12-2x}O_{19}$  örnekleri için Kim ve diğerleri (1991) [44] ( $RL, \sim -40$  dB), ferrit kompozit örnekler için Bregar V.B. (2004) [73] ( $RL, \sim -30$  dB), Baryum hekzagonal ferrit örnekler için Meshram ve diğerleri (2004) [61] ( $RL, \sim -20$  dB),  $BaTiO_3$  örnekler için Abbas ve diğerleri (2006) [62] ( $RL, \sim -30$  dB), ferrit polimer kompozitler için Abbas ve diğerleri (2007) [45] ( $RL, \sim -25$  dB) tarafından bu frekans bandı aralığında yapıldığı belirtilen çalışmalara göre daha iyi sonuçlar elde edildi ve önerilen polimer nanokompozit yapıların geniş frekans bandında daha iyi soğurma özelliklerine sahip oldukları görüldü.

Doktora tezi için gerekli elektromanyetik soğurma ölçümlerinin iletim yolu tekniği (Transmission Line) ile yapılması, Literatürde, Obol [72] ve diğerleri, Shenhui ve diğerleri [71], Bregar V.B. (2004) [73] tarafından bu tür ölçüm tekniği ile yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçların oldukça uyumlu olduğu görüldü.

Nitekim elektromanyetik soğurma deneylerinin, iletim yolu tekniği (Transmission Line) kullanılarak yapılmasında sağlıklı veriler almak için:

- 1) Ölçümü yapılacak malzeme yüzeyi, düzgün ve pürüzsüz olmalı.
- 2) Malzeme boyutları, kullanılan mikrodalga kılavuzlar ile uyumlu olmalı.
- 3) Mikrodalga kılavuzlar ile numune tutturucunun konumları aynı hizada olmalı ve bağlantı çok iyi olmalı (Network analizörün kalibrasyonu için).
- 4) Network analizörün kalibrasyonu mutlaka yapılmalı.
- 5) Ölçümler, radyasyondan yalıtılmış ortamda yapılmalı.

Sonuç olarak, gerek spinel ferrit gerekse baryum titanat nantozların, hem parafin hem de akrilenmiş epoksi ile sentezlenmesi sonucunda elde edilen yeni nesil polimer nanokompozit yapıların, geniş frekans aralığında yüksek elektromanyetik radyasyon soğurdukları gözlenmiştir. En optimum ölçüm teknikleri kullanılarak elde edilen bulgular, bu tür yeni nesil polimer nanokompozit yapıların literatüre olumlu ve önemli katkılarının yanı sıra, endüstriyel kullanımda da önemli katma değer sağlayacağı söylenebilir.

Doktora tezinin, gerek malzeme gerekse ölçüm sonuçları bakımından özgünlüğü aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1) Sentezlenen malzemelerin nano ölçekli kompozit olması, hem nano teknoloji kullanımını hem de daha geniş frekans bandında soğurma yapabilir materyal olması.
- 2) Sentezlenen malzemeler için kullanılan akrilenmiş epoksi bu amaca yönelik olarak literatürde daha önce kullanılmamış olması ve literatüre kazandırılması.
- 3) Sentezlenen malzemelerin istenilen boyutta ve geometrik şekle sahip olacak özelliklere sahip olması.
- 4) Elde edilen yeni nesil polimer-nantoz kompozitlerin elektromanyetik soğurma aralıklarının soğurma ölçüm sonuçlarına göre literatürde mevcut olanlar ile karşılaştırılarak literatüre katkı sağlaması.

5) Elde edilen yeni nesil polimer-nanotoz kompozitlerin 2mm kalınlığında olup yüksek elektromanyetik soğurma değerlerine sahip olması.

6) Elde edilen kompozit malzemelerin aynı zamanda, gelişen teknolojiyle birlikte yoğun elektromanyetik dalga kullanımına bağlı birçok cihazda oluşan elektromanyetik gürültü ve parazitlenmeleri giderici (Electromagnetic Interferences, EMI) olarak kullanılabilmesi.

7) Bilgi güvenliği, askeri güvenlik, elektronik cihazların daha iyi karakterizasyonu ve çalışma işlevlerini artırabilme gibi yaygın kullanım alanları olan ve endüstriyel katkıda rekabet edebilecek aynı zamanda daha ucuz maliyete sahip yeni nesil nano-kompozit malzemelerin elde edilmesi, literatüre kazandırılması.

8) Manyetizasyon (VSM ölçümleri) ölçümlerinden görüldüğü üzere elde edilen malzemelerin kalıcı mıknatıslanma verilerine göre, bilgisayar ve çeşitli iletişim cihazlar için bilgi depolayıcı elemanlar için uygulanabilir olması.

Doktora tezinin devamında proje kapsamında bu numuneler üzerine planlanan çalışmalar kısaca:

- 1) Elde edilen/edilecek polimer nanokompozit numuneleri bir yüzeye kaplayabilmek
- 2) Kaplanan yüzeylerin boş uzay yöntemiyle (Free Space Method) elektromanyetik soğurma ölçümlerini yapabilmek
- 3) Yüksek frekanslarda ölçüm yapılabilecek mikrodalga kılavuz, rezonatör ve ayna yapabilmek
- 4) Aynaları, 1-50 GHz frekans bandı aralığını doğrudan tarayabilecek özellikte geliştirebilmek,

şeklinde sıralanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Sanchez, C., Julian, B., Belleville P. and Popall, M., "Applications of Hybrid Organic-Inorganic Nanocomposites.", *J. Mater. Chem.* 15, 3559-3592, (2005).
- [2] Bogush, V., "Application of Electroless Metal Deposition for Advanced Composite Shielding Materials", *J. Optoelec. and Adv. Mat.*, 7, 1635-1642, (2005).
- [3] Brunsmann, E.M., Sutton, R., Bortz E., Kirkpatrick, S., Midelfort, K., et al. "Magnetic Properties of Carbon Coated, Ferromagnetic Nanoparticles Produced by a Carbon Arc Method", *J. App. Phys.*, 75, 5882-5884, (1994).
- [4] Shigi, H., Yamamoto, Y., Yakabe, H., et al. "Electrical Property and Water Repellency of a Networked Monolayer Film Prepared from Au Nanoparticles", *Chemical Communications*, 9, 1038-1039, (2003).
- [5] Bogoyevitch, M.A., Kendrick, T.S., Barr, R.K., "Taking The Cell by Stealth or Storm? Protein Transduction Domains (PTDs) as Versatile Vectors for Delivery", *DNA Cell Biol*, 21, 879-894, (2002).
- [6] Meisen, U., Kathrein, H.J., "Maghemite Polymer Nanocomposites with Modulated Magnetic Properties", *Imaging Sci Technol*, 44, 508-514, (2000).
- [7] Bhimani, Z., Wilson, B., "Multiple-Length-Scale Small-Angle X-Ray Scattering Analysis on Maghemite Nanocomposites", *Ind Lubr Tribol*, 49, 288-290, (1997).
- [8] Kamiyama, S., Okamoto, K., Oyama, T., "Study on Regulating Characteristics of Magnetic Fluid Active Damper", *Energy Convers Manage*, 43, 281-287, (2002).
- [9] Chung, D.D.L. "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials", *Carbon*, 39, 279-285, (2001).
- [10] Lian, L.X., Deng, L.J., Han, M., "Microwave Electromagnetic and Absorption Properties of Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B/ $\alpha$ -Fe Nanocomposites in the 0.5–18 and 26.5–40 GHz Ranges", *J. App. Phy.*, 101, 09M520, (2007).
- [11] Deardolf, D.D. and Johnson, D.L. "Magnetic Refrigeration Development", *TDA Progress Report*, 42-78, 49-58 (1984).
- [12] Berkowitz, A.E., Lahut, J.A., Meiklejohn, W.H., Skoda, R.E., Wang, J.M., "A High Speed Magnetic Printer", *IEEE Trans. on Mag.*, 18, 1796-1803, (1982).

- [13] Petrov, V.M. and Gagulin, V.V., “Anomalous High-Temperature Properties of BaPbO<sub>3</sub>-Based Solid Solutions”, *Inorganic Materials*, 37, 93-98, (2001).
- [14] Sawaguchi, A., Toda, K., Nihara, K.”Mechanical and Electrical Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC Nanocomposites”, *J. The Ceramic Society of Japan*, 99, 523-526, (1991).
- [15] Chiang, C.K. and Popielsz, R., “Polymer Composites with High Dielectric Constant”, *Ferroelectrics*, 275, 1-9, (2002).
- [16] Razzitte, A.C., Fano, W.G., Jacobo, S.E., “Electrical Permittivity of Ni and NiZn Ferrite–Polymer Composites”, *Physica B*, 354, 228-231, (2004).
- [17] Zafiropoulou, I., Tzitzios, V., Boukos, N., Niarchos, D., “Ordering Kinetics of Chemically Synthesized FePt Nanoparticles”, *J. Magn Magn Mater*, 316, 169-172, (2007).
- [18] Parkinson, P., Aharon, E., Chang, M.H., Doschwe, C., Freg, G.L., “Dimensionality-Dependent Energy Transfer in Polymer-Intercalated SnS<sub>2</sub> Nanocomposites”, *Physical Review B*, 75, 165206-1-165206-6, (2007).
- [19] Sünel, N., “Bazı İletken Polimerlerin Fiziksel Özellikleri'nin Hesaplanması”,Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-14, (1995).
- [20] Mark, H. “In Encyclopedia of PVC”, 2nd ed.; Nass, L. I.; Heiberger, C. A., *Eds.; Marcel Dekker: New York*, 5-6, (1988).
- [21] Sanz, R., Luna, C., Hernández-Vélez, M., Vázquez, M., Lopez, D. and Mijangos, C., “A Magnetopolymeric Nanocomposite: Co<sub>80</sub>Ni<sub>20</sub> Nanoparticles in a PVC Matrix”, *Nanotechnology*, 16, 278-281, (2005).
- [22] İyibakanlar, G., “Polimerlerin Dielektrik Özelliklerinin Sıcaklık ve Frekansla İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 6-43, (2003).
- [23] Wilson, J.L., Poddar P., Frey N.A., and Srikanth H. et.all. “Synthesis and Magnetic Properties of Polymer Nanocomposites with Embedded Iron Nanoparticles”, *J. App. Phy.*, 95, 1439-1443, (2004).
- [24] Lange, J, Kotitz R, Haller A, Trahms L, Semmler W, Weitschies W. “Magnetorelaxometry a New Binding Specific Detection Method Based on Magnetic Nanoparticles“, *J. Magn Magn Mater*, 252, 381-383, (2002).
- [25] Petrov, V.M.,“Microwave Dielectric Properties of Ferroelectrics, in Segnetomagnitnye veshchestva (Magnetoelectric Materials)”, *Moscow: Nauka*, 152-164, (1990).

- [26] Wang, Z., Jiang S., Li G., “Synthesis and Characterization of Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> Nanopowders by Citric Acid Gel Method”, *Ceram. Int.*, 33, 1105-1109, (2006).
- [27] Calka, A., Wexler, D., Mosbah, A.Y. “Synthesis of Nanopowders Under High Frequency Electric Discharge Assisted Mechanical Milling”, *J. Alloys and Compounds*, 434-435, 463-466, (2007).
- [28] Petrov, V.M., Gagulin V.V., “Microwave Absorbing Materials”, *Inorganic Materials*, 37, 93-98, (2001).
- [29] Suetake, K. and Naito, Y., *USA Patent*, 3737903, (1973).
- [30] Wright, R.W., *USA Patent*, 4012738, (1977).
- [31] Amin, M.B. and James, J.R., “Techniques for Utilization of Hexagonal Ferrites in Radar Absorbers: Part 1, Broad Planar Coating”, *The Radio Electron. Eng.*, 57, 209-218, (1981).
- [32] Kunihiro, S., *USA Patent*, 3623099, (1970).
- [33] Dauwen, J.M.A., *USA Patent*, 5229773, (1993).
- [34] Hiroshi, I., *USA Patent*, 4507354, (1985).
- [35] Thomson, C.F., *UK Patent*, 1367554, (1974).
- [36] Ishino, K., Watanabe, T., and Hashimoto, Y., *USA Patent*, 4003840, (1977). *Jpn. Patent*, 54-27556, (1979).
- [37] Koseoglu, Y., Yildiz, F., Salazar-Alvarez, G., Toprak, M., Muhammed, M., Aktas, B., “Synthesis, Characterization and ESR Measurements of CoNiO Nanoparticles”, *Phys. Stat. Sol. B*, 242 (8): 1712-1718, (2005).
- [38] Yalcin, O., Yildiz, F., Bal, M., Toominen, M., Aktaş, B., “Ferromagnetic Resonance Studies of Co Nanowire Arrays”, *J. Magn. Magn.Mater.*, 272-276, 1684-1685, (2004).
- [39] Boskovic, S., Djurovic, D., Mitrovic, Z.D., Popovic, Z., Zinkevich, M., Aldinger, F., “Self Propagating room temperature synthesis of nanopowders for SOFC.”, *J. Power Sources*, 145, 237-242, (2005).
- [40] Néel, L., “Propriétés magnétiques des ferrites. Ferrimagnétisme et antiferromagnétisme”. *Ann. Phys.*, 3, 137-198. (1948).
- [41] Wolf, W.P., “Ferrimagnetism”, *Clarendon Laboratory, Oxford*, 213-286, (1961)

- [42] Lee, S.P., Chen, Y.J., Ho, C.M., Chang, C.P., Hong, Y.S., “A study on synthesis and characterization of the core-shell materials of  $Mn_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ -polyaniline”, *Materials Science and Engineering B*, 143, 1–6, (2007).
- [43] Naito, Y., and Suetake, K., “Application of Ferrite to Electromagnetic Wave Absorber and Its Charactersitic”, *IEEE Trans. On Micro. Theo. And Tsc.*, MTT-19, 65-72, (1971).
- [44] Kim, S.S., Jo, S.B., Gueon, K.I., Choi, K.K., Kim, J.M. and Chum, K.S., “Complex Permeability and Permittivity and Microwave Absorption of Ferrite-Rubber Composite in X-band Frequencies”, *IEEE Trans. on Mag.*, 27, 5462-5464, (1991).
- [45] Abbas, S.M., Dixit, A.K., Chatterjee, R., Goel, T.C., “Complex Permittivity, Complex Permeability and Microwave Absorption Properties of ferrite-Polymer Composite”, *J. Magn. Magn.Mater.*, 309, 20–24, (2007).
- [46] Kakirde, A., Sinha, B., and Sinha, S.N., “Development and Characterization of Nickel–Zinc Spinel Ferrite for Microwave Absorption at 2.4 GHz”, *Bull. Mater. Sci.*, 31, 767-770, (2008).
- [47] Dosoudil, R., Us̃a’kova’, M., Franek, J., Gruskova’, A., Sla’ma, J., “Dispersion of Complex Permeability and EM-Wave Absorbing Characteristics of Polymer-Based Composites with Dual Ferrite Filler”, *J. Magn. Magn.Mater.*, 320, 849-852, (2008).
- [48] Wu, K.H., Ting, T.H., Liu, C.I., Yang, C.C., Hsu, J.S., “Electromagnetic and Microwave Absorbing Properties of  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  / Bamboo Charcoal Core–Shell Nanocomposites”, *Composites Science and Technology*, 68, 132-139, (2008).
- [49] Lim, K.M., Kim, M.C., Lee, K.A., Park, C.G., “Electromagnetic Wave Absorption Properties of Amorphous Alloy–Ferrite–Epoxy Composites in Quasi-Microwave Band”, *IEEE Trans. on Mag.*, 39, 1836-1841, (2003).
- [50] Zhao, D.L., Li, X., Shen, Z.M., “Preparation and Electromagnetic and Microwave Absorbing Properties of Fe-Filled Carbon Nanotubes”, *J. Alloys and Compounds*, 471, 457-460, (2009)
- [51] Li, Y., Yi, R., Yan, A., Deng, L., Zhou, K., Liu, X., “Facile synthesis and properties of  $ZnFe_2O_4$  and  $ZnFe_2O_4$ /polypyrrole core-shell nanoparticles”, *Solid State Sciences*, 11, 1319-1324, (2009).
- [52] Penga, C.H., Wang, H.W., Kan, S.W., Shen, M.Z., Wei, Y.M., Chen, S.Y., “Microwave Absorbing Materials Using Ag–NiZn Ferrite Core–Shell Nanopowders as Fillers”, *J. Magn. Magn.Mater.*, 284, 113-119, (2004).
- [53] Bueno, A.R., Gregori, M.L., No’ brega, M.C.S., “Microwave Absorbing Properties of  $Ni_{0.5-x}Zn_{0.5-x}Me_{2x}Fe_2O_4$  (Me=Cu,Mn,Mg) Ferrite-Wax Composite in X Band Frequencies”, *J. Magn. Magn.Mater.*, 320, 864-870, (2008).



- [54] Verma, A., Saxena, A.K., Dube, D.C., “Microwave Permittivity and Permeability of Ferrite–Polymer Thick Films”, *J. Magn. Magn.Mater.*, 263, 228-234, (2003).
- [55] Verma, R.G. Mendiratta, T.C. Goel & D.C. Dube, “Microwave Studies on Strontium Ferrite Based Absorbers”, *J. Electroceramics*, 8, 203-208, (2002).
- [56] Peng, C.H., Hwang, C.C., Wan, J., Tsai, J.S., Chen, S.Y., “Microwave-Absorbing Characteristics for The Composites of Thermal-Plastic Polyurethane (TPU)-Bonded NiZn-Ferrites Prepared by Combustion Synthesis Method”, *Materials Science and Engineering B*, 117, 27-36, (2005).
- [57] Xie, J.L., Han, M., Chen, L., Kuang, R., Deng, L., “Microwave Absorbing Properties of NiCoZn Spinel Ferrites”, *J. Magn. Magn.Mater.*, 314, 37-42, (2007).
- [58] Lima, U.R., Nasar, M.C., Nasar, R.S., Rezende, M.C., Araujo, J.M., “Ni–Zn Nanoferrite for Radar-Absorbing Material”, *J. Magn. Magn.Mater.*, 320, 1666-1670, (2008).
- [59] Zhao, Z., Sun, X., Mao, C., Du, J., “Preparation and Microwave–Absorbing Properties of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Polystyrene Composites”, *Physica B*, 404, 69-72, (2009).
- [60] Shin, J.Y. and Oh, J.H. “The Microwave Absorbing Phenomena of Ferrite Microwave Absorbers”, *IEEE Trans. on Mag.*, 29, 3437-3439, (1993).
- [61] Meshram, M.R., Agrawal, N.K., Sinha, B., Misra, P.S., “Characterization of M-Type Barium Hexagonal Ferrite-Based Wide Band Microwave Absorber”, *J.Magn. Magn.Mater.*, 271, 207-214, (2004).
- [62] Abbas, S.M., Chandra, M., Verma, A., Chatterjee, R., Goel, T.C., “Complex Permittivity and Microwave Absorption Properties of a Composite Dielectric Absorber”, *Composites: Part A*, 37, 2148-2154, (2006).
- [63] Chen, L.F., Ong, C.K., Neo, C.P., Varadan, V.V. and Varadan, V.K., “Microwave Electronics Measurement and Materials Characterization”, *John Wiley & Sons,Ltd.* 175-205, (2004).
- [64] Yuzcelik, C.K., “Radar Absorbing Material Design”, Yüksek Lisans Tezi, *Naval Postgraduate School*, Monterey, California, 1-32, (2003).
- [65] Jiu, J.R., Itoh, M., Jiang, J., Machida, K., “A GHz Range Electromagnetic Wave Absorber with Wide Bandwidth Made of FeCo/Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposites”, *J.Magn. Magn.Mater.*, 271, 147-152, (2004).
- [66] Chen, N., Mu, G., Pan, X., Gan, K., Gu, M., “Microwave Absorption Properties of SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Composite Powders”, *Materials Science and Engineering B*, 139, 256-260, (2007).

- [67] Säily, J. Antti V., “Studies on Specular and Non-specular Reflectivities of Radar Absorbing Materials (RAM) at Submillimetre Wavelengths”, *Räisänen Report S*, 258, (2003).
- [68] Ghodgaonkar. D.K., Varadan, V.V., “Free-Space Measurement of Complex Permittivity and Complex Permeability of Magnetic Materials at Microwave Frequencies”, *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, 39, 387-394, (1990).
- [69] Krzyzagorsk, M., Adamsk, W., Kom, S. “Transmission Line Method for Liquid or Loose Material Diagnosis. Microwaves and Radar”, *MIKON '98, 12th International Conference*, 3, 715-719, (1998).
- [70] Tamyis, N. Ramli, A., Ghodgaonkar, D.K. “Free Spaces Measurement of Complex Permittivity and Complex Permeability of Magnetic Material Using Open Circuit and Short Circuit Method At Microwave Frequencies”, *Student Conference on Research and Development Proceedings . Shah Alam. Malaysia*, 394-398, (2002).
- [71] Shenhui, J. Ding, D., Quanxing, J., “Measurement of electromagnetic properties of materials using transmission / reflection method in coaxial line”, *Asia-Pasific Conference on Environmental Electromagnetics CEEM*, Nov. 4-7, 590-595, (2003).
- [72] Al-Moayed, N.N., Afsar, M.N. Khan, U.A. Mc Coeey, S., Obol, M., “Nano Ferrites Microwave Complex Permeability and Permittivity Measurement by T/R Tecnique in Waveguide”, *IEEE Trans. on Mag.*, 44, 1768-1772, (2008).
- [73] Bregar, V.B.”Advantages of Ferromagnetic Nanoparticle Composites in Microwave Absorbers”, *IEEE Trans. on Mag.*, 40, 1679-1684, (2004).
- [74] Singhal, S., Singh, J., Barthwal, S.K., Chandra, K., ”Preparation and Characterization of Nanosize Nickel-Substituted Cobalt Ferrites ( $\text{Co}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ )”, *Solid State Chem.* 178, 3183-3189, (2005).
- [75] Gorter, E.W., “Saturation Magnetization and Crystal Cemistry of Ferrimagnetic Oxides”, *Philips Res. Repts.*, 9, 295-298, (1954).
- [76] Selim, M.S., Turkey, G.V., Shouman, M.A., El-Shobaky, G.A., “Effect of  $\text{Li}_2\text{O}$  Doping on Electrical Properties of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ”, *Solid State Ionics*, 120, 173-181, (1999).
- [77] Terashi, Y., Purwanto, A., Wang, W.N., Iskandar, F., Okuyama, K., “Role of Urea Addition in The Preparation of Tetragonal  $\text{BaTiO}_3$  Nanoparticles Using Flame-Assisted Spray Pyrolysis”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 28, 2573-2580, (2008).
- [78] Balanis, C.A.”Advanced Engineering Electromagnetics” *John Wiley&Sons inc.*, 352-388, (1989).
- [79] Kittel C.,; “Kathal Fiziğine Giriş”, *BilgiTek Yayıncılık*, 295-315, (1996).

- [80] O'Handley R.C., "Modern Magnetic Materials", *John Wiley&Sons, inc.*, 25-170, 178-250, (2000)
- [81] Bayrakdar, H., "Mikrodalga Klavuz, Kavite ve Rezonator Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *GYTE Fenbilimleri Enstitüsü*, Gebze, Kocaeli, 16-55, (2002).
- [82] Cho, S.D., Paik, K.W., "Dielectric Property of Polyimide/Barium Titanate Composites and Its Influence Factors" *Electron. Comp. Technol. Conf.*, 1418–1422, (2001).
- [83] Kuek, C.Y., "Measurement of Dielectric Material properties", *Rohde & Schwarz Application Note*.1-35, (2006).
- [84] Joy, P.A., Date, S.K., "Effect of Sample Shape on the Zero-Field-Cooled Magnetization Behavior: Comparative Studies on NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>", *J. Magn Magn Mater*, 222, 33-38, (2000).
- [85] Huang, X. and Chen, Z., "Nickel Ferrite on Silica Nanocomposites Prepared by The Sol-Gel Method", *J. Magn Magn Mater*, 280, 37-43, (2004).
- [86] Poole Jr.C.P., "Electron Spin Resonance, A Comprehensive Treatise on Experimental Techniques", *Dover Publications Inc.* (1983)
- [87] Kasapoğlu, N., Baykal, A., Köseoğlu, Y., Toprak, M.S., "Microwave-Assisted Combustion Synthesis of CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> with Urea, and Its Magnetic Characterization", *Scripta Materialia*, 57, 441-447, (2007).

## ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Bolu'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bolu'da tamamladı. 1995 yılında girdiği Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldu. 1999-2002 yılları arasında, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2003 yılından beri Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmakta olup, evli ve tek çocuk babasıdır.