

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



KATKILI BOYA ÖZELLİĞİNİN RADAR ABSORPSİYONUNA ETKİSİ

Halil İbrahim SAĞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



KATKILI BOYA ÖZELLİĞİNİN RADAR ABSORPSİYONUNA ETKİSİ

Halil İbrahim SAĞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATKILI BOYA ÖZELLİĞİNİN RADAR ABSORPSİYONUNA ETKİSİ

HALİL İBRAHİM SAĞ

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez T.C. Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FYL-2023-6485 nolu proje ile desteklenmiştir.

EKİM 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATKILI BOYA ÖZELLİĞİNİN RADAR ABSORPSİYONUNA ETKİSİ

HALİL İBRAHİM SAĞ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 15/10/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU (Danışman)

Prof Dr. Numan HODA

Prof.Dr. Ahmet BOZKURT

ÖZET

KATKILI BOYA ÖZELLİĞİNİN RADAR ABSORPSİYONUNA ETKİSİ

Halil İbrahim SAĞ

Yüksek Lisans Tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU

Ekim 2024; 52 Sayfa

Radar Emici Malzeme (RAM), elektromanyetik dalganın radar tarafından gönderilmesi ile bir kısmını soğurarak yansımayı azaltmak için tasarlanmış bir malzeme türüdür. RAM stratejik bir öneme sahiptir. Radar emici malzemelerin ülkemiz adına bu derece kritik öneme sahip olmasından dolayı bu malzemeyi araştırmak ve geliştirebilmek için bu çalışmaya başlandı.

Bu çalışmada, radar sinyallerini radar absorpsiyon malzemeler ,(RAM) için boyalara manyetik ağırlıklı tozlar [Fe, Ni, Co, Mn, (Ba + Fe), (Mn + Ba + Ni + Fe),(Ba, Cu, Co, Fe)] ve laboratuvarında üretilmiş manyetik nanometal oksitler katkılıdır. Manyetik nanometal oksitleri üretmek için iki farklı yöntem kullanıldı. Bunlar hidrotermal ve birlikte çöktürme yöntemidir. Elde edilen manyetik nanometal ve kullanılan tozların yapısı, morfolojisi anlamak için XRD, SEM ölçümleri birlikte manyetik nanoparçacıkların karakterizasyonu için de VSM ile ölçümler yapıldı. Katkılanacak numuneleri hazırlamak için daldırma ve püskürtme yöntemleri uygulandı. Numunelerimizi kompozitlere (glassfiber) ve savunma sanayide yaygın olarak kullanılan alüminyum (Al 6000) alaşımların üzerine katkılama yapılarak radar absorpsiyonları incelendi. Katkılanan malzemeler öncelikle boyanın molekül ağırlığınca denenmiş olup en uygun katkılama oranları deneyimizde %5, %10, %15 olarak belirlendi, böylelikle RAM için en uygun soğurma özelliklerine sahip katkılamaların ölçümleri yapıldı. Bu çalışmada altlık olarak kullanılan kompozit (Glassfiber) malzemeler vakum altında hazırlanmış olup absorpsiyon değerleri için istenilen ölçülerde kesildi. Numuneler' in ilk kat astar boya olarak atılmış 24 saat kurumaya bırakıldıktan sonra boya, katkılanan tozlar ve nano parçacıklar ilave edilmiş 24 saat tekrardan oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı. Elde edilen numunelerin (Network Analyzer) 3.3.-12.4 GHz aralığında absorpsiyon değerleri dalga kılavuzu yöntemiyle incelendi. Katkılanmış tozlar ve nanoparçacıkların en yüksek radar absorpsiyon değerleri ortalama %10 katkılı malzemelerde daha iyi sonuçlar verdiği ölçümlerde görülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Boya, Demir, Nano parçacık, Radar, Radar emici malzemeler(RAM)

JÜRİ: Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU

Prof.Dr. Numan HODA

Prof.Dr. Ahmet BOZKURT

ABSTRACT

EFFECT OF ADDITIVE PAINT PROPERTIES ON RADAR ABSORPTION

Halil İbrahim SAĞ

Master's Thesis, Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU

October 2024; 52 pages

Radar Absorbing Material (RAM) is a type of material designed to reduce reflection by absorbing a part of the electromagnetic wave transmitted by the radar. RAM has a strategic importance. Due to the critical importance of radar absorbing materials for our country, a thesis study was initiated to research and develop this material.

In this thesis study, magnetic weighted powders [(Fe, Ni, Co, Mn, (Ba + Fe), (Mn + Ba + Ni + Fe)] and laboratory produced magnetic nanometal oxides were doped into paints for radar absorption materials (RAM). Two different methods were used to produce magnetic nanometal oxides. These are hydrothermal and co-precipitation methods. XRD, SEM measurements were performed for the structure and morphology of the obtained magnetic nanometal and the powders in our hand. VSM measurements were performed for the characterization of magnetic nanoparticles. Dipping and spraying methods were applied to prepare the samples to be doped. Our samples were doped into composites (glassfibre) and aluminum (A6000) alloys commonly used in the defense industry and their radar absorption was investigated. The doped materials were firstly tested doped by the molecular weight of the dye and the most suitable doping ratios were determined as 5%, 10%, 15% in our experiment, so that dopings with the most suitable absorption properties for RAM were provided. The composite (Glassfibre) materials used as substrate in this study were prepared under vacuum and cut to the desired dimensions for absorption values. The first layer of the samples was applied as primer paint and left to dry for 24 hours, then the paint, doped powders and nanoparticles were added and left to dry again for 24 hours at room temperature. The absorption values of the obtained samples in the range of 3.3.-12.4 GHz were analysed by the waveguide method. It is seen in the measurements that the highest radar absorption values of doped powders and nanoparticles give better results in materials with an average of 10% doping.

KEYWORDS: Iron, Nano particle, Paint, Radar, Radar absorption

COMMITTEE: Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU

Prof.Dr. Numan HODA

Prof.Dr. Ahmet BOZKURT

ÖNSÖZ

Tezimin akademik olarak hazırlık aşamalarında çalışmamın her aşamasında bana desteğini sağlayan hocam Sayın Prof. Dr. Halil İbrahim MUTLU “ya teşekkürleri bir borç biliyorum. Tezimin ilerlemesinde katkıda bulunarak benden yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğ. Gör. Ali Onur KAYA ve Mert Can EMRE’ ye teşekkürlerimi sunarım.

Tezin deneysel kısımlarının tamamlanabilmesi için malzeme ve alt yapısını kullanmamıza izin veren ARES TERSANECİLİK A.Ş ve Proje müdürü olan Sayın Onur YILDIRIM ve idarecilerine desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Tezin analiz kısımlarında yardımcı olan Akdeniz Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Arş. Gör. Dr. Atalay KOCAKUŞAK ve Prof. Dr. Selçuk HELHEL ’e teşekkürlerimi sunarım

Tezin ARGE çalışmaları için kendi laboratuvarının kapılarını açan beni ekibinin bir parçası olmamı sağlayan ikinci yerim olarak gördüğüm İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü mühendislik dekanı Mustafa DEMİR hocama ve ekipteki arkadaşlara teşekkür ederim.

Benim bu sürecimin her aşamasını tamamlanmamda maddi manevi yanımda olan eşime, beni her anlamda geliştirmeye iten evlatlarıma ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Manyetizma	4
2.1.1. Manyetizmanın Temel Kavramları	4
2.1.2. Manyetik Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.1.2.1. Diyamanyetikler ve Diyamanyetizma	4
2.1.2.2. Paramanyetikler ve Paramanyetizma	5
2.1.2.3. “Ferromanyetikler ve Ferromanyetizma	5
2.1.2.4. Antiferromanyetizma ve Ferrimanyetizma	6
2.1.2.5. Antiferromanyetizma.....	6
2.1.2.6. Ferrimanyetizma.....	7
2.1.2.7. Manyetizasyon (Histeresiz) Çevrimi	8
2.1.2.8. Geçirgenlik	9
2.1.3. Elektromanyetik Spektrum	10
2.2. Radar Gizliliği (Düşük Görünürlük)	11
2.2.1. Radarın Tarihçesi	11
2.2.2. Radarın tanımı ve genel özellikleri.....	11
2.2.3. Radarı önlemek için kullanılan kavram ve malzemeler.....	12
2.2.3.1. Radar Kesit Alanı (RKA)	12
2.2.4. RKA’yı Etkileyen Faktörler.....	13
2.2.4.1. Radar Kesitinin Azaltılması	14
2.3. Radar Soğurucu Malzemeler	15
3. MATERYAL VE METOT.....	17
3.1. Katkılanacak nano parçacıkların hazırlanma yöntemleri	17
3.1.1. Birlikte çöktürme yöntemi (Co-precipitation) ile nano parçacık üretimi... 17	
3.1.2. Hidrotermal Sentez yöntemi	18

3.1.3. Fe esaslı nano parçacık	19
3.1.4. Daldırarak kapmama	19
3.1.5. Püskürtme Yöntemi	19
3.2. Numune hazırlama ve analizinde kullanılan sistemler	20
3.2.1. Hassas Terazî	20
3.2.2. Fırın	20
3.2.3. Manyetik karıştırıcı	21
3.2.4. Etüv	21
3.2.5. pH metre	22
3.2.6. X-Işınları Kırınımı cihazı	22
3.2.7. Taramalı elektron mikroskobu	23
3.2.8. VSM – Titreşimli Numune Manyetometresi	23
3.2.9. Yağsız Hava kompresörü	24
3.2.10. Network Analyzer	24
3.2.11. Kalınlık Ölçüm Cihazları	24
3.3. Hazırlanan katkılı Numune Çeşitleri	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. Taramalı elektron mikroskobu SEM görüntüleri	28
4.2. X-Işını spektrumu sonuçları	32
4.3. VSM sonuçları	35
4.4. Absorpsiyon Ölçüm Sonuçları (Network Analyzer)	38
5. SONUÇLAR	49
6. KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum Katkılı Boya Malzemelerinin Radar Absorpsiyonuna Etkisi adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

15/10/2024

Halil İbrahim SAĞ

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ba	: Baryum
Cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
dB	: Desibel
EM	: Elektro Manyetik
Fe	: Demir
GHz	: Gigahertz
M	: Metre
mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
nm	: Nanometre
%	: Yüzde

Kısaltmalar

AÜ	: Akdeniz Üniversitesi
RAM	: Radar Emici Malzeme
RKA	: Radar Kesit Alanı
RSY	: Radar Saçılma Yüzeyi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
VSM	: Titreşimli Numune Manyetometresi
XRD	: X-Işını Difraktometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Manyetik malzemelerin mıknatıslanması uygulanan manyetik alana ve sıcaklığa bağlıdır. (a) Diyamanyetik malzemelerin mıknatıslanmasının uygulanması manyetik alana göre değişimi, (b) Paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının manyetik alana göre değişimi, (c) Paramanyetik maddelerde mıknatıslanmanın sıcaklığa göre değişimi, (d) Ferromanyetik malzemelerde mıknatıslanmanın sıcaklıkla değişimi (Eşiyok 2014).....	6
Şekil 2.2. Manyetik malzemelerin manyetik moment dizilimi; (a) Ferromanyetizma, (b) Antiferromanyetizma, (c) Ferrimanyetizma (Eşiyok 2014)	7
Şekil 2.3. Tipik bir histerezis eğrisi ve bu eğriden elde edilecek nicelikler (Nane 2009).	8
Şekil 2.4. Birinci bölgede tipik bir histerezis (Nane 2009).....	9
Şekil 2.5. Farklı iki materyal için histerezis eğrileri. Kırmızıçizgi: Geniş bir histeresiz eğrisi olan malzeme (Düşük geçirgenlik; Yüksek kalıcı mıknatıslanma; Yüksek koersivite alanı). Mavi çizgi: Dar histeresiz olan malzeme (Yüksek geçirgenlik; Düşük kalıcı mıknatıslanma; Düşük koersivite alanı)(Nane 2009).	10
Şekil 2.6. Elektromanyetik radyasyon.	10
Şekil 2.7. Elektromanyetik spektrum.....	11
Şekil 2.8. F-117 Radar dalgalarını dağıtan bir Nighthawk RCSR.Hedef şekillendirme RKA için yapılacak ürünün tasarımında kullanılan parametre	14
Şekil 2.9. RAM ‘in yansıyan dalga mekanizmalarını ortadan kaldırması.	15
Şekil 3.1. Hidrotermal yöntem ile nano parçacık elde edilmesi a) toz tartımı, b) mekanizma, c) sıcaklık kontrolü, d) etüv, e) agat havanı, f) fırınlama	17
Şekil 3.2. Hidrotermal yöntem ile nano parçacık üretiminin şematik gösterimi a)toz tartımı, b) manyetik karıştırma, c) hidrotermal ünite, d) etüv, e) kurutma işlemi, f) fırınlama.	18
Şekil 3.3. Daldırma yöntemi ile numune elde edilmesi	19
Şekil 3.4. Püskürtme yöntemi ile numune elde edilmesi. a) hava kompresörü, b) püskürtme tabancası.	19
Şekil 3.5. Hassas Terazî	20
Şekil 3.6. Isıl İşlem Fırını	20
Şekil 3.7. Manyetik Karıştırıcı.....	21
Şekil 3.8. Etüv.....	21

Şekil 3.9. pH metre	22
Şekil 3.10. X-ışınları kırınımı sistemi.....	22
Şekil 3.11. Taramalı elektron mikroskobu.....	23
Şekil 3.12. Titreşimli numune manyometresi	23
Şekil 3.13. Sessiz yağsız hava kompresörü	24
Şekil 3.14. Network analizörü	24
Şekil 3.15. Kalınlık ölçüm cihazları	25
Şekil 4.1. MnSO ₄ numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri a) 100 µm, b) 50 µm, c) 5 µm.....	28
Şekil 4.2. Fe (Fe ₃ O ₄) numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri; a)100 µm, b)50 µm, c)5 µm	29
Şekil 4.3. Fe (10µm) numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri; a)100 µm, b)50 µm, c)5 µm	30
Şekil 4.4. Ba tozu + Fe (10 µm) tozu numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri; a) 100 µm, b) 50 µm, c) 10 µm	30
Şekil 4.5. Ni(NO ₃) ₂ tozu numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri a) 500X, b)1.00KX.....	31
Şekil 4.6. Co (190°C) tozu numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri; a) 5.00 X, b) 15.00 KX, c) 30.00 KX.....	31
Şekil 4.7. Lin vd. tarafından alınan XRD Pikleri (Lin vd. 2015).	32
Şekil 4.8. MnSO ₄ tozunun X-ışını spektrumu.....	32
Şekil 4.9. Bertalucci tarafından alınan XRD grafiği (Bertalucci vd. 2015).....	33
Şekil 4.10. Fe ₃ O ₄ nano parçacık için XRD sonuçları	33
Şekil 4.11. Zhang vd. tarafından alınan XRD grafiği (Zhang vd. 2015).	33
Şekil 4.12. Fe tozu için alınmış XRD sonuçları	34
Şekil 4.13. Agrawal XRD grafiği(Agrawal 2016).	34
Şekil 4.14. Ba + Fe tozlarının karışım halinin XRD sonuçları	34
Şekil 4.15. Ni(NO ₃) ₂ tozunun XRD sonuçları.....	35

Şekil 4.16. CoFe ₂ O ₄ nano parçacık VSM grafiği 0.5 g PEG katkılanarak ve Ph 10’da 190 °C üretilen nano parçacık M-H eğrisi.	35
Şekil 4.17. Fe (10 µm) toz VSM grafiği	36
Şekil 4.18. Fe(Fe ₃ O ₄) nano parçacık VSM grafiği	36
Şekil 4.19. Mn(SO ₄) VSM grafiği.....	37
Şekil 4.20. Ba tozu + Fe tozu VSM grafiği (Oda sıcaklığında ölçüm yapılmıştır.)	37
Şekil 4.21. Alüminyum numunelere astar ve boya katkılanarak network analizör ölçümleri.	38
Şekil 4.22. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.....	38
Şekil 4.23. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.....	39
Şekil 4.24. Alüminyum numunelere astar, boya ve Mn tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.....	39
Şekil 4.25. Alüminyum numunelere astar, boya ve Mn tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.....	40
Şekil 4.26. Alüminyum numunelere astar, boya ve Co nanoparçacık (190°C) katkılanarak network analizör ölçümleri.....	40
Şekil 4.27. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe nanoparçacık katkılanarak network analizör ölçümleri.	40
Şekil 4.28. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe nanoparçacık katkılanarak network analizör ölçümleri.	41
Şekil 4.29. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe ve Ba tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.	41
Şekil 4.30. Alüminyum numunelere astar, boya ve Co tozu katkılanarak network analizör ölçümleri.....	42
Şekil 4.31. Kompozit numunelere astar ve boya katkılanarak network analizör ölçümleri.	42
Şekil 4.32. Kompozit numunelere astar, boya ve talaş tozu katkılanarak network analizör ölçümleri.....	42
Şekil 4.33. Kompozit numunelere astar, boya ve Fe tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.....	43

Şekil 4.34. Kompozit numunelere astar, boya ve Fe tozu katkılanarak network analizör ölçümleri daha iyi absorpsiyon elde edilmiştir.	43
Şekil 4.35. Kompozit numunelere astar, boya ve Mn tozu katkılanarak network analizör ölçümleri.....	44
Şekil 4.36. Kompozit numunelere astar, boya ve Mn tozu katkılanarak network analizör ölçümleri daha iyi absorpsiyon gösterenler.....	44
Şekil 4.37. Kompozit numunelere astar, boya ve Fe nanoparçacık katkılanarak network analizör ölçümleri.	45
Şekil 4.38. Kompozit numunelere astar, boya ve Co tozu katkılanarak network analizör ölçümleri.....	45
Şekil 4.39. Kompozit numunelere astar, boya ve Co tozu katkılanarak network analizör ölçümleri daha iyi absorpsiyon gösterenler.....	46
Şekil 4.40. Kompozit numunelere astar, boya ve Ni tozu katkılanarak network analizör ölçümleri.....	46
Şekil 4.41. Kompozit numunelere astar, boya ve (%2 Baryum, %2 Bakır, %2 Kobalt, %4 Demir, %2 Nikel) tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.	47
Şekil 4.42. Kompozit numunelere astar, boya ve (%2 Mn,%3 Baryum,%3 Nikel,%6 Demir) tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.	47
Şekil 4.43. Kompozit numunelere astar, boya ve Co nanoparçacık(190°C) katkılanarak network analizör ölçümleri.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Frekans bant aralıkları	1
Çizelge 2. Örnek lineer ve logaritmik RKA değerleri.	13
Çizelge 3. Kullanılan Astar, Boya ve Tiner Çeşitleri	25
Çizelge 4. Al (6000) serisi malzemelere toz ve nano parçacık katkılanmış numuneler.....	25
Çizelge 5. Kompozit malzemelere toz ve nano parçacık katkılanmış numuneler	26



1. GİRİŞ

Askeri alanlarda kara, deniz ve hava savunma sektörlerinde operasyonlarda ileri teknolojiler kullanılır. Bu ileri teknolojilerde gizlilik çok önem arz etmektedir. Modern teknoloji gizlilik esasına dayalı bir gelişim göstermektedir ve hayalet teknolojisi buna dâhildir. Hayalet teknolojisi radar tarafından tespit edilemeyen hava deniz araçları ve bunların tespitini zorlaştırmak için kullanılan radar emici malzemeler (RAM) bir gizli uygulama sürecidir (Ananth vd. 2021).

Uçaklar yüksek hız ve irtifada yüksek manevra kabiliyetlerini korurlar. Gizlilik askeri yönden bir taktiği uygulamak için en verimli koşulu bize sağlar. Askeri alanda havacılıkta elektromanyetik spektrumda çalışan sensörlerin radarlardan korunması önemlidir. Bu operasyonun başarısının yanında bizim hayatta kalmamızı da etkilemektedir. Radarlar, mikrodalga ve radyo dalgalarının küçük değişkenler veya yüksek değişkenler gibi geniş frekans bantlarında çalışmaları birer tehdittir. Bunlar her biri ayrı parametre olan yükseklik, menzil, hedef vb. bilgileri sağlarlar böylelikle etkili angaje olunmasına yardımcı olurlar (Jayalakshmi vd. 2019).

Radarlar çok geniş çalışma frekansına sahiptir 3MHz-300 GHz yaklaşık bir oktav aralıklarla aralıklı frekans bantlarına atanır. IEEE Harf Gösterimlerinin ITU bantları ve terminolojileri ile karşılaştırılmasını da sağlar (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2015). Radarların frekans bant aralıkları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Frekans bant aralıkları

International Table				
Band Designation	Nominal Frequency Range	Specific Frequency Ranges for Radar Based on ITU Assignments (see Notes 1, 2)		
		Region 1	Region 2	Region 3
HF	3-30 MHz	(Note 3)		
VHF	30-300 MHz	None	138-144 MHz 216-225 MHz (See Note 4)	223-230 MHz
UHF	300-1000 MHz (Note 5)	420-450 MHz (Note 4) 890-942 MHz (Note 6)		
L	1-2 GHz	1215-1400 MHz		
S	2-4 GHz	2300-2500 MHz		
		2700-3600 MHz	2700-3700 MHz	
C	4-8 GHz	4200-4400 MHz (Note 7)		
		5250-5850 MHz	5250-5925 MHz	
X	8-12 GHz	8.5-10.68 GHz		
Ku	12-18 GHz	13.4-14 GHz		
		15.7-17.7 GHz		
K	18-27 GHz	24.05-24.25 GHz	24.05-24.25 GHz 24.65-24.75 GHz (Note 8)	24.05-24.25 GHz
Ka	27-40 GHz	33.4-36 GHz		
V	40-75 GHz	59-64 GHz		
W	75-110 GHz	76-81 GHz		
		92-100 GHz		
mm (Note 9)	110-300 GHz	126-142 GHz		
		144-149 GHz		
		231-235 GHz 238-248 GHz (Note 10)		

Elektromanyetik dalgaların çok bantlı olması ile yakalama ve algılama alanında kaydedilen önemli gelişmeler teknolojik açıdan kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle katkılı malzemeler emici özellikleri bakımından kızılötesi, optik, termal ve radar dalgalarına karşı yüksek görünmezlik sağlayabilmektedir.

Gizlilik ve elektromanyetik girişimler sonucunda savunma sanayiye olan ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. RAM malzemelerin daha çok manyetik özellikleri ile dielektrik özellikleri ile düşük yoğunluk kalınlıkları ve farklı frekans aralıklarındaki uygulamalarına dair çalışmalara rastlanmaktadır. Genel anlamda radar absorpsiyonundaki ürünlerin yoğunlukları, elektrik iletkenlikleri, termal kararlılıklarıyla absorpsiyon etkilerini artırarak malzemelerin özelliklerinde önemli değişiklikler yapılabilmektedir (Alışkın 2023).

Özellikle askeri alanlardaki uygulamalar (uçak ve gemi gibi) dikkate alındığında hedef platformların radarlar tarafından tespit edilememesi savunma sanayi açısından önem arz etmektedir (Jackson 2005).

Radar dalgaları bir malzemenin yüzeyine çarptığında, enerjiyi ısı olarak dağıtan iletken katman tarafından emilirler. Yalıtım katmanı radar enerjisini malzeme içinde hapsetmeye yardımcı olur ve radar kaynağına doğru geri yansıyan miktarı azaltır (Yuzcelik 2003).

Bu doğrultuda, maksimum görünmezlik sağlanması için radar kesit alanı (RKA)'ın azaltılması gerekmektedir. RKA değeri ne kadar küçük olursa hedefin tespit edilme şansı o kadar zorlaşacaktır. Radar kesit alanı hedefin fiziki şekli ve yapıldığı malzemenin türü, radarın yönü, saçılan sinyalin polarizasyonu ve sinyal frekansına bağlı olacak şekilde değişiklik gösterir (Aydemir 2018).

Çok bantlı uyumlu gizli malzemeler modern askeri savunma alanında giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü bunlar radardan kaçmayı sağlayabilmektedir. Kızılötesi görünür uyumlu gizlilik uygulamasına yönelik çekirdek kabuk $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{SnO}_2$ nano zincirleri sayesinde radar dalgaları için minimum yansıma ile mükemmel mikrodalga soğurma performansı elde edildiği görülmüştür (Qiao 2022).

Elektromanyetik parametrelerin düzenlenmesi böylece çok bileşenli bir tasarımla empedans eşleştirme özelliklerinin iyileştirilmesi yüksek verimli elektromanyetik dalga soğurma malzemeleri elde edilmesi açısından son yıllarda ileriye dönük bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bu hususta üç boyutlu gözenekli ve işlevli mangan oksit, nikel, karbon mikro küreler tasarlanmalıdır. Gözenekli kompozitlerin yüksek mikrodalga soğurma performansına katkıda bulunduğu belirtilmiştir (Meng 2023).

Cl katkılı grafitik karbon nitritten oluşan elektrik iletken malzemeler ile grafen oksit ve polipirol içeren dielektrik malzemelerden oluşan manyetik malzemeler sayesinde absorpsiyon özelliklerine sahip yeni malzemeler geliştirilmiş ve üretilmiştir (Kadkhodayan 2022).

Çok katmanlı karnabahar benzeri yapılara sahip $\text{SiO}_2/\text{SiC}-\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ kompozit seramikler CVI ve oksitlenme teknolojileriyle sentezlenmiş SiC iletken katmanlar iletkenlik kaybının ve polarizasyon kaybının katkısını garanti etmektedir (Wei 2022).

EM dalga (EMW) emme kabiliyetine ve yüksek sıcaklık direncine sahip yeni bir malzemenin geliştirilmesi kesin bir eğilimdir. ZrC(SiC) ve C eklenmesiyle elektromanyetik absorpsiyon özelliklerini artırılmasında önemli bir etki sağlandığı görülmektedir (Zhao 2022).

Karbon fiberle güçlendirilmiş tek yönlü kompozit (CFRC) yapılar matris ağırlığının %2'lik bir yükleme konsantrasyonunda çeşitli dielektrik ve manyetik nano-doldurucuların emperye edilmesiyle gelişmiş mikrodalga absorpsiyon özellikleri L, S, C ve X frekans aralıklarını kapsayan 0.1-13.6 GHz'lik geniş bir frekans aralığı incelenmiştir. Mikrodalga absorpsiyon özelliklerinin ölçüm frekansı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir (Ahmad 2022).

$\text{Sr}_3\text{CO}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ hekzaferrit tozlar 1225-1245°C'de tek bir z tipi faza sahiptirler. Hekzaferrit epoksi kompozitlerdeki EM dalga absorpsiyonun GHz bandında ferromanyetik rezonanslardan kaynaklandığı görülmüştür.

Doğal mineral türevi silika kaplı manyetik nano-kompozitlerin yapısal analizi ve manyetik mikrodalga soğurma özellikleri incelendiğinde SiO_2 ve Fe_3O_4 nanoparçacıkların soğurma pikleri 10.00 ve 11.00 GHz'de gözlenmiştir. $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ nanokompozitleri, hem iyileştirilmiş absorpsiyon hem de ayarlanabilir bir frekans ile absorpsiyon pikleri sergilemişlerdir (Ahmad 2022).

Hafif yüksek mukavemetli elektromanyetik (EM)soğurma malzemeleri, hem askeri hem de sivil anlamda acil bir gereksinimdir. Gözenekli (SiC) EM'de ilgi çekici bir malzemedir, ancak emme performansı hala sınırlıdır. Çok gözenekli sinerjistik etkiden ve kaplama güçlendirme etkinliğinden yararlanılarak elde edilen SiC köpüğün (FeSiCr) mukavemet sergilediği görülmüştür (Husain 2022).

SiO_2 katmanlarının kaplanmasıyla düzenli altıgen şeklinde Co nanomalzemeler karmaşık geçirgenlik için tasarlanmış ve aynı zamanda Co nano tabakaların anti oksidan kapasitesini geliştirdiği kanıtlanmıştır. SiO_2 'nin katmanlarının kalınlığını ayarlamanın mükemmel bir absorpsiyon performansı sağladığı belirtilmiştir (Piao 2022).

RAM olarak kullanılan demir silisyum içerisine ferromanyetik malzemeler olan nikel ve kobalt ile ferromanyetik olmayan krom ve bor katkıları ekleyerek analizlerine bakılmış ve radar absorpsiyonuna etkisi görülmüştür (Aktaş 2013).

Ram malzemesi olarak ITO (indiyum kalay oksit) de kullanılıp detaylı araştırmalar elde edilmiştir (Darıcıoğlu 2022).

Radar absorpsiyonlarının etkisine demir esaslı pigment kullanarak boya içerisindeki etkileşimlerine bakılmıştır (Aktaş 2016).

Bu tez çalışmasında katkılanacak malzemelerin boya ile numunedeki radar soğurma yeteneğindeki değişikliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı malzemelerin katkılanmasına bağlı olarak oluşturulacak numunelerin yüzeylerinde değişiklikler oluşması öngörülmektedir. Malzemelere tozlar ve ayrıca nano parçacıklar katkılanmıştır. Böylelikle katkılı malzemelerin radar absorpsiyon özellikleri network analizer yardımı ile farklı frekanslarda ölçülmüştür.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Manyetizma

2.1.1. Manyetizmanın Temel Kavramları

Mıknatıslanma vektörü (M) ile manyetik malzemelerin bir dış manyetik alandaki durumu sembolize edilir. Mıknatıslanma; katının birim hacmi (V) başına Manyetik moment miktarı (m) olarak Denklem 2.1'deki gibi tanımlanır. Hacim birimi o maddenin içerdiği en küçük miktardır. Manyetik moment miktarını kısaca dönme hareketi olarak tanımlayabiliriz. Ya da klasik olarak bir maddede ulaşabileceğimiz en küçük mıknatıstır.

$$M = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

M olarak ifade edilen mıknatıslanma, manyetik alanın gücü (H) ile orantılanarak Denklem 2.2' deki gibi belirlenir. Manyetik alan kuvveti; birim uzunluktaki telden geçen akım miktarıdır. Bu ifadeyi biraz daha açıklamak gerekirse; 1 m uzunluğunda bir telin içinden geçirilen bir amperlik akım, 1 m yarıçapında ($1/4\pi$) (A/m) değerinde bir alan oluşturur.

$$M = \chi H \quad (2.2)$$

Farklı manyetik malzeme türleri, hassasiyetlerine veya geçirgenliklerine göre sınıflandırılabilir. Manyetik duyarlılık χ , bir malzemenin manyetik alana tepkisini göstermek için kullanılır. Manyetik duyarlılık boyutsuzdur. Denklem 2.3'deki gibi manyetik geçirgenlik μ , boşluğun manyetik geçirgenliği μ_0 ile oranlandığında;

$$\mu_r = \mu / \mu_0 \quad (2.3)$$

bize bağıl geçirgenliği tanımlar.

2.1.2. Manyetik Malzemelerin Sınıflandırılması

Malzemelerin, manyetik duyarlılık ve manyetizma özellikleri geçirgenliklerine bağlı olarak ferromanyetikler, paramanyetikler, diyamanyetikler, antiferromanyetikler ve ferromanyetikler olarak sınıflandırılır. Bunlardan benzersiz özellikleri nedeniyle teknolojik açıdan en önemli olanı ferromanyetiklerdir. Manyetiklik açısından malzemeler aşağıdaki gibi sınıflara ayrılır.

2.1.2.1. Diyamanyetikler ve Diyamanyetizma

Diyamanyetik bileşen manyetik malzemelerin hepsinde mevcuttur. Manyetik alınganlıkları negatif olanlar diyamanyetiklerdir. Bundan dolayı manyetik alan ve uygulanan manyetik tepkiler zıttır. Kuvvetli mıknatıslar bu maddeleri hızlıca itebilirler. Örnek vermek gerekirse Cu, Ag ve Au diyamanyetik malzemelerdir.

Diyamanyetik malzemeler negatif bir alınganlığa sahiptirler (Şekil 2.1(-a)). Malzemelerdeki alınganlık, diyamanyetik malzemelerde paramanyetik ve ferromanyetik malzemelere göre daha küçüktür. Diyamanyetiklerin manyetik alınganlıkları SI birim sistemine göre -10^{-5} ile -10^{-6} arasında değişir.

Diyamanyetik maddelerin atomlarının kalıcı bir dipol momenti yoktur. Bir elektron, özgün açısal momentumu nedeniyle çekirdeğin etrafında bir spin manyetik

momentine sahip olacak şekilde döner. Üretilen yörünge manyetik momenti manyetizmanın oluşmasına katkıda bulunur. Diyamanyetizma da elektronun manyetizmaya katkısı kendi eksenini tarafından belirlenir. Bunun nedeni kendi etrafında değil, yörüngede dönmesidir. Son yörünge elektron ile dolu olduğundan diyamanyetik malzemeler elektronun yörünge hareketinden etkilenir. Bu durum diyamanyetizmaya katkıda bulunmaz. Ayrıca hassasiyetleri sıcaklıktan bağımsızdır.

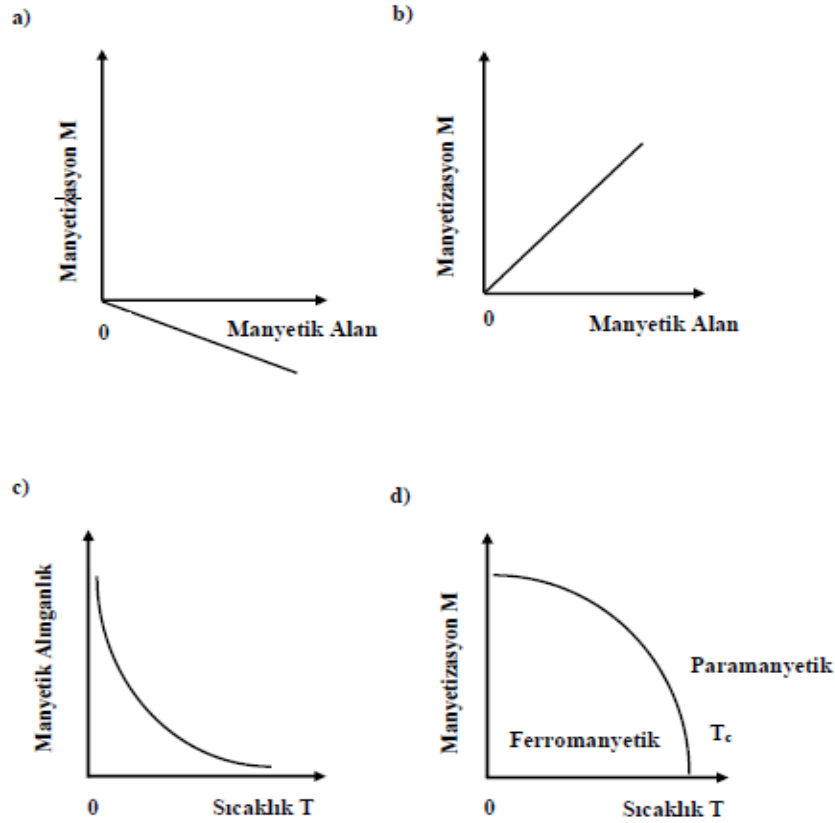
2.1.2.2. Paramanyetikler ve Paramanyetizma

Paramanyetikler küçük ve pozitif χ ($10^{-3} - 10^{-5}$) manyetik alınganlıkları değerine sahip malzemelerdir. Paramanyetik malzemelerde mıknatıslanma, zayıf manyetik alanlarda malzemenin yüzey alanıyla orantılıdır. Paramanyetiklerin hassasiyeti diyamanyetiklerin hassasiyetinden daha yüksektir. Paramanyetik malzemeler bir mıknatısa yaklaştırıldığında manyetik alandan çok az miktarda etkilenirler. Dış manyetik alan ortadan kaldırıldığında paramanyetik maddelerin manyetizması da yok olur. Ayrıca paramanyetik malzemelerin hassasiyeti malzemenin türüne ve sıcaklığına bağlı değişiklik gösterir. Paramanyetiklerin mıknatıslanması zayıftır, ancak manyetik alanın yönüne paralel olarak yerleştirilir.

Paramanyetik malzemelerin mıknatıslanması, Şekil 2.1(b)'de gösterildiği gibi uygulanan manyetik alanla birlikte değişir. Paramanyetik malzeme örnekleri Al, Pt ve Mn'dir. Paramanyetik özellikler sergileyen maddeler tek sayıda elektrona sahip olma eğilimindedir. İyonik katılarda manyetik alan 0 ise atomik manyetik moment rastgele dağılır ve malzemenin mıknatıslanması da 0 olur. Bu durumda dipoller rastgele düzenlenir. Malzemenin yüzey alanı arttıkça ve sıcaklık azaldıkça mıknatıslanma miktarı artar. Şekil 2.1(c), paramanyetik malzemelerde sıcaklıkla manyetik duyarlılığın değişimini göstermektedir. Yüksek alanlarda veya çok düşük sıcaklıklarda mıknatıslanma doyuma ulaşır. Bu durumda tüm manyetik dipol momentleri uygulanan manyetik alan yönünde hizalanır. Metallerin mıknatıslanması sıcaklığa bağlı değildir. Çünkü elektronların termal hareketi yoktur. İyonik katıların ve metallerin paramanyetizması karşılaştırıldığında, iyonik katılarda hassasiyet daha büyük, metallerinkinden daha küçüktür. Çünkü metallerde iletim bandındaki elektronlar serbestçe dönemezler. İyonik katılarda iletim bandındaki elektronlar serbestçe hareket edebilir.

2.1.2.3. “Ferromanyetikler ve Ferromanyetizma

En iyi bilinen manyetik malzemeler pozitif χ ve 1'den çok daha büyük manyetik duyarlılığa sahip ($\chi \gg 50 - 10000$) ferromanyetik katılardır. Ferromanyetik malzemeler mıknatıslar tarafından çekilir. Bu maddelere örnek olarak demir, nikel, kobalt verilebilir. Bu maddeler ısıtıldığında belirli bir sıcaklığa (Curie sıcaklığı) ulaşarak manyetizmalarını kaybederler ve paramanyetik hale gelirler. Örneğin demir için bu Sıcaklık 1043 K'dir. Bu, kristal kafes içindeki iyonların veya atomların durumudur. Bu onların komşularıyla olan etkileşimlerinin bir sonucudur. Ferromanyetik malzemeler, manyeto-manyetik alan davranışı sıfır manyetik alanda histerezis ve kalıcı mıknatıslanma ile karakterize edilir. Şekil 2.1(d)'de gösterildiği gibi Curie noktası sıcaklığında Ferromanyetik malzemeler daha yüksek doğal değere sahiptir ve burada manyetizasyon kaybı nedeniyle ferromanyetik özelliklerini kaybeder (Nane 2009). Böylece malzeme paramanyetik hale gelir. Bu duruma Curie-Weiss yasası denir.



Şekil 2.1. Manyetik malzemelerin mıknatıslanması uygulanan manyetik alana ve sıcaklığa bağlıdır. (a) Diyamanyetik malzemelerin mıknatıslanmasının uygulanması manyetik alana göre değişimi, (b) Paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının manyetik alana göre değişimi, (c) Paramanyetik maddelerde mıknatıslanmanın sıcaklığa göre değişimi, (d) Ferromanyetik malzemelerde mıknatıslanmanın sıcaklıkla değişimi (Eşiyok 2014).

2.1.2.4. Antiferromanyetizma ve Ferrimanyetizma

Ferrimanyetizma, ferromanyetizma ve antiferromanyetizma elektronların değişim etkileşimiyle paralel ve antiparalel olarak dizilir. Değişim etkileşimlerinin klasik fizikte örneği yoktur. Elektronlar en düşük enerjiyi üretecek şekilde yönlenecek çalışırlar. Spinlerin paralel ve antiparalel düzenlenmeleri sistemin enerjisine bağlıdır. Atomik manyetik momentler arasındaki değişim paralel veya antiparalel manyetik düzeni tanımlamaktadır.

2.1.2.5. Antiferromanyetizma

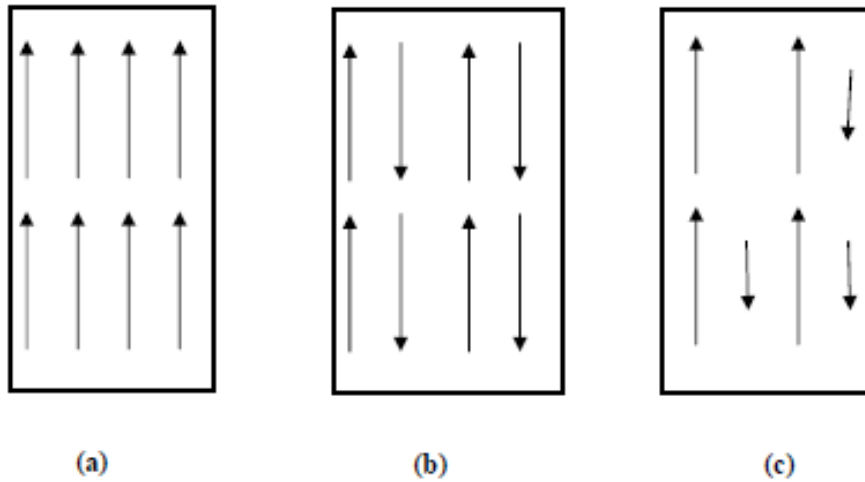
Antiferromanyetizma ferromanyetiklerin zıt türüdür. Ferromanyetik malzemelerin dönme yönelimleri aynı tarafa iken antiferromanyetik malzemelerin dönme yönelimleri zıt bir şekildedir. Antiferromanyetizma fenomeni ilk olarak Neel tarafından açıklanmıştır. Antiferromanyetik malzemelerin manyetik duyarlılığı küçük ve pozitifdir. Ancak sıcaklık düştükçe önce hassasiyet artar, ardından Neel sıcaklığında maksimum sıcaklığından geçerek azalmaya başlar. Maddenin Neel sıcaklığı üst tarafında paramanyetik, alt tarafında ise antiferromanyetiktir. Antiferromanyetik maddelerde spinler Neel sıcaklığının altında birbirine doğru yönelme eğilimindedir.

Bu nedenle antiferromanyetik malzemelerle iç içe ve zıttırlar. Böylelikle farklı yönlerde mıknatıslanmış iki alt örgüden oluştuğu düşünülebilir. Antiferromanyetik malzemeler kendiliğinden mıknatıslanmayan maddelerdir.

2.1.2.6. Ferrimanyetizma

Ferrimanyetik malzemeler iki farklı manyetik iyon içeren bileşiklerdir. Bazı maddelerdeki farklı iyon türleri farklı manyetik momentlere sahiptir ve bu manyetik momentler zıt yönlerde birbirine paralel olarak düzenlenir. Zıt yöndeki manyetik momentlerin farkı bileşke manyetik momente eşittir. Ferrimanyetik malzemeler manyetik alanın etkisi altında ferromanyetik malzemeler gibi davranır. Ferromanyetik, ferrimanyetik ve antiferromanyetik malzemelerin manyetik momentleri bir tür iç etkileşim nedeniyle doğal olarak hizalanır. Ferromanyetik malzemelerde manyetik momentlerin paralelleştirilmesi ferromanyetik ve antiferromanyetik malzemeler için pozitif olmasına rağmen olumsuzdur. Ferromanyetik ve antiferromanyetik malzemeler iç içe geçmiştir ve birbirlerine karşı yönlerine göre hizalanan manyetik momentleri vardır. Ferromanyetik malzemeler de bu ferromanyetizmaya benzer çünkü manyetik momentin genliği farklı olup kendiliğinden mıknatıslanma sergilerler

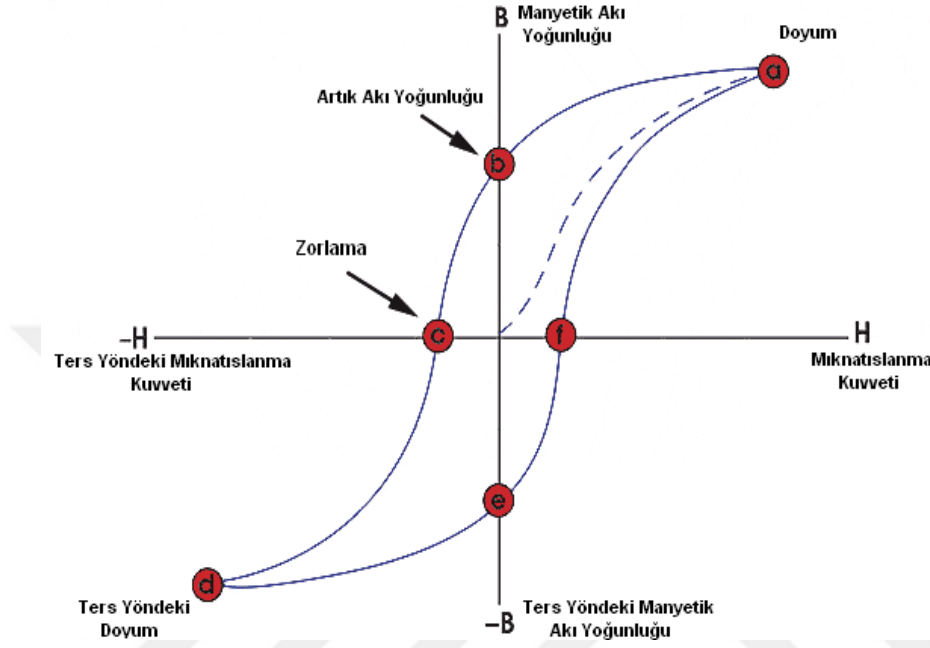
Şekil 2.2’de manyetik malzemelerin manyetik moment dizilimi gösterilmektedir. Ferromanyetizmaya sebep olan elektronların değiş tokuşu pozitif olduğundan Şekil 2.2 (a)’da gösterildiği gibi dipol momentler paralel dizilmektedir. Değiş tokuş negatif olduğu zaman elektronlar, net manyetizasyonun olmadığı antiferromanyetik düzeni oluşturmak için Şekil 2.2 (b)’de gösterildiği gibi anti-paralel dizilmektedir. Ferrimanyetizma, antiferromanyetizmanın özel bir durumudur. Şekil 2.2 (c)’de gösterildiği gibi manyetik momentler zıt yönleri gösterirler ancak farklı büyüklüklere sahiptirler. Ferrimanyetikler, makroskopik ölçekte ferromanyetikler gibi hareket ederler. Bu nedenle aradaki fark anlaşılamamıştır. Doğal mıknatıslanmanın derecesi değişim etkileşimine paraleldir ve spin sayısına bağlıdır (Eşiyok 2014).



Şekil 2.2. Manyetik malzemelerin manyetik moment dizilimi; (a) Ferromanyetizma, (b) Antiferromanyetizma, (c) Ferrimanyetizma (Eşiyok 2014)

2.1.2.7. Manyetizasyon (Histeresiz) Çevrimi

Histeresiz eğrileri incelenerek manyetik malzemelerin manyetik özellikleri hakkında kapsamlı bilgiler elde edilebilir. Histeresiz eğrisi, azaltılmış manyetik akı yoğunluğu B ile mıknatıslanma kuvveti H arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu nedenle B - H eğrisi olarak da tanımlanır. Tipik bir histeresiz eğrisi ve bu eğriden elde edilen veriler Şekil 2.3'de gösterilmektedir (Nane 2009).



Şekil 2.3. Tipik bir histeresiz eğrisi ve bu eğriden elde edilecek nicelikler (Nane 2009).

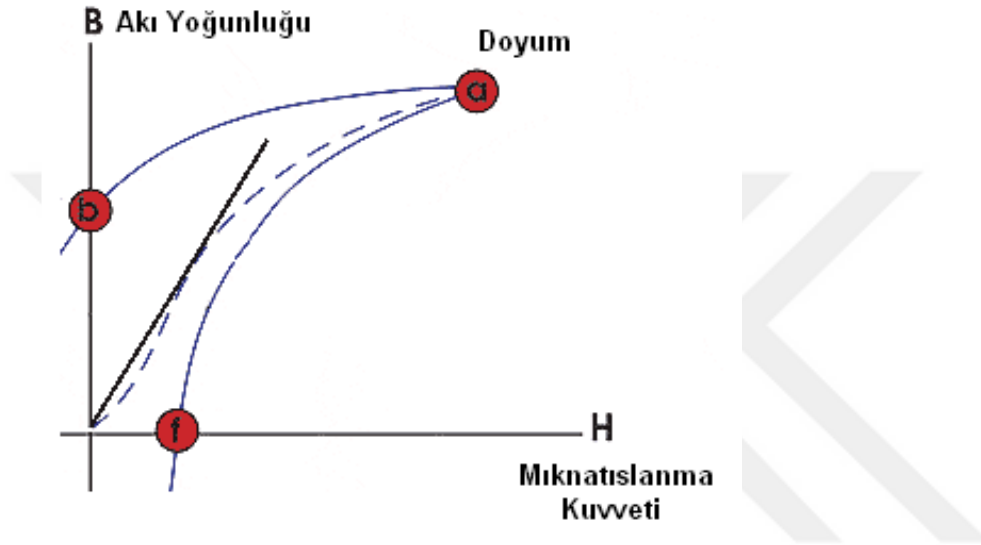
Bu eğri, ferromanyetik bir malzemenin manyetik akısının mıknatıslanma alanının bir fonksiyonu olarak ölçülmesiyle elde edilir. Birincisi, H arttıkça hiç mıknatıslanmayan veya baştan itibaren manyetikliği giderilen bir ferromanyetik madde (a) noktasına kadar noktalı çizgiyle gösterilen yolu izler. Bu noktada hemen hemen tüm manyetik alanlar manyetik alanın yönüne göre yönlendirilir ve manyetik alan arttıkça manyetik akı da hafifçe artar. Madde daha sonra manyetik doygunluk değerine ulaşır. H sıfıra düştüğünde, Eğri yol (a) noktasından (b) noktasına kadardır. Bu noktada manyetik alan sıfır olmasına rağmen bu durum malzemenin içinde hala bir miktar manyetik akı bulunduğunu gösterir. Bu diyagramdaki kalıcı mıknatıs (remanence) aynı zamanda B_r (Retentivity) olarak da adlandırılır ve tutma noktasını ifade eder. (Bu, bazı manyetik alanların manyetik alanın yönünden sapmasına rağmen hala manyetik alanın yönüyle tutarlı kaldığını göstermektedir. Manyetik alan kuvveti tersine döndüğünde eğri, (c) noktasına doğru hareket eder; indüklenen manyetik akı kuvvetlerinin bu andaki alan değeri sıfırdır. H_c ile çağrılır ve temsil edilir. Bu manyetik alan değeri malzemede kalan manyetik momentin manyetik alan yönünde dönmesine neden olarak manyetik indüksiyon yoğunluğunu sıfır yapar. Manyetik alan negatif yönde arttıkça malzeme doyum mıknatıslanma değerine (d) noktasına ters yönde yaklaşır. Tekrar azalan H değeri eğriyi (e) noktasına getirir. Bu anda kalıcı mıknatısın indüksiyon yoğunluğu pozitif yöndeki değerine eşittir. Alan arttıkça eğri önceki yolunu takip etmeden tekrar (f) noktasından geçerek tekrar (a) noktasına ulaşarak döngüsünü tamamlar.

2.1.2.8. Geçirgenlik

Manyetik geçirgenlik, manyetik akıyı bir maddeye kolayca aktarma yeteneğini ifade eder ve Denklem 2.6’da gösterildiği

$$m = \frac{B}{H} \quad (2.6)$$

denklemini ile tanımlanır. Bu denklemin herhangi bir noktadaki histerezis eğrisi eğimini temsil etmektedir.

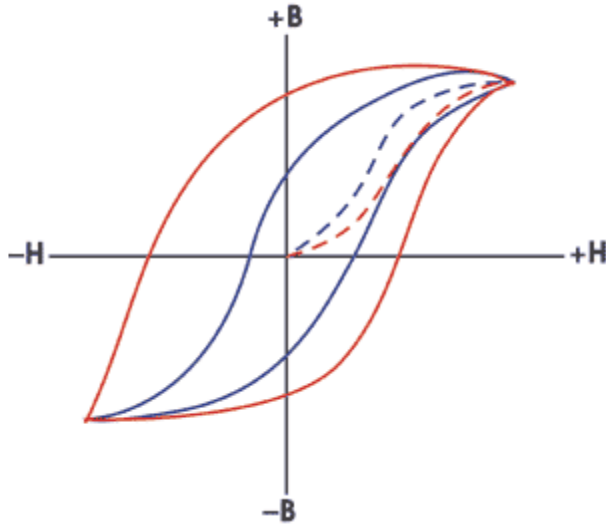


Şekil 2.4. Birinci bölgede tipik bir histerezis (Nane 2009).

Maksimum geçirgenlik veya maksimum bağıl geçirgenlik genellikle araştırma sonuçlarında verilmektedir. Maksimum geçirgenlik, mıknatıslanmamış bir maddenin B/H eğrisinin eğiminin en büyük olduğu noktadır. Bu nokta genellikle başlangıç noktasından B/H eğrisine teğet düz bir çizgi olarak tanımlanan nokta olarak seçilir. Bağıl geçirgenlik (m_b), bir maddenin geçirgenliğinin ($m_{materyal}$) serbest uzayın (hava) geçirgenliğine (m_{hava}) oranı olarak tanımlanır. Denklem 2.7’de gösterildiği gibi

$$m_b = \frac{m_{materyal}}{m_{hava}} \quad (2.7)$$

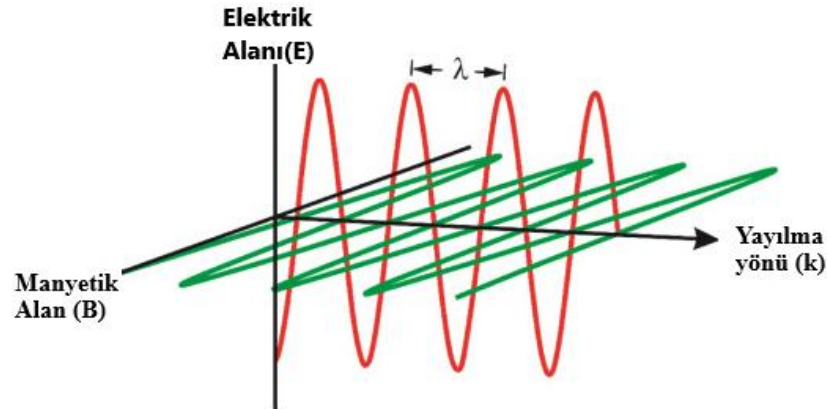
belirlenir; Burada $m_{hava}=1,256 \times 10^{-6}$ H/m’dir. Histerezis eğrisinin şekli mıknatıslanmış madde hakkında kapsamlı bilgi sağlar. Şekil 2.5’de iki farklı malzeme için histerezis eğrileri verilmiştir.



Şekil 2.5. Farklı iki materyal için histerezis eğrileri. Kırmızı çizgi: Geniş bir histerezis eğrisi olan malzeme (Düşük geçirgenlik; Yüksek kalıcı mıknatıslanma; Yüksek koersivite alanı). Mavi çizgi: Dar histerezis olan malzeme (Yüksek geçirgenlik; Düşük kalıcı mıknatıslanma; Düşük koersivite alanı)(Nane 2009).

2.1.3. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik radyasyon, Şekil 2.6’da gösterildiği gibi birbirlerine dik olarak ilerleyen elektrik ve manyetik alanlardan oluşan bir dalga şeklindedir. Elektromanyetik spektrum mikrodalgalardan kozmik ışınlar kadar değişen radyasyon türlerinden oluşur (Şekil 2.7).

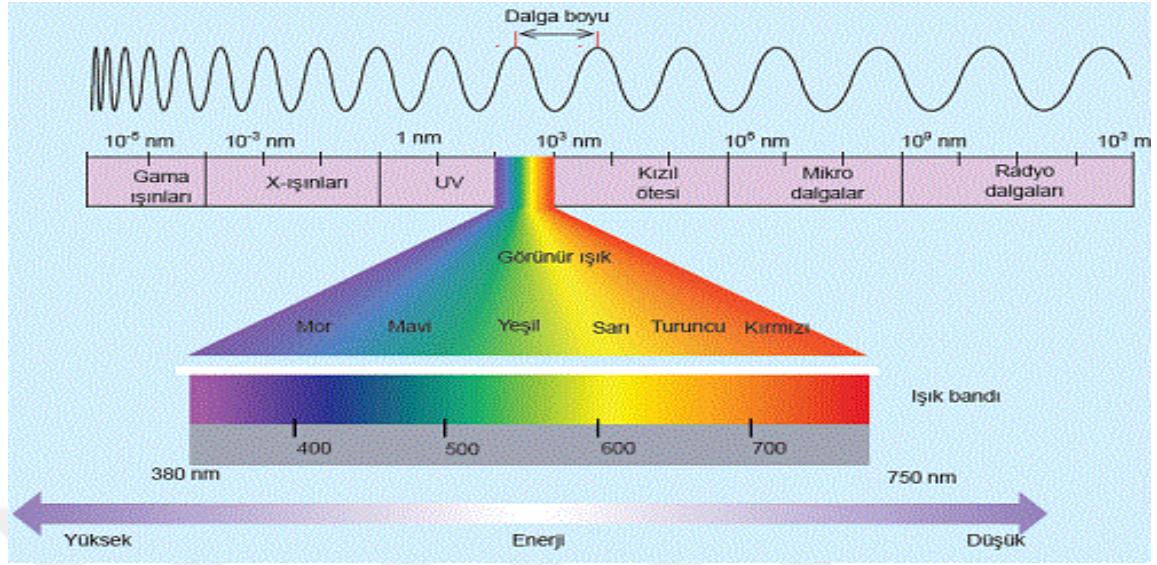


Şekil 2.6. Elektromanyetik radyasyon.

Spektrumlar farklı bölgelerde frekans veya dalga boyunun etkisiyle değişir. Dalga boyu ardışık iki tepe ve iki vadi arasındaki mesafedir ve m cinsiyle ölçülür. Saniyedeki dalga sayısı frekans (f), EM’nin taşıdığı enerji ise elektro volt (eV) cinsinden ölçülür. Frekans ve dalga boyu arasındaki ilişki Denklem 2.8’deki gibidir.

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2.8)$$

Burada c : ışığın boşluktaki hızıdır ($299.792.458 \text{ m/s}$). Bu denklemden anlaşıldığı gibi elektro manyetik dalgada frekans ve dalga boyu ters orantılıdır.



Şekil 2.7. Elektromanyetik spektrum.

2.2. Radar Gizliliği (Düşük Görünürlük)

2.2.1. Radarın Tarihçesi

Radar kelimesi “Radio Detection and Ranging” kelimesinin kısaltılmasıdır (Radyo Tespit ve Menzil Belirleme). Amerikan Deniz Kuvvetleri tarafından 1940’da kabul edilmiş olup dünyanın farklı ülkelerinde farklı isimlerde kullanılmakta örneğin Fransa’da “DEM detection e'lectromagne'tique” olarak kullanılırken dünyada literatüre RADAR olarak girmiştir. Radar geçmişten bugüne farklı kişiler tarafından aşama aşama geliştirilmiştir. 1886 yılında Heinrich Hertz radyo dalgalarının yansıma teorisini geliştirirken 1903 yılında Hulsmeier gemiden radyo dalgalarının sezilmesini başarmıştır. Markoni yıllar sonra 1922 de sezinlemeyi ilerletmiş, Taylar ve Young kardeşler ise alıcı verici anten ile sürekli dalga kullanarak bir gemiyi sezinlemeyi başarmışlardır. İlk uçağı sezinleyen 1930 yılında La Haylandı. 1934 yılında vuru modülasyonu ile çalışan radarı Amerika Deniz Araştırma Laboratuvarı’nda bulmuşlardır. 1939’da ise erken uyarı radarı yenilenmiş ve günden güne bu alandaki gelişmeler sürekli devam etmiştir (Aydemir 2018).

2.2.2. Radarın tanımı ve genel özellikleri

Radarlar önceleri askeri amaçlar için geliştirilmiş olmalarına karşın günümüzde sivil hava trafiğini denetleme, meteoroloji, uzay çalışmaları, denizcilik, kara taşıtlarının hız denetimi vb. gibi birçok alanda insanlığa yararlı işlevlerini sürdürmektedir.

Tarihteki ilk savaşlarda insanlar ses ve ışıktan yararlanıyordu. Ancak kötü hava koşullarında bu tip haberleşme olanaksızdı ve uzaklık sınırlaması vardı. Uçakların savaşlarda kullanılmaya başlanılmasından sonra da uçakların hedeflerine ulaşmada sezilebilme konusu önem kazandı.

Hareketli hedeflerin yerlerinin saptanması için çeşitli yöntemler geliştirildi. Eko(yankı) ilkesi ile hareketli hedeflerin varlığının sezilmesinin ve konumlarının saptanmasının en uygun biçim olduğu zamanla kabul edildi.

Radarlarda temel olarak eko ilkesine uyarlar. Çok yüksek frekanslarda sinyaller yayarlar ve bunların hedeflerden yansıyıp geri gelenlerini toplayıp değerlendirerek hedeflerin yön, yükseklik, boyut ve uzaklıkları hakkında bilgi edinilmesinde yardımcı olurlar.

2.2.3. Radarı önlemek için kullanılan kavram ve malzemeler

2.2.3.1. Radar Kesit Alanı (RKA)

Radar Kesiti Alanı RKA (Radar Cross Section) elektromanyetik dalgaların arama radarına gelmesi ile kesişmiş olan ve elektromanyetik dalgaların saçılması ile oluşan dalganın iz düşüm alanlarına denir.

Elektromanyetik enerjinin bir kısmı hedef tarafından absorbe edildiği için ve bir kısmı da saçılacağı için hedefin ilgili fiziksel alanı genelde radar kesit alanından büyüktür.

Elektromanyetik dalganın her hangi bir cisimden saçılma problemi RKA hesabının temelini oluşturur. Bundan dolayı askeri alanlarda aktif kullanılan araçlar için bu bilgi ışığında tasarlanır. Bir hedefin RKA (σ) değeri

$$\sigma = \frac{P_{saçılan}}{S_{gelen}} = \frac{\text{Hedeften saçılan güç}(W)}{\text{Hedefin aldığı güç yoğunluğu} \left(\frac{W}{m^2}\right)} \quad (2.9)$$

bağıntısı ile m^2 cinsinden hesaplanır. Burada S_{gelen} (W/m^2) radardan hedefe ulaşan birim elektromanyetik güç yoğunluğunu gösterir. Bu güç yoğunluğunun etkisi ile hedef üzerinde akımların indüklenmesi sonucu, hedeften saçılan elektromanyetik dalgalar radarda $P_{saçılan}(W)$ değerinde toplam bir güç oluşumuna neden olurlar. Hedef pratikte genellikle radarın uzak alanında (r çok büyük) kaldığından, hedeften elektromanyetik dalga yayılımı izotropik (her yönde eşit) olarak kabul edilir. Yani hedef radara göre noktasal bir cisim olarak modellenmiş olur. Bu durumda, bir küre yüzeyi üzerinden birim güç yoğunluğu ve toplam güç ilişkisi

$$P_{saçılan} = 4\pi r^2 S_{saçılan} \quad (2.10)$$

olarak yazılabilir. Böylece

$$\sigma = \frac{P_{saçılan}}{S_{gelen}} = 4\pi r^2 \frac{S_{saçılan}}{S_{gelen}} \quad (2.11)$$

olur. Bu durumda uzak mesafelerde ($r \rightarrow \infty$) RKA

$$\sigma = [m^2] = \frac{P_{saçılan}}{S_{gelen}} = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{S_{saçılan}}{S_{gelen}} = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|\vec{E}_s|^2}{|\vec{E}_g|^2} \quad (2.12)$$

olur. Burada r menzili; $|\vec{E}_s|$ ve $|\vec{E}_g|$ ise saçılan ve gelen elektrik alanların (V/m) genliklerini gösterir. Söz konusu elektrik alanların hedef cismin RKA değerleri, cismin geometrik şekli ile dalgaların polarizasyon, frekans ve açı özelliklerine bağlıdır.

RKA'nın monostatik (alıcı ve verici konum olarak aynı) ve bistatik (alıcı ve verici konum olarak farklı) değerler için ayrı ayrı hesaplanması gerekir. RKA $10^{-6}m^2$ - 10^6m^2 aralıklarında gözlenir. Mühendislikte dBsm (= dB square meter) RKA'nın $1 m^2$ 'si

$$\sigma[dBsm] = 10 \log\left(\frac{\sigma[m^2]}{1m^2}\right) \rightarrow \sigma[m^2] = 10^{\frac{\sigma[dBsm]}{10}} \quad (2.13)$$

olarak da kullanılır.

Diğer bir taraftan, RKA S_{gelen} değerindeki radara gelen (S_{gelen}) elektromanyetik dalgaların saçılmasıyla ($P_{saçılan}$) gereken m^2 değeri olarak da görülür.

Bazı RKA karşılaştırmasına bir örnek olarak Çizelge 2.1 verilmiştir.

Çizelge 2.1. Örnek lineer ve logaritmik RKA değerleri.

Lineer RKA [m^2]	Logaritmik RKA [dBm ²]
100,000	50
10,000	40
1,000	30
100	20
10	10
1	0

RKA'da hedefin uzak alanda olması ($r \gg 2 \frac{D^2}{\lambda}$) gerekir. [D: cismin en büyük uzunluğu; λ : dalga boyu] Burada yayılan elektromanyetik dalgalar düzlemsel şekilde ilerlerler.

RKA açığa bağımlıdır. Farklı açılara göre RKA'da değişimler gerçekleşir. Değerlendirmelerde RKA için ortalama açı değerlendirmesine bakılır. Örneğin bir uçağın θ açısına göre bir pozisyon belirlenirken örneğin; açısal olarak en iyi RKA analizini en kötü hal analizinde kullanılır (Aksoy 2020).

2.2.4. RKA'yı Etkileyen Faktörler

RKA tespitinde kesit alanı ne kadar yüksek ise radar tarafından tespit edilme olasılığı da o kadar yüksek olur. Büyüklüğü belirleyen parametreler ise aşağıdaki gibidir.

- Hedef için parametreler:

- i. Boyut: Boyut büyüdükçe RKA büyür.
- ii. Malzeme: Kullanılan malzemenin yapısına göre yansıtma değişir.
- iii. Şekil: Geometrik şekillere göre RKA yansımalar değişir.

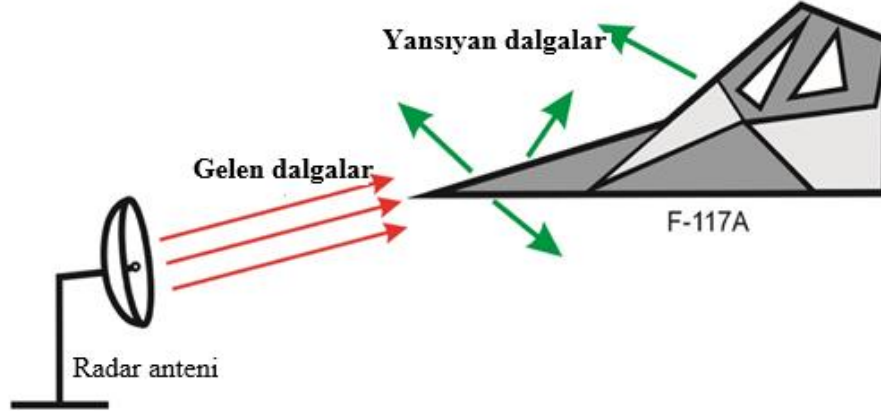
b) Sinyal için parametreler:

- i. Gelme ve Yansıma açıları: Kaynağın yönü ve geometrik şekli.
- ii. Frekans: Frekans eğer düşük ise, cismin geometrik şeklinden çok hacmi esas alınır (dalga'nın dipol momenti uyarması). Frekans eğer yüksek ise dalgalar yüzeydeki yapıları harekete geçirir, burada yüzeyin yapı ve özellikleri önemlidir.

2.2.4.1. Radar Kesitinin Azaltılması

Radar sinyalleri geldiğinde tespit edilebilmeyi en aza indirmek için RKA bazı teknikler uygulanmaktadır. Bunları ayrı ayrı veya birlikte uygulamanın artı veya eksilikleri mevcuttur.

- a) **Hedef Şekillendirme:** RKA için öncelikle şekil tercihi kullanılabilir. Radar dalgalarını uzak yönlere dağıtmak için kullanılmaktadır. Örnek Şekil 2.8'de gösterildiği gibi ABD donanmasında kullanılan olarak F-117 uçağı ve Sea Shadow sistemlerinde radar dalgalarını uygun bir şekilde yansıtan paneller mevcuttur.



Şekil 2.8. F-117 Radar dalgalarını dağıtan bir Nighthawk RCSR. Hedef şekillendirme RKA için yapılacak ürünün tasarımında kullanılan parametre

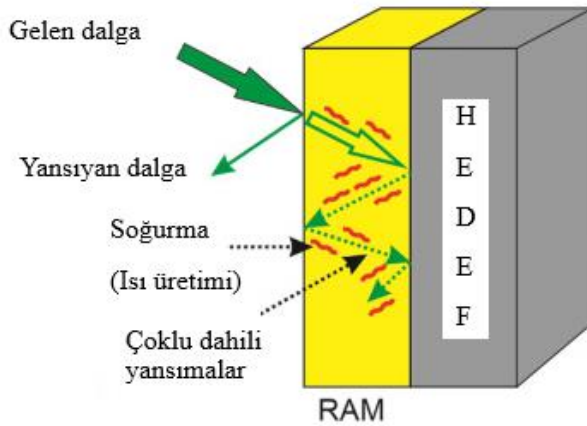
Aktif İptal: Hedefteki saçılmaları indirmek ve radardaki olay dalgaları bitirmek için sinyal üretme ilkesine dayanır. Yansıyan dalgayı önlemek amaçlıdır. Buradaki kullanılan sistem dalgaların geliş açılarını, yoğunluklarını, frekanslarını ve şeklini belirlemelidir. Bu teknik uygulanırken anten dizileri, işleme sinyal sistemleri, veri tabanları ve kontrol sistemleriyle olur. Yüksek frekanslarda bu tekniği kullanmak zorlaşır çünkü parametreler artar. Bu sebeple düşük frekanslarda kullanılabilir.

Pasif İptal: Yankı kaynağında genliği ve fazı ana yankı kaynağını iptal edecek şekilde devrede olması ile çalışır. Genelde empedans yüklemesi adıyla kullanılır. Bu

yöntemde RKA için empedansın en uygun değerinin ve konumunun bulunması amaçlanır. Pasif iptali kullanmak için az sayıda yankı kaynağına sahip nesneler gereklidir.

Radar Emici Malzemeler (RAM): II. Dünya Savaşı ile gizlilik önemli bir parametre haline gelen gizlilik ihtiyacı ile bu alandaki çalışmalar yansıyan dalganın miktarını azaltabilmek veya dalgaların yönünü değiştirmek için RAM kullanımına yönelmiştir (Şekil 2.9).

- Emilim: Elektromanyetik dalga yoğunluklarını malzemeler sayesinde azaltır ve emer veya başka enerji türü ısıya dönüştürebilir.
- Çoklu yansıma: Çoklu iç yansıma diğer adıyla yıkıcı bir girişimdir. Dalgaların oluşmuş RAM malzemelerle arka yüzüne yansıyıp ardından ön yüzüne yansıtılmasıyla gerçekleşir (Ruiz-Perez 2022).



Şekil 2.9. RAM ‘in yansıyan dalga mekanizmalarını ortadan kaldırması.

2.3. Radar Soğurucu Malzemeler

Radar soğurucu malzemeler için ilk araştırmalar 1930 yılında başlamıştır. Bu alanda karbon siyahı ve titanyum oksit ilk radar absorblayıcı malzemelerdir. Denizcilikte Almanlar bu alanda çalışmalar yapmışlardır. Karbonil demir tozunu kauçuk levhaların içine işleyerek “wesch malzeme” dedikleri RAM geliştirmişlerdir. Bu dönemlerde ABD’de RAM malzemelere önem verilmiş ve kauçuk matris içerisine gömülebilen, karbon siyahı ve alüminyum parçaları kullanımı öne çıkmıştır (Aktaş 2013).

1950-1960’lı yıllara geldiğimizde karbon ve demir oksitler toz haline getirilip absorplama özelliklerine bakılmıştır. 1960-1970’ler de ise yüzey kalınlıkları RAM’larda Fe içerikli soğurucularla azaltılmıştır. 1980’den beri RAM’ler daha geniş biçimde araştırılmaktadır. Karbonil demir ferrit-nano çubuklar bunlarla birlikte demir oksit, demir tozu, krom nikel alaşımlar üzerine çalışılmaktadır. Kalınlık önemli bir parametre olduğundan ferromanyetik malzemelerden demir ince kaplamalar oluşturulmakta ve absorplama gerçekleştirilmektedir. Bu sayede boyalar ve yüzey kaplamalar en elverişli malzemelerden biri haline gelmektedir (Aktaş 2013).

RAM radar tarafından gönderilen elektromanyetik dalganın bir kısmını soğurarak malzemenin radar tespitini güçleştiren malzemeler olduğundan farklı alanlarda üretim yöntemleri geliştirilerek kullanılmaktadır. Bunlar arasında askeri uçak ve gemiler, kara araçları, sivil uygulamalar gibi gizli veya düşük gözlemlenebilirliğin arzu edildiği çeşitli uygulamalardan bahsedilebilir. Askeri alanlarda radarlar RKA'nın azaltılmasıyla savunma tarafından algılanmaları zorlanılmaktadır. Bununla birlikte diğer alanlardaki kullanım alanlarından bazıları şöyledir iletişim teknolojileri ve veri işlemede kablosuz iletişim araçları ile yüksek frekanslarda mikrodalga radyasyonunun açtığı kirliliği engellemek olarak sıralanabilir.

RAM günümüze kadar farklı yöntemler ve farklı malzemeler ile üretilmiştir. Bazı RAM'lar boya ya katkılanan Fe esaslı tozlar, çeşitli hayvan kılları Ni, Co, Mn gibi spinel ferritler şeklindedir. Son yıllarda da bu alanlarda oldukça fazla çalışmalar mevcuttur (Aktaş 2013).

Ni, Co, Mn gibi metaller dalga soğurucu özelliği arttırdığından yüksek frekanslarda kullanılmaktadır. Bu malzemeler ekonomik olarak ve rahat uygulanabilirliklerinden dolayı soğurucu malzemeler olarak tercih edilmektedir (Peng vd. 2005).

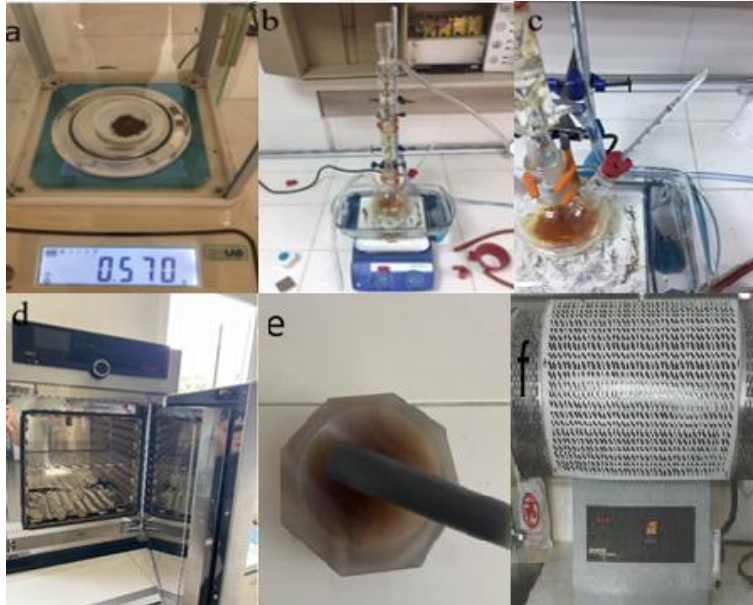
3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde tez çalışması gerçekleştirilirken yapılan deneysel çalışmalar, kullanılan cihazlar ve yöntemler tanıtılmıştır.

3.1. Katkılanacak nano parçacıkların hazırlanma yöntemleri

3.1.1. Birlikte çökeltme yöntemi (Co-precipitation) ile nano parçacık üretimi

Birlikte çökeltme yöntemi ile sulu veya susuz çözeltilerden metal nano parçacıklar veya metal oksit parçacıklar oluşturulabilmektedir. Bir ajan nanoparçacıkları çökelti olarak elde edip süzer. Nano parçacıkların boyutu ve morfolojisi: pH ve sıcaklık değişimleri ile denetlenir. CoFe_2O_4 nano parçacık birlikte çökeltme yöntemiyle üretim basamakları Şekil 3.1'de gösterilmektedir. İşleme basamak olan tartım işlemi(Şekil 3.1.a) ile başlanır. ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Daha sonra Şekil 3.1.b'deki süreç hazırlanarak kontrollü şekilde ısı arttırılıp 80°C 'ye getirilir (Şekil 3.1.c).Çözeltiye NH_3 ilavesi yapılarak pH değeri 10-11 arasında istenilen seviyeye gelene kadar sürece devam edilir. Soğutma işlemi gerçekleştirilerek oda sıcaklığına ulaşıldığında solüsyon behere aktarılır. Bir mıknatıs yardımı ile beherin altına mıknatıs konularak manyetik parçacıklar toparlanır. Pipet yardımıyla iki kere(% 5 oranında) su, bir kere etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) şeklinde yıkama işlemi gerçekleştirilir. Yıkama işlemi gerçekleşmiş parçacıklar 45°C de (24 saat) kurumaya bırakılır (Şekil 3.1.d). Kurutulmuş nano parçacıklar için agat havanı yardımı ile küçültme işlemi gerçekleştirilip iki şekilde ayrılır (Şekil 3.1.e). Birincisi ısıtıl işlem görmemiş numune, ikincisi'de ısıtıl işlem fırını ile 650°C 'de 180 dakika ısıtılarak işlem görmüş numune (Şekil 3.1.f) olarak ayrılır (Koç 2013).



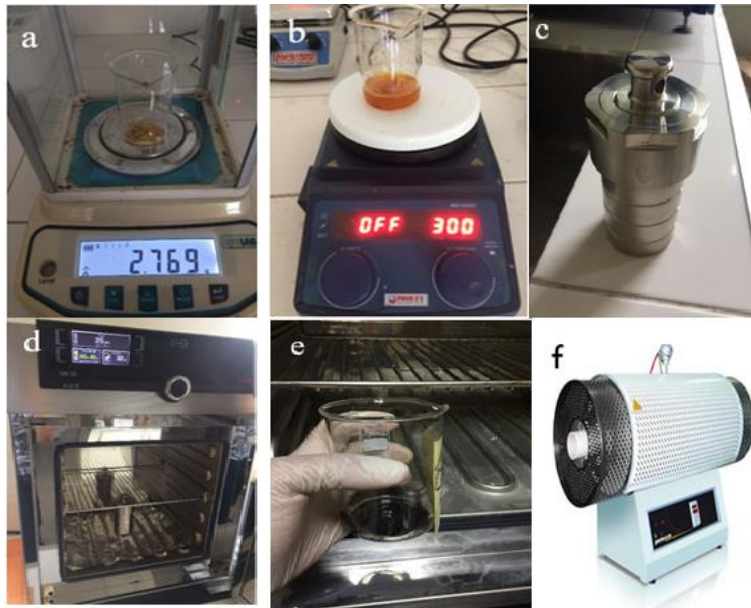
Şekil 3.1. Hidrotermal yöntem ile nano parçacık elde edilmesi a) toz tartımı, b) mekanizma, c) sıcaklık kontrolü, d) etüv, e) agat havanı, f) fırınlama

3.1.2. Hidrotermal Sentez yöntemi

Hidrotermal yöntem, suyun kritik noktasının üzerindeki sıcaklık ve basınç koşullarını kullanarak kristal veya polikristal malzemelerin sentezlenmesine olanak tanıyan bir prosedür. Bu yöntem, çözelti içindeki reaktanların yüksek sıcaklık ve basınç altında daha hızlı ve daha homojen reaksiyona girmelerini sağlayarak genellikle daha düzgün ve daha küçük boyutlu kristallerin oluşumunu teşvik eder.

Laboratuvar ortamında proseslerle hidrotermal sentez yöntemiyle kobalt (190°C) nano parçacık elde edilmiştir.

Katkılanmak üzere üretilmiş kobalt ferrit (CoFe_2O_4) nanoparçacık sentezi için hidrotermal yöntem tercih edilmiştir. Sıcaklık olarak 190°C seçilmiştir. Bu süreç, Ph 10 değerlerinde ve polietilen glikol (PEG) 0.5 g ile hazırlanan çözelti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sentez için, demir (III) klorür hexahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve kobalt (II) klorür hexahidrat ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) belirlenen stokiyometrik oranlarda karıştırılmış ve bu karışıma su ile amonyum hidroksit (NH_4OH) çözeltisi eklenerek toplam hacim 50 ml'ye tamamlanmıştır. Amonyum hidroksit, karışımın pH seviyesini ayarlamak amacıyla kullanılmıştır. Ardından, karışıma PEG eklenmiş ve hazırlanan homojen çözelti, 190°C sıcaklıkta ve 12 saat bir hidrotermal reaktörde reaksiyona bırakılmıştır. Reaksiyonun tamamlanmasının ardından, elde edilen nanoparçacık etanol ve deiyonize su kullanılarak yıkanmış ve 80°C 'de 24 saat bir etüvde kurutulmuştur. Daha sonra, kurutulan malzemeler agat havan yardımı ile öğütülerek iki farklı örneğe ayrılmıştır: biri ısıtma işlemi görmüş (600°C 'de 3 saat) ve ısıtma işlemi görmemiş olmak üzere iki farklı örneğe ayrılmıştır. Bu ayırım, nanoparçacıkların manyetik özelliklerinin incelenmesi amacıyla M-H eğrilerinin elde edilmesi için önemlidir. Bu çalışma, kobalt ferrit nanoparçacıkların hidrotermal yöntemle nasıl sentezleneceğine dair detaylı bir yol haritası sunmakta ve malzemelerin karakterizasyonu için gerekli adımları Şekil 3.2'de açıklamaktadır.



Şekil 3.2. Hidrotermal yöntem ile nano parçacık üretiminin şematik gösterimi a) toz tartımı, b) manyetik karıştırma, c) hidrotermal ünite, d) etüv, e) kurutma işlemi, f) fırınlama.

3.1.3. Fe esaslı nano parçacık

Akdeniz Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Laboratuvarı'nda üretilmiş numuneler reflux metodu ile sentezlenmiştir. Numuneler magnetit kristal fazına sahip, süperparamanyetik Fe₃O₄ nanoparçacık şeklindedir.

3.1.4. Daldırarak kaplama

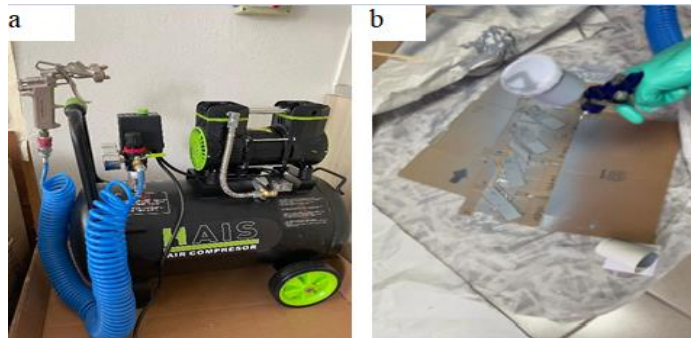
Bu yöntemde numuneler hazırlanmış olan bir boyanın içerisine sabit bir hızda daldırılıp çıkartılma esasına dayanarak elde edilir. Fazla boya altlık üzerinden akıtılmış ve kalan boya ilk kaplanmış yüzeyi oluşturmuştur. Ardından numuneler oda sıcaklığında kuramaya bırakılmıştır.



Şekil 3.3. Daldırma yöntemi ile numune elde edilmesi

3.1.5. Püskürtme Yöntemi

Hazırlanan boya Şekil 3.4'de gösterildiği gibi püskürtme yöntemi ile kaplama tekniği sayesinde yüksek bir basınç yardımıyla nozuldan püskürtülüp ince damlacıklar halinde üretilmiştir. Katkılanacak altlık bu damlacıklar sayesinde kaplanır. Püskürtme yöntemi geometrik olarak zor şekillere sahip malzemelerin rahatlıkla kaplanmasına yardımcı olur. Bu yöntemde aynı kalınlıkları elde edebilmek zordur. Yüzey kalınlıkları yapım şekline ve yapılan makine ya da insan faktörüne göre değişiklikler gösterir (Çölkesen 2019).



Şekil 3.4. Püskürtme yöntemi ile numune elde edilmesi. a) hava kompresörü, b) püskürtme tabancası.

3.2. Numune hazırlama ve analizinde kullanılan sistemler

3.2.1. Hassas Terazi

Deneyisel çalışmalarım esnasında hidrotermal ve çökeltme yöntemi için kullanılması gereken yoz ürünlerin ağırlıklarını ölçmek için Şekil 3.5’de görülen İSOLAB marka virgülden sonra 3 birim hassasiyete ve maksimum 320 g tartım kapasitesine sahip 1.602.31.002 model hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Hassas Terazi

3.2.2. Fırın

Şekil 3.6’da görülen PROTHERM marka tüp fırın ile hidrotermal ve çökeltme yöntemiyle hazırlanmış nano parçacıklar dakikada 5°C hızda 650°C’ye kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta 3 saat bekletilmiş ve ardından yine aynı hızda oda sıcaklığına kadar kurutularak ısıl işlem uygulanmıştır.



Şekil 3.6. Isıl İşlem Fırını

3.2.3. Manyetik karıştırıcı

Deneyisel süreçte kullanılan tozlar Şekil 3.7’de görülen Four es Scientific marka MI102003 modeli manyetik karıştırıcı ile uygun bileşimler haline getirilmiştir.



Şekil 3.7. Manyetik Karıştırıcı

3.2.4. Etüv

Şekil 3.8’de görülen MEMMERT marka UN55 model etüv ile hidrotermal ve çökeltme yöntemiyle hazırlanmış nano parçacıklar dakikada 5°C hızda 180°C’ye kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta 12 saat bekletilmiş ve ardından yine aynı hızda oda sıcaklığına kadar kurutma işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.8. Etüv

3.2.5. pH metre

Hidrotermal ve çökeltilme yöntemi ile hazırlanan çözeltilerin pH ölçümleri için Şekil 3.9'daki REX marka PH210E model pH metre kullanılmıştır.



Şekil 3.9. pH metre

3.2.6. X-Işınları Kırınımı cihazı

Bu çalışmada hazırlanan numunelerin X-ışını kırınım analizleri Philips X'Pert Pro X-Ray Difraktometresi (Şekil 3.10) ile ölçülmüştür. Ölçümler oda sıcaklığında, Cu-K alfa ışınıyla 20 -80 ° aralığında 2°/ dk' lık adımla yapılmıştır.



Şekil 3.10. X-ışınları kırınımı sistemi

3.2.7. Taramalı elektron mikroskobu

Hazırlanmış olan numunelerin yüzey morfolojisini incelemek üzere görüntüler almak için kullanılan QUANTA marka FEI QUANTA 250 FEG model taramalı elektron mikroskobu Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Taramalı elektron mikroskobu

3.2.8. VSM – Titreşimli Numune Manyetometresi

Hazırlanmış olan manyetik malzemelerin karakterizasyonu için Şekil 3.12’deki Dexing Magnet model VSM 550 titreşimli numune manyometre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Titreşimli numune manyometresi

3.2.9. Yağsız Hava kompresörü

Numuneleri püskürtme yöntemi ile elde etmek için Şekil 3.13'deki HAIS marka 1.5 Hp yağsız hava kompresörü kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Sessiz yağsız hava kompresörü

3.2.10. Network Analyzer

Absorpsiyon ölçümlerinde dalga kılavuzu yöntemi ile Şekil 3.14'de görülen HP marka 8720C (50 MHz-20 GHz) model network analizatörü kullanılmıştır. Saçılma parametrelerinin ölçümü 2-12 GHz arasında iletilen ve yansıyan dalgaların analizi ile yapılmıştır.



Şekil 3.14. Network analizörü

3.2.11. Kalınlık Ölçüm Cihazları

Kalınlık ölçüm değerlerinde Şekil 3.15'de görülen manuel kumpas ve Al numuneler Würth(3000M) marka boya kalınlık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 3.15. Kalınlık ölçüm cihazları

3.3. Hazırlanan katkı Numune Çeşitleri

Bu çalışma kapsamında üretilen numuneler için kullanılan astar ve ana boya çeşitleri Çizelge 3.1’de ki gibidir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan astar, boya ve tiner çeşitleri

Numuneler(kompozit)	BOYA	SERTLEŞTİRİCİ	TİNER
ASTAR	Hempadur Easy 47700	Hempel’s Curing 97702	Hempel’s Thinner 08450
ANA BOYA	Hempathane Topcoat 55210 Ral 7001	Hempel’s Curia 95370	Hempel’s Thinner 08080

Astar boyası için ağırlıkça 4/1 oranında boyaya sertleştirici katılmıştır. Bu hazırlanmış astar boyası ve sertleştiriciye daldırma ve ya fırça yardımı ile kaplama yapılırken %15 oranında, sprej püskürtme yönteminde %20 oranında tiner ilave edilip karıştırılmıştır. Ana boya yapılırken ağırlıkça 7/1 oranında boyaya sertleştirici ilave edilmiştir. Bu hazırlanmış ana boyaya da daldırma veya fırça ile kaplama yapılırken %15 oranında, sprej püskürtme yönteminde %20 oranında tiner ilave edilip karıştırılmıştır. Elde edilen ağırlıkça orana göre hazırlanmış numunelere farklı oranlarda tozlar ilave edilmiştir. Numunelerin üzerine astar boya ilave edildikten sonra 24 saat oda sıcaklığında kuruma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ana boya ilave edildikten sonra ıslak halde iken toz ve nanotozlar ilave edilip tekrar oda sıcaklığında 24 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Elde edilen numunelere ilave edilen toz oranları ve yeni numuneler Çizelge 3.2 ve 3.3’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.2. Al (6000) serisi malzemelere toz ve nano parçacık katkılanmış numuneler

Kullanılan Malzeme	Astar boya	Ana boya	Katkılanan Malzemeler
Al 6000	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	Astar + Boya

Çizelge 3.2'nin devamı.

Al 6000	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	Astar + Boya+%10 Talaş tozu
Al 6000	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	%10,15 Fe tozu
Al 6000	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	%10,15 Mn tozu
Al 6000	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	Co tozu
Al 6000	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	Fe + Ba tozu
Al 6000	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	%5,15 Fe nanoparçacık
Al 6000	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	Conanoparçacık(190°C)

Çizelge 3.3. Kompozit malzemelere toz ve nano parçacık katkılanmış numuneler

Kullanılan Malzeme	Astar boya	Ana boya	Katkılanan Malzemeler
Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	Astar + Boya
Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	% 5 Talaş tozu
Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	% 1, 3, 5,10 Fe (10 µm) tozu
Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	% 1, 3, 5, 10, 15 MnSO4

Çizelge 3.3'ün devamı.

Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	% 1, 3, 5, 10, 15 Co(NO ₃) ₂
Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	%5, 10, 15 Ni(NO ₃) ₆ H ₂ O
Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	Karışım 1 %2 barium hydroxide (Ba(OH ₂).8H ₂ O), %2 copper (II) Oxide, %2 Kobalt (II) nitrate, %4 Fe tozu(10µm)
Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	Karışım 2 %3M _n SO ₄ . H ₂ O,%3 Bariumnitrat(Ba(NO ₃) ₃) ₂ , %3 Ni (NO ₃) ₆ H ₂ O,%6 Fe (10µm) Toz
Kompozit numune (Glass Fiber)	Hempadur Easy 47700	Hempathane Topcoat 55210	% 5, 10, 15 Co Nano (190 ° C)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

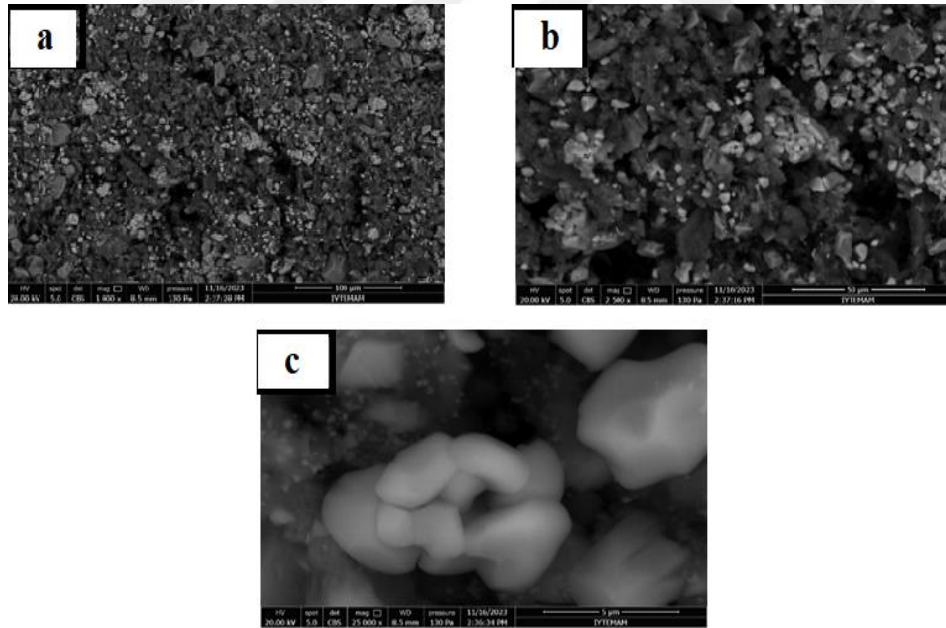
Bu tez çalışmasında boyaya katkılanan malzemelerin radar absorpsiyonuna etkisi daldırma, spreyci yöntemler ve cihazlarla yapılan ölçümler yardımıyla yorumlanmıştır.

Çalışmada izlenen yollar aşağıda listelenmiştir:

- Katkılanacak Al ve kompozit malzemelerin seçilmesi,
- Boyanın uygun oranlarda ayarlanıp numuneler üzerine daldırma ve püskürtme yöntemi ile ilave edilmesi,
- Katkılanacak tozların ve nano parçacıkların ilave edilmesi,
- Numunelerin oda sıcaklığında kurumaya bırakılması,
- Ön görülen analiz ve ölçüm işlemlerinin yapılması.

4.1. Taramalı elektron mikroskobu SEM görüntüleri

Burada boya ile kaplanmış Alüminyum numunelere, mangan $\{Mn(SO_4)\}$ katkılanmış olup, SEM görüntüleri Şekil 4.1(a)-(c)'de verilmiştir. Görüntülerde parçacıkların çeşitli şekil ve büyüklüklerde dağıldığı gözlenmiştir. Parçacıkların bazıları birbirlerine yapışmış gibi görünmektedir. Görüntülerde yüzey detayları ve parçacıkların pürüzlülüğü net bir şekilde görülebilmektedir. Numune yüzeyi pürüzsüz bir halde olmayıp, bazı alanlarda girintiler ve çıkıntılar mevcuttur. Yüzeydeki bu pürüzler parçacıkların kimyasal ve fiziksel etkileşime girdiğine işaret etmektedir.

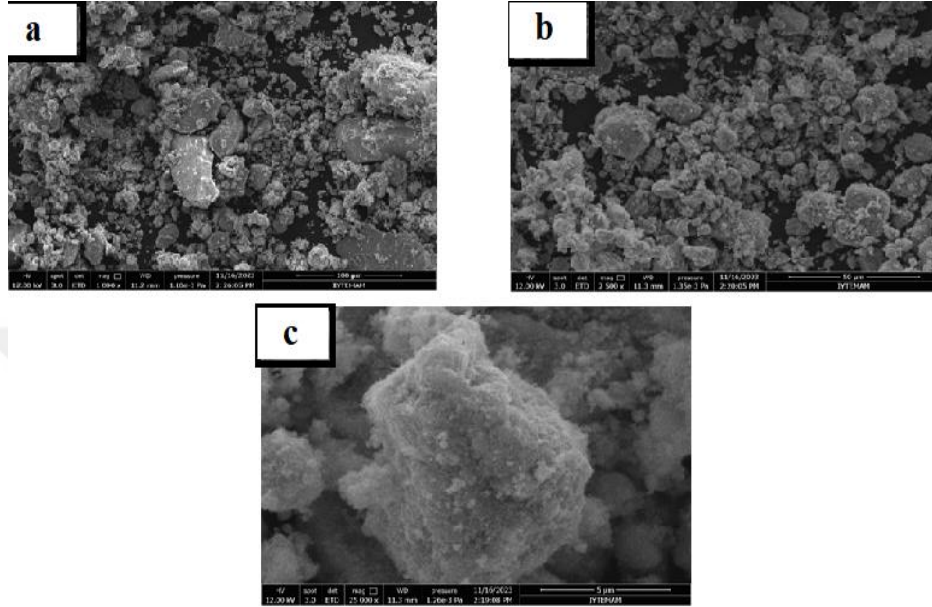


Şekil 4.1. MnSO₄ numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri a) 100 µm, b) 50 µm, c) 5 µm

Şekil 4.2 (a)-(c)'de Fe₃O₄'ın numunesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Görüntülerde numunedeki parçacıkların büyük, küçük ve düzensiz yapılarda olduğu dikkat çekmiştir. Bu durumun Fe₃O₄'ü temsil ettiği düşünülmektedir. Etrafında daha küçük parçacıklar ve ince yapılar mevcuttur. Bunlar ise numunenin karmaşık ve parçacıklı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Merkezdeki büyük parçacığın

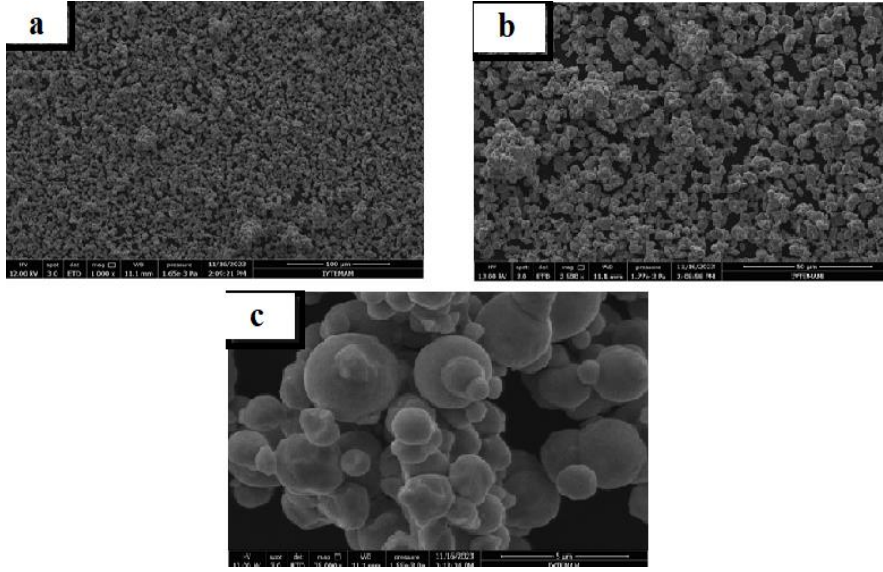
yüzeyi pürüzlü ve heterojen görünümde olup bu yapı parçacık yüzey alanını artırabilecek ve reaktiviteyi etkileyebilecek potansiyeldedir. Yüzey alanı arttığı için küçük ve büyük parçacıklar elektromanyetik kalkanlamayı da etkileyecektir.

SEM görüntülerindeki kontrastlar, malzemenin elektron geri saçılma yeteneği ile ilgilidir. Görüntülerdeki parlaklık farklılıkları Fe_3O_4 içeren numunelerin farklı bölgelerdeki yoğunluk veya kompozisyon değişiklikleri olabileceğine işaret eder.



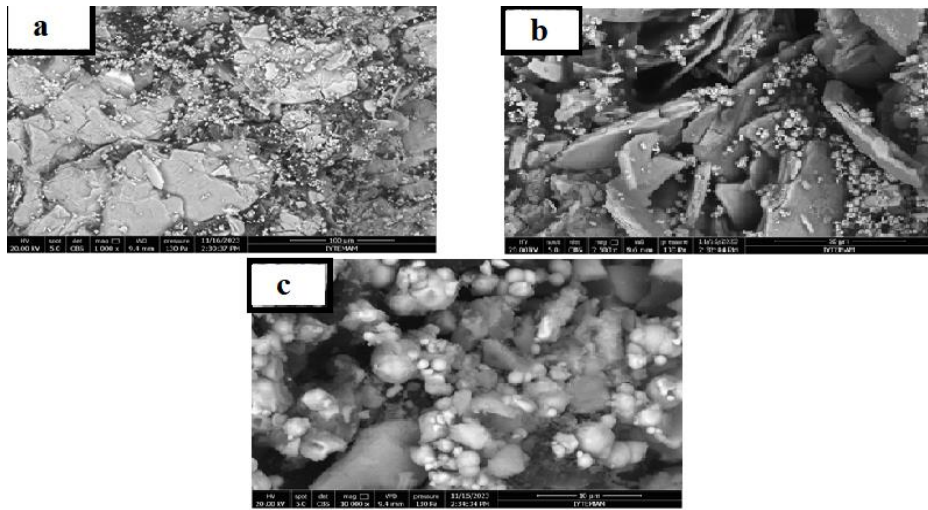
Şekil 4.2. Fe (Fe_3O_4) numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri; a) 100 μm , b) 50 μm , c) 5 μm

Şekil 4.3'te SEM görüntüsünde Fe (demir) tozlarının morfolojisi görülmektedir. Görüntülerdeki parçacıkların küresel ve düzgün şekilli olduğu ve ortalama boyutlarının 5-10 μm arasında değiştiği görülmektedir. Bu demir parçacıklarının bu süreçte kontrollü bir yöntem ile üretildiğine işaret eder. Küresel parçacıklar genellikle homojen bir morfolojiye sahip oldukları için elektron kalkanlamada önemli rol oynar. Parçacıkların dağılımı oldukça homojen görülmektedir. Parçacıklar birbirine yakın şekilde düzenlenmiştir. Bu durum da iyi bir yığılma kontrolüne işaret eder. Homojen dağılım, malzemenin elektromanyetik kalkanlama ve reaktivitesini olumlu yönde etkiler. Küresel demir parçacıkları genellikle metal tozlar, manyetik malzemeler ve çeşitli uygulamalarda kullanılır. Yüzey alanının yüksek olması, elektromanyetik ve manyetik uygulamalarda reaktiviteyi artırabilir.



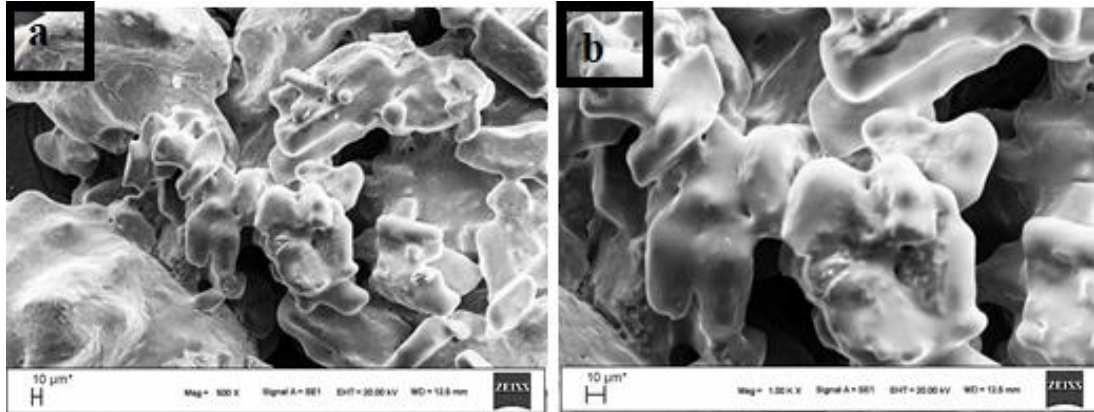
Şekil 4.3. Fe (10µm) numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri; a)100 µm, b)50 µm, c)5 µm

SEM görüntüsünde Ba (baryum) ve Fe (demir) elementlerinin karışımından oluşan bir numunenin mikro yapısı Şekil 4.4’de incelenmektedir. Bu numune hazırlanırken öncelikle kompozit (cam fiber) malzemeye daldırma yöntemi ile astar boyası ilave edilmiş ve ardından Ba ve Fe tozları oranca baryumun iki katı ağırlığınca elek yardımı ile eklenmiştir. Fe tozları ve Ba tozlarını agat havanında dövülerek ince hale getirilmiştir. Görüntüde farklı boyut ve şekillerdeki parçacıklar dikkat çekmekte olup küresel ve düzensiz şekilli parçacıklar bir arada bulunmaktadır. Bu karışım farklı büyüklükteki Ba ve Fe partiküllerini incelemektedir. Parçacıkların dağılımı homojen değil, bazı bölgelerde yoğunlaşmalar mevcuttur. Parçacıkların bir araya gelme eğilimlerinde olması, numunelerin hazırlanmada yığılma olabileceğine işaret eder. Parlaklık farklılıkları Ba ve Fe elementlerinin farklı bölgelerde yoğunlaştığını veya farklı morfolojiye sahip olduklarını gösterir. Yüzey pürüzsüzlükleri ve parçacıkların boyut dağılımları bu malzemelerin performansını ve uygulama potansiyelini etkiler.



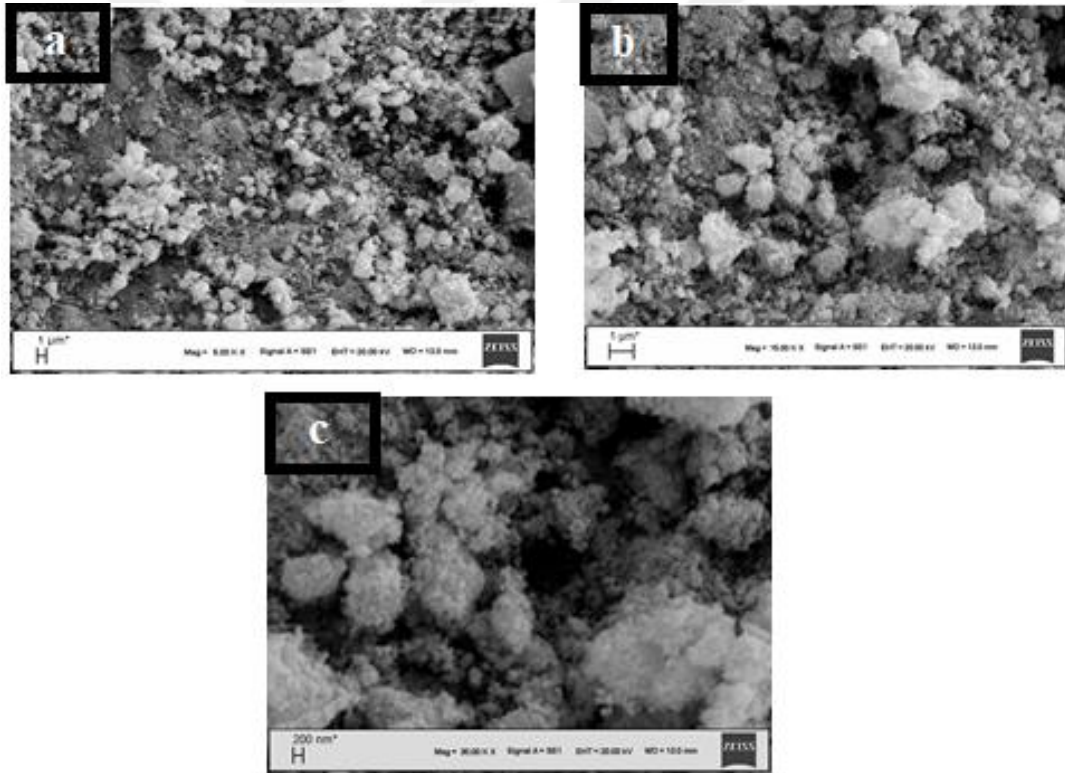
Şekil 4.4. Ba tozu + Fe (10 µm) tozu numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri; a) 100 µm, b) 50 µm, c) 10 µm

Şekil 4.5'te $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ toz elementlerinin karışımından oluşan bir numunenin SEM 'de (mikro yapı) incelenmektedir.



Şekil 4.5. $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ tozu numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri a) 500X, b)1.00KX

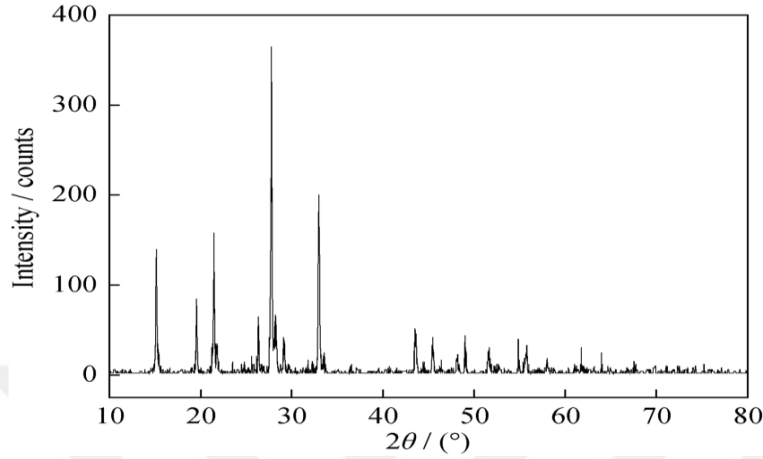
SEM görüntüsünde Şekil 4.6'da Co (190°C) tozunun farklı çözünürlüklerde görüntüleri incelenmiştir.



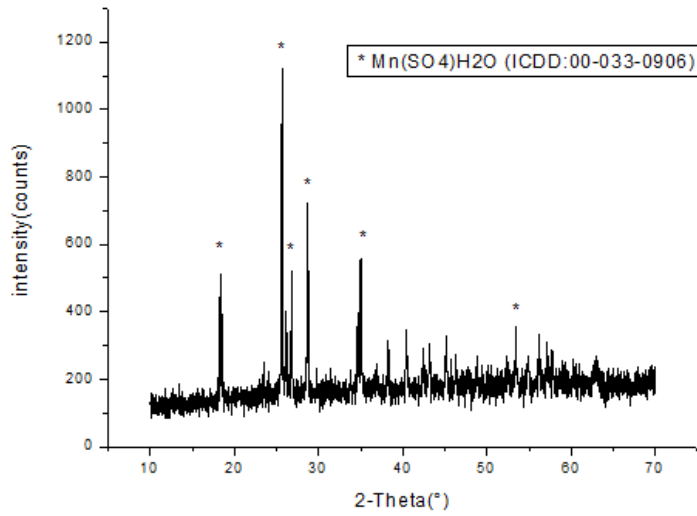
Şekil 4.6. Co (190°C) tozu numunesinin farklı çözünürlüklerde görüntüleri; a) 5.00 X, b) 15.00 KX, c) 30.00 KX

4.2. X-Işını spektrumu sonuçları

Şekil (4.8, 4.10, 4.12, 4.14, 4.15)'de laboratuvarındaki mevcut nano parçacık ve tozlarımızın X-ışını spektrum sonuçları verilmiştir. Şekil 4.7'de MnSO_4 tozu için verilen XRD'i pikleri Lin vd. tarafından yapılan 2015 yılındaki çalışmanın Şekil 4.8'de verilen piklerine benzerdir (Lin vd. 2015).

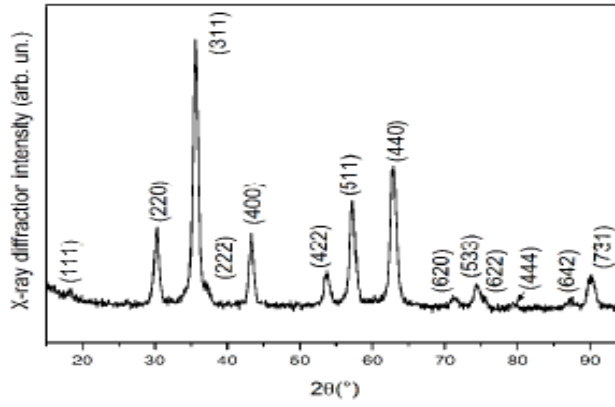


Şekil 4.7. Lin vd. tarafından alınan XRD Pikleri (Lin vd. 2015).

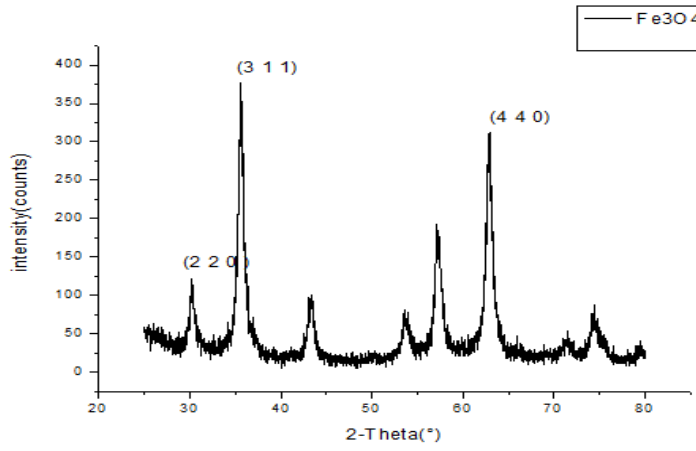


Şekil 4.8. MnSO_4 tozunun X-ışını spektrumu

Şekil 4.9'da Fe_3O_4 için verilen XRD pikleri Bertalucci vd. tarafından yapılan 2015'deki çalışmalarının Şekil 4.10'da verilen piklerine benzerdir (Bertalucci vd. 2015) (ICDD:01-076-0956).

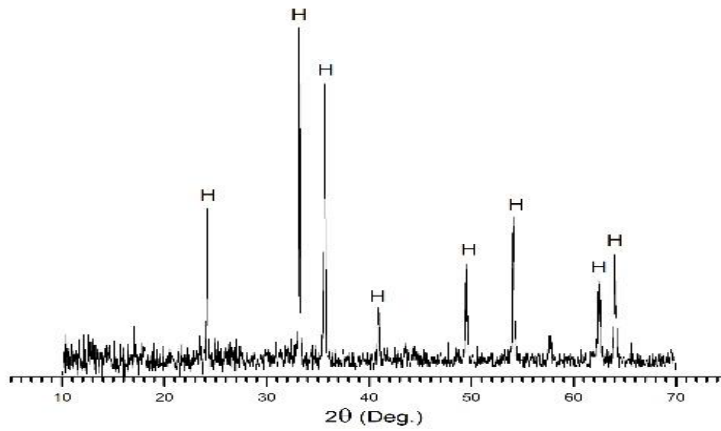


Şekil 4.9. Bertalucci tarafından alınan XRD grafiği (Bertalucci vd. 2015).

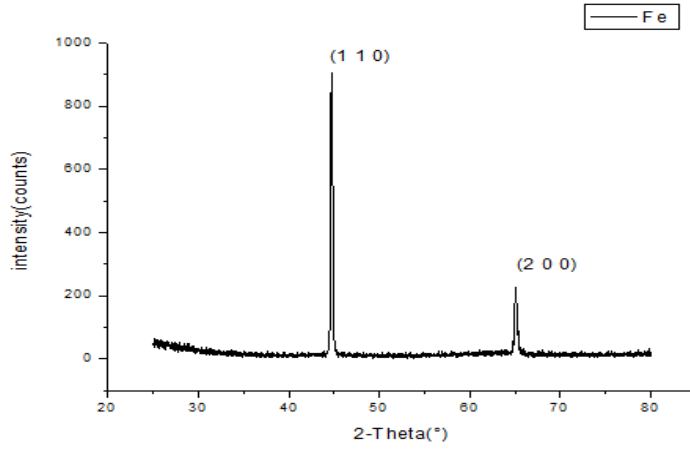


Şekil 4.10. Fe₃O₄ nano parçacık için XRD sonuçları

Şekil 4.11’de Fe tozu için verilen XRD pikleri Zhang vd. tarafından yapılan 2015’deki çalışmalarının Şekil 4.12’deki piklere benzerdir (Zhang vd. 2015) (ICDD:01-089-7331).

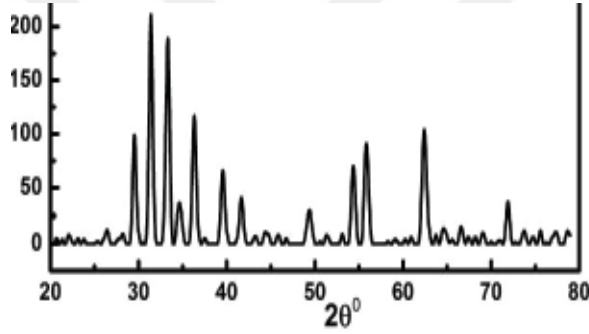


Şekil 4.11. Zhang vd. tarafından alınan XRD grafiği (Zhang vd. 2015).

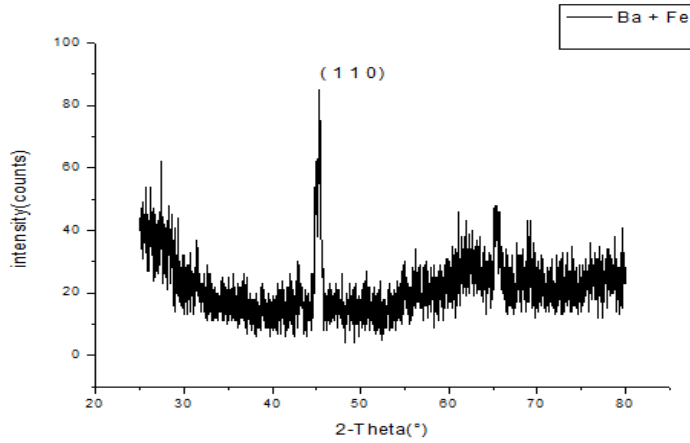


Şekil 4.12. Fe tozu için alınmış XRD sonuçları

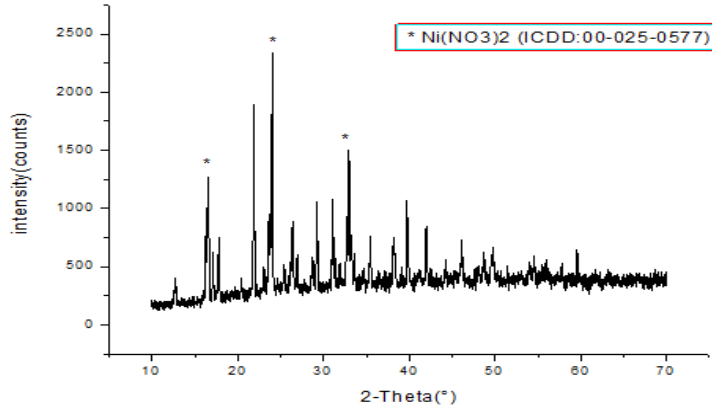
Şekil 4.13’de Ba tozu + Fe tozu için verilen XRD pikleri Agrawal tarafından yapılan 2016’daki çalışmalarının 4.14’de verilen piklerine benzerdir (Agrawal 2016) (ICDD:01-076-0958).



Şekil 4.13. Agrawal XRD grafiği(Agrawal 2016).



Şekil 4.14. Ba + Fe tozlarının karışım halinin XRD sonuçları



Şekil 4.15. Ni(NO₃)₂ tozunun XRD sonuçları

Katkılanan Ni(NO₃)₂ tozunun Şekil 4.15’de X ışını spekturum sonuçları verilmiştir.

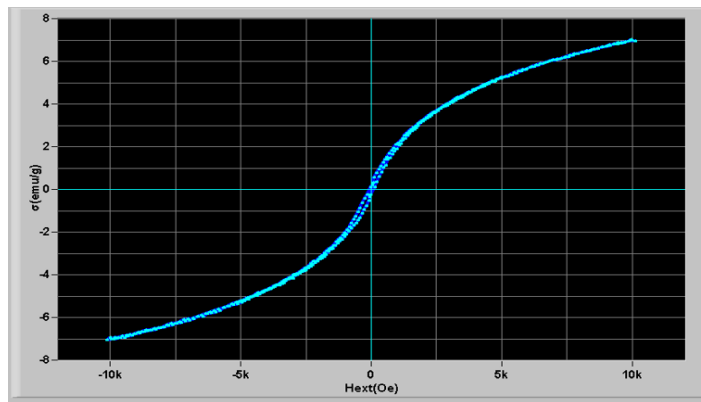
4.3. VSM sonuçları

Doyma Mıknatıslanması (M_s): Malzemenin dış manyetik alanın artırılmasıyla ulaşabileceği maksimum mıknatıslanma değeridir. M_s değerleri radar dalgalarının emiliminde önemli bir rol alabilir.

Koersiv Alan (H_c): Mıknatıslanmanın sıfırlanması için gereken ters manyetik alanın büyüklüğüdür. Tanım olarak M-H eğrisinin x-eksenini kestiği noktalar olarak ifade edilir. Koersiv alanı CoFe₂O₄ ün VSM de dar olarak gözükmemektedir.

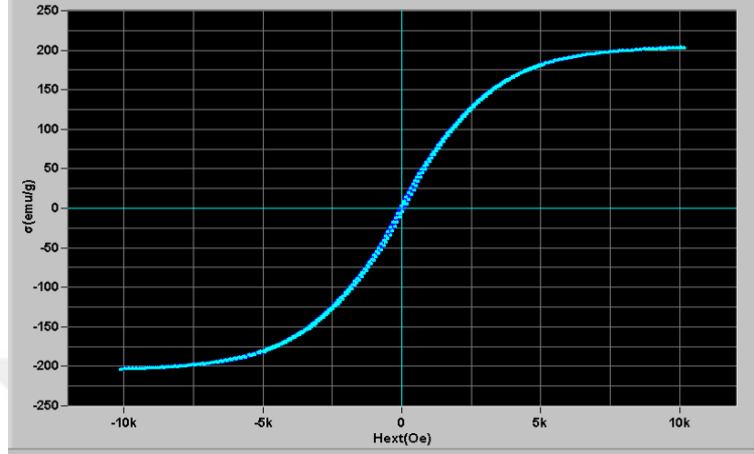
Remanens Mıknatıslanma (M_r): Dış manyetik alan sıfıra indirildiğinde malzemenin elinde tuttuğu mıknatıslanma miktarıdır

Şekil 4.16’da görüldüğü üzere histerezis döngüsü alanının dar olması enerji kaybının az olduğunu göstermektedir. Alanın darlığı düşük manyetik kayıplara neden olduğundan bu döngünün durumu radar da emilime karşı nasıl katkı yapabileceğini yorumlamaya yardımcı olabilir. Radar dalgalarını absorbe ederken daha düşük ya da fazla enerji emdiklerini böylelikle daha düşük ya da daha yüksek absorpsiyon sergileyeceklerini gösterir.



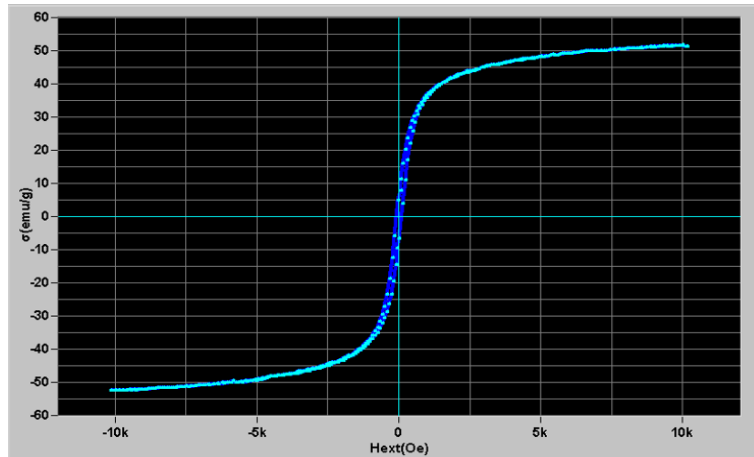
Şekil 4.16. CoFe₂O₄ nano parçacık VSM grafiği 0.5 g PEG katkılanarak ve Ph 10’da 190 °C üretilen nano parçacık M-H eğrisi.

Şekil 4.17’de görüldüğü üzere doyma mıknatıslanmasına bakıldığında, en yüksek doygunluğun Fe(10 μ m) için gerçekleştiği gözlenmiştir. Doyma noktasının yüksek olması elektromanyetik kalkanlamada rol oynayabilir. Ölçüm sonuçları düşük kuarsiviteye işaret etmektedir. Grafikte numunenin yumuşak manyetik malzeme olduğu görülmektedir. Bu özelliklere sahip malzeme oldukça zayıf bir alan uygulaması ile doygunluk manyetizasyonuna ulaşabilir.



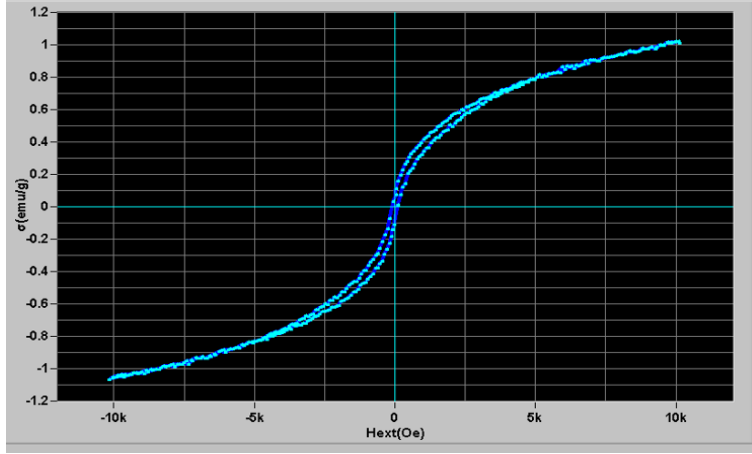
Şekil 4.17. Fe (10 μ m) toz VSM grafiği

Doyma mıknatıslanması ~ 55 (emu/g) olarak görülmektedir (Şekil 4.18). Histerezis alanların ince olduğu ve numunenin yumuşak manyetik malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Yumuşak manyetik malzeme olan (Fe₃O₄) yüksek bir geçirgenlik ve düşük bir koersiviteye sahiptir. Manyetik geçirgenlikleri yüksektir. Kalıcı mıknatıslanma özellikleri düşüktür.



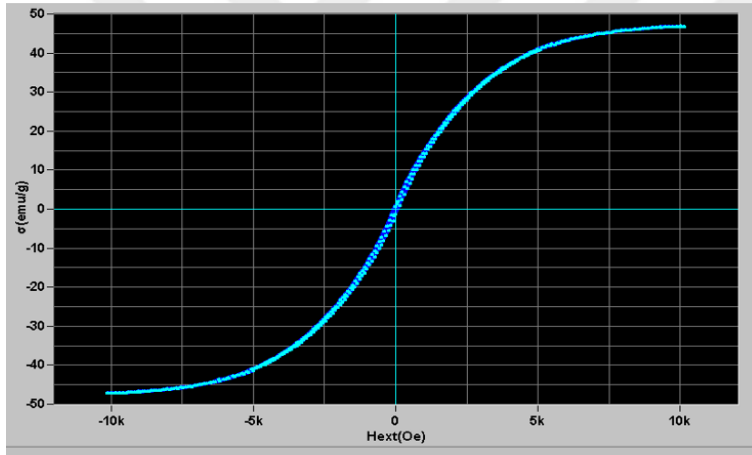
Şekil 4.18. Fe(Fe₃O₄) nano parçacık VSM grafiği

Şekil 4.19’da görüldüğü üzere doyma mıknatıslanmasına bakıldığında en düşük doygunluğun Mn(SO₄)’te olduğu görülmektedir. Doyma mıknatıslanması ~ 1.1 (emu/g) olarak görülmektedir M-H eğrisine bakıldığında ise Mn(SO₄) koersiv alanının diğer toz ve nanoparçacıklardan yüksek olduğu görülmektedir. Manyetik olarak yumuşaktır. Mıknatıslanmaları kolay kaybolur.



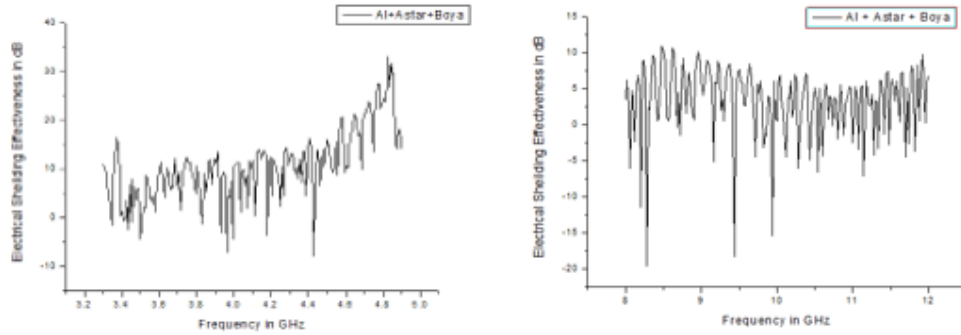
Şekil 4.19. Mn(SO₄) VSM grafiği

Şekil 4.20’de görüldüğü üzere doyma mıknatıslanmasına bakıldığında ~48 (emu/g) olarak görülmektedir. Histerezis alanlar ince olduğu için yumuşak manyetik malzeme olduğu anlaşılmaktadır. Koersiv alan düşüktür. Kalıcı mıknatıslanma düşüktür.



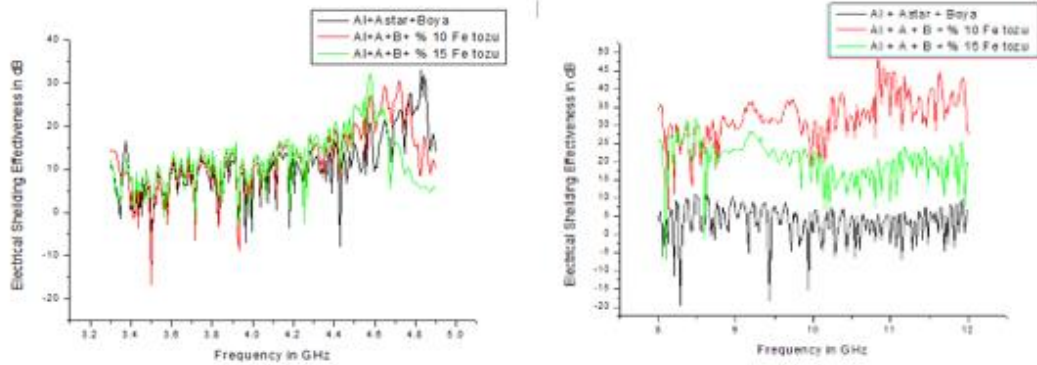
Şekil 4.20. Ba tozu + Fe tozu VSM grafiği (Oda sıcaklığında ölçüm yapılmıştır.)

4.4. Absorpsiyon Ölçüm Sonuçları (Network Analyzer)



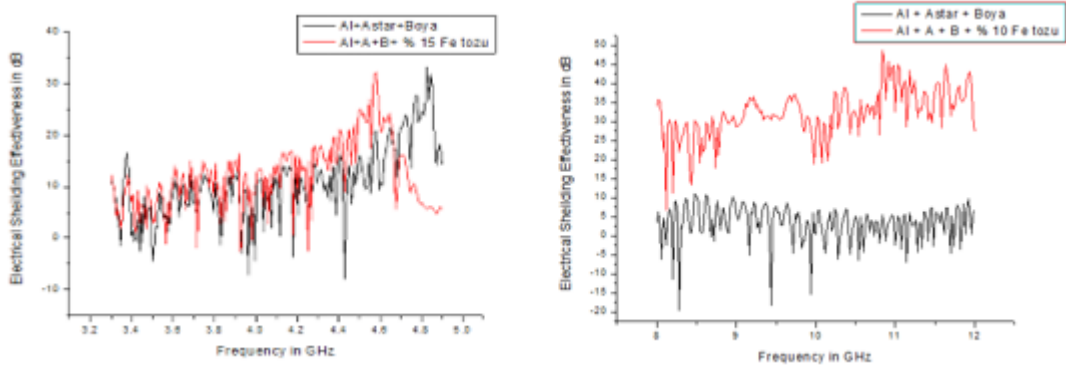
Şekil 4.21. Alüminyum numunelere astar ve boya katkılanarak network analizör ölçümleri.

Şekil 4.21’de gösterildiği üzere alüminyum(Al 6000) numunelerin üzerine astar ve boya katkılanarak dalga kılavuzu yöntemi benimsiyerek 3.3-4.9 GHz ve 8.2-12.4 GHz bantlarında ölçülmüştür.

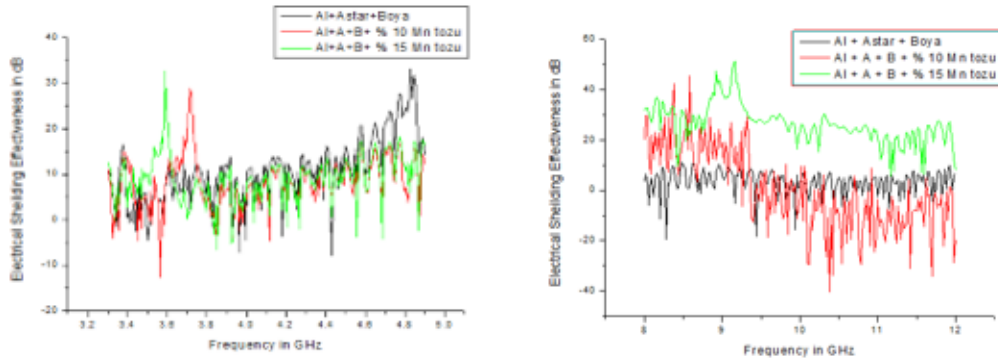


Şekil 4.22. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.

Şekil 4.22’de yer alan alüminyum numunelerin üzerine astar ve boya atılarak ardından molekül ağırlığınca % 10, 15 oranlarda Fe tozu ilave edildiğin ’deki grafikler verilmiştir. 3.3-4.9 GHz aralığında ağırlıkça oran %15 Fe tozu daha iyi absorpsiyon değerine ulaşmıştır. 8.2-12.4 GHz aralığında ise %10 Fe tozu katkılı numune daha iyi absorpsiyon değerine ulaşmıştır. Şekil 4.23’de Fe tozlarının absorpsiyon oranları daha iyi elde edilenler gösterilmiştir. RAM malzemelerinde Fe tozu katkısının kritik bir rol oynadığını ve belirli frekans aralıklarında daha etkili radar absorpsiyonu sağladığını ortaya koymaktadır.

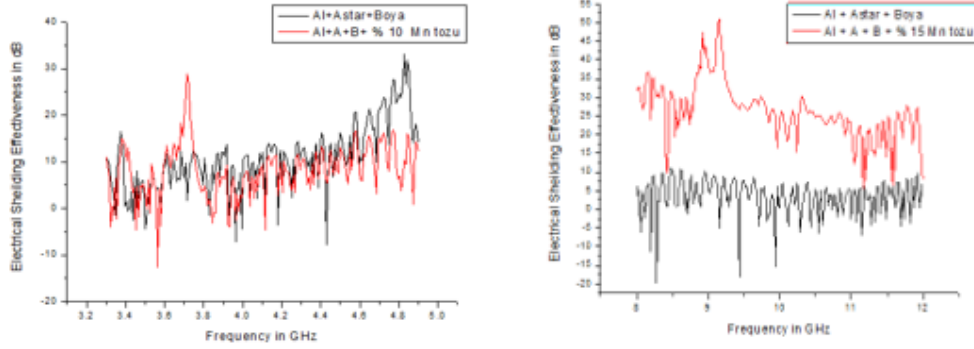


Şekil 4.23. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.

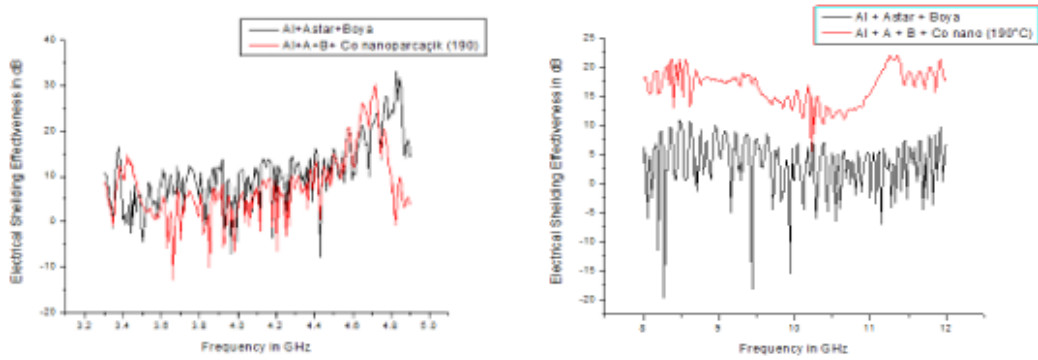


Şekil 4.24. Alüminyum numunelere astar, boya ve Mn tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.

Şekil 4.24’de yer alan alüminyum numunelerin üzerine astar ve boya’nın atılarak ardından molekül ağırlığınca % 10, 15 oranlarda Mn tozu ilave edildiğindeki grafikler verilmiştir. 3.3-4.9 GHz aralığında ağırlıkça oran %15 Mn tozu 3.3-3.6 GHz aralığında iyi absorpsiyon değerine ulaşmıştır. 8.2-12.4 GHz aralığında da %15 Mn tozu katkılı numune daha iyi absorpsiyon değerine ulaşmıştır. Mn tozunun doğru oranlarda kullanıldığında radar emici malzemeler (RAM) geliştirilmesinde etkili bir katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle %15 Mn tozu katkısı, geniş bir frekans aralığında radar absorpsiyon performansını artırmıştır, bu da stratejik savunma uygulamaları için önemli bir kazanım olabilir. Şekil 4.25’de Mn tozu ile absorpsiyon oranları daha iyi elde edilen numuneler gösterilmiştir.

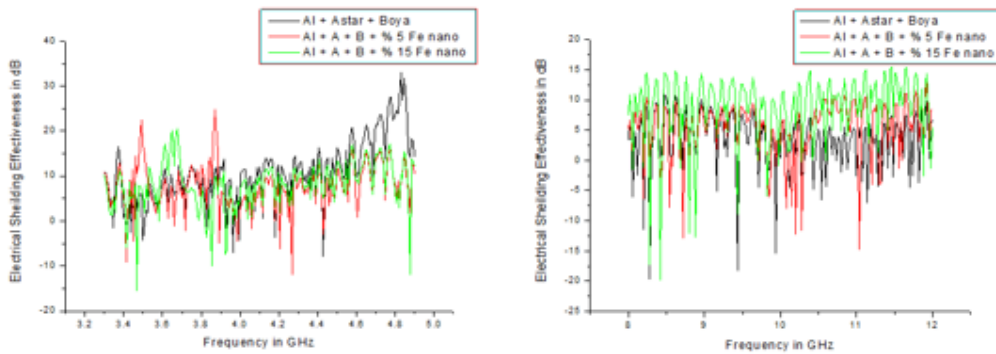


Şekil 4.25. Alüminyum numunelere astar, boya ve Mn tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.



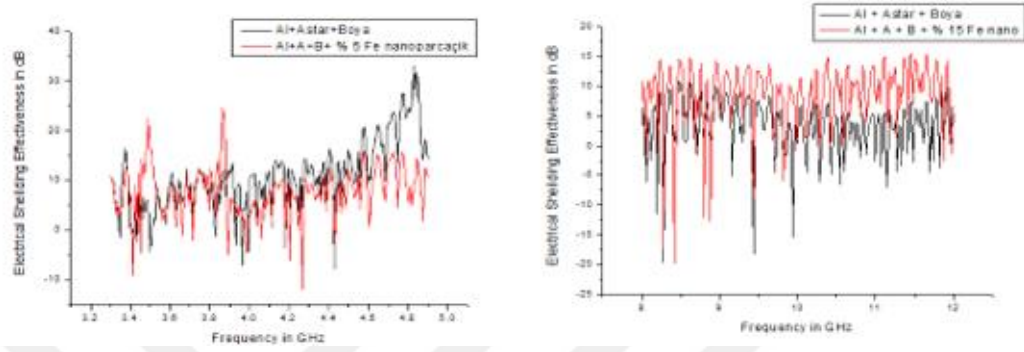
Şekil 4.26. Alüminyum numunelere astar, boya ve Co nanoparçacık (190°C) katkılanarak network analizör ölçümleri.

Şekil 4.26’da yer alan alüminyum numuneler’deki grafiklere baktığımız’da 3.3-4.9 GHz aralığında bazı noktalarda absorpsiyon değerlerimiz mevcuttur. 8.2-12.4 GHz bant aralığında almış olduğumuz absorpsiyon değerimiz daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Co nanoparçacıklar katkıladığımız numunede azalan partikül boyutları yüzey alanını fazlalaştırır böylelikle radardan gelen sinyallerin temasını arttırmış olur. Parçacık boyutlarının küçülmesi dolgu oranını değiştireceği için radar sinyalleri daha küçük tanelere çarparak absorpsiyona etkisi daha olasıdır.

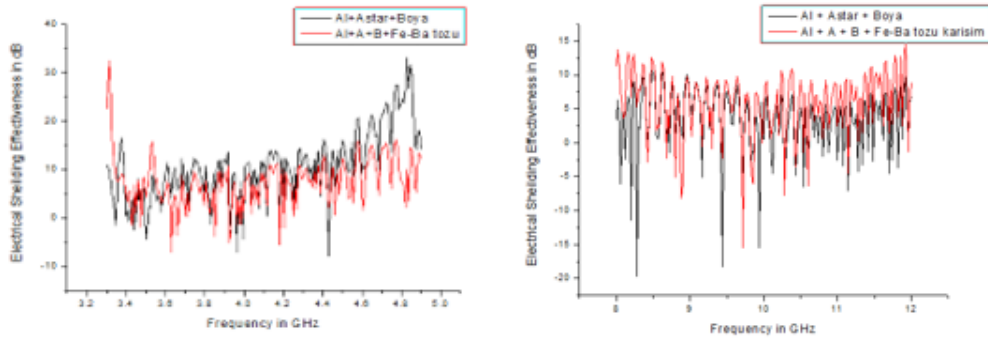


Şekil 4.27. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe nanoparçacık katkılanarak network analizör ölçümleri.

Şekil 4.27’de elde edilen alüminyum numuneler’deki grafiklere baktığımız’da 3.3-4.9 GHz aralığında bazı noktalarda absorpsiyon değerlerimiz mevcuttur. 3.4-3.9 GHz aralığında farklı frekanslar aralıklarına göre Fe nanoparçacığın absorplama sonucunda dalgalanmalar mevcuttur. 8.2-12.4 GHz bant aralığında almış olduğumuz absorpsiyon değerimiz %15 Fe nanoparçacık daha fazla küçük tanelerle etkileşiminden radar sinyallerine absorpsiyon daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.28’de Fe nanoparçacıkların absorpsiyon oranları daha iyi olanlar yalnız gösterilmiştir.

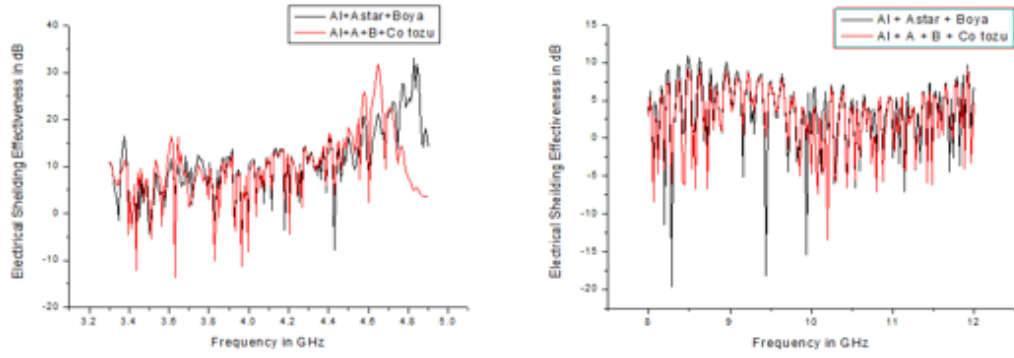


Şekil 4.28. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe nanoparçacık katkılanarak network analizör ölçümleri.



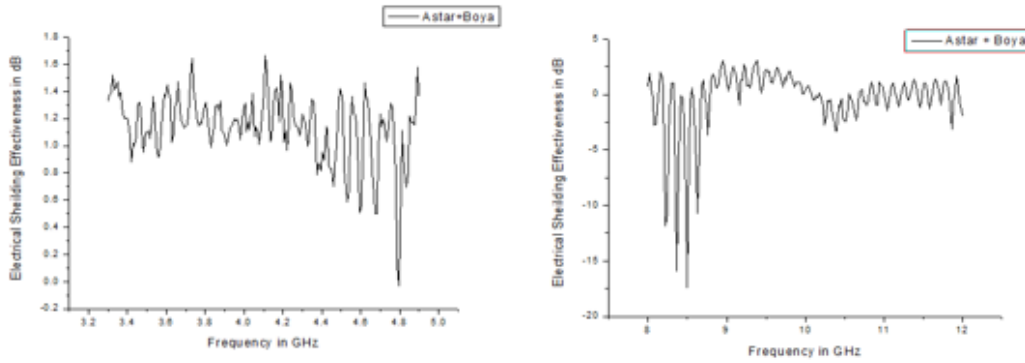
Şekil 4.29. Alüminyum numunelere astar, boya ve Fe ve Ba tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.

Şekil 4.29’daki alüminyum numunelerimiz’de grafiklere baktığımız’da 3.3-4.9 GHz aralığında bazı noktalarda absorpsiyon değerlerimiz mevcuttur. 8.2-12.4 GHz bant aralığında almış olduğumuz absorpsiyon değerimiz Fe-Ba tozları farklı bölgelerde farklı absorplama değerleri gösterdiği bu bazı bölgelerde topaklanmaların olabildiği, katkılanan numunedeki dağılımlara göre artış veya azalış olarak görüldüğü genel anlamda radar absorpsiyon değeri yüksek frekans alüminyum malzemelerde daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.



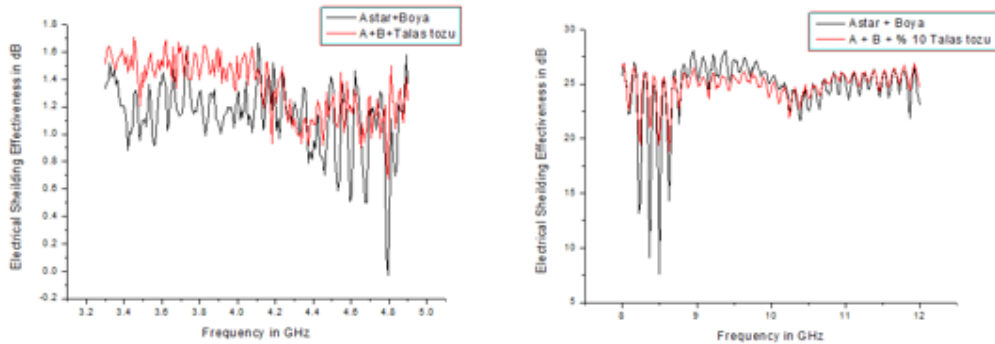
Şekil 4.30. Alüminyum numunelere astar, boya ve Co tozu katkıları ile network analizör ölçümleri.

Şekil 4.30'daki Co tozu katkılı numunelerimize baktığımızda hem düşük frekans bant aralıklarında hem de yüksek frekans bant aralıklarında farklılıklar oluşmaktadır. Düşük frekans aralığı olarak 3.3-4.9 GHz aralığında Co tozu daha iyi absorpsiyon değerleri mevcuttur.



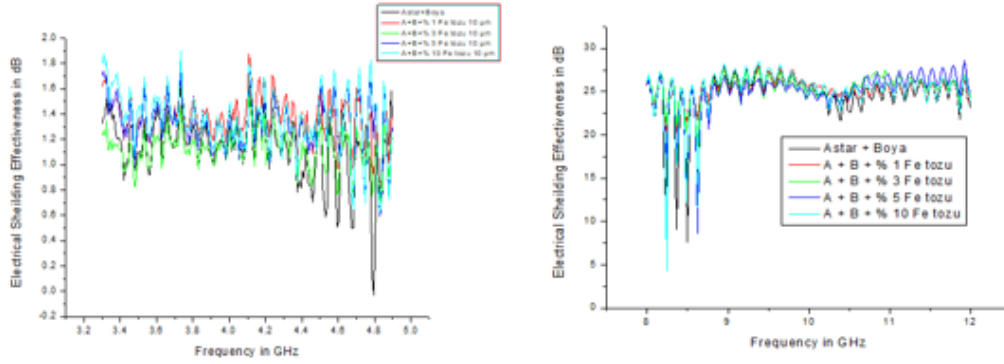
Şekil 4.31. Kompozit numunelere astar ve boya katkıları ile network analizör ölçümleri.

Şekil 4.31'de elde edildiği üzere kompozit numunelerin üzerine astar ve boya katılarak dalga kılavuzu yöntemi benimsenerek 3.3-4.9 GHz ve 8.2-12.4 GHz bantlarında ölçülmüştür.



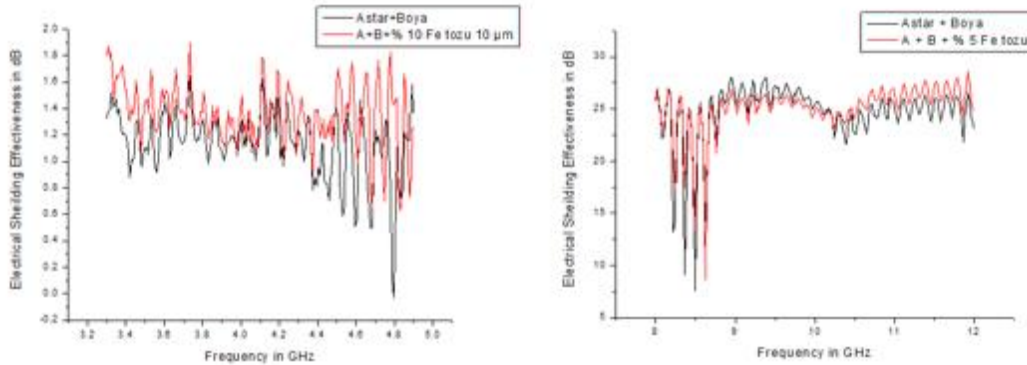
Şekil 4.32. Kompozit numunelere astar, boya ve talaş tozu katkıları ile network analizör ölçümleri.

Şekil 4.32'deki grafikler, talaş tozunun frekans aralıklarına bağlı olarak radar absorpsiyon performansını artırdığını göstermektedir. Özellikle %10 talaş tozu katkısı hem düşük hem de yüksek frekanslarda astar + boya birleşimi kıyasla daha etkili bir absorpsiyon sağlamıştır. Talaş tozu katkısının, elektriksel özellikleri ve mikro yapısal özellikleri sayesinde radar dalgalarını daha etkin bir şekilde absorbe ettiği görülmektedir.



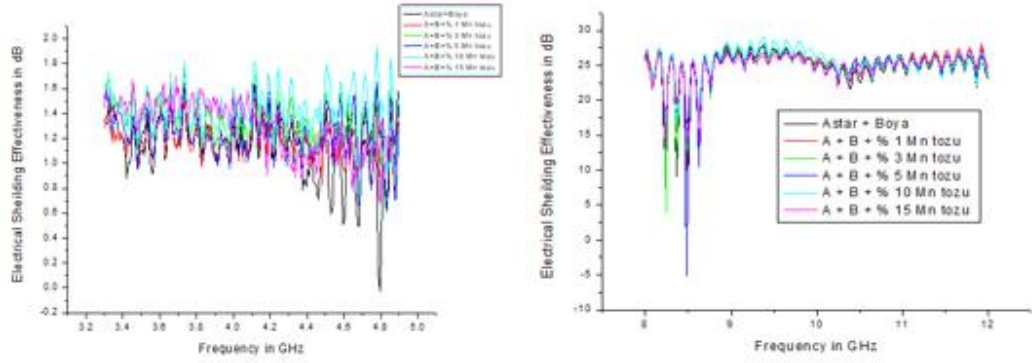
Şekil 4.33. Kompozit numunelere astar, boya ve Fe tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.

Kompozit numunelerin üzerine astar ve boya katılarak ardından molekül ağırlığınca % 1,3,5,10 oranlarda Fe tozu ilave edilmiştir. Şekil 4.33'de grafikler elde edilmiştir. Her iki grafik de farklı frekans aralıklarında Fe tozu katkısının radar absorpsiyon performansını iyileştirdiğini göstermektedir. Özellikle %10 Fe tozu katkısı, hem düşük (3.3-6.5 GHz) hem de yüksek (8-12 GHz) frekanslarda en iyi performansı sunmuştur. Bu bulgular, RAM malzemelerinde Fe tozu katkısının kritik bir rol oynadığını ve belirli frekans aralıklarında daha etkili radar absorpsiyonu sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, frekansın artmasıyla birlikte daha istikrarlı bir performans elde edilmiştir.



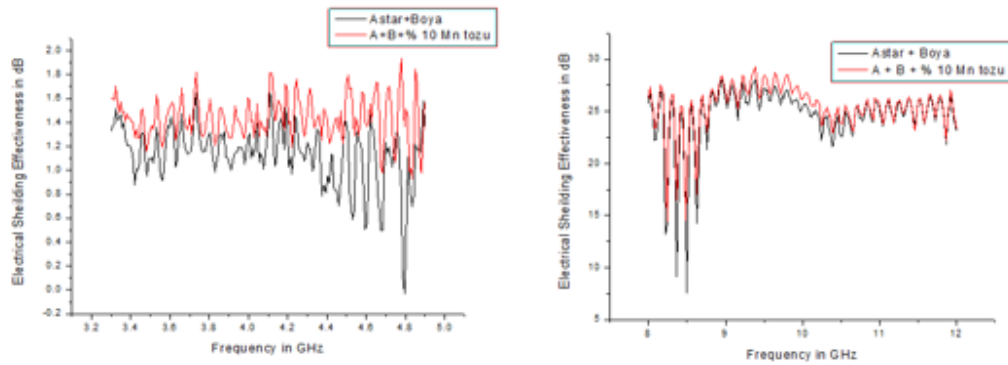
Şekil 4.34. Kompozit numunelere astar, boya ve Fe tozu katkılanarak network analizör ölçümleri daha iyi absorpsiyon elde edilmiştir.

Şekil 4.34'de yer alan alüminyum numuneler'deki grafiklere bakıldığında 3.3-4.9 GHz aralığında en etkin absorpsiyon değerleri mevcuttur. 8.2-12.4 GHz bant aralığında alınıp olduğumuz absorpsiyon değerinde dalgalanmalar gözlenmiştir. Yüksek frekans aralığında ise 10-12.4 GHz aralığında da absorpsiyonda daha belirgin ayrışma görülmektedir.



Şekil 4.35. Kompozit numunelere astar, boya ve Mn tozu katkılanarak network analizör ölçümleri.

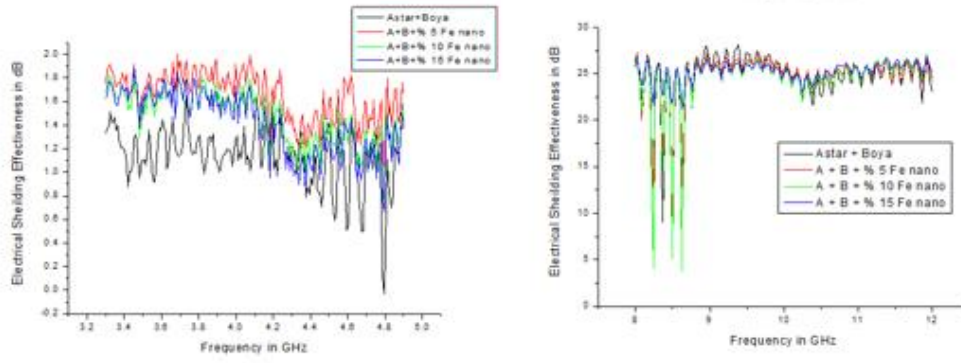
Şekil 4.35’de elde edilen Mn tozu katkıları, radar absorpsiyon performansını özellikle %10 oranında iyileştirmiştir. Bu oran hem düşük hem de yüksek frekans aralıklarında en yüksek performansı sağlamaktadır. Yüksek konsantrasyonlu Mn tozu (%15) absorpsiyon performansını düşürmüştür. Bu durum malzemede olası topaklanma veya iletkenliğin bozulması gibi etkilerden kaynaklanmış olabilir. Orta frekans (8-12 GHz) aralığında numuneler daha istikrarlı performans gösterirken, düşük frekans aralığında (3.3-4.9GHz) absorpsiyon değerlerinde daha fazla dalgalanma gözlenmiştir. Mn tozunun doğru oranlarda kullanıldığında radar emici malzemeler geliştirilmesinde etkili bir katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle %10 Mn tozu katkısı, geniş bir frekans aralığında radar absorpsiyon performansını artırmıştır, bu da stratejik savunma uygulamaları için önemli bir kazanım olabilir.



Şekil 4.36. Kompozit numunelere astar, boya ve Mn tozu katkılanarak network analizör ölçümleri daha iyi absorpsiyon gösterenler.

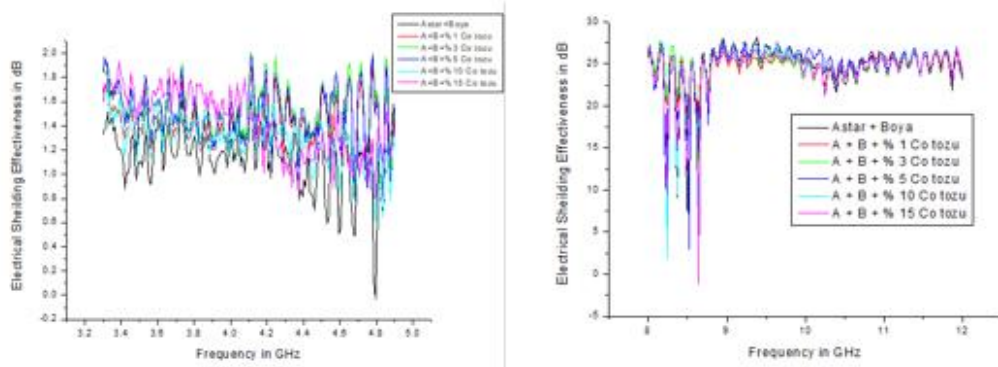
Şekil 4.36’da yer alan alüminyum numunelerimiz’deki grafiklere baktığımızda

3.3-4.9 GHz aralığında bazı noktalarda absorpsiyon değerlerimiz mevcuttur. 8.2-12.4 GHz bant aralığında almış olduğumuz absorpsiyon değerimiz daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Co nanoparçacıklar katkıladığımız numunede azalan partikül boyutları yüzey alanını fazlalaştırır böylelikle radardan gelen sinyallerin temasını arttırmış olur. Parçacık boyutlarının küçülmesi dolgu oranını değiştireceği için radar sinyalleri daha küçük tanelere çarparak absorpsiyona etkisi daha olasıdır.



Şekil 4.37. Kompozit numunelere astar, boya ve Fe nanoparçacık katkılanarak network analizör ölçümleri.

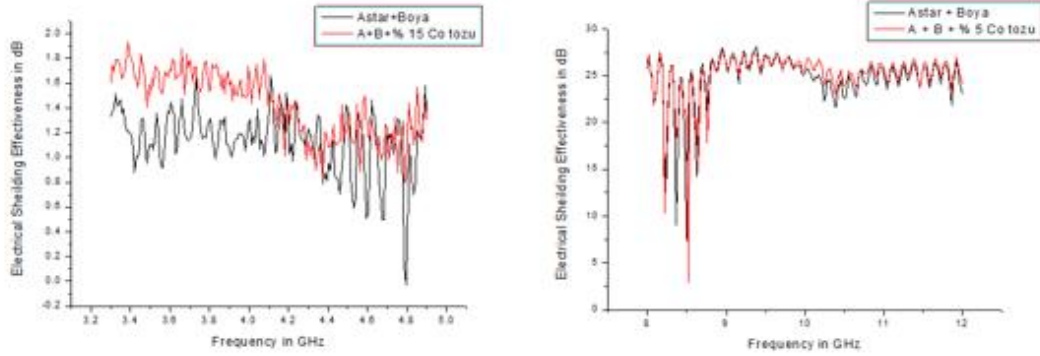
Şekil 4.37'de yer alan Fe nanoparçacıkların %5 oranında katkılандığında numune, optimum parçacık yoğunluğuna sahip olabilir. Bu durum, radar absorpsiyon performansını olumlu yönde etkileyebilir. %5 Fe nanoparçacık katkısının radar absorpsiyonu açısından daha iyi sonuçlar vermesi, malzemenin mikro yapısal, manyetik ve elektriksel özelliklerinin bu konsantrasyon oranında en uygun dengeye ulaştığını göstermektedir. Daha yüksek oranlarda katkılama (%10 ve %15), bu dengeyi bozarak performansta azalmaya neden olabilir. Fe nanoparçacık oranı arttıkça malzemenin yoğunluğu ve elektriksel iletkenliği de artmaktadır. Ancak %5 oranında, hem düşük frekanslarda (3.3-4.9 GHz) hem de yüksek frekanslarda (8.2-12.4 GHz) daha etkili bir radar absorpsiyonu sağlanmış olabilir.



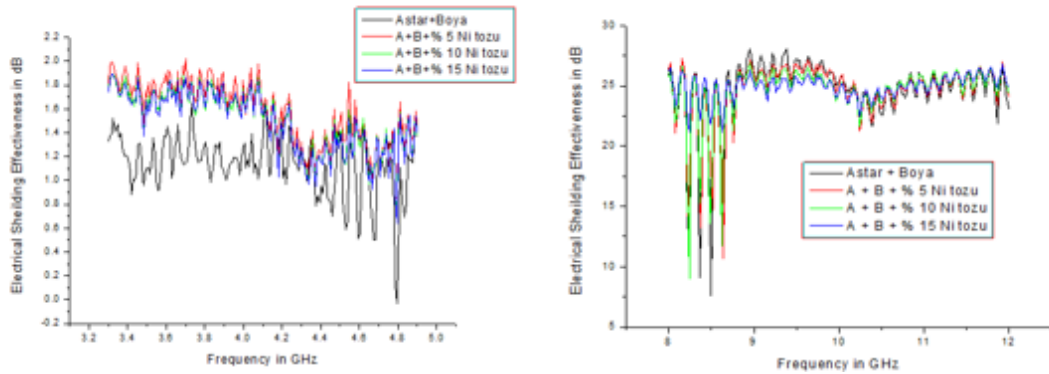
Şekil 4.38. Kompozit numunelere astar, boya ve Co tozu katkılanarak network analizör ölçümleri.

Kompozit numunelerin üzerine astar ve boya uygulandıktan sonra, moleküler ağırlıkça %1, %3, %5, %10 ve %15 oranlarında Co tozu katkılanmıştır. Bu numunelerin radar absorpsiyon performansları 3.3-4.9 GHz ve 8.2-12.4 GHz frekans aralıklarında incelenmiştir. Bu frekans aralığında, özellikle %15 oranında Co tozu katkılanan numunede, 3.3-4.2 GHz frekans aralığında yüksek absorpsiyon değerlerine ulaşılmıştır. Bu durum, Co tozunun bu konsantrasyonda elektromanyetik dalgalarla daha verimli etkileşime girdiğini ve mikro yapısal olarak bu frekans aralığında güçlü bir dalga soğurma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Yüksek frekans aralığında (%8.2-12.4 GHz) ise %5 oranında Co tozu katkısı en etkili absorpsiyon değerlerini vermiştir. Co' ın manyetik özellikleri bu frekans aralığında,

elektromanyetik dalgaların malzeme içerisinde daha iyi yayılmasına ve emilmesine katkıda bulunmuş olabilir. Özellikle %5 Co tozu katkılı numunede, malzemenin manyetik ve elektriksel özelliklerinin en uygun dengede olduğu ve bu nedenle radar dalgalarının daha iyi absorbe edildiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.39'da Co tozlarının absorpsiyon oranları daha iyi elde edilenler gösterilmiştir.



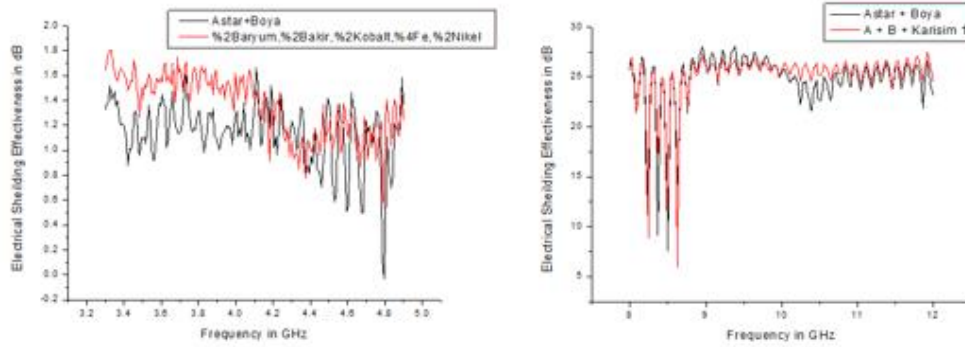
Şekil 4.39. Kompozit numunelere astar, boya ve Co tozu katkılanarak network analizör ölçümleri daha iyi absorpsiyon gösterenler.



Şekil 4.40. Kompozit numunelere astar, boya ve Ni tozu katkılanarak network analizör ölçümleri.

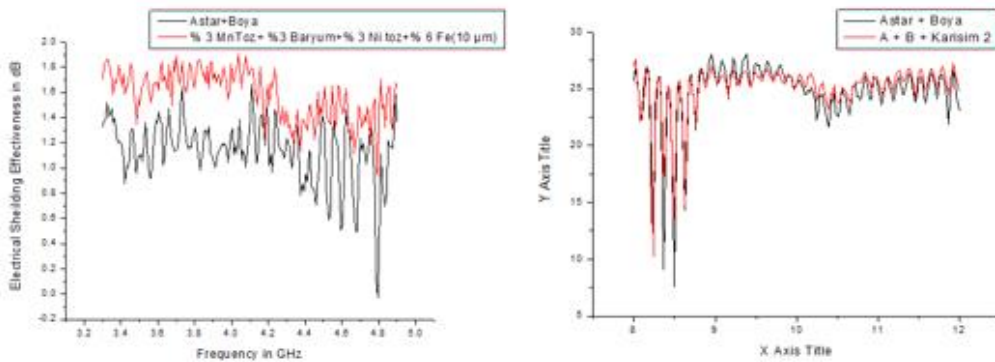
Kompozit numuneler üzerine astar ve boya uygulandıktan sonra, moleküler ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında Ni tozu ilave edilmiştir. Bu numunelerin radar absorpsiyon performansları 3.3-4.9 GHz ve 8.2-12.4 GHz frekans aralıklarında incelenmiştir. 3.3-4.9 GHz Frekans aralığında, %5 oranında Ni tozu katkılanan numuneler en iyi radar absorpsiyon değerlerine ulaşmıştır. Bu sonuç, %5 Ni tozunun düşük frekanslarda ideal bir mikro yapı oluşturduğunu ve bu konsantrasyonun malzemenin manyetik ve elektriksel özelliklerini optimum seviyede dengelediğini göstermektedir. %5 Ni katkısıyla, elektromanyetik dalgaların malzeme içerisine daha etkin bir şekilde nüfuz etmesi sağlanmış olabilir. Daha yüksek oranlardaki Ni tozu katkıları %10 ve %15 ise bu frekans aralığında absorpsiyon performansında azalmalar göstermiştir. Yüksek frekans aralığında 8.2-12.4 GHz, Ni tozu katkısının absorpsiyon performansında farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu frekans bandında, malzemenin yapısı ve manyetik özellikleri frekansla daha karmaşık bir etkileşim sergileyebilir. Ni tozunun manyetik özellikleri bu frekans aralığında dalgaların emilimine katkıda bulunmuş olabilir; ancak katkı oranına bağlı olarak bu etki frekans bağımlı olarak

değişmiştir. Ni tozu katkısının radar absorpsiyonu açısından frekansa duyarlı bir optimizasyon gerektirdiğini ve farklı frekans aralıkları için ideal katkı oranlarının belirlenmesinin kritik olduğunu ortaya koymaktadır.



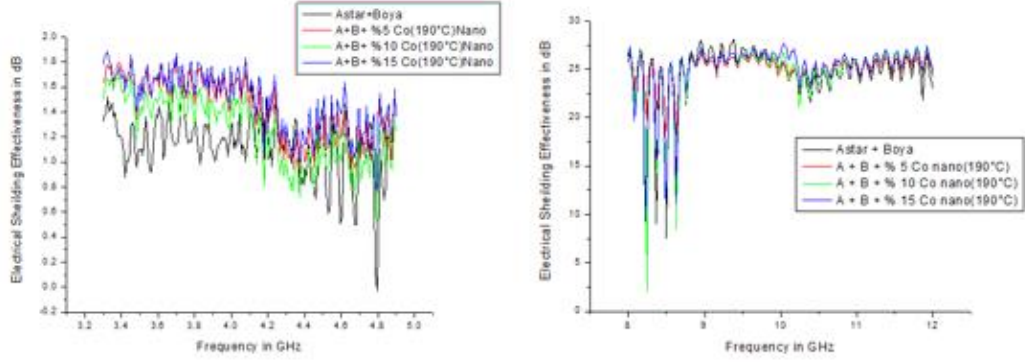
Şekil 4.41. Kompozit numunelere astar, boya ve (%2 Baryum, %2 Bakır, %2 Kobalt, %4 Demir, %2 Nikel) tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.

Kompozit numune üzerine astar ve boya uygulandıktan sonra %2 Baryum, %2 Bakır, %2 Kobalt, %4 Demir (Fe) ve %2 Nikel içeren "Karışım 1" tozu eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, malzemenin farklı frekans aralıklarındaki radar absorpsiyon performansını göstermektedir. Düşük frekans bandı olan 3.3-4.0 GHz aralığında, absorpsiyon performansında belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu durum, Karışım 1'in bileşenlerinin malzeme mikro yapısında farklı etkileşimlere yol açarak, düşük frekanslı elektromanyetik dalgaların emilimine olan katkısını göstermektedir. Özellikle demir (Fe) ve kobaltın manyetik özelliklerinin düşük frekanslarda radar absorpsiyonuna olumlu katkı sağladığı düşünülmektedir. Yüksek frekans bandı olan 8.2-12.4 GHz aralığında ise absorpsiyon değerlerinde dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Bu dalgalanmalar, Karışım 1'in bileşenleri arasındaki farklı manyetik ve elektriksel özelliklerin, bu frekans aralığında daha karmaşık bir etkileşim sergilemesine işaret etmektedir. Frekans arttıkça, malzemenin içyapısındaki heterojenlik ve toz katkılarının frekans bağımlı manyetik etkileri absorpsiyon performansında bu tür dalgalanmalara yol açmış olabilir. Karışım 1'in düşük frekans aralığında absorpsiyon değerlerinde gözlemlenen değişiklikler ve yüksek frekanslardaki dalgalanmalar, malzemenin farklı frekanslarda frekans bağımlı bir radar absorpsiyon performansı sergilediğini göstermektedir.



Şekil 4.42. Kompozit numunelere astar, boya ve (%2 Mn,%3 Baryum,%3 Nikel,%6 Demir) tozları katkılanarak network analizör ölçümleri.

Şekil 4.42’de elde edilen kompozit numune üzerine astar ve boya atılarak ardından hazırlanmış olan Karışım 2 (%3 Mn tozu, %3 Baryum, %3 Nikel tozu, %6 Fe tozu) tozları katkılanıp sonuçlara bakıldığında 3.3-4.9 GHz aralığında absorpsiyon değerlerinde iyileşmeler açıkça gözlemlenmiştir. 8.2 – 12.4 GHz aralığında absorpsiyon değerlerinde ara ara dalgalanmalar mevcuttur.



Şekil 4.43. Kompozit numunelere astar, boya ve Co nanoparçacık(190°C) katkılanarak network analizör ölçümleri.

Şekil 4.43’ de yer alan alüminyum numunelerimizdeki grafiklere baktığımızda 3.3-4.9 GHz aralığında etkin absorpsiyon değerleri mevcuttur. %15 değerinde en iyi radar absorpsiyon görülmüştür. Yüksek frekansa aralığında dalgalanmalar katkılanan toz miktarlarına toplanmalara göre değişmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, radar emici malzemeler (RAM) olarak kullanılabilecek manyetik ağırlıklı tozlar [Fe, Ni, Co, Mn, (Ba + Fe), (Mn + Ba + Ni + Fe), (Ba, Cu, Co, Fe)] ve laboratuvarda üretilmiş manyetik nanometal oksitler (Co ve Fe nanoparçacık) incelenmiştir. Radar absorpsiyon ölçümleri dalga kılavuzu yöntemi benimseyerek (3.3-4.9 GHz ve 8.2-12.4 GHz) bantları arasında ölçülmüş ve analizleri yapılmıştır. Bu inceleme frekansa ve kullanılan tozlara bağlı elektromanyetik dalgalar ile yapılan katkılı boyaların arasındaki karmaşık ilişkileri incelememize olanak sağlamıştır. Absorpsiyon hakkında farklı malzemelerin oranları değiştirilerek eklenmesi çalışmadaki sonuçları belirlemiştir. Fe, Co, Ni, Mn gibi toz çeşitleri ve Co, Fe gibi nanoparçacıklar agat havanı kullanılarak düzgün küçük bir hale getirilip boya içerisinde katkılanarak elektromanyetik absorpsiyon için kullanılmıştır.

Manyetik nanometal oksitler hidrotermal ve birlikte çöktürme yöntemleriyle üretilmiştir. Hidrotermal ve birlikte çöktürme yöntemi ile Co(190°) nanoparçacık üretilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri alınmıştır. SEM analizleri ise yüzey morfolojisi hakkında bilgi sağlamıştır. Hazırlanan ve laboratuvardan seçmiş olduğumuz numunelerin X-ışını kırınım (XRD) deseni, monokromatik Cu Ka radyasyonuna sahip bir Bruker D8 Gelişmiş X-ışını Difraktometresi kullanılmıştır. Işın kırınım desenleri, Scherrer formülü kullanılarak belirli (hkl) yansımalara karşılık gelen tepe noktalarının genişliğinden belirlenebilen numunelerin kristal boyutunu incelemek için toplandı. XRD sonuçlarına göre Mn(SO₄) tozu için bazı pik değerleri(200-311-400-440) gözlemlendi. Fe₃O₄ toz numunemiz için bazı pik değerleri(200-311-440) gözlemlendi. Fe tozumuz için de bazı pik değerleri (110-200) gözlemlendi. Titreşimli numune manyometresi (VSM) kullanılarak numunelerin manyetik davranışlarını karakterize etmek için oda sıcaklığında ölçümler yapılmıştır. Uygulanan dış alanın maksimum 15 kOe olduğu bilinmekte. Böylelikle doygunluk mıknatıslanması (M_s), kalıcılık (M_r) ve zorlayıcı kuvvet (H_c) oluşturulabildi.

Daldırma ve püskürtme yöntemleriyle hazırlanan numuneler, kompozit (glassfiber) ve alüminyum (Al6000) alaşımlarına katkılanmıştır. Boyaya ilave edilen tozların katkılama oranları %1, %3, %5, %10 ve %15 olarak belirlenmiş ve en uygun oran %10 olarak bu tozlar için bulunmuştur. Numunelerin 3.3-4.9 GHz ve 8.2-12.4 GHz aralığında absorpsiyon değerleri dalga kılavuzu yöntemiyle ölçülmüştür. 3.3-12.4 GHz aralığında Al (6000) numunelere astar ve boya ilave edilmiştir. Sonrasında katkılanan malzemeler talaş(agat havanında inceltilmiş), Fe, Mn(SO₄), Co(NO₃)₂ ve (Fe + Ba) tozları ve Fe, Co (190°C)'de üretilmiş nano parçacıklar ilave edilerek ölçülmüştür. 3.3-12.4 GHz aralığında kompozit numunelere astar ve boyalı katkılanan malzemeler düşük frekans aralığında iyi sonuçlar verirken yüksek frekans aralığı olan 8.2-12.4 GHz aralığında polimer yapısından kaynaklı sonuçlarda iyi ölçüm alınamamıştır.

Alüminyum numunelere katkılanmış olduğumuz astar, boya ve Fe (%10,15) tozlarından düşük frekans aralığında (3.3-4.9 GHz) iyi sonuçları %15 Fe tozu vermektedir. Yüksek frekansta en etkin sonuçları süreklilik göstererek %10 Fe tozunda ulaşılmıştır. Numunelere Mn (% 1, 3, 5, 10 ve 15) tozları ilave edildiğinde %10 Mn tozu düşük frekans aralıklarında daha iyi sonuçlar vermiştir. Yüksek frekans bant aralıklarında Mn (%15)'in belirli bir absorplama değeri görülmektedir. Üretilmiş olan Co(190°C) nanoparçacık Al katkılı olduğunda düşük frekanslarda çok etkili olmamıştır.

Ancak yüksek frekans değerlerinde istikrarlı absorplama verdiği görülmektedir. Fe(% 5, 10) nanoparçacık katkıladığımızda düşük frekans aralığında en etkili sonuca % 5 katkılı numunelerde, yüksek frekans aralığında ise % 15 katkılı numunelerde elde edilmiştir. Fe ve Ba karışımı tozları katkıladığımızda düşük frekans aralığında neredeyse gerçekleşmediği yüksek frekans aralığında daha iyi olduğu elde edilmiştir. Co tozlarını katkıladığımızda düşük frekansta belli aralıklarla absorplama gösterdiği görülmüştür.

Kompozit numunelere katkılanmış Fe (% 1, 3, 5, 10) tozları farklı frekans aralıklarında (3.3-4.9 ve 8.2-12.4 GHz) radar absorpsiyonunu iyileştirdiği görülmektedir. % 10 katkılı numuneler düşük frekans aralığında büyük absorpsiyon gerçekleştirmiştir. Mn tozu katkılı numuneler radar absorpsiyon performansını özellikle % 10 oranında daha iyileştirmiştir. Bu oran hem düşük hem de yüksek frekans aralığında sağlanmıştır. Fe nano katkılı numunelerde her iki grafikte iyileştirmeler gerçekleşmiştir. Düşük frekans aralığında % 5 katkılı numune etkili bir absorpsiyon sağladığı görülmektedir. Kompozitlere katkılanan Co tozu etkileşimler yapmıştır. 3.3-4.2 GHz aralığında % 15 oranında en yüksek absorpsiyon değerine ulaşmıştır. Yüksek frekans aralığında %5 Co tozu radar dalgalarında iyi absorbe ettiği görülmüştür. Ni tozu katkılı numunelerde % 5 Ni elektromanyetik dalgaın daha etkin şekilde nüfus etmesini sağlamıştır. Kompozit numuneye tozlar (Ba, Cu, Co, Fe, Ni) ilave edilmiştir elde edilen numune farklı frekans aralıklarında absorpsiyon değerleri göstermektedir. 3.0-4.0 GHz aralığında belirgin değişiklikler gözlemlenmektedir. Kompozit numuneye (Mn, Ba, Ni, Fe) ilave edilerek hazırlanmış numunede absorpsiyon değerleri farklılık göstermektedir. 3.3-4.2 Ghz aralığı en iyi absorpsiyon değerini göstermektedir. Co nanoparçacık ilave edilmiş kompozite 3.3-4.9 GHz aralığında etkin absorpsiyon değerleri mevcuttur. %15 değerinde en iyi radar absorpsiyon görülmüştür.

Alüminyum numunelere astar ve boyalı katkılanan malzemelerin hem düşük frekansta hem de yüksek frekanslarda iyi sonuçlar ölçümlerde görülmüştür. Çalışmada kullanılan altlıkların kristal yapısı daha iyi olanlar'ın amorf olan polimere göre radar absorpsiyon özelliğinin daha belirgin olduğu ölçümlerde görülmüştür. Daha sonra yapılacak çalışmalarda boyaya katkılanan tozların ve nano parçacıkların farklı oran ve katkı oranları daha fazla yapılarak en uygun değerlerinin saptanması hedeflenmiştir

RAM malzemelerinin geliştirilmesi, endüstri alanında yüksek katma değer sağlayabilir ve savunma sanayinde stratejik öneme sahiptir. Literatüre yeni katkılar sağlanmış ve ileri çalışmalar için temel oluşturulmuştur. Katkı oranlarının ve farklı malzemelerin birleşiminin etkileri üzerine daha fazla araştırma yapılabilir. Farklı üretim yöntemlerinin karşılaştırılması ve optimizasyonu ile daha verimli RAM malzemeler geliştirilebilir. RAM malzemelerinin uzun vadeli dayanıklılık ve performans testleri yapılabilir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, radar emici malzemelerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu üzerine önemli bulgular sağlamıştır. Çalışmamız, savunma sanayinde ve diğer stratejik alanlarda kullanılabilecek yüksek performanslı RAM malzemelerinin geliştirilmesine yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmad, H. S., Hussain, T., Nawab, Y., & Salamat, S. 2022. Effect of various dielectric and magnetic nanofillers on microwave absorption properties of carbon fiber reinforced composites structures. *Ceramics International*, 48(14), 19882-19890.
- Alışkın, İ. 2023. Karbon, demir ve manganoksit katkılı polimer kompozitlerin radar soğurma kabiliyetinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, 82 s.
- Anonim1: <https://abl.gtu.edu.tr/dosya/102/~saksoy/Radar%20Cross%20Section/1%20RKA%20Nedir/1%20RKA%20Nedir.pdf> [Son erişim tarihi: 27.08.2024].
- Aktaş, A. R. 2013. Mekanokimyasal Yöntemle Radar Absorplayıcı Madde Sentezlenmesi İçin Reaktör Tasarımı ve Katkılarla Absorplayıcı Malzemenin Geliştirilmesi. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 100 s.
- Aktaş, G. 2016. Mekanokimyasal Yöntemle Demir Silisyum Bileşiğinin Üretilmesi ve Radar Absorpsiyon Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 97 s.
- Ananth, P. B., Abhiram, N., Krishna, K. H., & Nisha, M. S. 2021. Synthesis of radar absorption material for stealth application. *Materials Today: Proceedings*, 47(1): 4872-4878.
- Aydemir M.E. 2018. Radar Sistemleri ve Savunma Sanayi Uygulamaları: Matlab Uygulamaları ve Çözümlü Örneklerle Birlikte. İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları:59, İstanbul, 168s.
- Çölkesen, P. 2019. Döndürerek kaplama yöntemi ile Sr, Gd, Co, Zr ve Mn elementleri katkılanmış BaTiO₃ filmlerin dielektrik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 101 s.
- Darıcıoğlu M. Ö. 2022 Functionalization of glass fiber woven fabrics by ITO coatings and characterization of their electromagnetic properties, M.S. - Master of Science, Middle East Technical University, Ankara, 103 p.
- Eşiyok, M. 2014. FeCl/Cu süperörgülerin DC püskürtme metoduyla hazırlanması, manyetik ve yapısal özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 80 s.
- Husain, H., Dewi, R., Adi, W. A., Taryana, Y., & Pratapa, S. 2022. Structural analysis and magnetic-microwave absorption properties of natural mineral-derived silica-coated magnetite nanocomposites. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 556: 169458.
- Jayalakshmi, C. G., Inamdar, A., Anand, A., & Kandasubramanian, B. 2019. Polymer matrix composites as broadband radar absorbing structures for stealth aircrafts. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(14): 47241.
- Kadkhodayan, H., Saidi, M., & Alizadeh, T. 2022. Preparation and characterization of a high performance radiowave shielding material using fillers comprised of Pb (Mg_{1/3}Nb_{2/3}) O₃-PbTiO₃ (PMN-PT)(65/35), Z_x+ yFe_{9x-y}+ 3O_{15x+4} (0<(x, y)<1) and ECM based on a polyamide matrix. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 161: 110439.
- Koç, İ. 2013. Ni/ZnO Nanokompozit Partiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz Tekniğiyle Üretimi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 97 s.
- Meng, X., Qiao, J., Yang, Y., Zhang, X., Yang, Z., Zheng, S., ... & Wang, F. 2023. Three-dimensional porous manganese oxide/nickel/carbon microspheres as

- high-performance electromagnetic wave absorbers with superb photothermal property. *Journal of Colloid and Interface Science*, 629: 884-894.
- Mouritz, A. P. 2012. Polymers for aerospace structures. *Introd. Aerosp. Mater*, 268-302.
- Nane, O. (2009). Sm_{1-x}Tb_xNi₄B Bileşiklerinin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 56 s.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2015. *Handbook of Frequency Allocations and Spectrum Protection for Scientific Uses: Second Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/21774>.
- Peng, C., Hwang, C., Wan, J., Tsai, J. and Chen, S. 2005. 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.
- Piao, M., Li, C., Zhang, Y., Yi, Q., Zhang, H., Wang, X., & Zhang, F. 2022 . High efficiency fabrication of Co nanosheets deposited by SiO₂ layer with controllable permittivity toward superior electromagnetic wave absorption. *Journal of Alloys and Compounds*, 928: 167230.
- Ruiz-Perez, F., López-Estrada, S. M., Tolentino-Hernández, R. V., & Caballero-Briones, F. (2022). Carbon-based radar absorbing materials: A critical review. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 7(3), 100454.
- Qiao, M., Tian, Y., Li, J., He, X., Lei, X., Zhang, Q., ... & Meng, X. 2022. Core-shell Fe₃O₄@ SnO₂ nanochains toward the application of radar-infrared-visible compatible stealth. *Journal of Colloid and Interface Science*, 609: 330-340.
- Teber, A. 2017. Development of Radar Absorbing Materials (RAMs) based on Nano-Structured Magnetic Materials and Applications. Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, University of Connecticut, Mansfield, 136 p.
- Jackson, Yvonne & Tabbagh, Peter & Gibson, Paul & Seglie, Ernest. (2005). The New Department of Defense (DoD) Guide for Achieving and Assessing RAM. 1 – 7. 10.1109/RAMS.2005.1408329.
- Yuzcelik, C. K. 2003. Radar absorbing material design, Naval Postgraduate School Monterey Ca., California, 84 p.
- Zhao, K., Ye, F., Cheng, L., Liu, R., Liang, J., & Li, X. 2022. Synthesis of embedded ZrC-SiC-C Microspheres Via Carbothermal Reduction For Thermal Stability And Electromagnetic Wave Absorption. *Applied Surface Science*, 591: 153105.
- Wei, H., Liu, J., Feng, P., Yang, S., Xue, J., Wang, C., ... & Wang, Q. 2022. Design of multilayer cauliflower-like structure SiO₂/SiC–Y₂Si₂O₇ composite ceramics as high-efficiency electromagnetic wave absorbers. *Ceramics International*, 48(22): 33635-33644.

ÖZGEÇMİŞ

Halil İbrahim SAĞ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2021-2024	Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
2013-2019	Doğa Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Ankara

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Eğitmen	Deneyap Atölyeleri TÜBİTAK
2021-Halen Devam Ediyor	Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Eğitmeni
Proje Yöneticisi	MİMSA İzolasyon Mak. Yap. İnş. Malz. Müh.
2020-2021	Otosan. Tic. Ltd. Şti, Ankara