

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**α -Fe₂O₃, ZnO VE HİBRİT(α -Fe₂O₃/ ZnO) NANO PARTİKÜL TAKVİYELİ PMMA
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ, OPTİK VE DİELEKTRİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Müh. Mustafa Enis TAŞÇIOĞLU

HAZİRAN 2018
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Mustafa Enis TAŞÇIOĞLU Tarafından hazırlanan**

**α -Fe₂O₃ , ZnO ve HİBRİT(α -Fe₂O₃/ ZnO) NANO PARTİKÜL TAKVİYELİ PMMA
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ , OPTİK VE DİELEKTRİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

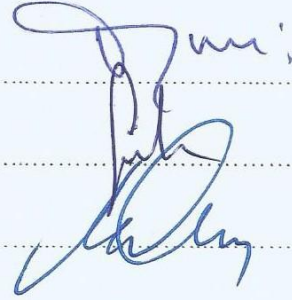
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29 /05 /2018 gün ve 1755 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ümit ALVER

Üye : Doç. Dr. Ayhan KARA

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ASLAN



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Hızlı gelişen günümüz teknolojisinde yeni malzemelere gereksinim duyulmaktadır. Bu gereksinimi karşılayan en önemli malzemelerden biri kompozit malzemelerdir. Yüksek dayanım/yoğunluk, yüksek elastisite modülü/yoğunluk ve üstün karakteristik özelliklerinden dolayı kompozit malzemelere olan ilgi giderek artmakla beraber araştırma ve geliştirme çalışmalarının günümüzde de devam ettiği özel malzemelerdir.

Bu çalışmada çözelti döküm (solvent casting) yöntemiyle nanopartikül takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir. Polimetilmetakrilat matris içerisine değişik oranlarda α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit (α -Fe₂O₃/ZnO) nano partikülleri takviye edilerek kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada takviye olarak kullanılan nano boyutlu parçacıklar kullanılırken takviye oranı olarakta ağırlıkça altı farklı oran kullanılmıştır. Tozların karakterizasyonu taramalı elektron mikroskopunda(SEM) ve X-ray cihazında (XRD) incelenmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin katkı oranlarına bağlı olarak optik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca yaklaşık 4 mm kalınlığa sahip pelet kompozitlerin dielektrik özellikleri araştırılmıştır.

Yüksek lisans çalışmalarım esnasında, ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyip bana rehberlik eden, tecrübeleri ile bana yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ümit ALVER'e teşekkür ederim. Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ASLAN hocama da teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bütün çalışmalarım boyunca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili ablam Öğr. Gör. Saliha TAŞÇIOĞLU'na teşekkürü borç bilirim.

Son olarak hayatımın her anında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer aileme şükranlarımı sunarım.

Mustafa Enis TAŞÇIOĞLU

Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ α -Fe₂O₃, ZnO ve Hibrit(α -Fe₂O₃/ZnO) Nano Partikül Takviyeli PMMA Kompozit Malzeme Üretimi, Optik ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ümit Alver’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.28/05/2018

Mustafa Enis TAŞÇIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Kompozit Malzemeler	2
1.2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	3
1.2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	5
1.2.2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler.....	5
1.2.2.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler	7
1.2.2.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler	8
1.3.1. Polimetilmetakrilat (PMMA).....	9
1.4. Takviye Malzemeleri.....	11
1.4.1. Çinko Oksit (ZnO)	12
1.4.2. Hematit (α -Fe ₂ O ₃)	13
1.5. Nanoteknoloji.....	14
1.6. Nanokompozitler.....	16
1.7. Polimerlerin Dielektrik Özellikleri.....	20
1.8. Dielektrik Nanokompozit Malzemeler	23
1.9. Mikrodalgalar.....	24
1.10. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	26
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28
2.1. Kullanılan Takviye Malzemeleri.....	30
2.1.1. α -Fe ₂ O ₃ (Hematit) Nanotoz.....	30

2.1.2.	Çinko Oksit Nanotoz.....	32
2.1.3.	Hibrit Nanotoz.....	32
2.2.	Kullanılan Matris Malzemesi.....	35
2.3.	PMMA-Nanoparçacık Kompozitlerinin Hazırlanması.....	35
2.4.	Üretilen Toz ve Nanokompozitlerin Karakterizasyonu.....	37
3.	BULGULAR.....	40
3.1.	Üretilen Tozların ve Kompozitlerin X-Işınları Analizi.....	40
3.2.	Üretilen Kompozit Filmlerin EDX Analizi.....	47
3.3.	Üretilen Tozların SEM Analizi.....	49
3.4.	Üretilen Kompozit Filmlerin UV-Vis Analizleri.....	50
3.5.	Üretilen Peletlerin Dielektrik Özelliklerinin Ölçümü.....	60
4.	İRDELEME.....	67
5.	SONUÇLAR.....	71
6.	ÖNERİLER.....	72
7.	KAYNAKLAR.....	73
	ÖZGEÇMİŞ.....	79

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

α -Fe₂O₃ , ZnO ve HİBRİT(α -Fe₂O₃/ ZnO) NANO PARTİKÜL TAKVİYELİ PMMA
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ , OPTİK VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Mustafa Enis TAŞÇIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ümit ALVER
2018, 78 Sayfa

Bu çalışmada çözelti döküm yöntemi kullanılarak α -Fe₂O₃, ZnO, hibrit(α -Fe₂O₃/ZnO) nano partikül takviyeli kompozit malzemeler üretildi. Hibrit toz karışımlarını hazırlamak için mekanik alaşımlama yöntemi kullanıldı. Nano boyutlu α -Fe₂O₃ ve ZnO nano parçacıkları aynı oranlarda karıştırıldı ve bu tozlar 1 saat gezegen tip bilyeli öğütücüde öğütüldü. Elde edilen tozların yapısal ve morfolojik incelemeleri X ışınları kırınım cihazı ve taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirildi. Farklı oranlarda (%0.01, %0.05 %0.1, %0.3, %0.5, %1) takviye edilerek üretilen kompozit malzemelerin takviye oranlarına bağlı olarak optik ve dielektrik özellikleri incelendi. Çalışma sonucunda takviye miktarının artması ile optik geçirgenliği azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yaklaşık 4 mm kalınlığında üretilen pelet kompozitlerin dielektrik özellikleri 70-110 GHz frekans aralığında incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Malzeme, PMMA, Dielektrik, Optik, Mekanik
Alaşımlama, Çözelti Döküm Yöntemi

Master Thesis

SUMMARY

PRODUCTION OF PMMA REINFORCED WITH α - Fe₂O₃, ZnO and HYBRID
(α -Fe₂O₃/ ZnO) NANO PARTICLE COMPOSITE MATERIAL, INVESTIGATION OF
OPTICAL AND DIELECTRIC PROPERTIES

Mustafa Enis TAŞÇIOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Metallurgy and Materials Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Ümit ALVER
2018, 78 Pages

In this study, composite materials which reinforced with α - Fe₂O₃, ZnO, hybrid (α - Fe₂O₃/ZnO) nano particle was produced with solvent casting process. In order to prepare hybrid powder mixture, mechanical milling process was used. α - Fe₂O₃ and ZnO nano particles was mixed with same amount and milled with planetary type ball milling machine for 1 hour. Morphological and structural examinations of the produced powders were conducted with scanning electron microscopy and X-ray diffraction machine. Optical and dielectrical properties of composite materials produced with different amount of reinforcement (0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1%) were examined. Consequently, with increasing reinforcement amount, optical transmittance lowered. Also, dielectric properties of produced pellet composites with 4 mm. thickness were conducted at between 70-110 GHz.

Keywords: Composite Materials, PMMA, Dielectric, Optic, Mechanical Alloying,
Solvent Casting

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılmasının şematik görünümü	5
Şekil 1. 2. Polimetilmetakrilat (PMMA) üretim şeması ve kimyasal yapısı	10
Şekil 1. 3. ZnO'e ait hegzagonal wurtzite yapısının gösterimi	12
Şekil 1. 4. Örneklendirilmiş nano boyut skalası	15
Şekil 1. 5. Nanoteknolojinin disiplinler arası bir bilim olduğunun şematik gösterimi.	16
Şekil 1. 6. Nano takviye bileşenlerinin görünümü.....	17
Şekil 1. 7. Polarizasyon türleri	21
Şekil 1. 8. Alternatif elektrik alanın etkisinde dielektrik sabitinin frekansla değişimi	22
Şekil 2. 1. Deneysel çalışmalardaki iş akış şeması	29
Şekil 2. 2. α -Fe ₂ O ₃ nanoparçacık üretiminin şematik görünümü.....	31
Şekil 2. 3. Mekanik alaşımlama ve öğütme işleminde kullanılan ekipmanlar.....	33
Şekil 2. 4. Hibrit nanoparçacık üretiminin şematik görünümü	33
Şekil 2. 5. Çalışmada kullanılan takviye malzemeleri,	34
Şekil 2. 6. Polimetiletakrilat ve genel özellikleri.....	35
Şekil 2. 7. Ultrasonik homojenizatör sistemi....	36
Şekil 2. 8. Döküm işleminde kullanılan ekipmanlar.....	37
Şekil 2. 9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	38
Şekil 2. 10. XRD analiz cihazı	38
Şekil 2. 11. UV / Vis spektrofotometre cihazı.....	39
Şekil 2. 12. Dielektrik ölçüm ekipmanları	39
Şekil 3. 1. α -Fe ₂ O ₃ , ZnO ve hibrit (α -Fe ₂ O ₃ /ZnO) tozlarının X ışını kırınımı desenleri	40
Şekil 3. 2. Saf PMMA filminin X ışını kırınım deseni	41
Şekil 3. 3. α -Fe ₂ O ₃ takviyeli nanokompozitlerin XRD deseni	42
Şekil 3. 4. ZnO takviyeli nanokompozitlerin XRD deseni.....	43
Şekil 3. 5. Hibrit takviyeli nanokompozitlerin XRD deseni.....	44
Şekil 3. 6. α -Fe ₂ O ₃ takviyeli pelet nanokompozitlerin XRD deseni.....	45
Şekil 3. 7. ZnO takviyeli pelet nanokompozitlerin XRD deseni	46
Şekil 3. 8. Hibrit takviyeli pelet nanokompozitlerin XRD deseni.....	46

Şekil 3. 9. % 0,5 α -Fe ₂ O ₃ takviyeli kompozit filmin EDX grafiği ve toz dağılımı	47
Şekil 3. 10. % 0,5 Hibrit takviyeli kompozit filmin EDX grafiği ve toz dağılımı	48
Şekil 3. 11. % 0,5 ZnO takviyeli Kompozit filmin EDX grafiği ve toz dağılımı.....	48
Şekil 3. 12. Takviye tozlarının SEM görüntüleri.....	49
Şekil 3. 13. Saf PMMA filminin optik geçirgenlik grafiği	50
Şekil 3. 14. α -Fe ₂ O ₃ takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği	51
Şekil 3. 15. ZnO takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği.....	52
Şekil 3. 16. Hibrit toz takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği.....	53
Şekil 3. 17. % 0.01 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği.....	54
Şekil 3. 18. % 0.05 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği.....	55
Şekil 3. 19. % 0.1 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği.....	56
Şekil 3. 20. % 0.3 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği.....	57
Şekil 3. 21. % 0.5 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği.....	58
Şekil 3. 22. % 1 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği.....	59
Şekil 3. 23. Nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği	60
Şekil 3. 24. Saf PMMA'nın dielektrik değerlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla değişimi	61
Şekil 3. 25. α -Fe ₂ O ₃ takviyeli pelet kompozitinin dielektrik değerlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla değişimi.....	62
Şekil 3. 26. ZnO takviyeli pelet kompozitinin dielektrik değerlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla değişimi	63
Şekil 3. 27. Hibrit takviyeli pelet kompozitinin dielektrik değerlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla değişimi.....	64
Şekil 3. 28. Pelet kompozitlerinin reel dielektrik değerlerinin (ϵ') frekansla değişimi	65
Şekil 3.29. Pelet kompozitlerinin imajinel dielektrik değerlerinin (ϵ'') frekansla değişimi.....	66
Şekil 3. 30. Pelet kompozitlerinin kayıp tanjant dielektrik değerlerinin (ϵ'') frekansla değişimi.....	66

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. 1. Bazı malzemelerin dielektrik sabitleri.....	21
Tablo 1. 2. Frekans ve dalga boyu aralığına göre mikrodalgaların sınıflandırılması	25
Tablo 2. 1. α -Fe ₂ O ₃ nanotozunun eldesinde kullanılan malzemeler ve miktarları	30
Tablo 2. 2. Çinko oksit genel özellikleri	32
Tablo 2. 3. %0.01 takviyeli α -Fe ₂ O ₃ /PMMA nanokompozit üretiminde kullanılan malzemeler ve miktarları.....	36
Tablo 3. 1. Çalışmada kullanılan kompozit filmlerin kodları ve içerikleri	54

SEMBOLLER DİZİNİ

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

XRD : X-ışınları difraktometresi

PMMA : Polimetilmetakrilat

nm : Nanometre

μm : Mikrometre

UV-Vis : Ultra Viyole - görünür

MPa : Mega paskal

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde savunma sanayi, havacılık, uzay, otomotiv, ev aletleri ve denizcilik gibi geniş bir kullanım yelpazesine sahip kompozit malzemelerin geçmişi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Antik çağlarda insanlar kırılgin malzemelerin yapısını güçlendirmek için içerisine hayvansal ve bitkisel kaynaklı lifler eklemiştir. Bunun en bilinen örneği kerpiçtir. Çamura katılan saman ve saplar malzemeye dayanım katmış ve insanoğlu sağlam barınak yapma imkanı bulmuştur [1]. Mısırda M.Ö.2800 yıllarında arkeologlar lamine edilmiş tahta tabakalar bulunmuştur ve yine Ortadoğuda daha fazla eğilme dayanımı elde etmek amacıyla ok yayları üst üste konulan malzemelerle farklı lif yönleri oluşturularak kompozit yapılmıştır [2].

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki malzemelerin en iyi özelliklerini tek bir malzeme toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu oluşan malzemelerdir. Bir kompozit malzeme, takviye elemanı ve onu çevreleyen matris malzemesinden oluşmaktadır. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, wiskerler ve parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Takviye elemanlarının temel görevi gelen yükü taşımak, matrisin rijitliğini ve dayanımını artırmaktır. Buna ilaveten takviye elemanının bir diğer görevi kompozitin yoğunluğunu düşürmek ve matrisin yüksek sıcaklık dayanımını iyileştirmektir. Kompozit malzemeler yüksek ileri malzemelerin tasarımı ve üretimi açısından modern endüstride önemli bir yere sahiptirler. Son yıllarda geliştirilen ileri kompozit malzemeler mühendislik uygulamalarında büyük bir gelişim meydana getirmiştir [3].

Kompozit malzemelerin üretiminde istenilen başlıca özellikler; yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı olmuştur. Bu nedenle de spesifik uygulamalarda kullanımları hızla artış göstermektedir. Bu malzemeler, belirli uygulama alanları için üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla belli spesifik konfigürasyonda değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarında çok fazlı malzeme olarak da adlandırılırlar [2].

1.2.Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, birbiri içerisinde çözünmeyen iki veya daha çok mikro veya makro bileşenin birleştirilmesiyle oluşan malzemedir. Başka bir deyişle birbirinden farklı en az iki malzemenin en iyi özelliklerini tek bir malzemedeki toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Kompozit malzemeler genellikle matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Yüksek dayanım ve sertliğe sahip olan taraf takviye elemanı, nispeten daha düşük dayanım fakat yüksek sünekliğe sahip taraf ise matris olarak adlandırılır [2,3].

Kompozit malzemelerde matrisin görevi malzemeye gelen yükleri takviye malzemesine iletmek, kompozit malzemesinin tokluğunu ve mukavemetini artırmak, takviye elemanlarını bir arada tutmak, çatlakların yayılmasını önlemek, takviye malzemesini dış etkilerden ve darbelerden korumaktır. Matris ve takviye malzemelerinin özellikleri, matris ve takviye arasındaki bağın özellikleri, takviye malzemesinin yapısı ve şekli kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde önemli etkilere sahiptir [3]. Kompozit malzemelerde genel olarak matris sünek, hafif ve düşük dayanıma sahip bölge, takviye ise yüksek dayanım ve mukavemete sahip bölgedir. Matris malzemesi olarak metal, seramik ve polimer kullanılırken takviye malzemesi olarak ise cam, karbon, elyaf, grafit ve seramik malzemeler kullanılmaktadır [4].

Yeni geliştirilen bir malzemeyi modern kompozit olarak adlandırmak için aşağıdaki kriterleri taşıması gerekmektedir [5]:

- İnsan yapısı olmalı,
- İki veya daha fazla malzemelerin birleştirilmesi ve farklı ara yüze sahip olmaları,
- Bileşen fazlarının birbirinden tamamen farklı özelliğe sahip olmalı,
- Bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü şekilde dağılması sonucu kompozit bir malzeme oluşturması,
- Kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerinin bir arada toplanması gereklidir.

Kompozit malzemelerde matris olarak polimer, metal, seramik türevi malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin % 90 'ı genellikle polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Polimer kullanım alanlarının genişlemesinden dolayı ısı, mekanik ve elektriksel özellik gösteren polimerlerin geliştirilmesi veya katkı maddeleri ilavesiyle mevcut polimerlerin geliştirilmesi önem kazanmış ve bu konuda çalışmalar hız kazanmıştır. Polimerler genelde elyaf ve parçacıklar ile takviye edilmektedir. Elyaf takviyeli polimerik kompozitlerde polimer matrisler, çeşitli şekillerdeki elyaflar ile takviye edilmektedir. Günümüzde polimer matrislere takviye olarak nano boyutlarda tanecikler ilave edilmeye başlanmış ve oluşan malzemelere polimerik nanokompozit adı verilmiştir. Dolgu parçacıklarının nanometrik boyutlarından dolayı nanokompozitler yüksek alan/hacim oranına sahiptir ve önemli fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Endüstriyel termoplastik ve termoset polimer nanokompozitleriyle alakalı çalışmalar günümüzde hızla artarak devam etmektedir [6].

1.2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin önemli avantajlarından biri kendi başlarına elde edilemeyen özelliklerin tek bir malzemede toplanmasıdır. Kompozit malzemelerin üretilmesiyle elde edilebilecek özellikler şunlardır [5]:

- a. Yüksek korozyon direnci,
- b. Yüksek dayanım,
- c. Düşük ağırlık,
- d. Aşınma direnci,
- e. Sıcaklık kapasitesi,
- f. Termal ve ısı iletkenliği,
- g. Yüksek rijitlik,
- h. Yüksek yorulma dayanımı.

Yukarda belirtilen özellikler için gerekli şartlar: uygun matris ve takviye malzemeleri, üretim şekli, optimizasyon, bileşenlerin özellikleri şeklinde sıralanabilir. Matris/takviye elemanının seçimi, sistemin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde çok

büyük bir etkiye sahiptir. Çünkü yükün matris tarafından takviyeye iletilmesinde matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının kuvvetli olması çok önemlidir [5].

Kompozit malzemelerin sağladığı avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

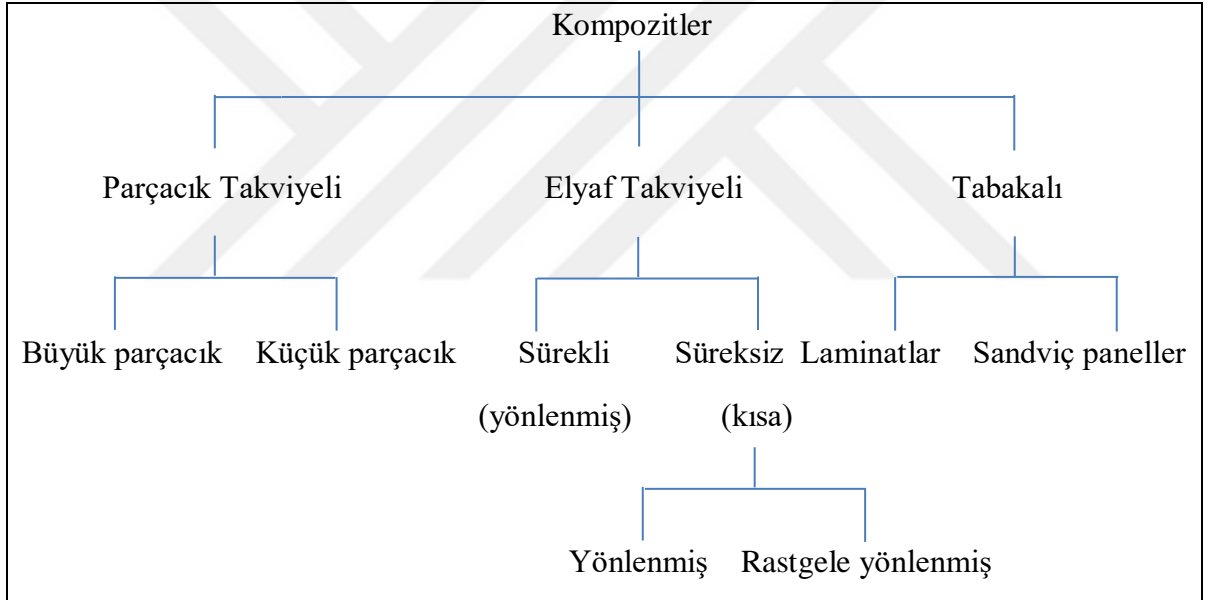
- Üretim sırasında ilave edilen pigmentler sayesinde istenilen renkte üretilebilirler.
- Malzemedeki tasarruf sağlanmasını sağlarlar.
- Korozyona ve kimyasallara karşı direnç gösterirler.
- Kullanıma uygun malzeme seçilmesiyle elektriksel özellikler değiştirilebilir.
- Kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımları birçok metalik malzemedekiye yüksektir.
- Özgül ağırlıkları hafif olduğundan çoğu malzemeye göre hafiftirler.
- Tek bir işlemle farklı büyüklükte ve özellikte parçalar birleştirilebilir böylece malzemedeki ve işçilikten kazanç sağlanır.
- Isı iletim katsayısı düşük malzemedeki yapıldığında ısı dayanımları yüksek olur.
- Titreşim sönümlenme ve şok yutma özelliğinden dolayı çatlak ilerlemesini minimum seviyeye düşürebilir.
- Ağır sanayideki yöntemlere göre daha basit metotlarla üretilirler ve böylece yatırım maliyetlerinin düşük olmasını sağlarlar.

Kompozit malzemelerin dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozitler kırılma olmalarından dolayı amaçlanan alanın dışında kullanılması durumunda zarar görürler ve onarılmaları sorun oluşturur.
- Geri dönüşümleri mümkün değildir.
- Kompozitlerde delik delme, kesme gibi operasyonlar liflerde açılmaya sebebiyet verdiğinden hassas imalata uygun değildirler.
- Aynı kompozit malzemelerde farklı çekme, basma, kesme, eğilme dayanım değerleri alınabilir.
- Hava zerrecikleri kompozit malzemelerde yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [7].

1.2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler değişik kriterler esas alınarak sınıflandırılabilir. Kompozitler metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli kompozitler olarak matris malzemesine göre sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesine göre sınıflandırıldığı gibi, takviye malzemesine göre de sınıflandırılması mümkündür. Kompozit malzemeler takviye malzemesine göre parçacık takviyeli, elyaf takviyeli ve tabakalı kompozitler olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılmaktadır (Şekil 1.1). Matris malzemesine göre kompozitler ise metal matrisli kompozitler, seramik matrisli kompozitler ve polimer matrisli kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır [8-10].



Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılmasının şematik görünümü[8].

1.2.2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matris kompozitleri, mevcut süper alaşımların yerine birçok zorlu ortamda yapısal malzemeler olarak kullanılacak en güçlü adaydan biridir. Metal Matrisli Kompozitler günümüzde ilgi çekmektedir, çünkü tek bir malzemede bulunmayan özelliklerin kombinasyonu ile yeni bir materyal üretmek için fırsatlar sunmaktadır. Yüksek

elastisite modülü ve gerilme dayanımına sahip çeşitli elyaf çeşitlerinin alüminyum, titanyum, magnezyum gibi düşük yoğunluklu metallere birleştirilerek daha yüksek yoğunluğa ve mukavemete sahip tek bir malzeme elde etmek mümkündür. Silisyum karbür parçacıklı viskerlerle güçlendirilmiş alüminyum kompozitler yüksek aşınma direnci, düşük termal genleşme ve düşük üretim maliyeti gibi önemli özelliklere sahiptir. Yapısal bileşenler, çalışma sıcaklığını önemli ölçüde artırabilir ve spesifik mekanik özellikleri geliştirebilir [11].

Metal matrisli kompozitler yüksek çekme-basma dayanımına, yüksek elastik modülüne ve yüksek çalışma sıcaklığına sahip olmalarından dolayı önemli bir mühendislik malzemeleri olmuştur. Bunu özelliklerin yanında mekanik özellikler ve düşük yoğunluk değerlerinden dolayı daha da önem kazanmaya başlamıştır [12]. Metal matrisli kompozitlerin üstün özelliklerine ulaşabilmek için matris-takviye elemanı uyumu ve üretim yöntemleri önemlidir. Yük matristen takviye malzemesine iletilmesi ara yüzey vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Ara yüzey bağının güçlü olması matris-takviye uyumuna ve matris malzemesinin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır [3]. Metal matris malzemesi olarak genelde alüminyum, magnezyum ve titanyum sıklıkla kullanılmaktadır [13].

Matris ve takviye malzemeleri çok farklı kombinasyonlarda kullanılıyor olması sebebiyle metal matrisli kompozitlerin üretiminde çeşitli tekniklerin gelişmesini sağlamıştır. Üretim esnasında matrisin katı, sıvı ya da gaz olmasına göre üretim yöntemleri aşağıda sıralanmaktadır [4];

- Reaktif (In-situ) yöntemi
- Sıkıştırılmalı döküm
- Buhar-Faz Üretim Yöntemleri
- Fiziksel Buhar çökeltme (PVD)
- Karıştırmalı döküm
- Kompo döküm
- Sıvı-Metal İnfiltrasyon
- Püskürtme
- Toz Metalurjisi (TM)
- Sıvı-Faz Üretim Yöntemleri
- Katı-Faz Üretim Yöntemleri
- Difüzyonla Bağlama

Metal matris kompozitlerinin havacılık uygulamalarında kullanılması mümkündür. Uçak endüstrisi uygulamalarında, düşük yoğunluk, özel ısıl genleşme ve iletkenlik gibi diğer arzu edilen özellikler ve yüksek sağlamlık ana etmenlerdir. Maliyet yerine performans daha önemli bir öğedir. Sürekli elyaf takviyeli metal matrisli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitlerden daha üstün performans sergilediğinden bu alanda daha sıklıkla kullanılır. Uçak endüstrisinde ise maliyet ve performans önemlidir, diğer bir deyişle bu öğelerin optimum kombinasyonu gerekmektedir. Bu nedenle uzay dışı havacılık uygulamalarında parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin kullanılabileceği anlaşılmaktadır [14]. Yüksek dayanım ve mukavemet metal matrisli kompozitlerde istenen ana özellikler olup, bu kompozitlerin sahip oldukları özellikler şunlardır [15]:

- Yüksek sürünme direnci,
- İyi manyetik ve elektriksel özellikler,
- Düşük yoğunluk,
- Yüksek mukavemet ve elastik modülü,
- Yüksek aşınma direnci,
- Yüksek termal şok direnci.

1.2.2.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal ve metal olmayan elementlerin bir araya getirilmesiyle oluşan inorganik malzemelere seramik malzemeler adı verilir. Yüksek sıcaklıkta çalışma (2000°C ve üzeri), yüksek elastiklik modülü ve düşük yoğunluğa sahip olmaları matris malzemesi olarak kullanılmasında önemli etkenlerdir. Tüm bu özelliklerinin yanısıra düşük darbe dayanımı, değişken özellik göstermeleri, düşük gerilme dayanımı ve termal şok özellikleri seramik malzemelerin dezavantajlarından bazıları olarak sıralanabilir. Seramik matrisli kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan malzemeler sürekli ve süreksiz fiberler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sürekli fiber takviyeli seramiklerin tokluk değerinin daha yüksek olması daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. Sık kullanılan seramik matrisli kompozit malzemelere örnek olarak karbürler (örneğin, silisyum karbür), nitrürler (örneğin, silisyum nitrür), oksitler (örneğin, alümina) ve cam seramikler (lityum alüminisilikat) verilebilir [1]. Seramik matris malzemesi olarak ise; silika, alümina, baryum alümina silikat gibi malzemeler kullanılabilir [13].

Seramik malzemeler yüksek sıcaklıklarda oksidasyon ve bozulmalara karşı dayanıklı olması bu malzemelerin yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalar için önemli bir aday yapmaktadır. Bu uygulamalara örnek olarak uçak gaz türbini motorları ve otomobiller verilebilir. Seramikler için kırılma dayanım değerleri oldukça düşüktür ve genel olarak 1 ile 5 MPa arasındadır. Yeni nesil seramik matris kompozitler geliştirilmesi sonucunda bu değerler yaklaşık 6 ile 20 MPa arasında değişmektedir. Kırılma özelliklerinde meydana gelen bu iyileşme ilerleyen çatlaklar ve dağılık faz parçacıkları arasındaki etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. Normalde çatlama matris fazı ile ortaya çıkar, buna karşın parçacıklar tarafından yayılımı engellenmektedir [8].

Seramik matrisli kompozit malzemede temel amaç yüksek mukavemet ve ısı dayanım gösteren malzemeler elde etmektir. Kompozit malzemeler üretilirken matrisle takviye malzemesi arasındaki reaksiyonlar minimum olmalıdır. Takviye malzemelerinin bozulmasını engellemek amacıyla düşük sıcaklıklarda işlem yapılmalıdır. Sürekli fiber takviyeler, fiberlerin uygun yerleştirilmesi halinde oldukça iyi mekanik özellikler sağlamaktadır [16].

1.2.2.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Polimer matrisli kompozitler yalıtkanlık, kolay şekil verilebilirlik, ekonomiklik ve düşük yoğunluğa sahip olmalarından dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin sıcaklık dayanımı seçilen matrise göre değişmektedir [9]. Plastik matris malzemesi olarak; polipropilen, epoksi, polietilen gibi matrisler sıklıkla kullanılmaktadır [13].

Polimerler termoplastik ve termoset olarak iki gruba ayrılmaktadır. Polimerik kompozitlerde takviye malzemesi kompozite mukavemet ve rijitlik sağlarken, matris malzemesi korozyon dayanımını artırır, gelen yükün dağıtılmasını sağlar ve yapının bütünlüğünü korur. Polimer matrisli kompozit malzemenin mukavemeti takviye malzemesiyle alakalıdır ve son yıllarda farklı katkı maddeleri ile karıştırma ve harmanlama yoluyla yeni özellikler kazandırılarak bu malzemelerin uygulama alanlarının genişletilmesi için birçok çalışma gerçekleştirilmektedir [1,17].

Termoplastik ve termoset matris kompozitler olumlu ve olumsuz olmak üzere birçok özelliklere sahiptirler. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilir:

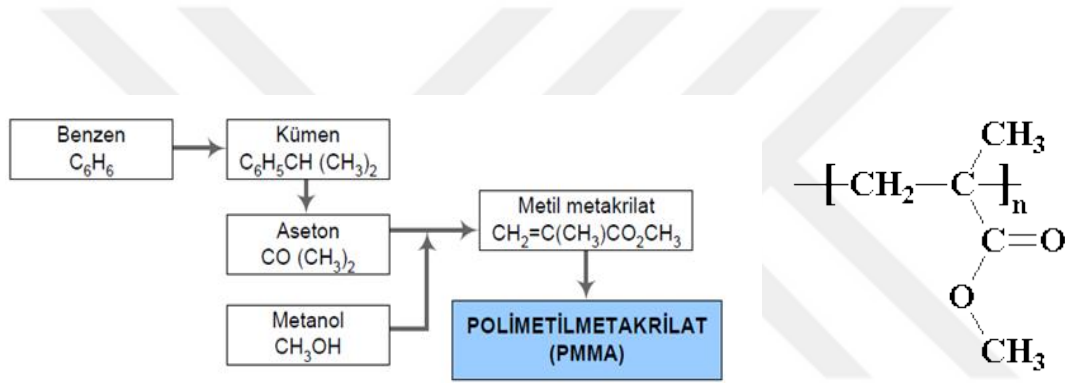
- Termoplastik bir matris soğutma gerektirmez.
- Termoplastik kompozitlerde parçalar yeniden kalıplanabilir ve hurda dönüşümü mümkündür.
- Termoset kompozitler bir yada iki parçalı sistemlerde olabilir ve genellikle oda sıcaklığında sıvı haldedirler.
- Termosetlere göre daha iyi tokluk ve darbe direnci vardır.
- İşlem sıcaklıkları genellikle termosetlere kıyasla daha yüksektir.
- Termoplastikler katı ve pürüzlüdür, yani kısmen yapışkanlıktan yoksundurlar.
- Termoplastikler katı haldedir ve son şekil verme işlemi için eritilmesi gerekir [14, 18, 19].

1.3.1. Polimetilmetakrilat (PMMA)

Termoplastik polimer olan polimetilmetakrilat (PMMA) maliyet ve özellik ilişkisi onu günümüzdeki uygulamalarda kompozit malzemeler için en çok kullanılan matris malzemelerinden biri haline getirmektedir [20]. Geçmiş yıllardan beri polimetilmetakrilat, polistiren ve polikarbonat gibi şeffaf polimerler mükemmel optik berraklıkları ve düşük yoğunlukları nedeniyle büyük ilgi görmektedir. %92 ışık geçirgenliğine sahip olan PMMA mükemmel şeffaflık ve yüksek işlem kabiliyeti ile camsı bir polimerdir ve nano dolgu takviyesi ile güçlendirilmiş şeffaf nanokompozit üretmek için kullanılmaktadır [21].

Camın alternatifi olarak kullanılmaya başlanan PMMA kırılmaya dayanıklı berrak bir polimer malzemedir. Cam pencereler çok kalın olduğunda şeffaflıkları azalmaktadır fakat PMMA pencereler 35 cm kalınlığa kadar mükemmel saydamlıkta yapılabilmektedir. Bu özelliği onu yüksek basınçlı suya maruz kalan dev akvaryumlarda kullanılmak için mükemmel bir malzeme yapmaktadır. Buna örnek olarak California Monterrey Körfezi Akvaryumundaki gözlem penceresi 16,6 m uzunluğunda, 5,5 m yüksekliğinde ve 33 cm kalınlığında büyük bir PMMA parçasından oluşmaktadır [22].

PMMA, metil metakrilat monomerinden radikal zincir büyüme polimerizasyonu metodu kullanılarak veya anyonik polimerizasyon reaksiyonuyla sentezlemek mümkündür (Şekil 1.2). Amorf olmasının yanı sıra mükemmel bir optik saydamlığa sahiptir ve bu özelliği dış hava koşullarına dayanımı ile birleşince ışık geçirgenliğinin önemli olduğu uygulamalarda kullanımı mümkündür. PMMA kolay çizilebilen bir plastik olduğu için optik özelliklerinin uygulama alanları kısıtlıdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için çeşitli katkı maddeleri eklenmiş fakat bu sefer de mekanik özelliklerde bozulmalar gözlemlenmiştir. Tüm bu özelliklerinin yanı sıra PMMA camdan daha saydam bir malzemedir ve özellikle camlar kalın yapıldığında saydamlığını kaybederken PMMA belirli bir kalınlığa kadar saydamlığını korumaktadır [23].



Şekil 1. 2. Polimetilmetakrilat (PMMA) üretim şeması ve kimyasal yapısı [23].

PMMA biyolojik olarak uyumludur ve insan dokusunun sıcaklıklarına ve kimyasına dirençlidir. 2.8-25 μm dalga boyu aralığında kızılötesi ışıklara güçlü bir emme kapasitesine sahiptir. Ayrıca Knopp sertlik değeri 18-20, çekme dayanımı 59 MPa, elastiklik modülü 2400 MPa, özgül ağırlığı 1.19 gr/ml'dir [24,25].

PMMA arzu edilen özelliklerinin yanı sıra endüstriyel ve ilaç uygulamaları olan çok yönlü sentetik bir polimerdir. Yüksek mukavemet, mükemmel optik berraklık ve boyutsal kararlılık önemli özelliklerinden bazılarıdır. PMMA çeşitli organik çözücülerde çözünebilmektedir. Bunlara örnek diklorometan, klorobenzen, aseton, etil laktat, etil aserat verilebilir [26,27].

1.4. Takviye Malzemeleri

Kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak değişik morfolojik yapıya sahip birçok malzeme kullanılmaktadır. Takviye malzemesinin görevi matrisin dayanımını artırmak ve rijitliğinin korunmasını sağlamaktır . Takviye elemanları matris içerisinde kısa fiber, uzun fiber, tek filament ve parçacık halinde bulunabilmektedirler. Yüksek elastiklik modülü, termal kararlılık, düşük yoğunluk, yüksek çekme dayanımı ve matris malzemesi ile uyumluluk takviye elemanlarından istenen başlıca özelliklerdir [1,4].

Matris malzemelerine ilave edilen takviye malzemeleri sayesinde kullanılan matrisin mekanik ve fiziksel özelliklerinde olumlu birçok özellikler sağlanmaktadır. Bu özellikler; dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, yoğunluk, yorulma ömrü ve termal iletkenliktir. Mukavemet, rijitlik ve nispeten düşük yoğunluk sağlamak için genellikle seramikler tercih edilmektedir. Bunlara SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC, TiB₂, grafit örnek olarak verilebilir. Bunun yanında tungsten ve çelik fiberler de tercih edilen malzemeler arasındadır [28].

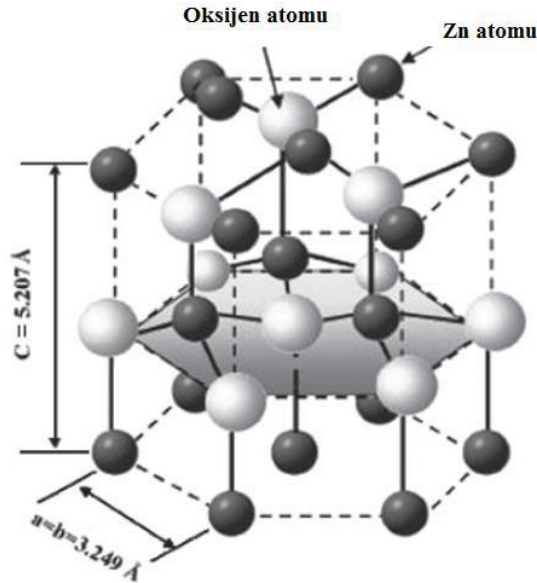
Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak seramik elyaflar veya parçacıklar tercih edilmekte olup bunlar metal ve polimer esaslı kompozit malzemelerle elde edilemeyen yüksek özgül dayanımlı malzemelere olan ilgiden dolayı son yıllarda yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Kompozit malzemedeki takviye elemanının esas fonksiyonu; yükü taşıyarak matrisin rijitliğini ve dayanımını artırmaktır. Takviye elemanı kompoziti oluşturan en önemli elemanlardan biri olup kompozit üzerine gelen yükün büyük bir kısmını taşımaktadır. Yükün elyaflara iletilebilmesi için fazlar arasında fiziksel ve kimyasal uyumun olması ve ara yüzey bağının güçlü olması gerekmektedir. Takviye elemanı ile matrisin ısıl genleşme katsayıları arasındaki uyum kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir [2].

Bu çalışmada polimer matrise (PMMA) takviye olarak nano parçacıklar (ZnO, α -Fe₂O₃, ZnO/Fe₂O₃) ilave edilmiş, elde edilen polimerik nanokompozit malzemenin optik ve dielektrik özellikleri incelenmiştir.

1.4.1. Çinko Oksit (ZnO)

ZnO son yıllarda, yüksek şeffaflık, piezoelektriklik, geniş band aralığı, kimyasal algılama özelliklerine sahip olduğundan değişik uygulama alanları için dikkat çekmektedir. ZnO, 3.37 eV'lik geniş geniş bant aralığı ve oda sıcaklığında 60 meV'lik geniş bir exciton bağlanma enerjisine sahip yarı iletken bir malzemedir [19, 29]. Yüksek soğurma katsayısı görünür bölgede %90 geçirgenlik, kimyasal kararlılık ve yüksek kırılma indisi gibi özelliklere sahiptir. Biyo-güvenli ve biyolojik olarak uyumludur ve kaplamasız biyomedikal uygulamalar, UV fotonik, şeffaf yüksek enerjili elektronik güneş pilleri, varistörler, yüzey akustik dalga cihazları, piezoelektrik transdüserler ve gaz algılama cihazları gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [30-32].

ZnO, periyodik tablonun II B – VI A grubundan bir yarı iletken bileşik olarak bilinir ve hegzagonal wurtzite kristal yapısına sahiptir (Şekil 1.3). Çinko atomlarının konumu hemen hemen hegzagonal (altıgen) sıkı paket yapısındadır. Her oksijen atomu da dört çinko atomundan oluşan tetragonal (dörtgen) grubun arasında bulunur. ZnO'nun hegzagonal yapısı, boşlukların başka molekül ya da atomlarca doldurulabilmesine imkan verir [33-35].



Şekil 1. 3. ZnO'e ait hegzagonal wurtzite yapısının gösterimi [35]

Toksik olmayan bir malzeme olan ZnO, biyosensör uygulamalarında da kullanılmaktadır. Ayrıca ZnO nanopartikülleri yüzey boyalarına ilave edildiğinde, dokumalara ve plastik gibi malzemelerle katıldığında faydalı antibakteriyel ve mantar önleyici ajanlar haline almaktadırlar. Nanopartiküller bazı tekstil ürünlerine ilave edildiğinde uzun süreli antimikrobiyal özellik sağlarlar, böylece kullanıldığı yüzeylerde mikropların büyümesinin engellenmesi için uygun ortam yaratılmış olur. Ayrıca tekstil ürünlerinde ZnO partiküllerinin kullanılması UV ışınlarına karşı koruma sağlar ve renksiz olduğundan insan gözüyle fark edilmez. Boya yapımında ZnO nanoparçacıklarının kullanılması boyaya koku önleyici, UV emici ve antibakteriyel özellik kazandırmaktadır [36].

ZnO, sol-jel, homojen çöktürme, mekanik öğütme, termal buharlaştırma vb. yöntemleriyle sentezlenebilmektedir [37]. ZnO parçacıkların morfolojisi; sentez yöntemi, işlem koşulları, sentezdeki öncü maddeleri, sistemin pH'sı veya reaktantların derişimlerinin değiştirilmesi suretiyle değişebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Bu parametrelerin değiştirilmesi ile ZnO parçacıklar nanoçiçek, nanoçubuk, nanoyaprak, nanotripod, nanotetrapod şeklinde değişik morfolojilerde elde edilebilirler [38].

1.4.2. Hematit (α -Fe₂O₃)

Demir oksit nano partikülleri ve filmleri geniş bir uygulama alanı olması ve üstün manyetik özellikleri sayesinde büyük ilgi görmektedir. Son yıllarda nanometre boyutunda demir oksit manyetik parçacıklar, manyetik özelliklere özel önem verilerek yoğun temel ve uygulamalı araştırmaların odak noktası olmuştur. Demir oksit nano-yapıları, yüksek yoğunluklu manyetik depolama aygıtları, manyetik soğutma sistemleri, kataliz, kimyasal ve biyolojik sensörler gibi birçok alanda muhtemel uygulamaları nedeniyle teknolojik açıdan önemlidir. Süperkapasitörler, güneş pili, güneş filtreleri kullanım alanlarına örnek gösterilebilir. Buna ek olarak, yakın zamanda demir oksit, biyoyumluluk, katalitik etkinlik ve düşük toksisite nedeniyle ilaç iletim sistemi, biyosensörde, manyetik rezonans görüntüleme ve gen iletiminde, katalizörler gibi potansiyel uygulamaları için yeni bir materyal haline gelmiştir [39-42].

Fe₂O₃ (Demir (III) Oksit), tüm formları birçok çevresel ve endüstriyel alanda çeşitli uygulamalarla kullanılan metal oksitlerden biridir. Fe₂O₃ nanopartiküllerinin avantajı,

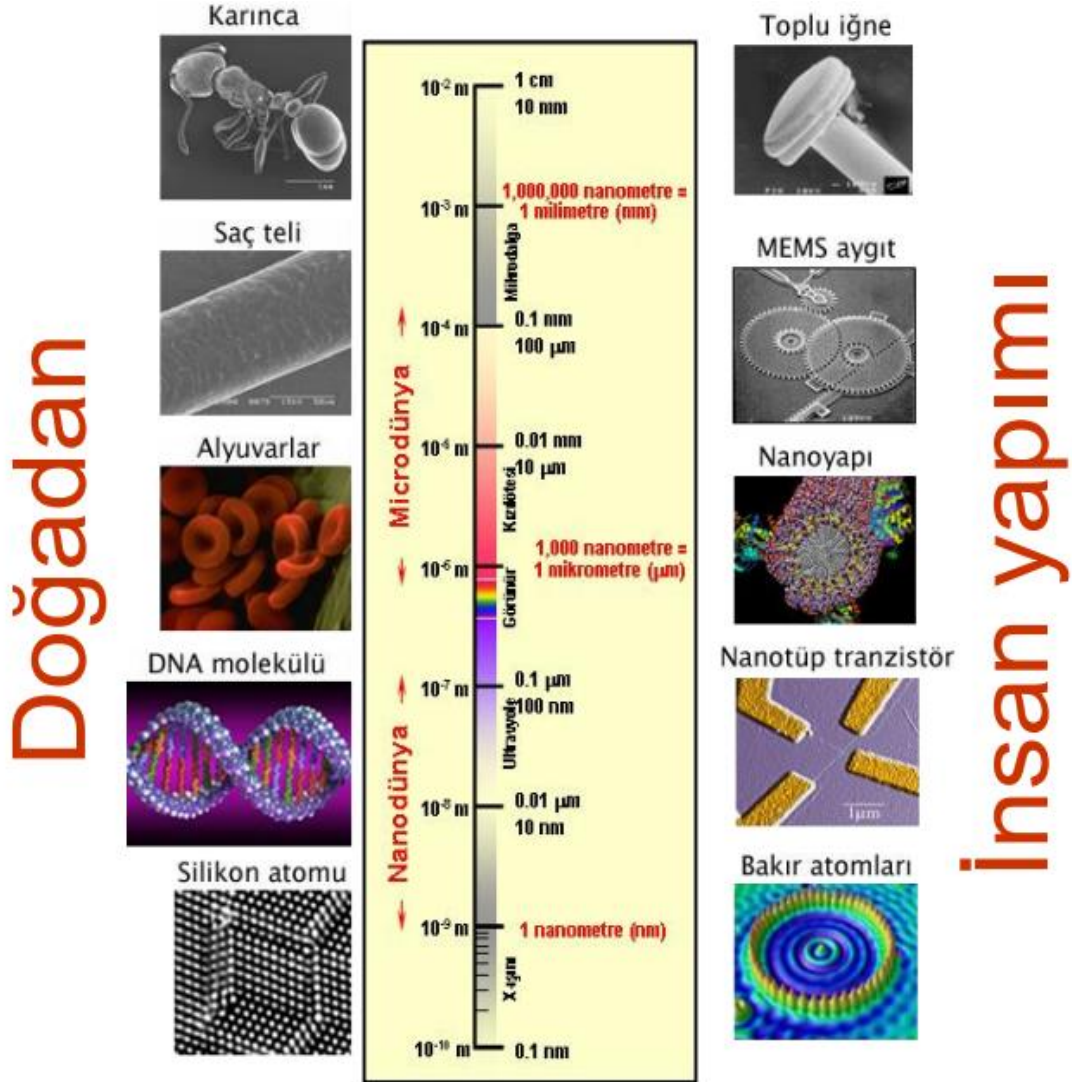
yaygın olarak kullanılan saf metal parçacıklarının aksine kimyasal stabilitesine dayanır. Fe_2O_3 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematit), $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (magnetit) ve $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ olmak üzere dört kristal yapıya sahiptir. Dört demir (III) oksit fazının tamamı, ısıtma veya basınç muamelesine tepki olarak çeşitli faz dönüşümlerine kolayca maruz kalmaktadır. 650 °C'lik bir sıcaklıkta, hematit yüksek bir enerji kaybıyla Fe_3O_4 'e dönüşür. Gamma Fe_2O_3 (magnetit), Fe (III) oksitin ferrimanyetik kübik formudur ve manyetit ters spinel yapısından farklıdır. Bununla birlikte uygulama alanı bulanlar $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ve $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ kristal yapılarıdır. Diğer kristal yapıları ($\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ve $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$) kararsız olduklarından uygulama alanı bulamazlar. Hematit olarak bilinen $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ rombohedral faz demir oksit olup, bir n-tipi yarı iletkenidir (Bant aralığı enerjisi ($E_g = 2,2$ eV) ve çevre koşullarında termodinamik olarak en kararlı demir oksit fazıdır. Hematit, gaz sensörü, manyetik kayıt ortamları, lityum-iyon pilleri, korozyon önleyici, su arıtma ve pigmentleri kapsayan birçok alanda kapsamlı uygulamalara sahiptir [43-46].

Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) son birkaç yıldır çeşitli gaz ve buharları algılama kabiliyeti nedeniyle dikkatleri üzerine çekmiştir. 2,2 eV bant aralığına sahip en önemli geçiş metali oksitlerinden biri olan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), ortam koşullarında düşük maliyet, kararlılık, ortam koşullarında stabilite gibi iyi fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı yoğun ilgi görmüştür. Bu özelliklerden dolayı, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nano-yapıları, optik cihazlar, kataliz, manyetik kayıt malzemeleri, fotokimyasal, pigmentler ve gaz sensörleri dahil birçok alanda geniş uygulama alanı bulmaktadır [47].

Demir (III) oksidin diğer ticari ve endüstriyel uygulamalarının bazıları şunları içerir:

- Birçok endüstriyel ve kimyasal işlemler için bir katalizör olarak,
- Verilerin manyetik depolanması için bilgisayar sabit disklerinde, ses kaseti kasetlerinde, video kasetlerinde ve bilgisayar disketlerinde,
- Pirinç, çelik, taşlar ve diğer sert nesnelere kullanılmak üzere bir zımpara ve cila olarak,
- Kumaşın boyanmasında mordant olarak,
- Mıknatısların ve manyetik malzemelerin üretiminde kullanılmaktadırlar [48].

1.5. Nanoteknoloji

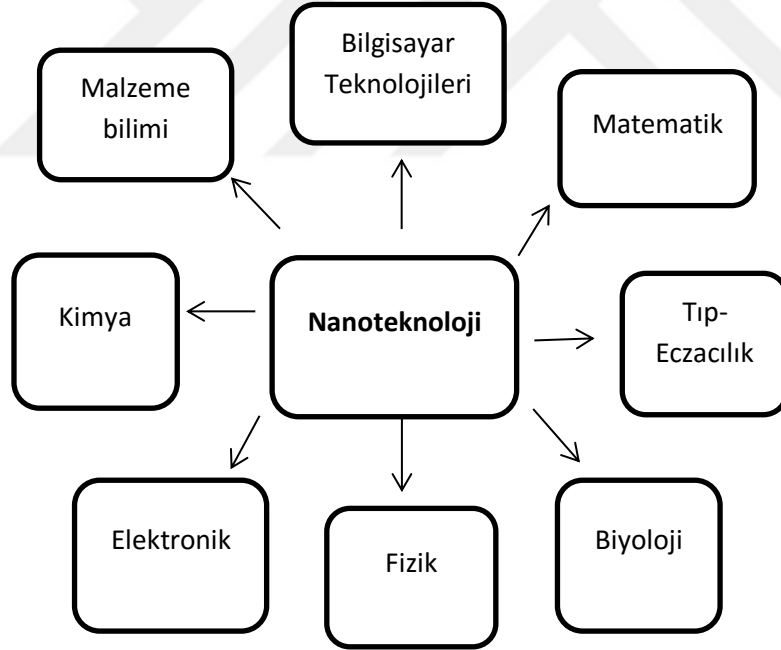


Şekil 1. 4. Örneklendirilmiş nano boyut skalası [49].

“Nano” sözcük olarak, bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelmektedir. Bir nanometreyse, metrenin bir milyarda birine eşit bir uzunluk birimidir [50]. "Nanoteknoloji" terimi, 100 nm'den daha az boyuta sahip olan malzemelerin kontrollü manipülasyonu olarak tanımlanabilir (Şekil 1.4). Bu teknoloji, kimya, fizik, malzeme bilimi, biyoloji, elektronik cihazlar, biyomedikal ürünler, yüksek performanslı malzemeler ve tüketici ürünleri üretimi için kolay süreçler geliştirmek için kullanılacak yeni malzeme özellikleri yaratmak için kullanılmaktadır. Boyutsallık maddenin özelliklerini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır. Bir malzemenin nanoyapısı, yeni özelliklerin

geliştirilmesinde ve nano düzeyde yapıyı kontrol etmede kilit faktördür. Nanoteknoloji, yarı iletkenler, inorganik ve organik malzemeler, enerji depolaması ve biyoteknoloji alanlarındaki teknolojik uygulamaların tamamen yeniden yapılandırılması için oldukça umut verici bir alandır [51]. Bu alan polimer bilim ve teknolojiyi içerirken aynı zamanda geniş bir yelpazedeki alanları kapsar. Bu alanlara örnek olarak, polimer bazlı biyomalzemeler, nanopartiküller, mini emülsiyon parçacıkları, polimer yakıt hücresi elektrodu, polimer filmler, nanofiberler, polimer karışımları ve nanokompozitler verilebilir [52].

Bir veya daha fazla malzemenin birleşimi sonucu oluşan ve çeşitli boyutlara sahip nano boyutlu malzemeler farklı kimyasal ve fiziksel özellikler gösterecektir. Bu malzemenin fiziksel özelliklerini belirlemek ve sentezini gerçekleştirmek disiplinler arası bir çalışmayı gerektirir. Bu nedenle nanoteknoloji birçok bilimin birlikte çalışmasını gerektiren disiplinler arası bir bilimdir (Şekil 1.5) [53].

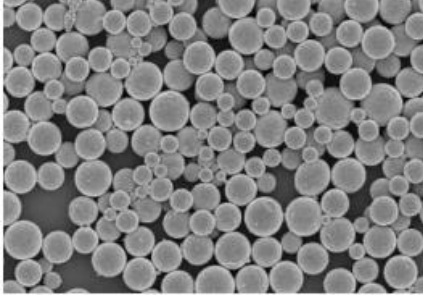


Şekil 1. 5. Nanoteknolojinin disiplinler arası bir bilim olduğunun şematik gösterimi.

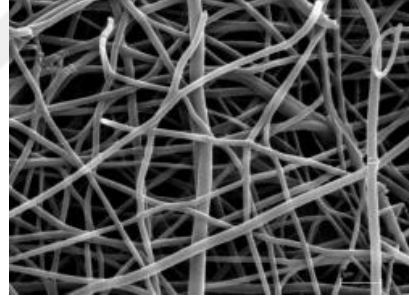
1.6. Nanokompozitler

Nano kompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların ilave edilmesiyle oluşan malzemelerdir. Bu malzemeler, sıradışı özellikli kombinasyonları ve benzersiz tasarım olanakları sergileyen ve 21. yüzyılın malzemeleri olarak düşünülen yüksek performanslı malzemelerdir. Nanokompozitler, saf polimerlerle karşılaştırıldığında önemli derecede geliştirilmiş mekanik, termal, optik ve fizikokimyasal özellikler sergilemektedirler. Benzer şekilde, nanokompozitlerde, geleneksel kompozit sistemlerine kıyasla elde edilen ısı kararlılık, yanmazlık, fiziksel, mekanik ve bariyer özellik gelişimleri çok daha iyi boyutlardadır (Şekil 1.6) [6].

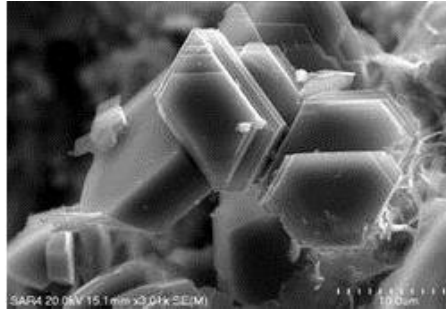
- Nanopartiküller (Üç nano ölçekli boyutlar)
- Nanofiberler (İki nano ölçekli boyutlar)
- Nanokiller (Bir nano ölçekli boyutlar) [54]



Nanopartiküller



Nanofiberler



Nanokiller

Şekil 1. 6. Nano takviye bileşenlerinin görünümü

Yüksek performanslı bir malzeme olan nanokompozitler farklı kombinasyonları ve benzersiz tasarım olanakları sunar. Parçacık boyutu belirli bir seviyeden düşük olduğunda, parçacık özelliklerinde değişikliklerin görülebileceği bildirilmiştir. Ayrıca, boyutlar nanometre seviyesine ulaştığında, faz arayüzlerinde etkileşimler büyük ölçüde geliştirilir ve bu malzeme özelliklerini geliştirmek için önemlidir. Bu bağlamda, nanokompozitlerin hazırlanmasında kullanılan takviye malzemelerinin yüzey alanı / hacim oranı, yapı-özellik ilişkilerinin anlaşılması için çok önemlidir. Nanokompozitlerin uygulamaları, havacılık, otomotiv, elektronik ve biyoteknoloji endüstrilerinin çeşitli sektörleri için yeni teknoloji ve iş fırsatları sunmaktadır. Nanokompozitler kullanıldığı uygulamalarına yakıt hücresi, güneş pilleri, yakıt deposu, plastik kaplar, elektrikli süpürgeler için fan ve bıçaklar, elektrikli alet gövdesi ve kapak, cep telefonları ve çağrı cihazları gibi örnekler verilebilir [55, 56].

Temelde nanokompozit maddelerin hazırlanması için temelde çözelti döküm, eriyik harmanlama ve yerinde polimerizasyon olmak üzere üç yöntem bulunmaktadır.

Çözelti dökümünde, bir polimer, bir çözücü ve nano takviye bir araya getirilir ve ultrasonikasyon ile iyice karıştırılır ve çözücü, tipik olarak ince bir film olarak nanokompozitin arkasında bırakılarak buharlaşmaya bırakılır. Seçilen çözücü, polimerin tamamen çözülmesi yanı sıra polimer zincirlerinin hareket kabiliyetine ve katmanlı nano takviyenin polimer zincirlerinin arasına girmesine yardımcı olur. Bu çalışmada nanokompozit üretimi çözelti döküm yöntemiyle elde edilmiştir [56].

Eriyik harmanlama durumunda, ekstrüder veya dahili bir karıştırıcı kullanılır. Polimer ve nano takviye ekstrüdere eklenir ve bir süre yoğun karıştırmaya tabi tutulur ve kalıptan nanokompozit elde edilir. Bu yöntemde, polimer akışkanlığı basitçe termal enerjiden gelir [56].

Polimerizasyon işleminde ise monomer ve nano takviye maddesi karıştırılarak monomerin silikat katmanları arasına girmesine izin verilir ve sonrasında monomer polimerize olur [56].

Sünek metal fazı veya başka bir seramiğin matrise dahil edilmesi yoluyla mühendislik uygulamaları için uygun seramikler matrisli nanokompozitler üretmek için çalışmalar yapılmıştır. Bu durum, malzeme boyunca faz sınırlarında farklı fazlar, matris ve takviye arasındaki ilişkinin bir sonucu olarak ortaya çıkan sertlik ve kırılma tokluğu gibi gelişmiş mekanik özelliklere yol açar. Takviye materyalinin yüzey alanı/hacim oranı, seramik matris nanokompozitlerdeki yapı-özellik ilişkisinin anlaşılmasında temel önem taşımaktadır. Sonuç olarak, yüksek mukavemetli nanofiberlerin seramik matrislere dahil

edilmesi, seramik materyallerin ani bozulmalarına ve başarısız özelliklerine kıyasla yüksek tokluğa ve üstün özelliklerine sahip gelişmiş nanokompozitlerin hazırlanmasına imkân vermiştir [57].

Polimer nanokompozitleri tipik olarak 1-100 Å'lık bir boyuta sahip olan nanoyapılı bir inorganik veya organik dolgu maddesinin ve bir polimerik sürekli matrisin birleşimiyle oluşturulmaktadır. Geleneksel kompozit malzemelere kıyasla muadillerinden orantılı olarak daha fazla yüzey atomuna sahip dolguların son derece yüksek yüzey alanlarında bulunması, dolayısıyla fazlar arası interaksiyonların yapılmasına ve polimerin olağan dışı özelliklere sahip olmasına olanak tanınmasıdır. Nano boyut, daha az miktarda dolgu maddesinin kullanımını ve eşsiz moleküler özelliklere sahip polimer matrisine daha etkili bir şekilde aktarılmasını desteklemektedir. Özellikle nano ölçekli aralıkta malzemeler, optik, katalitik ve diğer kimyasal özelliklerini etkileyen farklı opto-elektronik özelliklere sahip olabilir ve böylece sıcaklık sensörleri, doğrusal polarizatörler, optoelektronik ve kimyasal direnç cihazları gibi fonksiyonel malzemeler alanında uygulamaları önerilebilir [17].

Metal matris nanokompozitleri son yıllarda çok sayıda fonksiyonel ve yapısal uygulama için umut vaat eden özellikleriyle dünya çapında araştırılmaktadır. Nano partiküller ile takviye edilmiş metal matris kompozitler çok sayıda uygulama için uygundur. Bu kompozitler, farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip nano parçacıklarla dolu bir metal matristen oluşur. Nano partiküller aşınma direnci, sönümlenme özellikleri ve mekanik mukavemet açısından taban malzemesini geliştirebilmektedir. Takviye fazının nano ölçeğe indirgenmiş boyutu, parçacıkların etkileşimi için önem kazandıracak ve mekanik özelliklerde kayda değer bir iyileşme ile meydana getirmektedir. Karbürler, nitrürler, oksitlerin yanı sıra karbon nanotüpleri gibi nano-seramik partikülleri ile takviye edilmiş kompozitlerin üretimi için ağırlıklı olarak Al, Mg ve Cu gibi farklı metal türleri kullanılmaktadır [58].

Nanokompozitlerin ticari uygulamaları sayısı hızlı bir oranda artmaktadır. Önümüzdeki yıllarda aşağıdaki önemli alanları kapsayacakları düşünülmektedir [51].

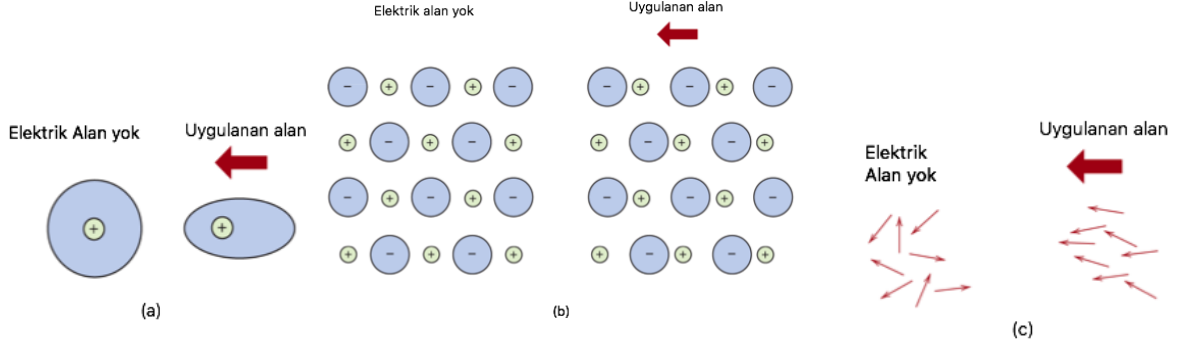
- İlaç dağıtım sistemleri
- Pas önleyici bariyer kaplamalar
- UV koruma jöleleri

- Yeni yangın geciktirici malzemeler
- Yağlayıcılar ve çizilmeye karşı boyalar

1.7. Polimerlerin Dielektrik Özellikleri

Polimerik malzemeler insan yaşamında ve endüstride önemli bir yere sahip olup değişik özellikler gösterirler. Bazı polimerlerin elektriksel özellikleri birçok uygulamada kullanılmasını sağlar. Bu tür polimerler, elektriksel yalıtkan, dielektrik kapasitörler veya mikrodalga cihazlarında kullanılmaktadırlar [59].

Dielektrikler olarak da adlandırılan yalıtkan malzemeler elektriği iletmeyen, yüksek elektrik direncine sahip malzemelerdir. Dielektrik malzemelerde tüm yükler belirli atom veya moleküllere bağlıdır ve hareketleri atom veya molekül içiyle sınırlıdır. Bu malzemeler elektrik alan içine konulduklarında elektrik alandan etkilenirler. Elektronlarının sıkı atomik bağlantıları nedeni ile akımı iletme yeteneği az olan dielektrik maddelerde elektrik alan etkisiyle, elektron ve atomlar buldukları konumları küçük miktarlarda değiştirirler. Bunun sonucunda elektrik yük merkezleri kayar ve elektriksel kutuplanma (polarizasyon) oluşur. Bu şekilde dielektrikte zıt yönlerde kutuplanan yükler dipol momentleri oluşturur. Oluşan kutuplaşma, dielektrik içindeki elektrik alanını zayıflatır. Elektrik alan etkisi ortadan kaldırıldığında yerdeğıştiren yükler eski yerlerine dönerler ve net dipol moment tekrar sıfır olur. Malzemede meydana gelen polarizasyon, elektronik, iyonik ve moleküler (yönsel) polarizasyon şeklinde değişik mekanizmalarla gerçekleşir ve toplam polarizasyon bu elektronik, iyonik ve moleküler polarizasyonun toplamına eşittir. Elektrik alan altında elektronların ve atomlardaki pozitif yüklü çekirdeğin zıt yönde yer değıştirmesi ve iki yük merkezinin birbirini çekmesi sonucu dengeye ulaşıldığında ortaya çıkan moment elektronik polarizasyon olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.7a). İyonik bağı malzemelerde görülen iyonik polarizasyon elektrik alana maruz kaldıklarında, iyonlar arasındaki bağlar elastik deformasyona uğrar ve malzeme içerisindeki yükler yeniden düzene girerek polarizasyon oluştururlar (Şekil 1.7b). Bazı dielektrik maddeler ise içlerinde kalıcı dipollere sahiptirler ve herhangi bir elektrik alan içine konulduklarında bu dipoller alan doğrultusunda yönlendirilir ve bu şekilde moleküler polarizasyon meydana gelir (Şekil 1.7c).



Şekil 1. 7. Polarizasyon türleri; a) Elektronik polarizasyon, b) iyonik polarizasyon, c) moleküler polarizasyon[8].

Dielektrik maddelerin elektriksel özellikleri genellikle dielektrik sabitleri cinsinden ifade edilir. Dielektrik sabiti, bir malzemenin üzerinde yük depolayabilme yeteneğini ölçmeye yarayan katsayıdır. ϵ ile gösterilen dielektrik sabiti boşluğun dielektrik sabiti (ϵ_0) ve malzemenin bağıl dielektrik sabiti (ϵ_r) adı verilen iki bileşenden oluşur. Boşluğun dielektrik sabiti, (ϵ_0) = 8.854×10^{-12} F/m, sabit bir değer olduğundan malzemelerin dielektrik özellikleri kullanım kolaylığı açısından yaygın olarak bağıl geçirgenlikleri (ϵ_r) ile ifade edilmektedir.

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad (1.1)$$

Tablo 1.1’de bazı maddelere ait dielektrik sabitleri gösterilmiştir.

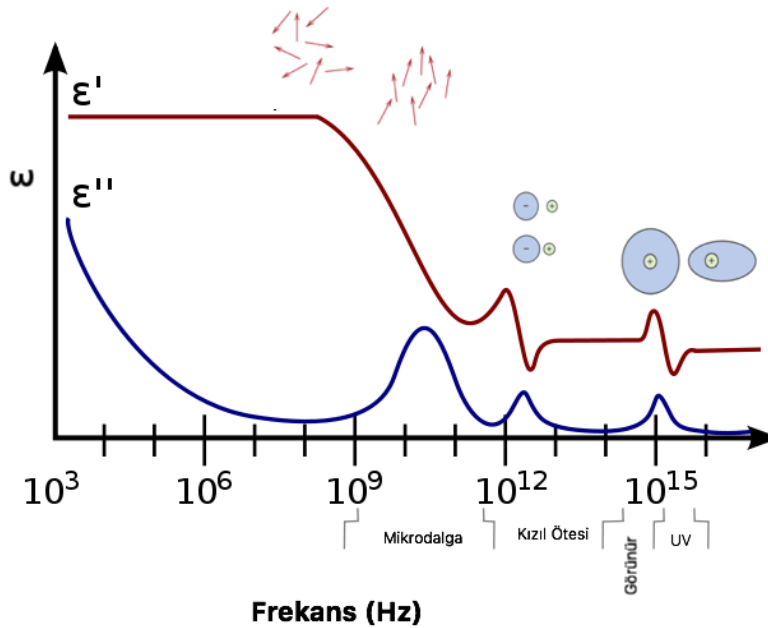
Tablo1. 1. Bazı malzemelerin dielektrik sabitleri

Malzeme	k
Polietilen	2.3
Polivinilklorür	2.8
Naylon	3.6
Porselen	5
Mika	7
Al ₂ O ₃	9.6
BaTiO ₃	1700
PbZrO ₃ + PbTiO ₃	3400

Tablo 1.1’de verilen bu değerler, elektrik alan şiddetinden bağımsızdır, ancak zamanla değişen elektrik alan etkisinde bu değer frekansa bağımlılık gösterir. Dielektrik malzemelerin polarizasyonu doğrusal elektrik alan veya alternatif elektrik alan altında gerçekleşebilir. Eğer malzemenin polarizasyonu alternatif elektrik alan altında gerçekleşiyor ise dielektrik sabiti (ϵ_r) genelde gerçel ve sanal kısımdan oluşan bir karmaşık sayı ile aşağıdaki denklem ile verilir.

$$\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1.2)$$

Burada ϵ' dielektrik sabitinin gerçel kısmını, ϵ'' ise sanal (imajinel) kısmını ifade etmektedir. Dielektrik sabitinin gerçel kısmı ϵ' dielektrik maddenin polarizasyon miktarının bir ölçüsü olup malzemede elektrik alandan dolayı ne kadar enerji depolandığını ifade eder. Çoğu katı ve sıvılar için $\epsilon' > 1$ dir. Dielektrik sabitinin sanal kısmı ϵ'' ise kayıp faktörü olarak adlandırılır ve elektromanyetik enerjinin ne kadarının soğrulup ve dağılım yolu ile ısı enerjisine çevrildiğini ifade etmektedir. ϵ'' her zaman 0’dan büyüktür ve ϵ' den daha küçüktür. Şekil 1.8’de alternatif elektrik alanı etkisinde dielektrik sabitinin frekansla değişimi gösterilmektedir. Burada dielektrik sabitinin gerçel ve sanal kısımlarının gösterdiği davranış, dielektrik kayıp faktörü ile ilişkilendirilebilir. Şekilden görüldüğü üzere, her bir polarizasyon mekanizmasının, kendi karakteristik rezonans frekansı aşıldığında, dielektrik sabiti üzerinde farklı etkileri söz konusudur [60].



Şekil 1. 8. Alternatif elektrik alanının etkisinde dielektrik sabitinin frekansla değişimi [61]

Malzemenin polarizasyon derecesi dielektrik özellikleri etkileyen en önemli parametredir. Dielektrik malzemelerin özellikleri yaygın olarak dielektrik sabiti (ϵ_r), dielektrik kayıp faktörü ($\tan\delta$) ve rezonans frekans sıcaklık katsayısı (τ_f) gibi terimlerle ifade edilmektedir. Bağlı geçirgenlik, iki elektrik yük arasındaki elektrostatik kuvveti azaltan bir miktar olup aynı zamanda zıt yükleri birbirinden ayırabilme gücünün bir ölçüsüdür. Malzemelerin dielektrik kayıp faktörü ($\tan\delta$) dielektrik sabitininin sanal kısmının (ϵ'') gerçel kısmına (ϵ') oranı ile ifade edilmektedir.

$$\tan\delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (1.3)$$

Dielektrik kayıp faktörü malzemede elektriksel iletkenlik, dielektrik durulma, dielektrik rezonans, gibi lineer olmayan fiziksel mekanizmalar yüzünden elektrik enerjisinde meydana gelen kayıpları ifade etmektedir. Bu kayıplar yüksek gerilimde veya yüksek frekansta önemli sayılabilecek bir ısı kaynak gibi davranmaktadır. Bu durum dielektrik malzemenin bu şartlarda daha fazla ısı zorlanmasına neden olmakta ve özelliklerinin değişmesine etki etmektedir. Bu nedenle dielektrik malzemeler seçilirken kayıp faktörünün mümkün olduğu kadar küçük olması istenir [62].

1.8. Dielektrik Nanokompozit Malzemeler

Dielektrik nanokompozitler, matris polimer ve nano dolgu maddeleri arasında geniş bir ara yüzey alanı üretmek ve böylece dielektrik özellikleri uygun hale getirmek için 1 ila 100 nm büyüklüğünde küçük miktarlarda inorganik partiküller ile takviyeli dielektrik polimerik malzemelerdir. Herhangi bir sızmayı önlemek için dolgu maddesinin çok düşük miktarlarda kullanılmaktadır. Amaç, örneğin malzemenin dielektrik kırılma mukavemetini veya dielektrik sabitini düşük kayıpla birlikte arttırmaktır. Bu yeni malzemelerin kapasitör uygulamalarında kullanılmasına büyük ilgi vardır [63].

Yüksek dielektrik ve elektriksel yalıtım özelliklerine sahip olan polimer nanokompozitler, dielektrikler ve elektriksel yalıtım uygulamaları için mükemmel fonksiyonel malzemeler olarak yavaş yavaş ortaya çıkmakta ve bu tür malzemelere “nanodielektrikler” adı verilmektedir. Polimerlere belirli bir dielektrik özelliği geliştirmek için dolgu maddelerinin eklenmesi teknolojisi son yıllarda gelişmektedir. Polimer nanokompozitlerin, geleneksel polimer materyallere göre daha yüksek fiziksel, termal ve

mekanik özellikler sergiledikleri ve düşük nano-dolgu maddesi konsantrasyonlarında da (% 1-10) olduğu bulunmuştur. Son zamanlarda bu tür polimer nanokompozitlerin dielektrik özelliklerinin incelendiği ve araştırma sonuçlarının, bu materyaller için önemli dielektrik özellikler sergilediği ortaya çıkmıştır [64].

Polimerler düşük dielektrik sabitli malzemelerdir. Yüksek dielektrik özellikli bir polimer kompoziti oluşturmak için yüksek bir dielektrik sabitli seramik malzemesinin eklenmesi gerekir. Yüksek dielektrik sabitli polimer kompozitlerin, transdüserler, piezo-sensörler, hidrofonlar vb. gibi eşitli elektronik uygulamalar için çok yararlı malzemeler olduğu bilinmektedir. [65].

1.9. Mikrodalgalar

Yaygın olarak uydu haberleşmesi, radar sinyalleri, telefon ve navigasyon uygulamalarında kullanılan, elektromanyetik spektrumun radyo dalgaları ile kızıl ötesi ışınlar arasındaki bölümünde yer alan mikrodalgalar ışık hızında hareket eder. Mikrodalgalar, dalga boyları bir milimetreden bir metreye kadar veya frekansları 0.3 GHz den 300 GHz kadar değişen elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalgalar elektronik devrelerde elektronların hızlandırılmasıyla elde edilen yüksek güce sahip mikrodalgalar vakum tüpleri ile üretilmektedir.

Mikrodalgaların maddelerle etkileşimi maddenin türüne bağlı olarak yansıtma, soğurma ve geçirgenlik olarak üç şekilde gerçekleşir. Eğer malzeme elektriksel olarak iletken ise (örneğin metal gibi) mikrodalgalar metalin yüzeyinden geri yansır ve metal ısınmaz. Eğer malzeme yüksek yalıtkan özellik gösteren bir malzeme ise mikrodalgalar malzeme içerisinden soğurulmadan geçer ve malzeme yine ısınmaz. Mikrodalgayı soğuran malzemeler (su, şeker, yağ gibi) ise çok ısınır. Mikrodalgaların soğurulması sonucunda oluşan ısınma dipol etkileşimler ve iyonik iletim olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Mikrodalganın elektrik alanına maruz kalan dipol momentli moleküller (su molekülü gibi), alanla aynı hizaya gelmek için dönme hareketi yaparlar. Bu dönme hareketine bağlı olarak ortaya çıkan sürtünme kuvveti sonucunda da moleküller enerji kazanır ve ısınır. Ev tipi mikrodalga fırınlar su moleküllerinin çok iyi bir soğurucu olduğu 2,45 GHz'lik frekansta çalışır. Bu frekansta çalışan bir fırının içine koyulan ve mikrodalgayı soğuran bir maddenin molekülleri, saniyede 2,5-3 milyar kez titreşerek kinetik enerji kazanır, böylece madde

ısıtır ve pişer.

Laboratuvarlardaki özel gereksinimleri karşılamak amacıyla ev tipi mikrodalga fırınlardan farklı olarak, özel kimyasal tepkimelerin gerçekleşebileceği mikrodalga sistemleri geliştirilmiştir. Mikrodalgaların soğurulması sonucunda oluşan ısınmanın bir başka türü olan iyonik iletim mekanizmasında ise, herhangi bir dipol momente sahip olmayan çözelti içindeki yüklü iyonlar mikrodalganın elektrik alanından kaynaklanan polarite (zıt iki kutba sahip olma) değişimine bağlı olarak hareket eder ve çarpışır. Bu çarpışma sonucu ortaya çıkan kinetik enerji, ısı enerjisine dönüşür [66].

Mikrodalgalar, dalga boylarına ve frekans bantlarına göre kendi içlerinde kategorize edilirler ve L, S, C, X, Ku, K, Ka, Q, U, V, E, W, F ve D gibi harfleri ile gösterilirler (Tablo 1.2). Örneğin L bandı, 1 GHz ile 2 GHz arasında değişen frekans aralığına sahiptir. Boş uzayda kendi dalga boyu aralığı 30 cm- 15cm arasındadır. Bu bant seviyesinde genellikle askeri uygulamalar, GSM cep telefonları gibi araçlar kullanılır. X-bandı, 8 GHz ile 12 GHz arasında 25 mm-37.5 mm dalga boyu aralığına sahiptir. X-bandındaki dalgalar, uydu haberleşmesi, geniş bant iletişimi, radarlar, uzay iletişimi sinyallerinde kullanılır[66]. Bu çalışmada W-bandı aralığında PMMA, ZnO/PMMA, α -Fe₂O₃/PMMA ve ZnO/ α -Fe₂O₃/PMMA nanokompozitleri için deneysel ölçümler gerçekleştirilerek, bu kompozitlerin dielektrik katsayıları (ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$) elde edilmiştir. W bandı 70-110 GHz frekans aralığına sahip ve genellikle otomotiv radar sinyalleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Tablo1. 2. Frekans ve dalga boyu aralığına göre mikrodalgaların sınıflandırılması

Band adı	Frekans aralığı	Dalga boyu aralığı
L bandı	1 - 2 GHz	15 cm - 30 cm
S bandı	2 - 4 GHz	7.5 cm - 15 cm
C bandı	4 - 8 GHz	3.75 cm - 7.5 cm
X bandı	8 - 12 GHz	25 mm - 37.5 mm
Ku bandı	12 - 18 GHz	16.7 mm - 25 mm
K bandı	18 - 26.5 GHz	11.3 mm - 16.7 mm
Ka bandı	26.5 - 40 GHz	5 mm - 11.3 mm
Q bandı	30 - 50 GHz	6 mm - 9 mm
U bandı	40 - 60 GHz	5 mm - 7.5 mm
V bandı	50 - 75 GHz	4 mm - 6 mm
E bandı	60 - 90 GHz	3.3 mm - 5 mm
W bandı	75 - 110 GHz	2.7 mm - 4 mm
F bandı	90 - 140 GHz	2.1 mm - 3.3 mm
D bandı	110 - 170 GHz	1.8 mm - 2.7 mm

1.10. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada ZnO/PMMA, Fe₂O₃/PMMA ve ZnO/Fe₂O₃/PMMA nanokompozit maddeleri sentezlenip, optiksel ve dielektrik özellikleri incelenmiştir. Benzer çalışmalar literatürde mevcut olup, bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Arora, A. K. ve arkadaşları [67] α -Fe₂O₃ (hematit) nanopartiküllerin sentezi, karakterizasyonu ve manyetik çalışmalarını incelemiştir. Rhombohedral yapılu α -Fe₂O₃ nanopartiküller, çöktürücü madde olarak amonyak kullanılarak sulu çöktürme yöntemiyle başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. TEM çalışmasından, parçacıkların ortalama büyüklüğü 15-49 nm arasında olmaktadır. Manyetik ölçümler Fe₂O₃'ün beş adet eşlenmemiş elektrona sahip olduğunu göstermektedir. VSM çalışmaları sentezlenmiş oksitlerin ferromanyetik davranışlarını göstermiştir.

Liu, P. ve arkadaşlarının [68] yaptıkları çalışmada yerinde polimerizasyon yöntemi ile PMMA/ZnO nanokompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonunu incelemiştir. PMMA/ZnO nanokompozitler, monomer metil metakrilat ve oleik asitle modifiye edilmiş ZnO nanopartiküller çözeltisinin radikal kopolimerizasyonu ile başarıyla hazırlanmıştır. Oleik asitle modifiye edilmiş ZnO nanopartiküller organik solventlerde

daha iyi dağılır ve metil metakrilat ile kopolimerize edilebilir. Ürünler, element analizi (EA), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve termogravimetrik analiz (TGA) ile karakterize edilmiştir. Ultraviyole değişkenli (UV-Vis) analizler, kompozitlerin ultraviyole bölgesinde yüksek absorpsiyona ve görünür bölgede düşük absorpsiyona sahip olduklarını göstermiştir. Ultraviyole bölgedeki emilim, nanokompozitlerde ZnO nanopartiküllerin içeriğine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Zararlı UV radyasyonunun geniş bant absorpsiyonu ve nötr görülebilir ışığın yüksek geçirgenliği, PMMA/ZnO nanokompozitleri çok etkili UV filtreleri, UV reflektörleri veya UV koruyucuları için plastikler, tekstil, boya, kozmetik ve ambalajlamada UV koruyucular olarak uygun olmaktadır.

Bansod A. R. ve arkadaşları [69] çözelti döküm yöntemiyle Fe₂O₃ katkılı PMMA filmler üretmiş, ultrasonik ve dielektrik özelliklerini incelemiştir. Ultrasonik ve dielektrik karakterizasyonu, sırasıyla ultrasonik darbe eko yöntemi ve LCR ölçer kullanılarak yapılmıştır. PMMA/Fe₂O₃ filmlerinin dielektrik davranışı 100 Hz - 25 KHz aralığında düşük frekanslarda çalışılmıştır. 7: 3 oranlara sahip PMMA/Fe₂O₃ filmin optimum iletkenliğe ve optik özelliklere sahip olduğu bulunmuştur. Fe₂O₃ ilavesi, PMMA matrisini termal olarak stabilize ettiği gözlemlenmiştir.

Demir M. M. ve arkadaşları [70] çinko oksit nanopartikül ile modifiye edilmiş PMMA kompozitlerin optik özelliklerini incelemiştir. İlk olarak ortalama 22 nm boyutlara sahip ZnO nanopartiküller yerinde yığın polimerizasyon yöntemiyle PMMA içerisine dahil edilmiştir. Filmlere ilave edilen parçacıkların ağırlıkça miktarı % 0.5 ile % 30 arasında değişmiştir. Kompozitlerin kırılma indeksi, ZnO'nun hacim fraksiyonuna doğrusal olarak bağlıdır ve 633 nm'de 1.487 ile 1.507 arasında değişmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda parçacıkların hacim oranı arttıkça kayıp katsayısının attığı gözlemlenmiştir.

Li S. ve arkadaşları [71] demir oksit/PMMA nanokompozitlerinin manyetik özelliklerini incelemiştir. Demir oksit /PMMA nanokompozitler, kimyasal bir yöntemle üretilmiştir. Demir oksit nano tanecikleri polimer matris içerisine homojen dağılması sağlanmıştır. Elde edilen dökme homojen ve şeffaf PMMA/demir oksit nanokompozitlerin manyetik özellikleri incelenmiştir. Polimer matris olarak küçük boyutlu demir oksit nanoparçacıkların dağılımı ve PMMA malzemenin seçimi saydamlık ve homojenliğin ana nedenleridir. Yapılan araştırmalar sonucu saydam PMMA / demir oksit nanokompozitleri, potansiyel olarak önemli manyeto-optik ve ekranlama uygulamalarına sahip olup, dökme

numuneler için bile çok yüksek saydamlığa sahip hafif, paslandırılmaz polimerik malzemenin avantajları saptanmıştır.

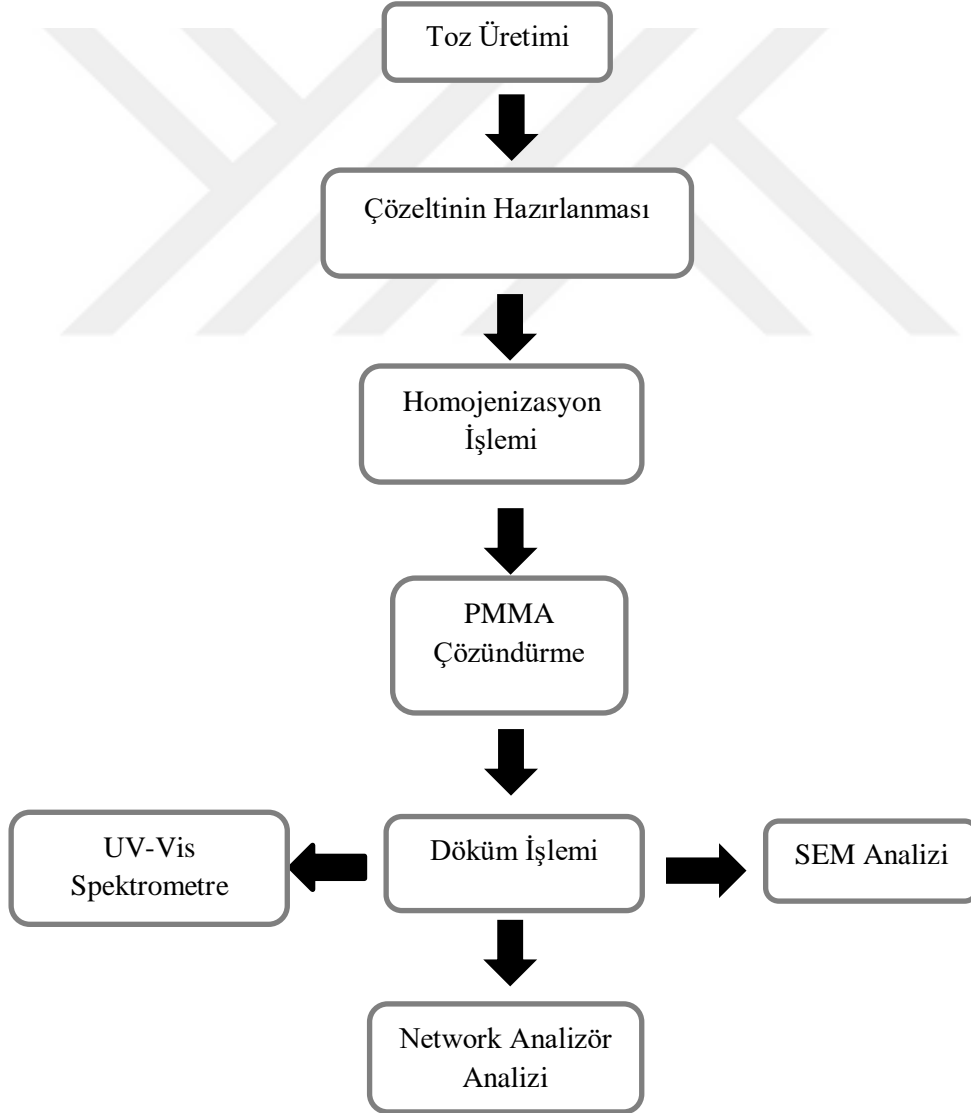
Soumya,S. ve arkadaşları [72] ZnO/PMMA polimer nanokompozit filmlerin NIR yansıma özelliklerini incelemiştir. PMMA polimerinin UV/NIR koruyucu özelliği, ortalama fiziksel boyut ve yüzey özelliklerine göre değişen çeşitli ZnO morfolojileri ile bağdaştırılmıştır. Morfolojik olarak çeşitlendirilmiş 150-400 nm aralığında ortalama partikül büyüklüğüne sahip nano ZnO üretilmiştir. Nano ZnO'nun ağırlıkça % 0.1'i, PMMA matriksinde dağınık hale getirilmiş ve çözelti-döküm tekniği ile 0.04 mm kalınlığında PMMA/ZnO nanokompozit filmleri üretilmiştir. Herhangi bir ZnO içermeyen PMMA tabakası sadece % 2 NIR yansıtıcılığına sahipken, %0.1 ZnO ilaveli nanokompozitin NIR yansıtıcılığının % 55'e yükseldiği gözlemlenmiştir. ZnO'nun yüksek parçacık boyutu, optik geçirgenliği kuvvetli bir şekilde etkilediği görülmüştür. Bu çalışma, ZnO partikül büyüklüğüne ek olarak, morfolojinin de yüksek NIR yansıma özelliği elde etmek için önemli bir rol oynadığını doğrulamaktadır.

Ishaq, M. ve arkadaşlarının [73] yaptıkları çalışmada demir(III) oksit/polivinil/klorür /polimetilmetakrilat nanokompozitlerin sentezini ve karakterizasyonunu incelemiştir. Demir(III) oksit nanopartikül polivinil klorür/polimetilmetakrilat nanokompozitler ve polivinil klorür/polimetilmetakrilat karışım çözelti döküm yöntemi ile hazırlanmıştır. Demir(III) oksit nanopartikülleri sol-jel prosedürü kullanılarak hazırlanmış ve 200 nm'den daha küçük parçacık büyüklüğü elde edilmiştir. Polivinil klorür/polimetilmetakrilat mekanik özellikleri %5'e kadar demir (III) oksit nanopartiküllerinin katılmasıyla geliştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu aynı zamanda demir (III) oksit nanoparçacıkların polimer harmanı içinde iyi dağıldığını da göstermiştir. Yapılan incelemeler sonucu demir (III) oksit nanoparçacıklı dolgu nanokompozitlerin Young modülü, polivinil klorür/polimetilmetakrilat) harmanından (1955.5 MPa) daha yüksek olduğu (1987.7-2241.6 MPa) görülmüştür. Demir (III) oksit nano partikül kompozitlerinin gerilme dayanımının (47.9-51.8 MPa), saf polivinil klorür / poli (metil metakrilat) (47.0 MPa) 'dan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca yapıdaki demir (III) oksit nanopartiküllerinin elektrokimyasal özelliklerini de arttığı gözlemlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada çözelti döküm yöntemiyle polimetilmetakrilat (PMMA) içerisine α -Fe₂O₃ (hematit), ZnO (çinko oksit), hibrit (α -Fe₂O₃/ZnO) nano tozların kütlece %0.01, %0.05, %0.1, %0.3, %0.5 ve %1 oranlarında ilavesiyle hazırlanan nanokompozitlerin optiksel, yapısal, morfolojik ve dielektrik özellikleri araştırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan α -Fe₂O₃ tozları kimyasal çöktürme yöntemiyle, hibrit tozlar bilyalı öğütücüde öğütme işlemiyle üretilmiş olup çinko oksit ticari olarak temin edilmiştir. Deneysel çalışmadaki iş akış şeması Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2. 1. Deneysel çalışmalardaki iş akış şeması

2.1. Kullanılan Takviye Malzemeleri

2.1.1. α -Fe₂O₃ (Hematit) Nanotoz

Çalışmada kullanılan α -Fe₂O₃ tozu FeCl₃.6H₂O (m=270gr) tuzunun NH₃ ile indirgenmesi sonucu kimyasal çöktürme yöntemiyle elde edilmiştir. Fe₂O₃ nanoparçacık üretiminde kullanılan kimyasallar ve miktarları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. α -Fe₂O₃ nanotozunun eldesinde kullanılan malzemeler ve miktarları

Kullanılan Malzemeler	Malzeme Miktarı
FeCl ₃ . 6H ₂ O	0,2 M (54,066 gr)
NH ₃ (Amonyak)	145 ml
Saf Su	1 lt

α -Fe₂O₃ nanoparçacık üretiminde ilk olarak 1 lt saf suya 54,066 gr FeCl₃ .6H₂O tuzu ilave edilmiş ve manyetik karıştırıcıda tamamen çözünene kadar karıştırılmıştır.

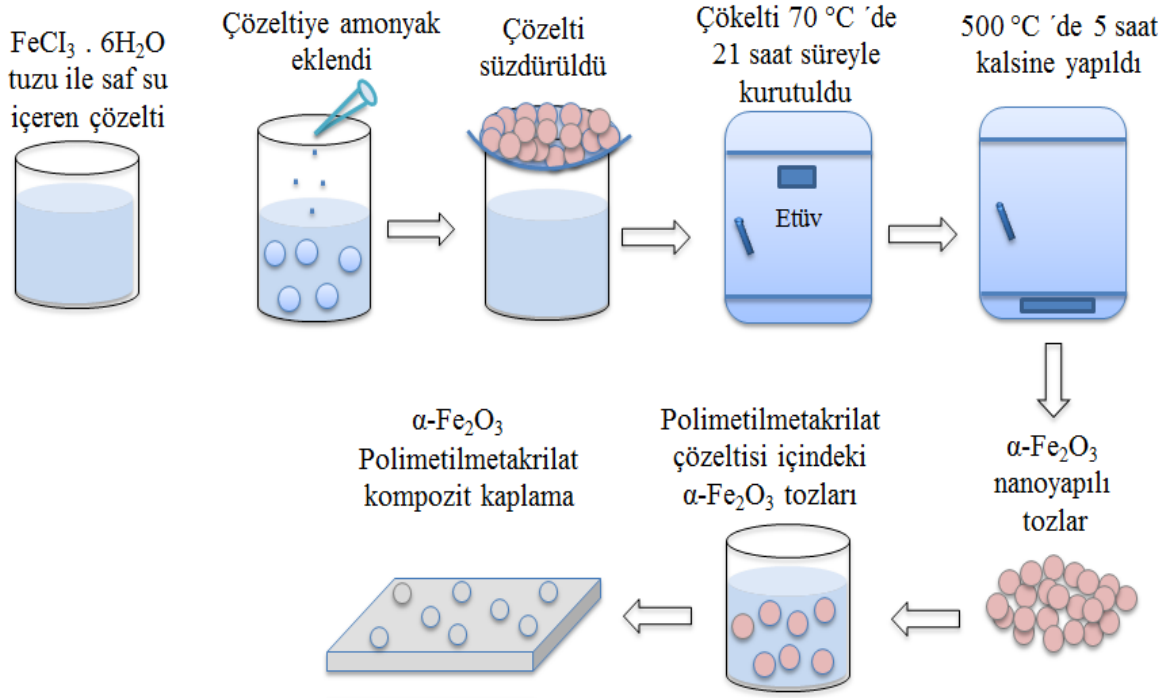
Çözeltinin pH değeri 10 oluncaya kadar (yaklaşık 145 ml) NH₃ eklenmiştir. Çözeltiye NH₃ eklenmesi ile çözelti berrak kahve renkten tortumsu koyu kahverengi yapılı hale dönüşmüştür.

Çözelti bu haliyle 15 dakika karıştırılmış ve karıştırma işlemi sonlandırıldıktan sonra α -Fe₂O₃ parçacıkları çökelti oluşturacak şekilde çökmüştür.

Üç kere saf su ile yıkanıp süzülen α -Fe₂O₃ çökeltisi etanol ile yıkanarak tekrar süzülmüştür.

Sonrasında elde edilen çökelti 70 °C ’de 21 saat süreyle etüv fırınında (Nüve (dry heat) sterilizer FN120) kurutulmuştur daha sonrasında 500 °C ’de 5 saat fırında (Protherm) kalsine yapılmıştır.

Kimyasal yöntemle üretilen α -Fe₂O₃ nanoparçacık üretiminin şematik görünümü Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. α -Fe₂O₃ nanoparçacık üretiminin şematik görünümü

Kalsine işlemi sonrasında toplanan α -Fe₂O₃ tozlarının boyutlarını nano değerlere indirmek için 1 saat bilyalı öğütme (Retsch PM 100) işlemi yapılmıştır. SEM incelemeleri sonucu α -Fe₂O₃ tozlarının boyutu 54 nm olarak ölçülmüştür.

Bu şekilde elde edilen α -Fe₂O₃ toz miktarı 14,5 gr olarak ölçülmüştür.

2.1.2. Çinko Oksit Nanotoz

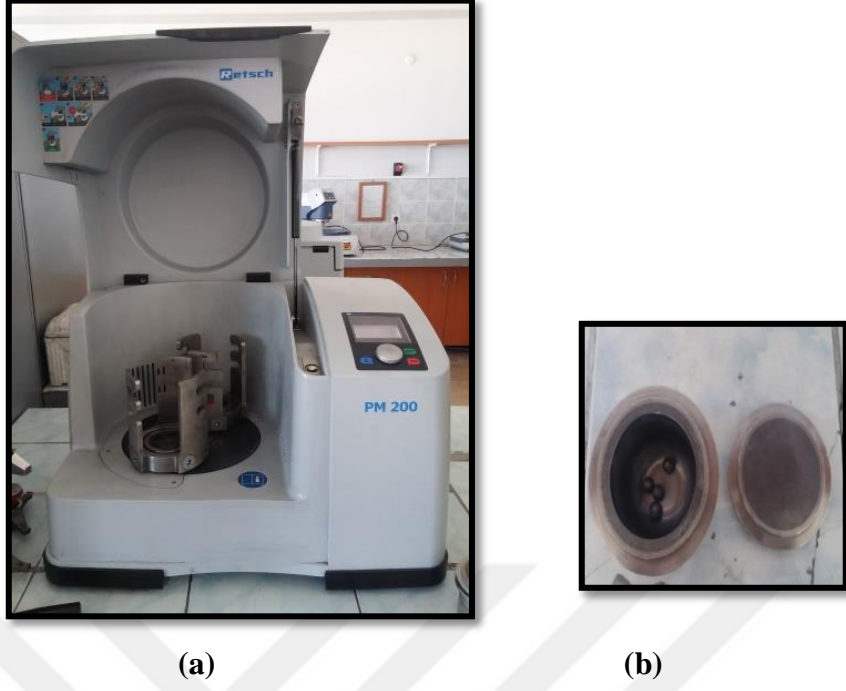
Bu tez çalışmasında kullanılan çinko oksit tozu Ege Kimya'dan temin edilmiş olup özellikleri Tablo 2.2 de gösterilmiştir.

Tablo 2. 2. Çinko Oksit Genel Özellikleri

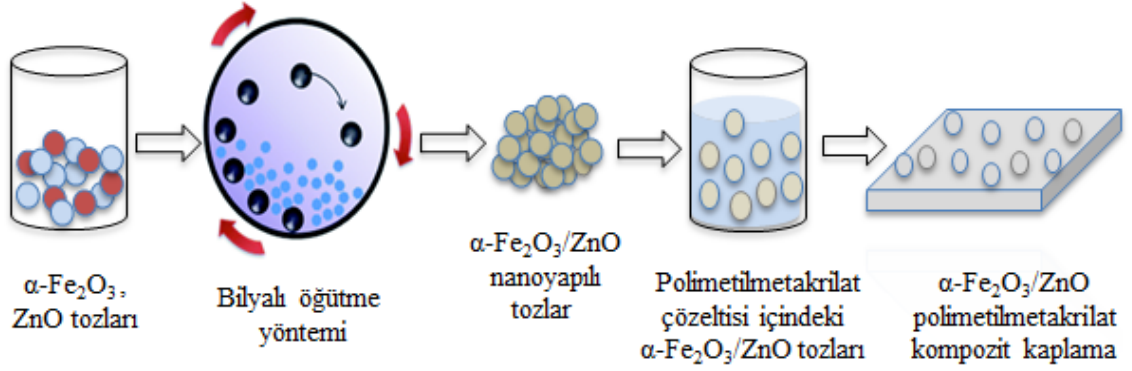
Kimyasal Formül	ZnO
Mol Kütlesi	81.38 g/mol
Görünüm	Beyaz katı
Boyut	200 nm
Yoğunluk	5.606 g/cm ³
Erime Noktası	1975 °C
Kaynama Noktası	1975 °C
Sudaki Çözünürlük	0.0004%(17.8°C)
Bant Aralığı	3.3 eV
Manyetik Duyarlılık	-46.0·10 ⁻⁶ cm ³ /mol
Kırılma İndisi	2.0041

2.1.3. Hibrit Nanotoz

Hibrit toz üretiminde 1,5 gr α -Fe₂O₃ oksit tozu ile 1,5 gr ZnO tozu karıştırılmış, ardından 1 saat bilyalı öğütme işlemi yapılarak hibrit nanotoz elde edilmiştir. Öğütme işlemleri gezegen tip bilyeli öğütücüde (Retsch PM 100) 300 dev/dak öğütme hızında gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemi tungsten karbür hazne ve bilyeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan öğütücü kap hacmi 125 ml ve bilye boyutu 10 mm' dir. Kullanılan ekipman Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Hibrit nanoparçacık üretiminin şematik görünümü Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



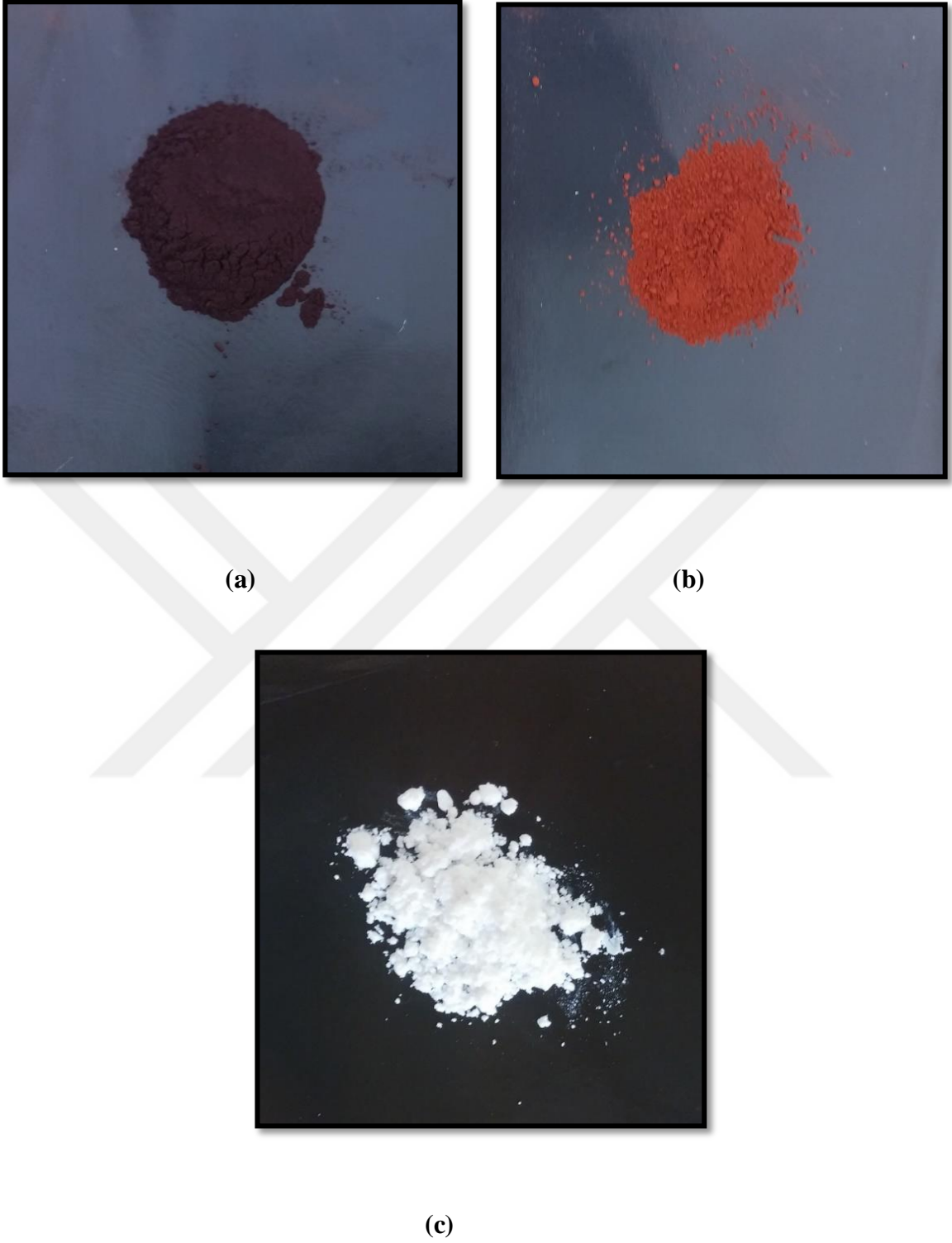
Şekil 2. 3. Mekanik alaşımlama ve öğütme işleminde kullanılan ekipmanlar; (a)bilyalı öğütücü, (b) hazne ve bilyeler



Şekil 2. 4. Hibrit nanoparçacık üretiminin şematik görünümü

Bilyalı öğütme işlemi sırasında hazne duvarlarında ve bilya üzerinde meydana gelen yapışmalar sebebiyle oluşan kayıplardan dolayı 2,8 gr hibrit toz elde edilmiştir.

Elde edilen $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, ZnO ve hibrit tozların fotoğrafı Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 5. Çalışmada kullanılan takviye malzemeleri ; (a) hibrit toz , (b) hematit toz, (c) çinko oksit toz

2.2. Kullanılan Matris Malzemesi

Matris malzemesi olarak granül haldeki polimetilmetakrilat (PMMA) kullanılmıştır. Polimetil metakrilat (PMMA), polimerik nanokompozitlerin hazırlanması için uygun bir seçimdir. Yüksek dayanım, seramik ile uyumluluk, boyutsal stabilite ve optik berraklık gibi üstün özelliklere sahiptir. Optik özellikleri nedeniyle optik lensler ve cam malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan polimetilmetakrilat Işık Plastik firmasından temin edilmiştir ve genel özellikleri Şekil 2.6'de gösterilmektedir.



Kimyasal Formül	$(C_5O_2H_8)_n$
Molar Kütlesi	değişken
Yoğunluk	1.18 g/cm ³
Erime Noktası	160 °C (320 °F; 433 K)
Manyetik duyarlılık	-9.06×10^{-6} (SI, 22°C)
Kırılma İndisi	1.4905 at 589.3 nm
Dielektrik Sabiti	1,42

Şekil 2. 6. Polimetiletakrilat ve genel özellikleri

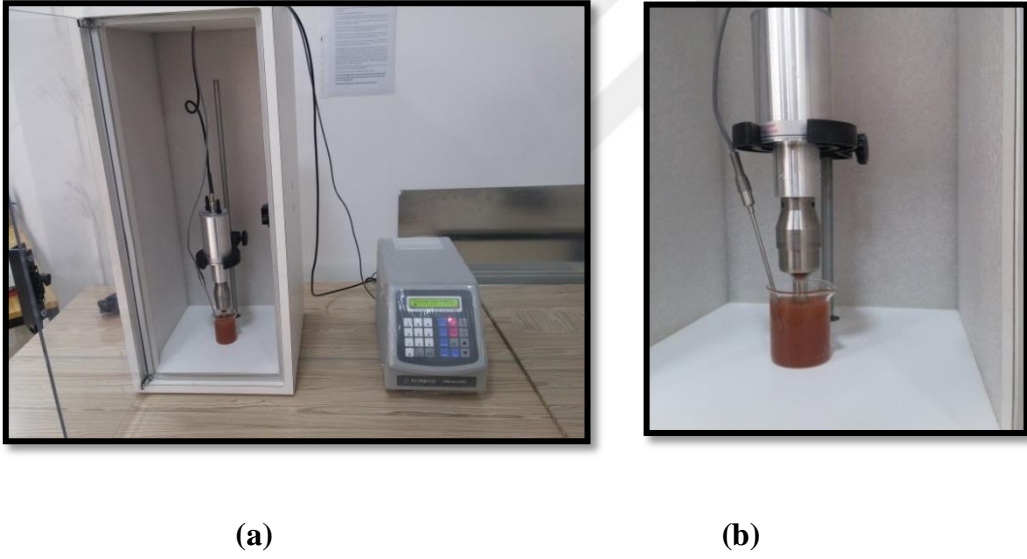
2.3. PMMA-Nanoparçacık Kompozitlerinin Hazırlanması

Çalışmada üretilecek ince film kompozitler için değişken katkı miktarları haricinde üretim prosesinde aynı işlemler uygulanmıştır. %0.01 α -Fe₂O₃ katkılı ince film kompozit numunenin üretim aşamaları aşağıda gösterilmiştir. Üretim aşamaları tüm numunelerde aynı olup yalnızca takviye malzeme miktarı (% 0.01, 0.05 , 0.1 , 0.3 , 0.5 , 1) değişmektedir. %0.01 takviyeli α -Fe₂O₃/PMMA nanokompozit üretiminde kullanılan malzemeler ve miktarları Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 3. %0.01 takviyeli α -Fe₂O₃/PMMA nanokompozit üretiminde kullanılan malzemeler ve miktarları

Kullanılan Malzemeler	Malzeme Miktarı
α -Fe ₂ O ₃	0,002 gr
PMMA	20 gr
Aseton	100 ml

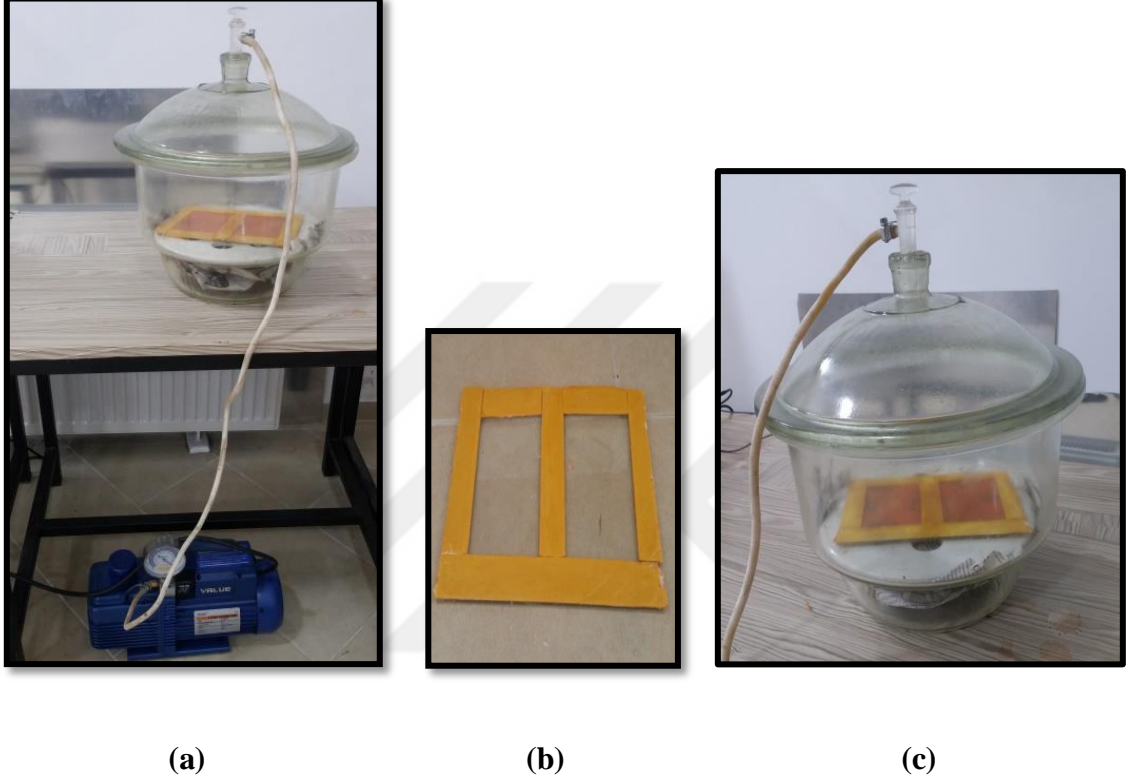
α -Fe₂O₃ nanoparçacık takviyeli PMMA nanokompozit numunesinin üretiminde önce 100 ml asetona 0,002 gr α -Fe₂O₃ ilave edilmiş ve karışım ultrasonik hemojenizatörde (SONICS VSX750) 1 saat karıştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan hemojenizatör Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2. 7. Ultrasonik hemojenizatör sistemi; (a) karıştırma ünitesi ve güç kaynağı , (b) prob ve sıcaklık ölçer

Daha sonra çözeltiye 20 gr PMMA eklenmiş ve 55 °C ' de manyetik karıştırıcıda PMMA tamamen çözünene kadar karıştırılmıştır. PMMA çözündükten sonra oluşan kabarcıkların yok edilmesi için karışım oda sıcaklığına soğuyana kadar bir süre daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Homojen karışım elde edildikten sonra karışım daha önce hazırlanan cam kalıba (Şekil 2.8.b) dökülmüştür. Döküm işlemi yapılan kalıp 1 bar'lık vakum ortamında desikatörde 24 saat bekletilmiştir (Şekil 2.8). Bu şekilde PMMA'nın kürleşmesi sağlanırken, kürleşme sırasında film içinde hava kabarcığının

oluşması önlenmiştir. Vakuma alma işlemi vakum pompası (Value V-i 260SV) ile 5 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Desikatörde kuruyan numune kalıptan çıkarıldıktan sonra kalınlıkları yaklaşık olarak 0,3 mm ölçülmüştür.



Şekil 2.8. Döküm işleminde kullanılan ekipmanlar; (a) desikatör ve vakum pompası, (b) kalıp (cam ve bantlardan oluşturulmuştur.), (c) desikatör ve numunenin yakından görünümü

ZnO/PMMA, α -Fe₂O₃/PMMA ve hibrit/PMMA nanokompozitler yukarıda anlatılan yöntemle aynı oranlar kullanılarak benzer şekilde üretilmişlerdir.

2.4. Üretilen Toz ve Nanokompozitlerin Karakterizasyonu

Tez çalışmasında kullanılan nano tozların, ve film haline getirilen kompozit malzemelerin morfolojik karakterizasyonları Şekil 2.9'de verilen Zeiss EVO LS10 marka taramalı elektron mikroskopunda (SEM) ve Tescam cihazlarında yapılmıştır. SEM'de

yapılan incelemede üretilen nano tozların yüzey görüntüleri ve EDX analizleri incelenmiştir.



Şekil 2. 9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Üretilen tozların ve kompozitlerin yapısal testleri XRD Analiz cihazı (Panalytical) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.10).



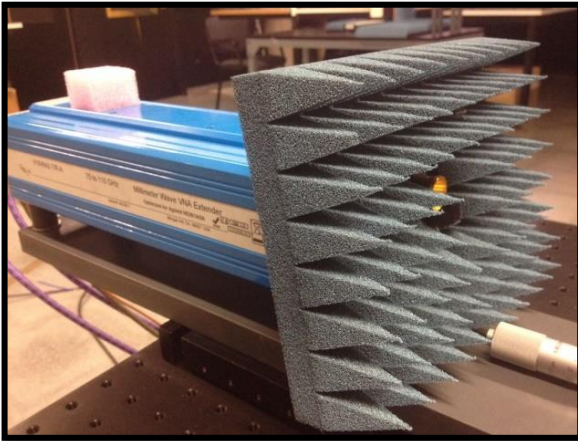
Şekil 2.10. XRD analiz cihazı

Üretilen kompozit filmlerin optiksel özellikleri Perkin Elmer Lambda 25 UV-Vis Spektrofotometre cihazı kullanılarak incelenmiştir (Şekil 2.11).

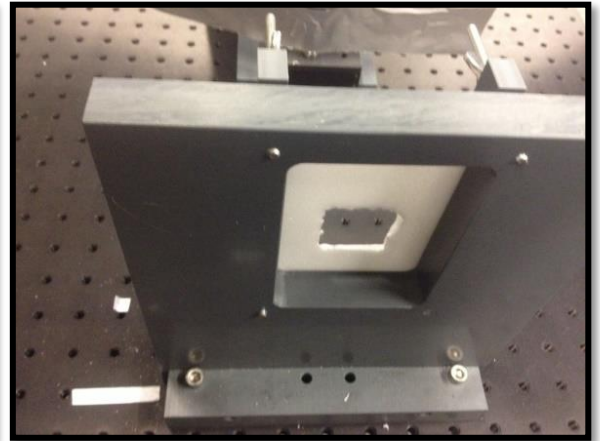


Şekil 2. 11. UV / Vis spektrofotometre cihazı

Nanokompozitlerin dielektrik ölçümleri İspanya'da Katolonya Politeknik Üniversitesi (Universitat Polytechnique de Catalunya), telekomünikasyon ve sinyal işleme bölümünde (Department of Telecommunication and Signal Processing) Aligent marka VNA (Vector Network Analysis) cihazı kullanılarak 70-110 GHz aralığında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.12).



(a)



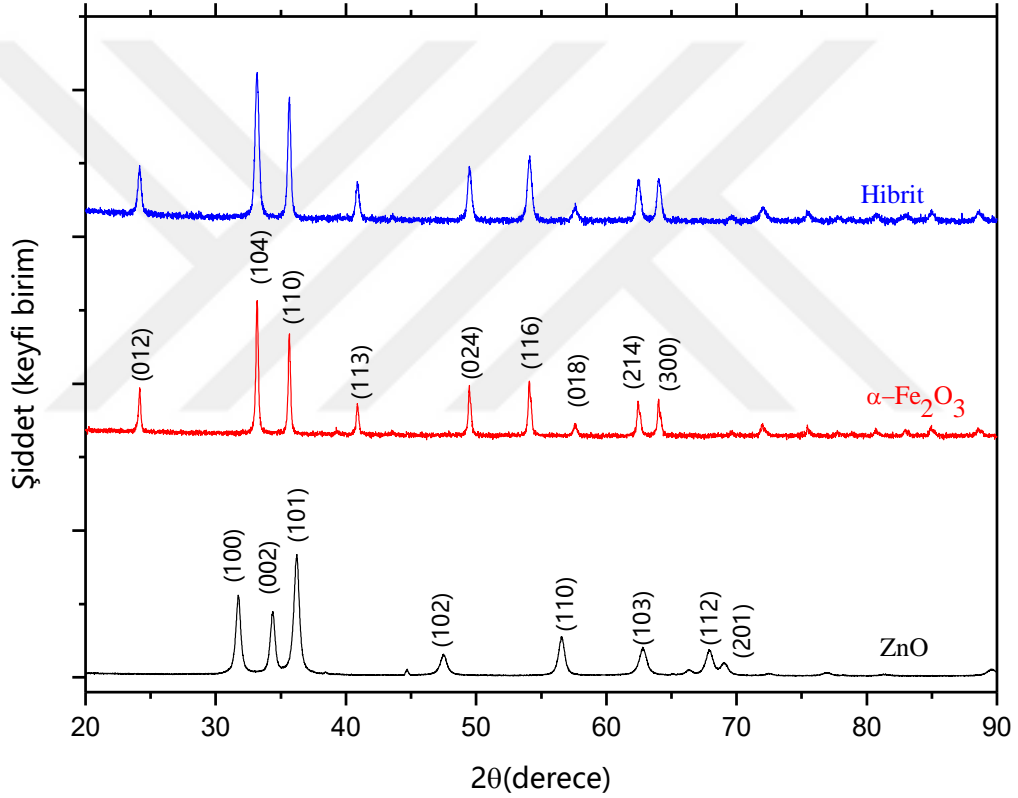
(b)

Şekil 2. 12. Dielektrik ölçüm ekipmanları : a) Vektör network analiz cihazı, b) Numune tutucu

3. BULGULAR

3.1. Üretilen Tozların ve Kompozitlerin X-Işınları Analizi

Çalışmada kullanılan α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit tozlarının X-ışını kırınımı desenleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3. 1. α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit (α -Fe₂O₃/ZnO) tozlarının X ışını kırınımı desenleri

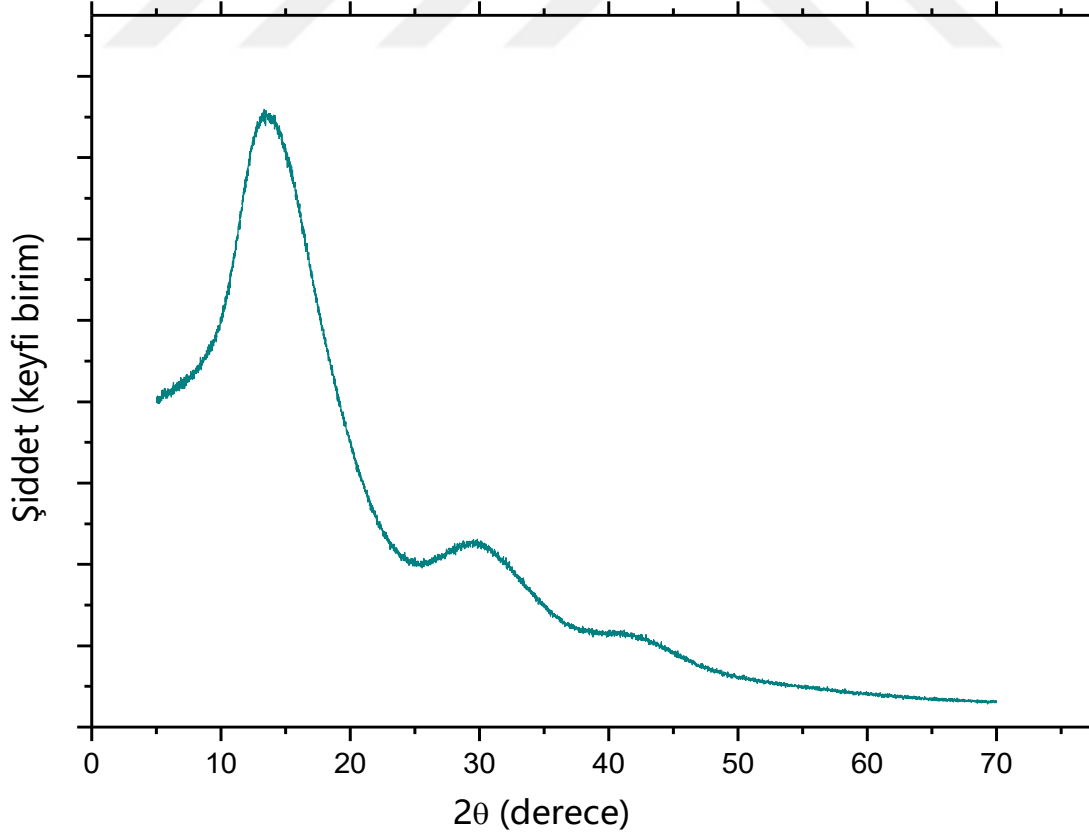
ZnO nanoparçacıkların kırınım desenindeki pikler $2\theta = 31.7^\circ, 34.4^\circ, 36.2^\circ, 47.4^\circ, 56.5^\circ, 62.7^\circ, 67.8^\circ, 69^\circ$ olduğu gözlemlenmiştir. Bu açı değerlerine karşılık gelen düzlemler ise sırasıyla (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112), (201) olarak belirlenmiştir.

α -Fe₂O₃ (hematit) nanoparçacıklarının kırınım desenindeki pikler $2\theta = 24.2, 33.1^\circ, 35.6^\circ, 40.9^\circ, 49.5^\circ, 54.1^\circ, 57.6^\circ, 62.4^\circ, 64^\circ, 72.1^\circ$ olduğu gözlemlenmiştir. Bu açı

değerlerine karşılık gelen düzlemler ise sırasıyla (012), (104), (110), (113), (024), (116), (018), (214), (300) olarak belirlenmiştir.

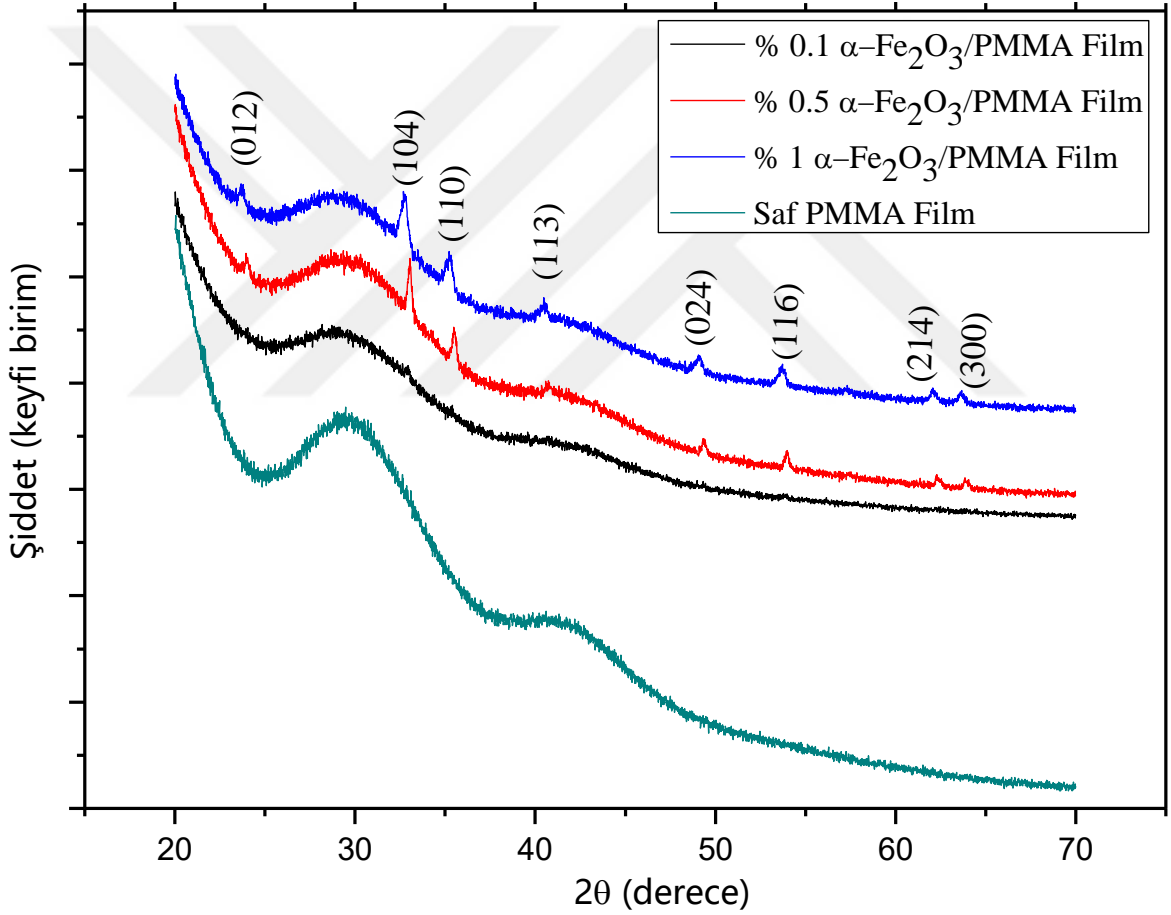
Hibrit nanoparçacıklarının kırınım desenindeki pikler $2\Theta = 24.2, 33.1^\circ, 35.6^\circ, 40.9^\circ, 49.4^\circ, 54.1^\circ, 57.6^\circ, 62.4^\circ, 64^\circ, 72.1^\circ$ olduğu gözlemlenmiştir. Şekilden ve kırınım açılarından gözlemlendiği gibi hibrit parçacıkların $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparçacıklarla aynı pik açılara sahip olduğu gözlemlenmiştir. ZnO ait piklere rastlanmamıştır. Bunun sebebinin kabuk görevi gören ZnO tabakasının kalınlığının son derece küçük olması ve hibrit parçacıklarının oldukça büyük olmasından kaynaklılığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan ve film haline getirilen PMMA'nın XRD deseni Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi PMMA'nın XRD kırınım deseninde $2\Theta=13.5^\circ, 29.8^\circ$ ve 43.5° geniş yayvan pikler gözlenmektedir. Benzer kırınım deseni Rameshkumar ve ark. [74] tarafından elde edilmiştir. Bu geniş yayvan pikler PMMA'nın amorf yapı bir polimer olduğunu sergilemekle beraber piklerin varlığı çok kısa mesafelerde kristalleşme olduğunu göstermektedir.



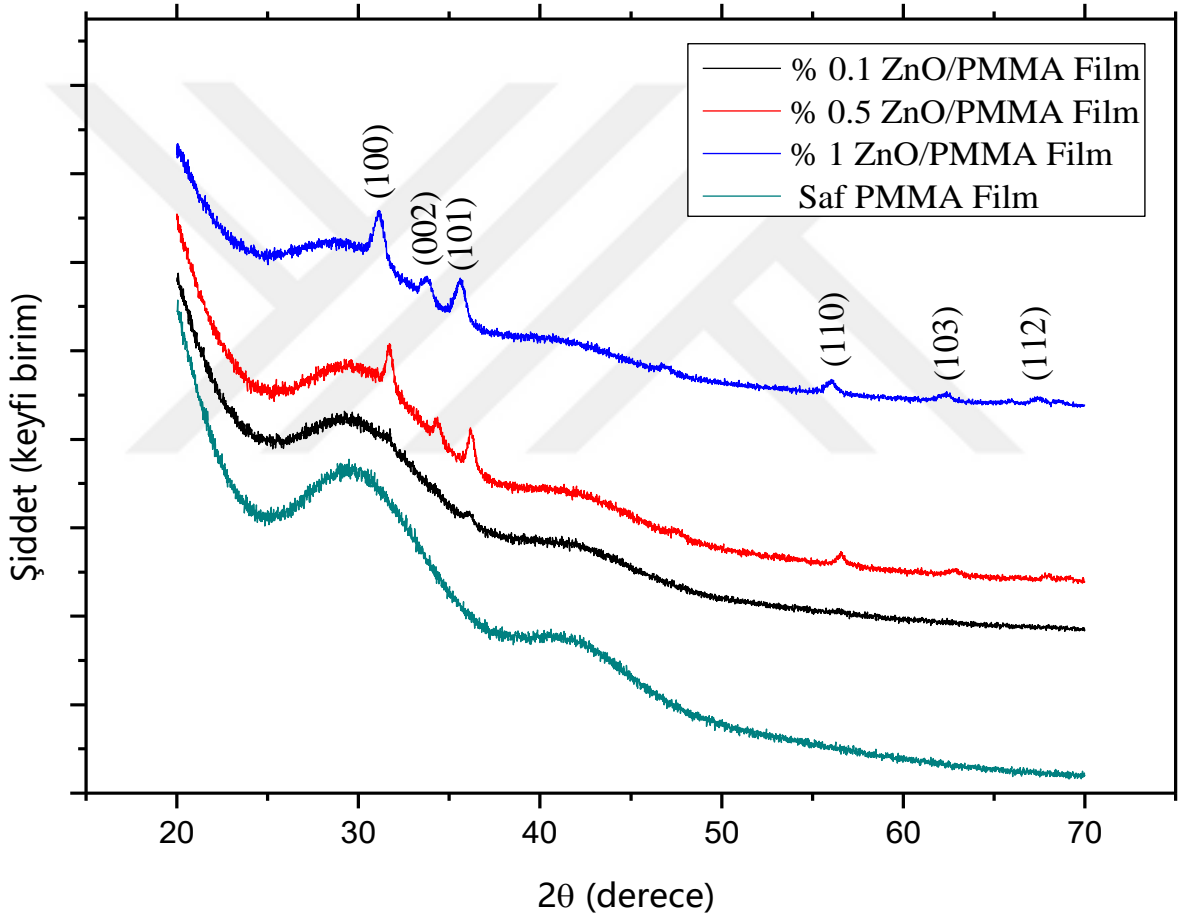
Şekil 3. 2. Saf PMMA filminin X ışını kırınım deseni

Çözelti döküm yöntemiyle PMMA'ya değişik oranlarda (% 0.1, 0.5, 1) eklenen α -Fe₂O₃ tozlarının XRD kırınım deseni Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi α -Fe₂O₃'e ait kırınım pikleri %0.5 ve %1 α -Fe₂O₃ takviyeli PMMA için gözlemlenmesine rağmen, daha düşük katkılı α -Fe₂O₃ tozları için gözlemlenmemiştir. %0.5 ve %1 katkılı α -Fe₂O₃ nanokompozitler için α -Fe₂O₃'e ait (012), (104), (110), (113), (024), (116), (214), (300) düzlemlerine ait pikler görülmektedir. α -Fe₂O₃ takviyeli film nanokompozitlerin kırınım desenleri incelendiğinde pik şiddetinin artan α -Fe₂O₃ oranına bağlı olarak arttığı görülmektedir.



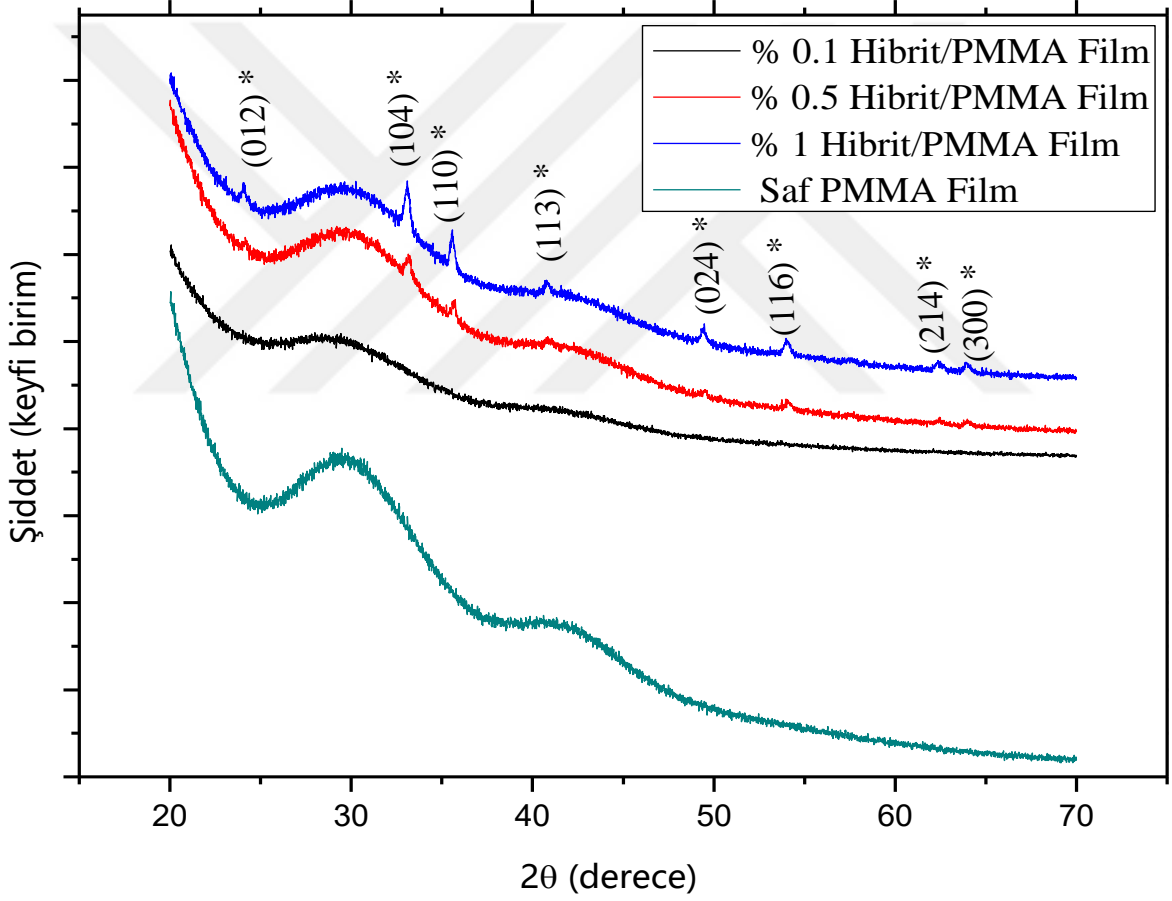
Şekil 3. 3. α -Fe₂O₃ takviyeli nanokompozitlerin XRD deseni

ZnO takviyeli PMMA nanokompozit filminin XRD desenleri Şekil 3.4'de gösterilmiştir. ZnO takviyeli film nanokompozitlerin kırınım desenleri incelendiğinde pik şiddetinin artan ZnO oranına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Şekilde görüldüğü gibi ZnO'ya ait kırınım pikleri %0.5 ve %1 ZnO takviyeli PMMA için gözlemlenmesine rağmen, daha düşük katkı ZnO tozları için gözlemlenmemiştir. %0.5 ve %1 katkı ZnO nanokompozitler için ZnO'ya ait (100), (002), (101), (110), (103), (112) düzlemlerine ait pikler görülmektedir.



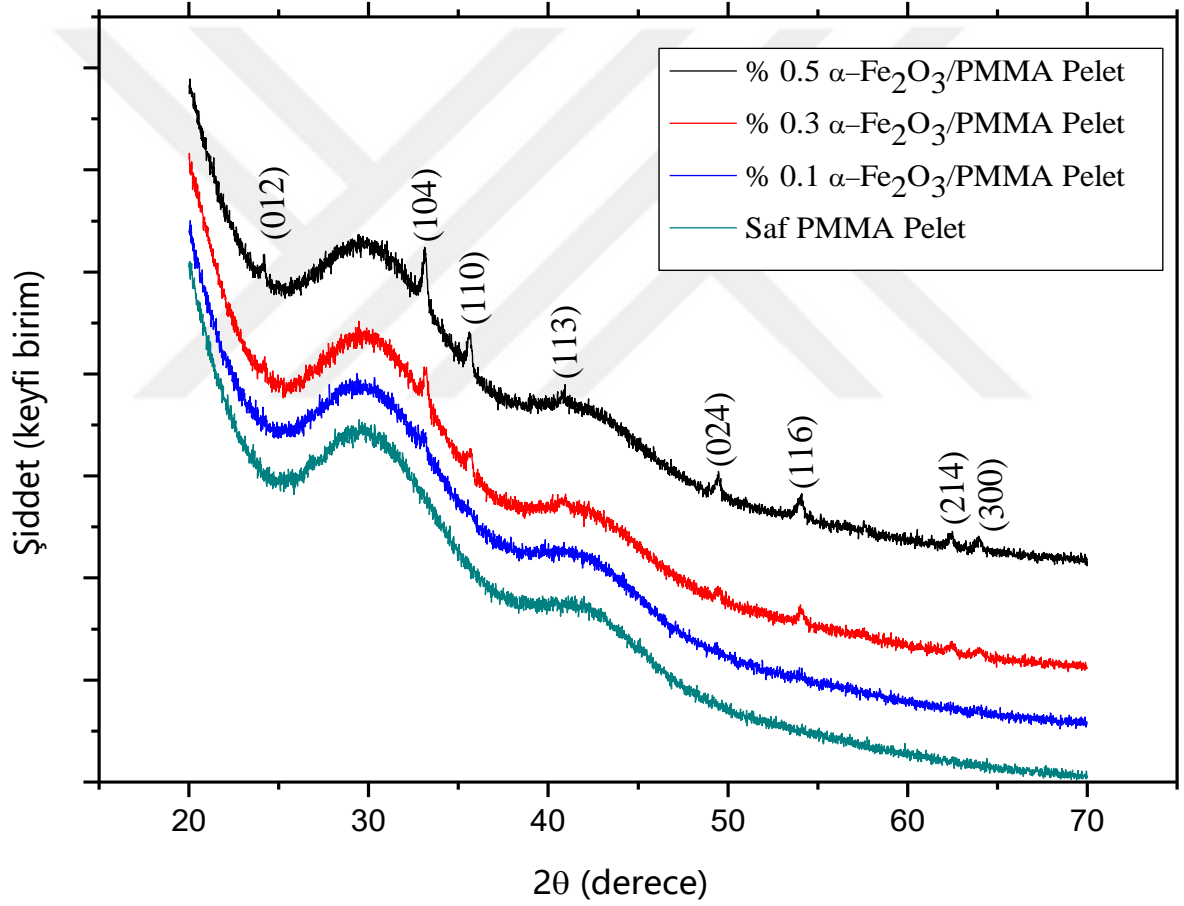
Şekil 3. 4. ZnO takviyeli nanokompozitlerin XRD deseni

Hibrit toz ($ZnO/\alpha-Fe_2O_3$) takviyeli PMMA nanokompozit filmlerinin XRD deseni Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Hibrit takviyeli film nanokompozitlerin kırınım desenleri incelendiğinde pik şiddetinin artan hibrit oranına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Şekilde hibrit numunelere ait kırınım pikleri %0.5 ve %1 hibrit takviyeli PMMA için gözlemlenmesine rağmen daha düşük katkıli hibrit tozları için gözlemlenmemiştir. %0.5 ve %1 katkıli hibrit nanokompozitler için hibrit toza ait (012), (104), (110), (113), (024), (116), (214), (300) düzlemlerine ait pikler görülmektedir. Şekil 3.5 de görüldüğü gibi hibrit/PMMA kırınım deseninde sadece $\alpha-Fe_2O_3$ pikler gözlenmektedir.

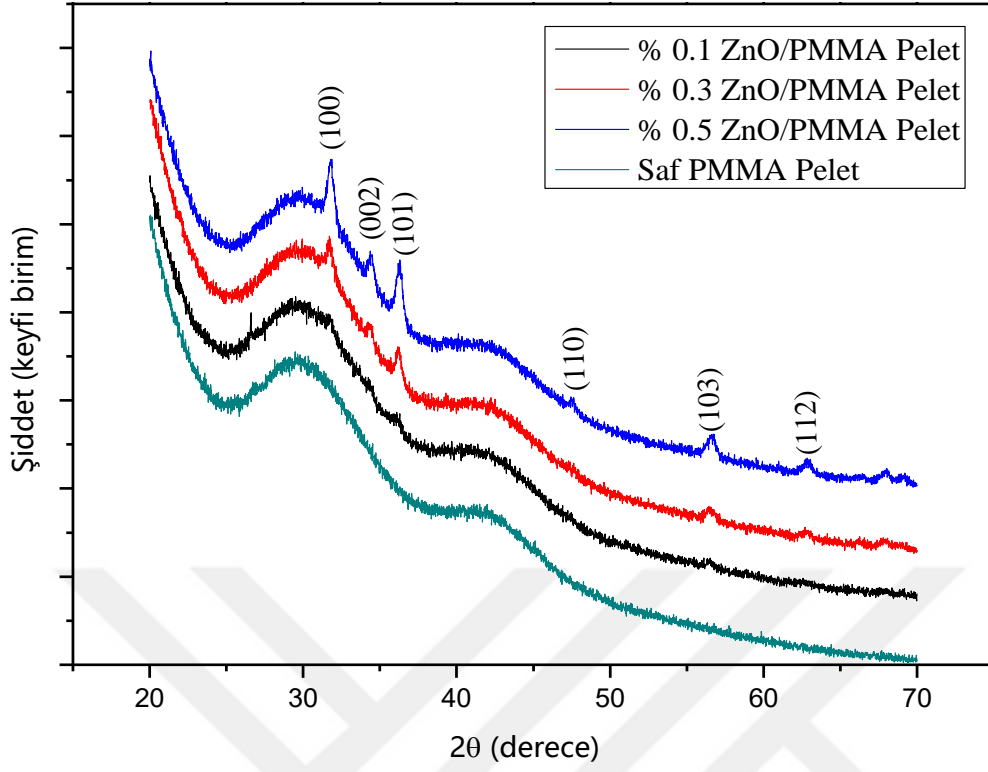


Şekil 3. 5. Hibrit takviyeli nanokompozitlerin XRD deseni (* sembolü $\alpha-Fe_2O_3$ 'e ait fazları göstermektedir.)

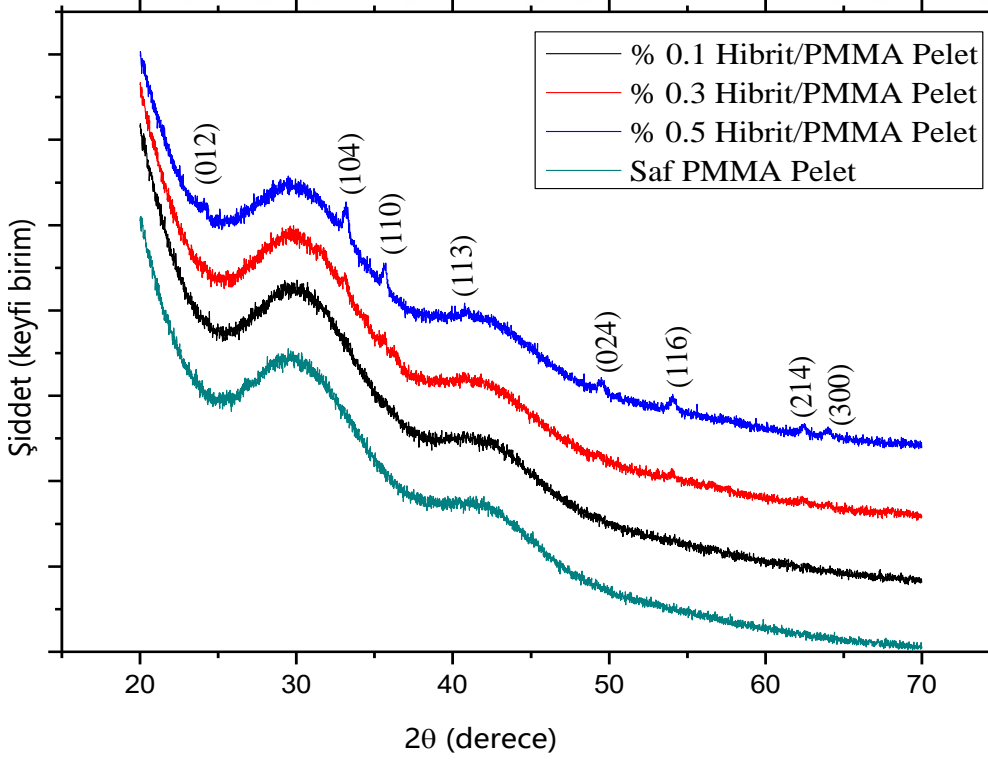
0.3 mm kalınlıkta elde edilen kompozit filmlerin 70-110 GHz frekans aralığında dielektrik özellikleri ölçülemediğinden film haline getirilen numuneler makasla kesilerek granüler hale getirilmiş, sonrasında 280 °C’de ısıtılıp 5 ton basınç altında preslenerek 1 ile 5 mm arasında kalınlığa sahip peletler haline getirilmiştir. Bu pelet haline getirilen filmlerin XRD deseni Şekil 3.6 ile Şekil 3.8 arasında gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi ZnO ve α -Fe₂O₃ takviyeli PMMA peletlerde ZnO ve α -Fe₂O₃ ait pikler gözlemlenmesine rağmen hibrit/PMMA peletlerde sadece α -Fe₂O₃ ait pikler gözlemlenmiştir.



Şekil 3. 6. α -Fe₂O₃ takviyeli pelet nanokompozitlerin XRD deseni



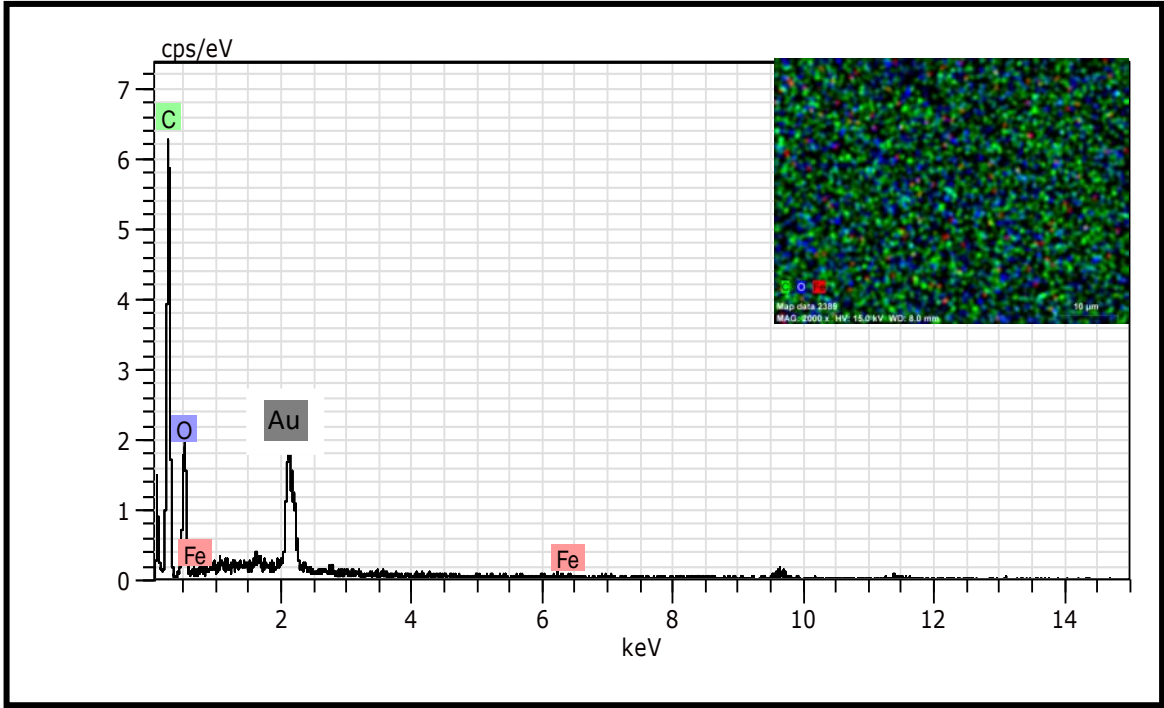
Şekil 3. 7. ZnO takviyeli pelet nanokompozitlerin XRD deseni



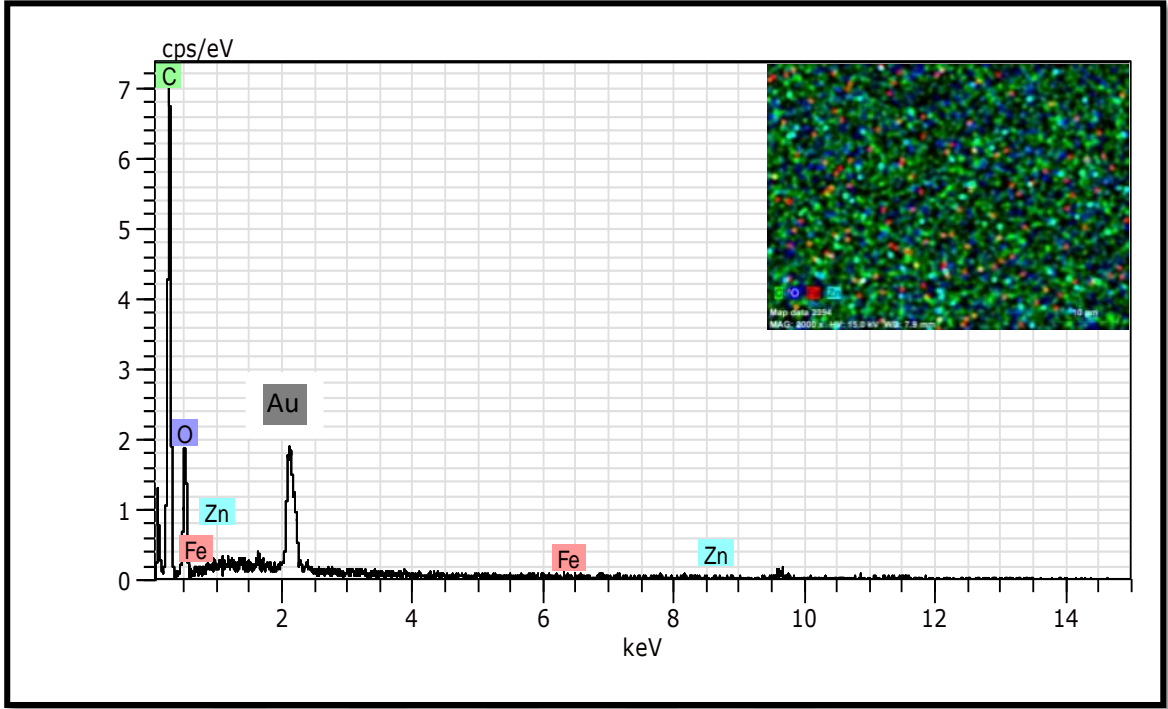
Şekil 3. 8. Hibrit takviyeli pelet nanokompozitlerin XRD deseni

3.2. Üretilen Kompozit Filmlerin EDX Analizi

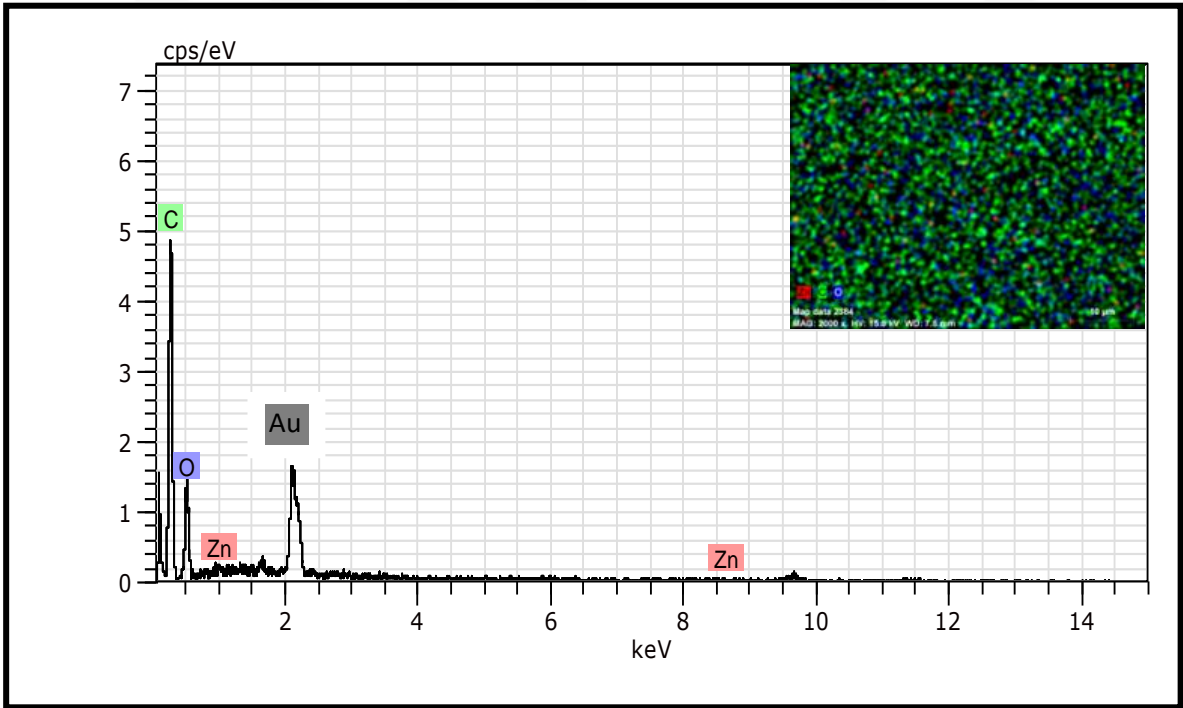
%0.5 takviyeli hibrit/PMMA, ZnO/PMMA ve α -Fe₂O₃/PMMA kompozit filmlerin EDX analizi bulguları Şekil 3.9 ile Şekil 3.11 arasında gösterilmektedir. Bu analizlerle yapı içerisinde bulunan demir ve çinkonun dağılımları ve spektrumları gösterilmiştir. Numuneler polimer bazlı olduğundan yüzeyleri altın kaplandıktan sonra inceleme işlemi gerçekleştirilmiştir. EDX haritasında elde edilen kompozit malzemenin içinde bulunan takviye tozlarının homojen bir dağılımda olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 9. % 0,5 α -Fe₂O₃ takviyeli kompozit filmin EDX grafiği ve toz dağılımı



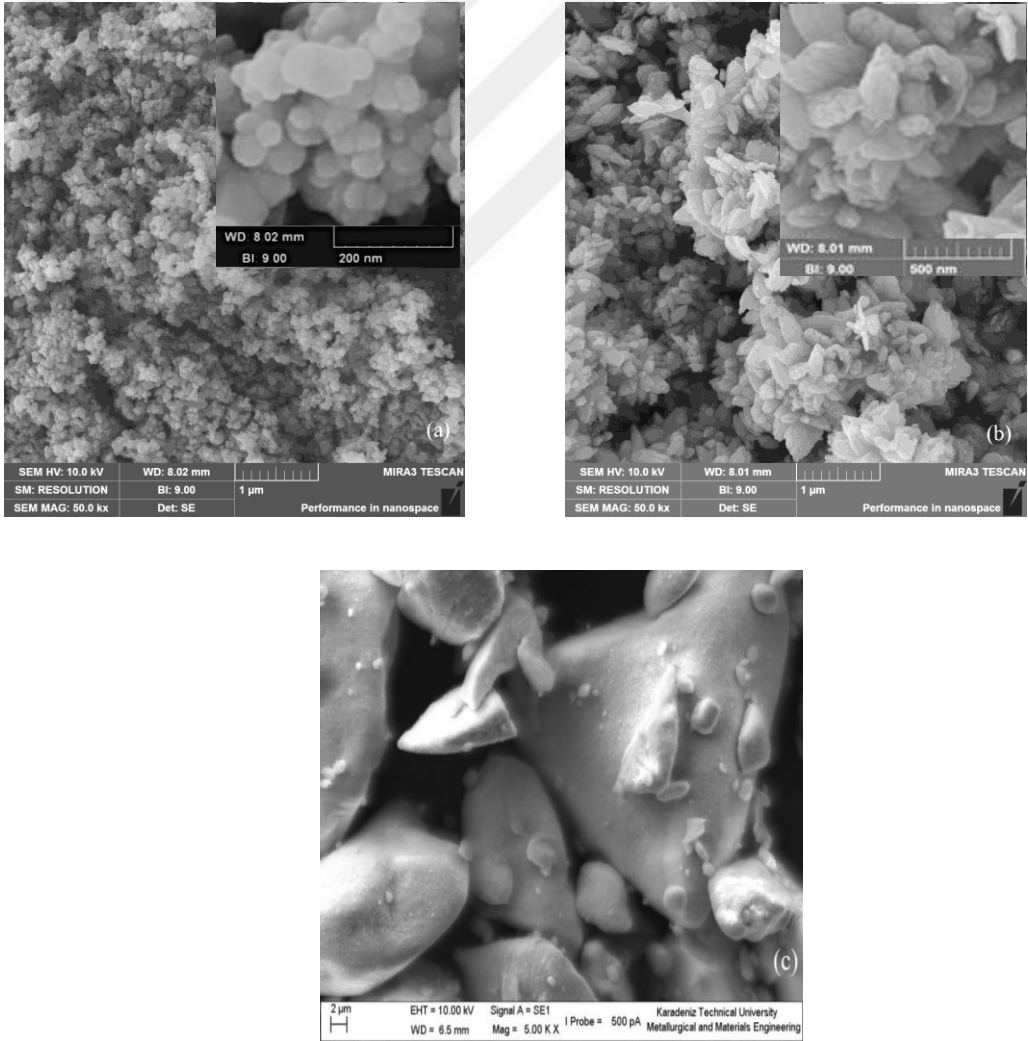
Şekil 3. 10. % 0,5 Hibrit takviyeli kompozit filmin EDX grafiği ve toz dağılımı



Şekil 3. 11. % 0,5 ZnO takviyeli kompozit filmin EDX grafiği ve toz dağılımı

3.3. Üretilen Tozların SEM Analizi

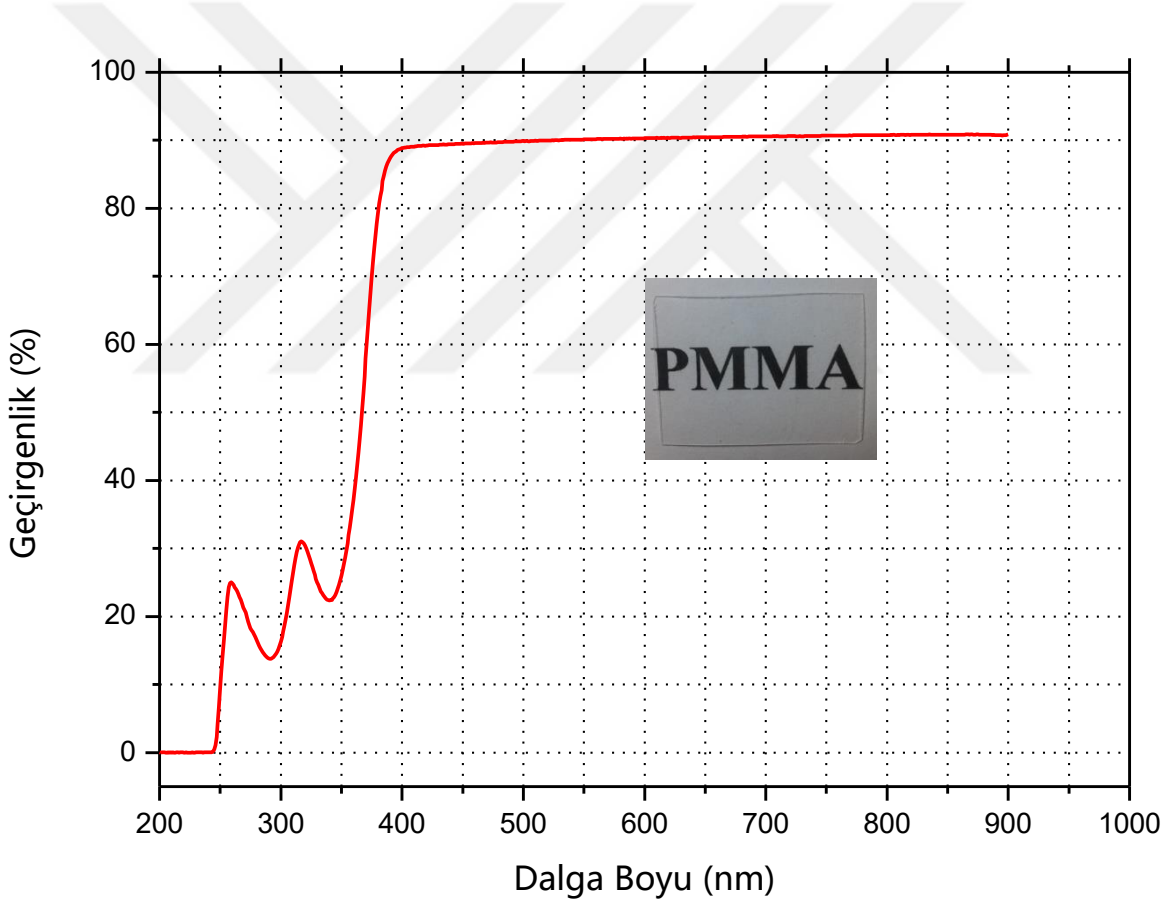
Tez çalışmasında takviye malzemesi olarak kullanılan nano tozların SEM görüntüleri aşağıda verilmektedir (şekil 3.12). Şekilden görüldüğü gibi sentezlenen α -Fe₂O₃ tozlarının ortalama boyutu yaklaşık 50 nm civarında ZnO tozlarının boyutlarının ise yaklaşık 200 nm civarında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca hem α -Fe₂O₃ hemde ZnO nanotozların birbirine yapışık topraklar halinde olduğu görülmektedir. Şekil 3.13c’de ZnO ve α -Fe₂O₃ nanotozlarının bilyalı öğütme yöntemi ile 1 saat karıştırılarak elde edilen hibrit tozların SEM fotoğrafı görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi hibrit tozlarının parçacık boyutu değişik büyüklüklerde olup 20 mikrometreye kadar çıkmaktadır.



Şekil 3. 12. Takviye tozlarının SEM görüntüleri; (a) α -Fe₂O₃, (b) Çinko oksit, (c) Hibrit

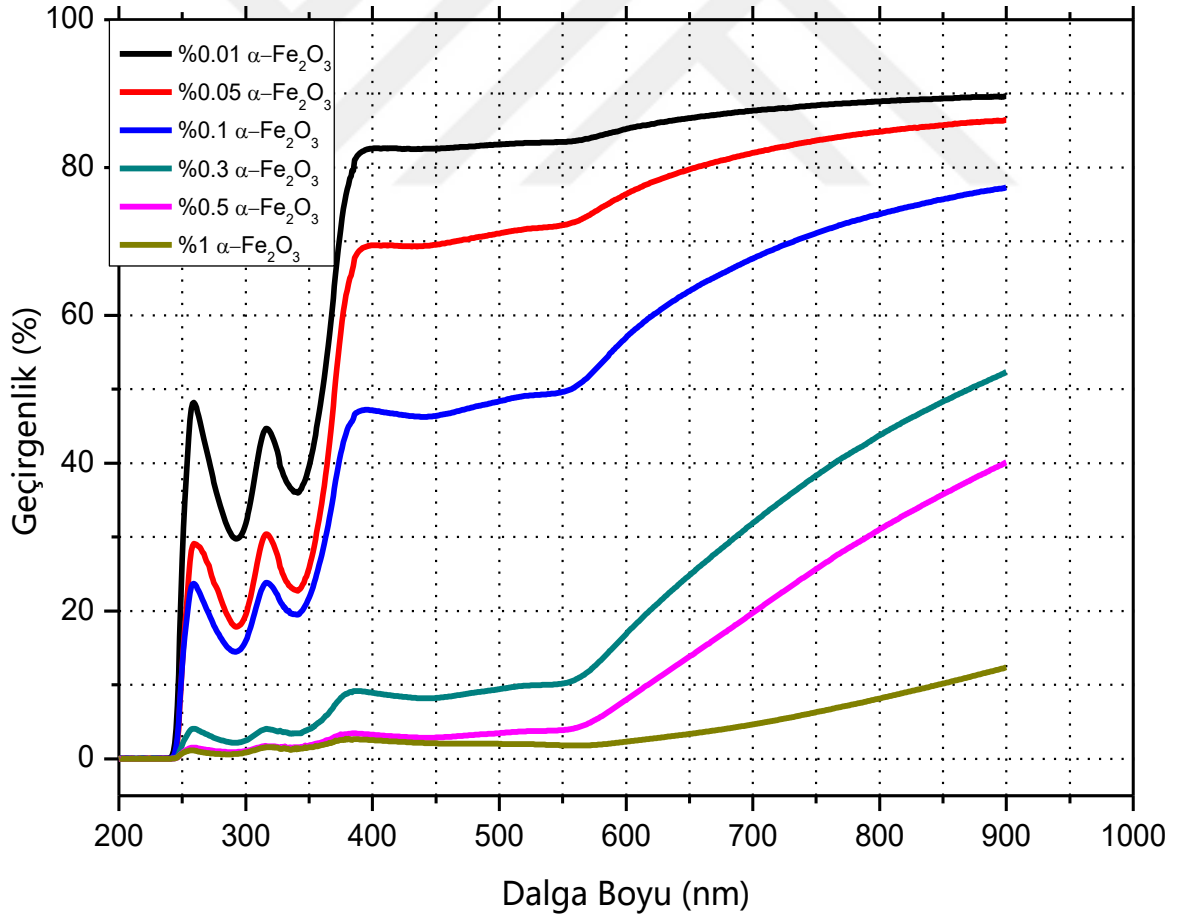
3.4. Üretilen Kompozit Filmlerin UV-Vis Analizleri

Tez çalışmasında üretilen kompozit numunelerin optik geçirgenlik testleri UV-Vis cihazında yapılmış olup elde edilen değerler grafik halinde gösterilmiştir. Saf PMMA'ya ait optik geçirgenlik grafiği ve PMMA filminin fotoğrafı Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Şekilden PMMA filminin görünür bölgede (400-700 nm) %90 geçirgenliğe sahip olduğu görülmektedir. UV bölgede (400 nm altı) ise PMMA filminin UV ışığını tamamen absorbe edemediği kısmi bir absorblama olduğu görülmektedir. Ayrıca 290 nm ve 340 nm de PMMA'ya ait karakteristik absorblans pikleri [75] gözlenmektedir.



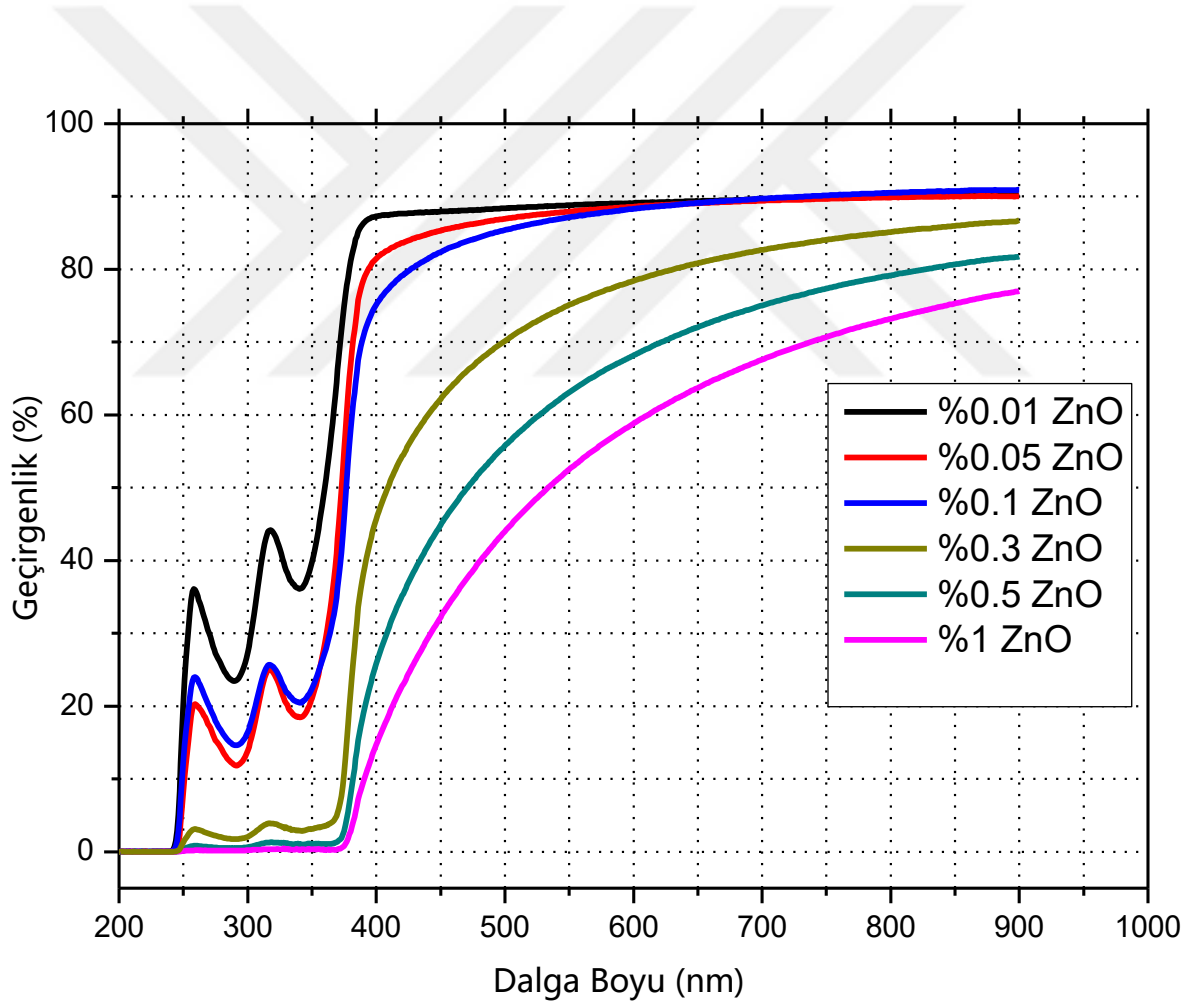
Şekil 3. 13. Saf PMMA filminin optik geçirgenlik grafiği

%0.01, % 0.05, %0.1, %0.3, %0.5 ve %1 α -Fe₂O₃ takviyeli 0.3 mm kalınlığındaki filmlerin UV-Vis grafikleri Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi artan α -Fe₂O₃ konsantrasyonu ile optik geçirgenlik hızlı bir şekilde azalmış ve %1 α -Fe₂O₃ katkılı PMMA filmi için görünür bölgede optik geçirgenlik %10’nun altına düşmüştür. Ayrıca PMMA filmde artan α -Fe₂O₃ katkısıyla kırmızıya kayma saptanmıştır. Artan α -Fe₂O₃ katkısıyla hem kırmızıya kayma hem de optik geçirgenlikle hızlı azalışın nedeninin α -Fe₂O₃ nanoparçaklarının aglomere (topaklanma) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. UV bölgede PMMA’ya α -Fe₂O₃ katkısı filmlerin UV absorblama özelliğini kısmen arttırdığı görülmektedir. Ayrıca PMMA α -Fe₂O₃ katkısı ile 290 ve 340 nm de gözlenen absorbands piklerinin hemen hemen aynı kaldığı, fakat artan α -Fe₂O₃ katkısı ile 530 nm de α -Fe₂O₃ ait karakteristik absorbands piklerinin [76] ortaya çıktığı görülmektedir.



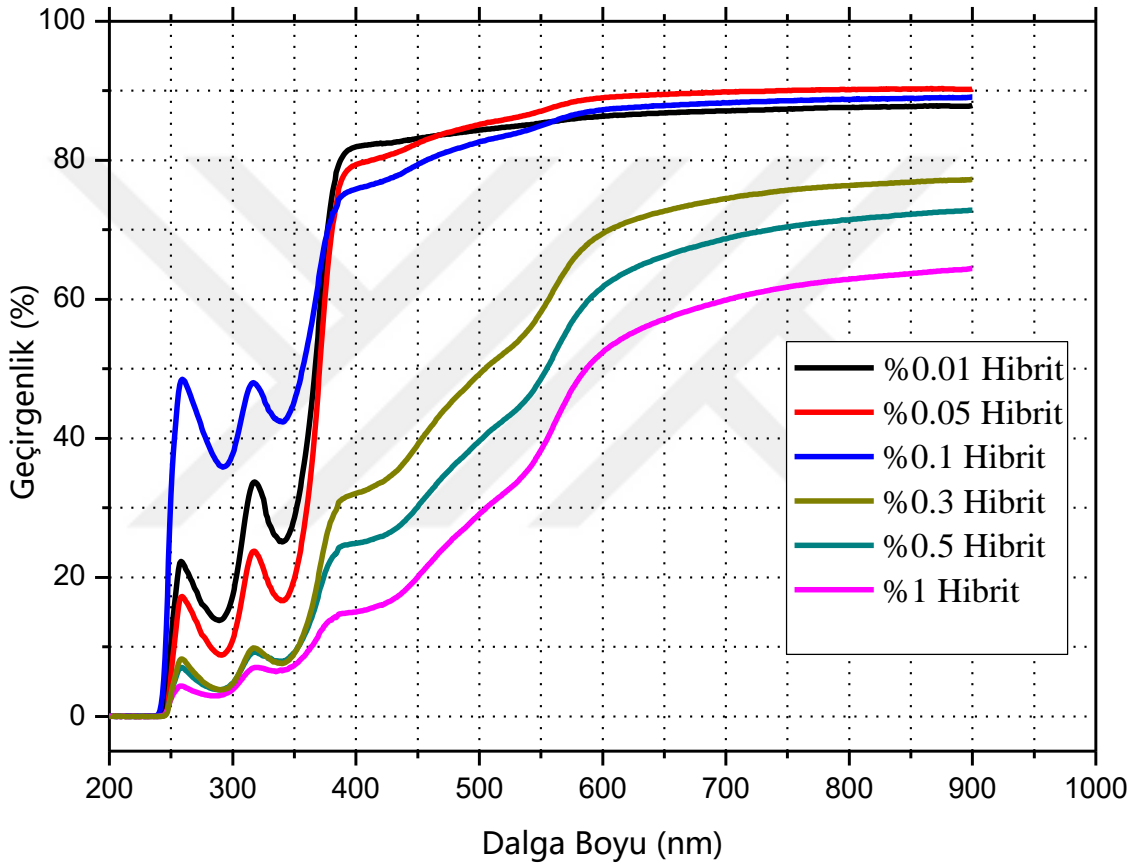
Şekil 3. 14. α -Fe₂O₃ takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

Şekil 3.15’de 0.3 mm kalınlıya sahip %0.01, % 0.05, %0.1, %0.3, %0.5 ve %1 ZnO takviyeli PMMA filmlerin UV-Vis grafikleri gösterilmiştir. Şekil 3.15’den açıkça görüldüğü gibi PMMA filminde ZnO katkısı arttığında görünür bölgede filmlerin optik geçirgenliğinin azaldığı ve kırmızıya kayma görülmektedir. α -Fe₂O₃ katkılı PMMA filmlere benzer şekilde burada ZnO/PMMA filmlerin de artan ZnO miktarı ile nanoparçaklarının toplanarak geçirgenliği düşürdüğü ve kırmızı bölgeye kaymaya sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca azalan ZnO katkısı ile filmlerinde görünür bölgeden UV bölgeye geçişleri daha keskin şekilde olduğu görülmektedir. UV bölgede absorblama özelliği artan ZnO miktarı ile artmakla ve %0.5 ve %1 ZnO katkısıyla filmler tamamen UV absorblama özelliğine sahip olmaktadır.



Şekil 3. 15. ZnO takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

Şekil 3.16’da 0.3 mm kalınlığındaki %0.01, % 0.05, %0.1, %0.3, %0.5 ve %1 hibrit ($\text{ZnO}/\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) takviyeli PMMA filmlerin UV-Vis grafikleri gösterilmiştir. $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{PMMA}$ ve ZnO/PMMA filmlerine benzer şekilde hibrit katkıli PMMA filmde katkı oranının artması ile görünür bölgede filmlerin optik geçirgenliğinin azaldığı ve kırmızıya kayma gözlenmiştir. Hibrit filmler içinde UV bölgede kısmi UV absorblama özelliğini görülmüştür.



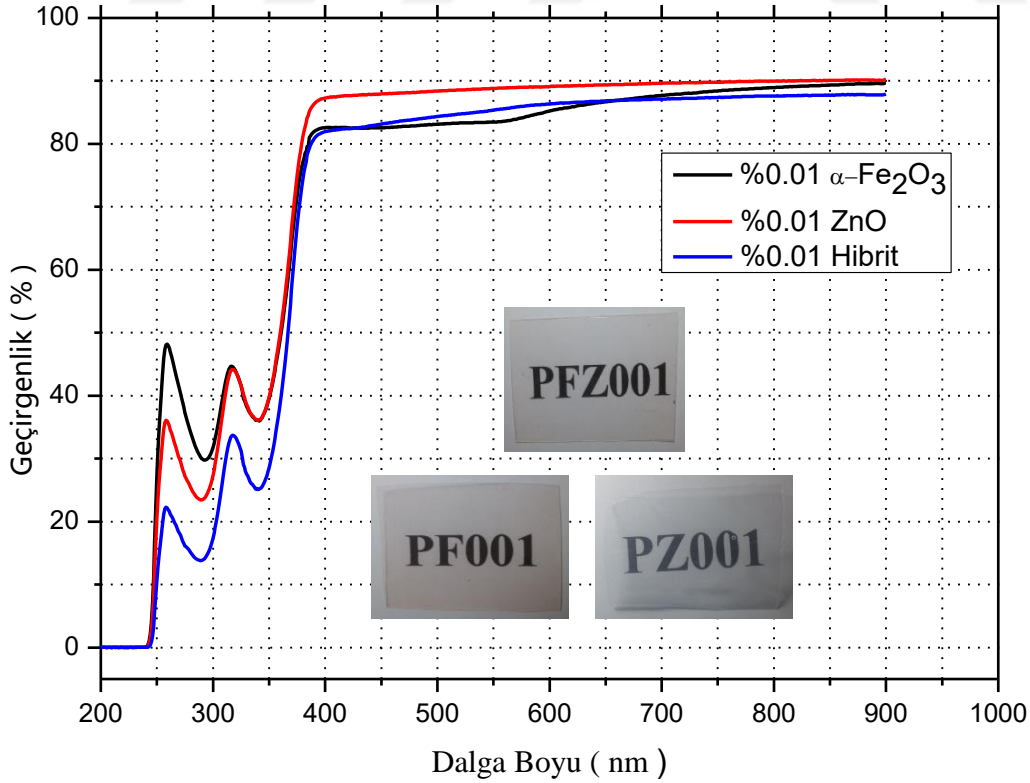
Şekil 3. 16. Hibrit toz takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

Farklı nanoparçacık takviyeli PMMA filmlerinin optik geçirgenliklerini kıyaslamak için değişik oranlarda katkılanmış PMMA kompozit filmlerinin optik geçirgenlikleri Şekil 3.17 ile Şekil 3.22 arasında gösterilmiştir. Şekiller içine elde edilen filmlerin fotoğrafları da konularak optik geçirgenliklerinin görsel görünümü sunulmuştur. İncelenen numunelerin kodları ve içerikleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Tabloda P; PMMA polimerini, F; $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanotozu, Z ise ZnO nanotozunu ifade etmektedir. Bu harflerin yanındaki rakamlar ise % lik miktarı göstermektedir.

Tablo 3. 1. Çalışmada kullanılan kompozit filmlerin kodları ve içerikleri

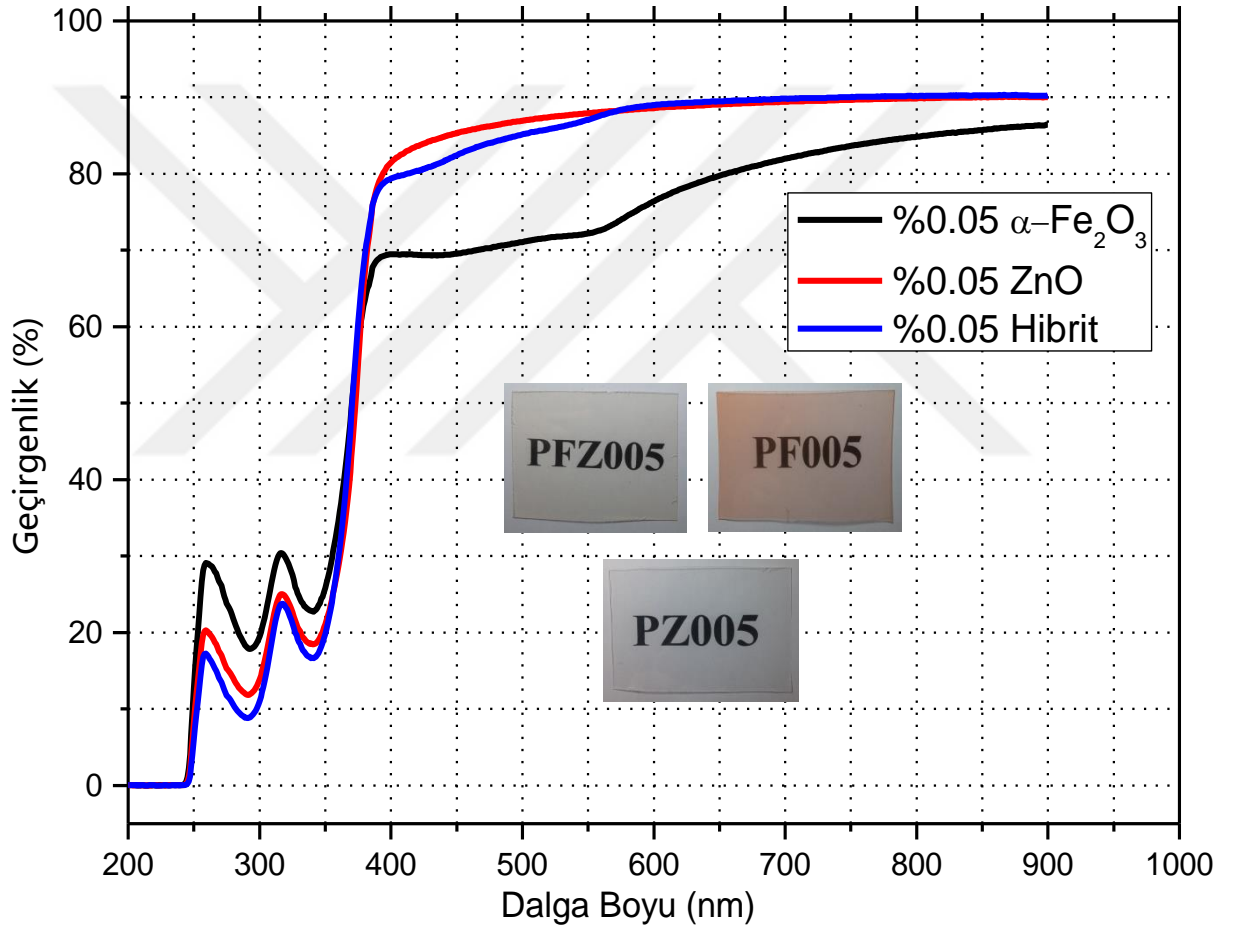
Numuneler	Numune Kodu	Numuneler	Numune Kodu	Numuneler	Numune Kodu
% 0.01 α -Fe ₂ O ₃	PF001	% 0.01 ZnO	PZ001	% 0.01 Hibrit	PFZ001
% 0.05 α -Fe ₂ O ₃	PF005	% 0.05 ZnO	PZ005	% 0.05 Hibrit	PFZ005
% 0.1 α -Fe ₂ O ₃	PF01	% 0.1 ZnO	PZ01	% 0.1 Hibrit	PFZ01
% 0.3 α -Fe ₂ O ₃	PF03	% 0.3 ZnO	PZ03	% 0.3 Hibrit	PFZ03
% 0.05 α -Fe ₂ O ₃	PF05	% 0.5 ZnO	PZ05	% 0.5 Hibrit	PFZ05
% 1 α -Fe ₂ O ₃	PF1	% 1 ZnO	PZ1	% 1 Hibrit	PFZ1

%0.01 α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkıli PMMA görünür bölgedeki optik geçirgenlikleri hemen hemen aynı olup %80 ile %90 arasında değişmekle beraber en yüksek geçirgenlik ZnO/PMMA filminde gözlenmektedir. Şekilden hibrit/PMMA filminin en yüksek UV absorbands özelliği gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3. 17. % 0.01 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

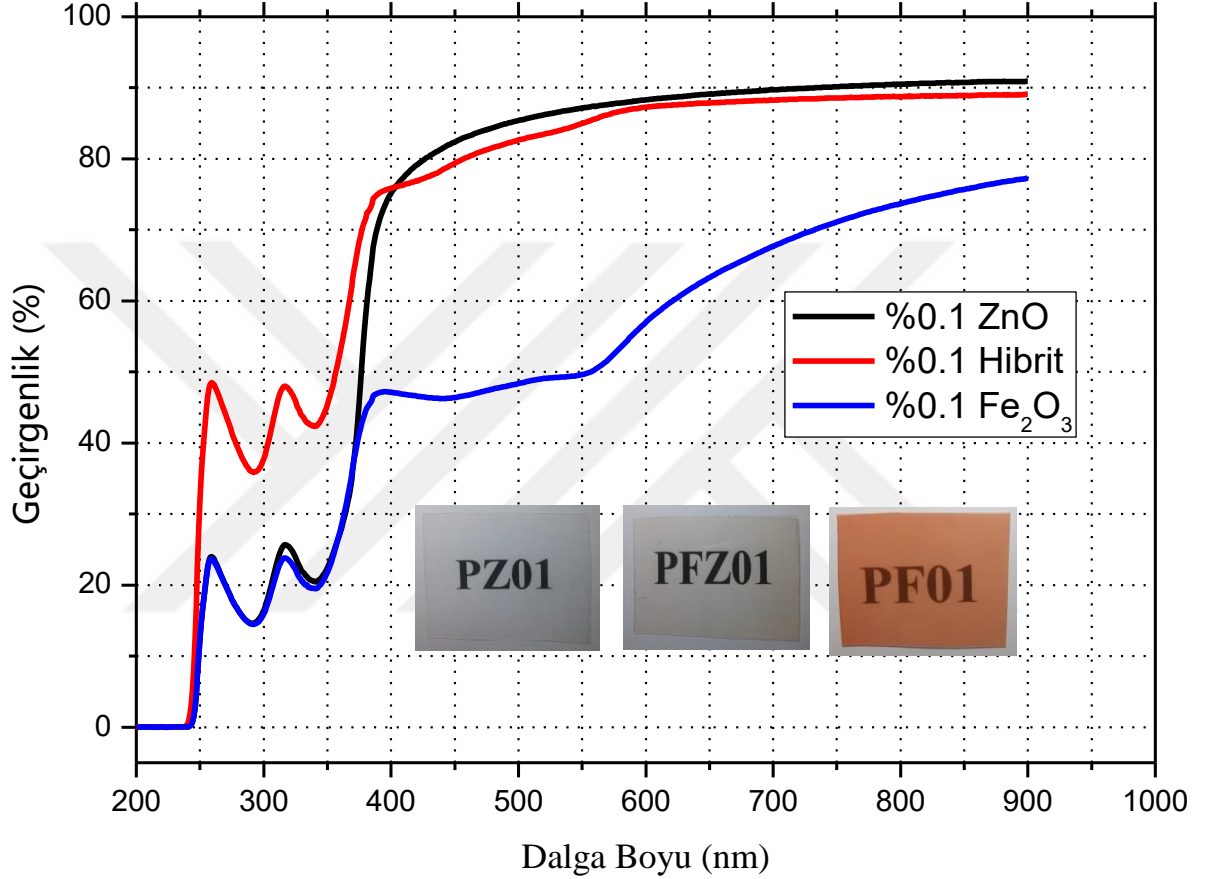
Şekil 3.18’da %0.05 α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri gösterilmiştir. Görünür bölgedeki ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri hemen hemen aynı olmakla birlikte (%80-90 arasında) α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin %70 ile %85 arasında değiştiği görülmüştür. Görünür bölgede katkılı filmler arasında α -Fe₂O₃/PMMA filminin en yüksek absorbans değerine sahip olduğu gözlenmektedir. Yine %0.05 katkılı filmler arasında hibrit/PMMA filminin en yüksek UV absorbans değerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 18. % 0.05 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

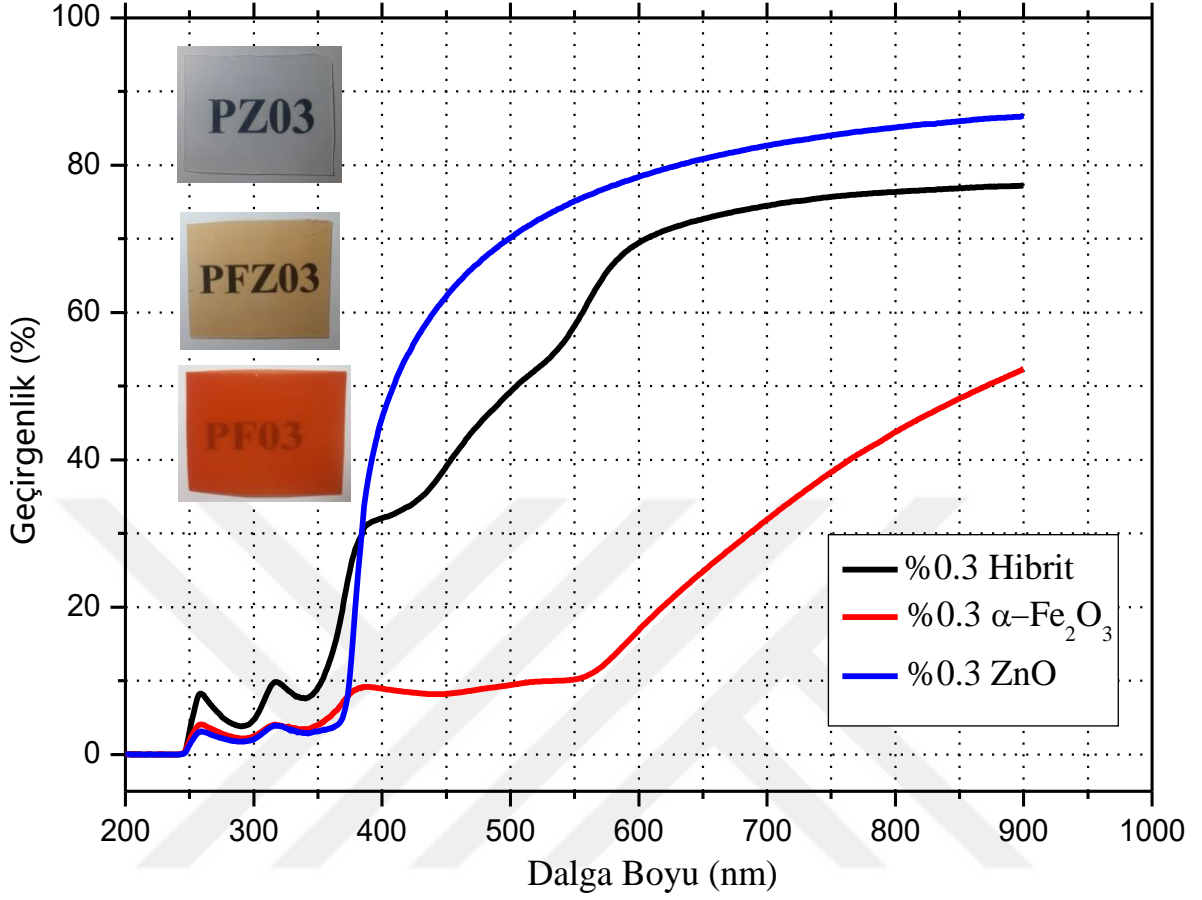
Şekil 3.19’da %0.1 katkılı α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri gösterilmiştir. Görünür bölgede yine ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri hemen hemen aynı değerlere sahip (%80-90 arasında) olmakla beraber, α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin hızlı bir şekilde %45 ile %70

arasında düştüğü görülmüştür. Şekilden hibrit/PMMA ve ZnO/PMMA filmlerinin α -Fe₂O₃ /PMMA filmine göre daha yüksek optik geçirgenlik özelliği gösterdiği görülmektedir. Uv bölgede ise hibrit takviyeli kompozit en düşük absorbands özelliği göstermektedir.



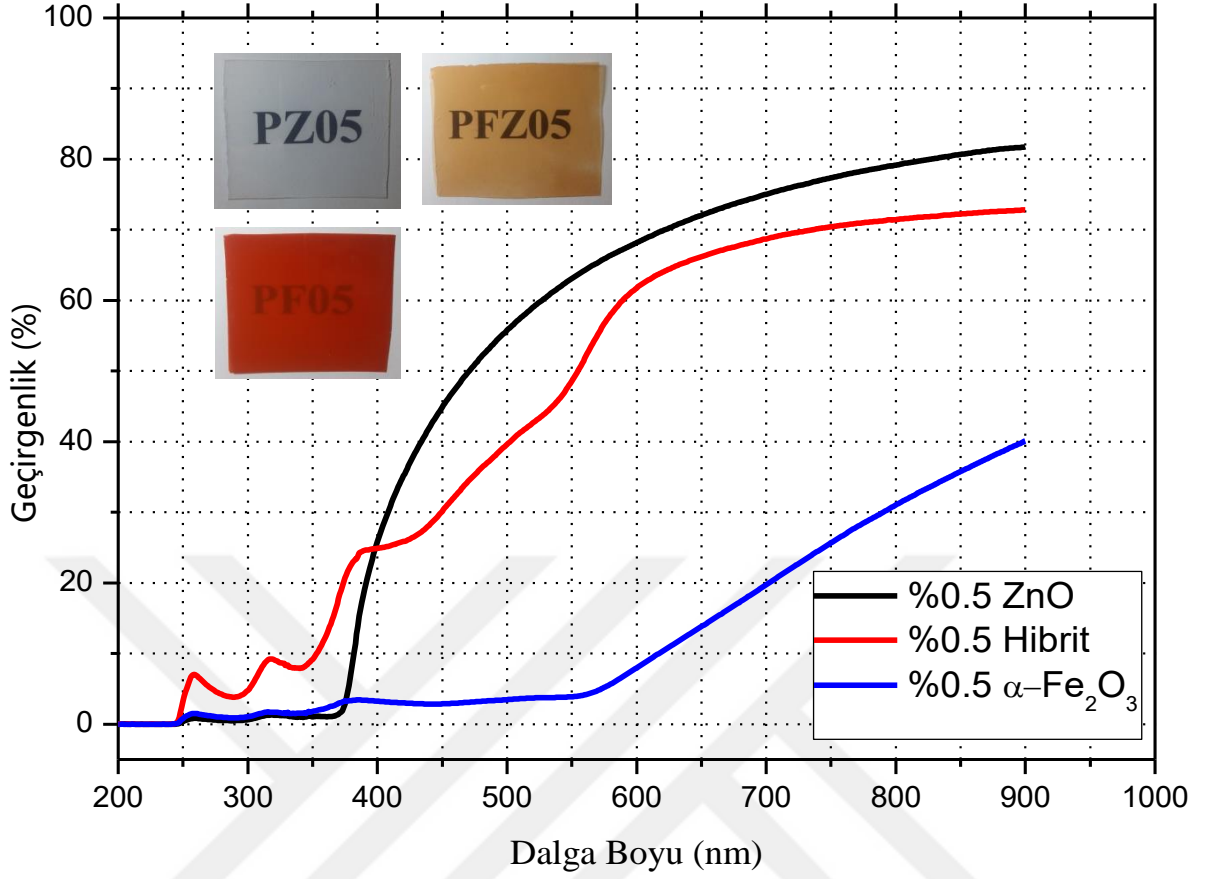
Şekil 3. 19. % 0.1 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

Şekil 3.20'de %0.3 α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri gösterilmiştir. Görünür bölgede ZnO katkılı PMMA filmin optik geçirgenliği diğerleri ile kıyaslandığında daha yüksek değere sahip (%45-85 arasında) olduğu görülmektedir. Hibrit/PMMA filminin optik geçirgenliği %30 ile %75 arasında değişirken, α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin ise %10 ile %30 arasına düştüğü görülmüştür. Şekilden α -Fe₂O₃/PMMA filmlerinin görünür bölgede absorbands değerlerinin hibrit/PMMA ve ZnO/PMMA filminden daha iyi olduğu görülmektedir.



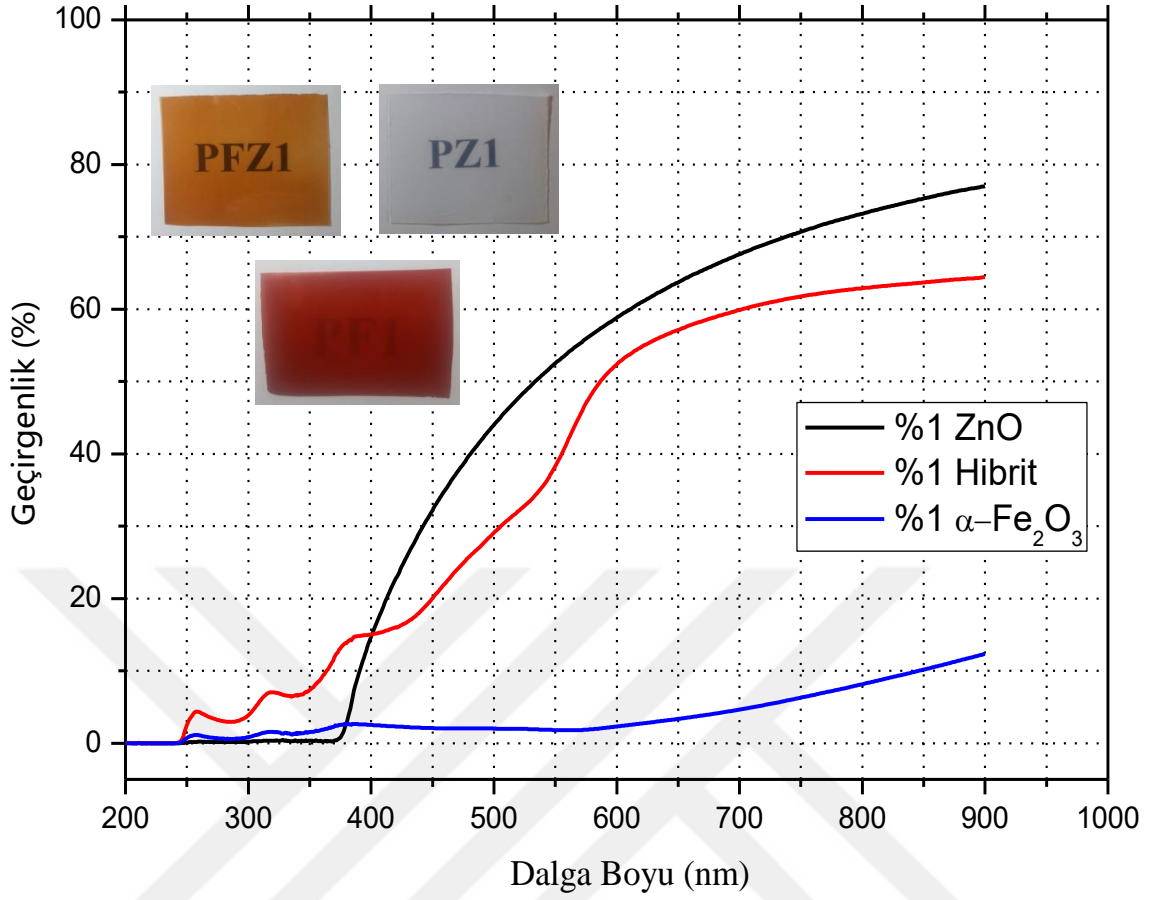
Şekil 3. 20. % 0.3 Takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

Şekil 3.21’de %0.5 α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri gösterilmiştir. Görünür bölgede ZnO katkılı PMMA filmin optik geçirgenliğinin diğerleri ile kıyaslandığında daha yüksek değere sahip (%25-75 arasında) olduğu görülmektedir. Hibrit/PMMA filminin optik geçirgenliği %25 ile %70 arasında değişirken, α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin ise %3 ile %20 arasına düştüğü görülmüştür. Şekilden α -Fe₂O₃/PMMA ve ZnO/PMMA filmlerinin hemen hemen aynı UV absorbans özelliğine sahip olduğu gözlenirken hibrit/PMMA filminden daha iyi UV absorbans özelliği sergiledikleri görülmektedir.



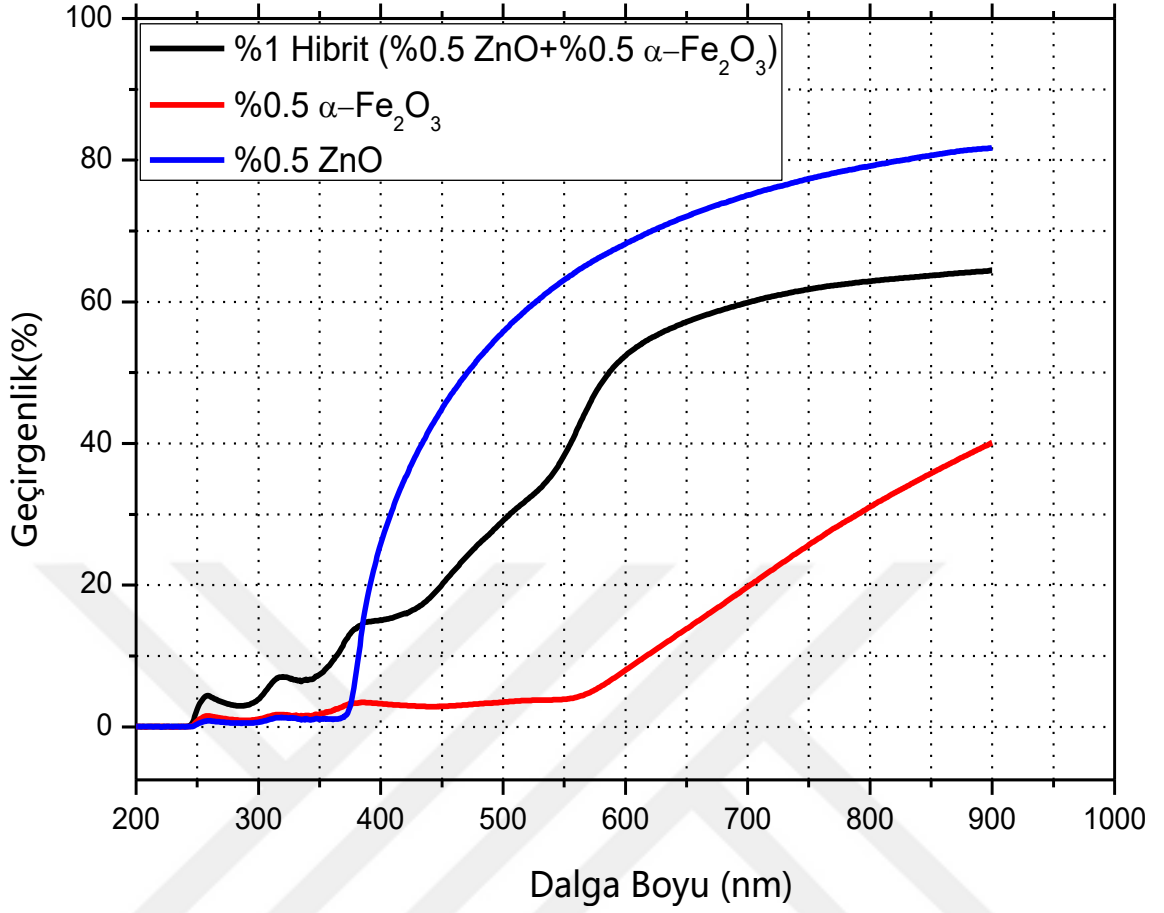
Şekil 3. 21. % 0.5 Takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

Şekil 3.22’de %1 α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri gösterilmiştir. Görünür bölgede ZnO katkılı PMMA filmin optik geçirgenliğinin diğer filmlerden daha yüksek değere sahip (%15-70 arasında) olduğu görülmektedir. Hibrit/PMMA filminin optik geçirgenliği %15 ile % 60 arasında değişirken, α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin ise %5 değerinin altına düştüğü görülmüştür. Şekilden ZnO/PMMA filminin tamamen UV absorbans özelliği sergilediği ve α -Fe₂O₃/PMMA filminin ise hala kısmi UV absorbans özelliğine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 22. % 1 takviyeli nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

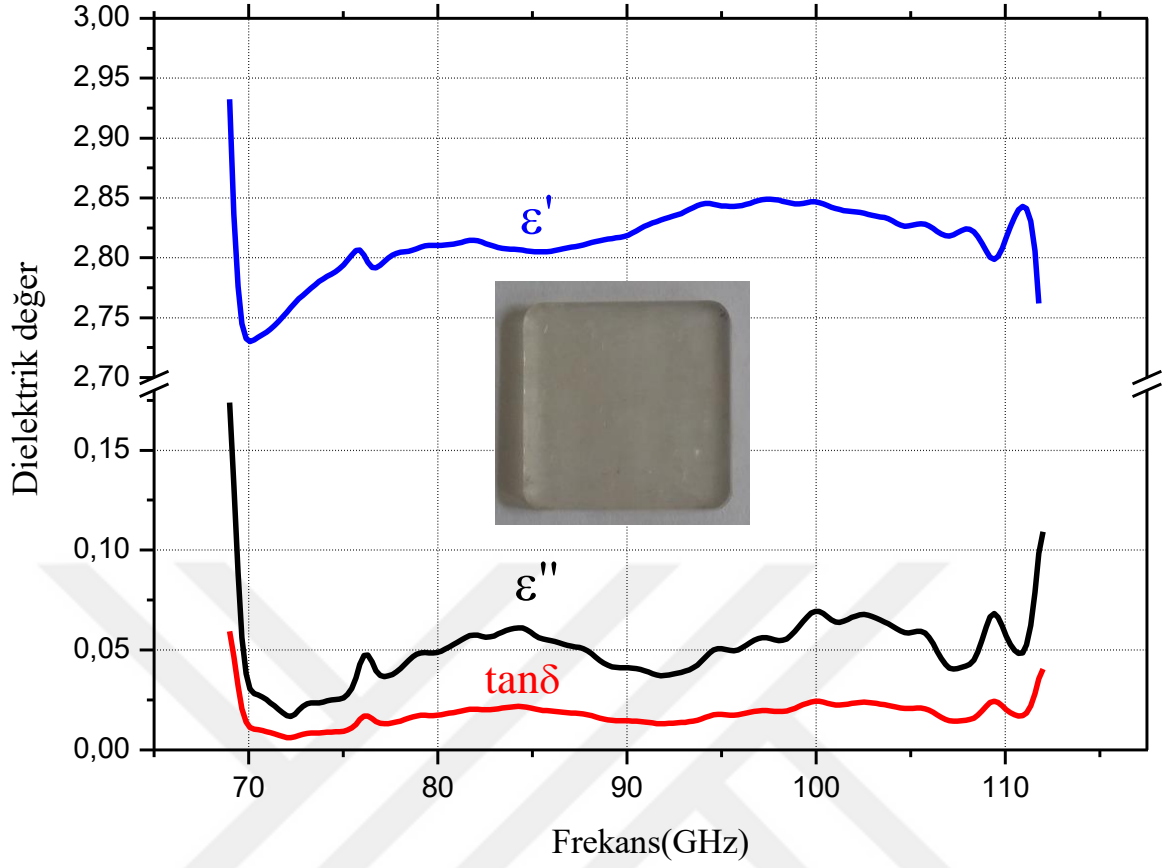
Şekil 3.23'de % 0.5 α -Fe₂O₃ ve ZnO katkılı PMMA filmi ve %1 hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere hibrit film %0.5 α -Fe₂O₃ içermesine rağmen optik geçirgenliğinin %0.5 α -Fe₂O₃/PMMA filminden daha iyi olduğu görülmektedir. Bu sonuç ve daha önce sunulan optik geçirgenlik ölçümleri görünür bölgede α -Fe₂O₃ filminin optik geçirgenliğinin ZnO katkısıyla artırılabilceğini göstermektedir.



Şekil 3. 23. Nanokompozit filmlerin optik geçirgenlik grafiği

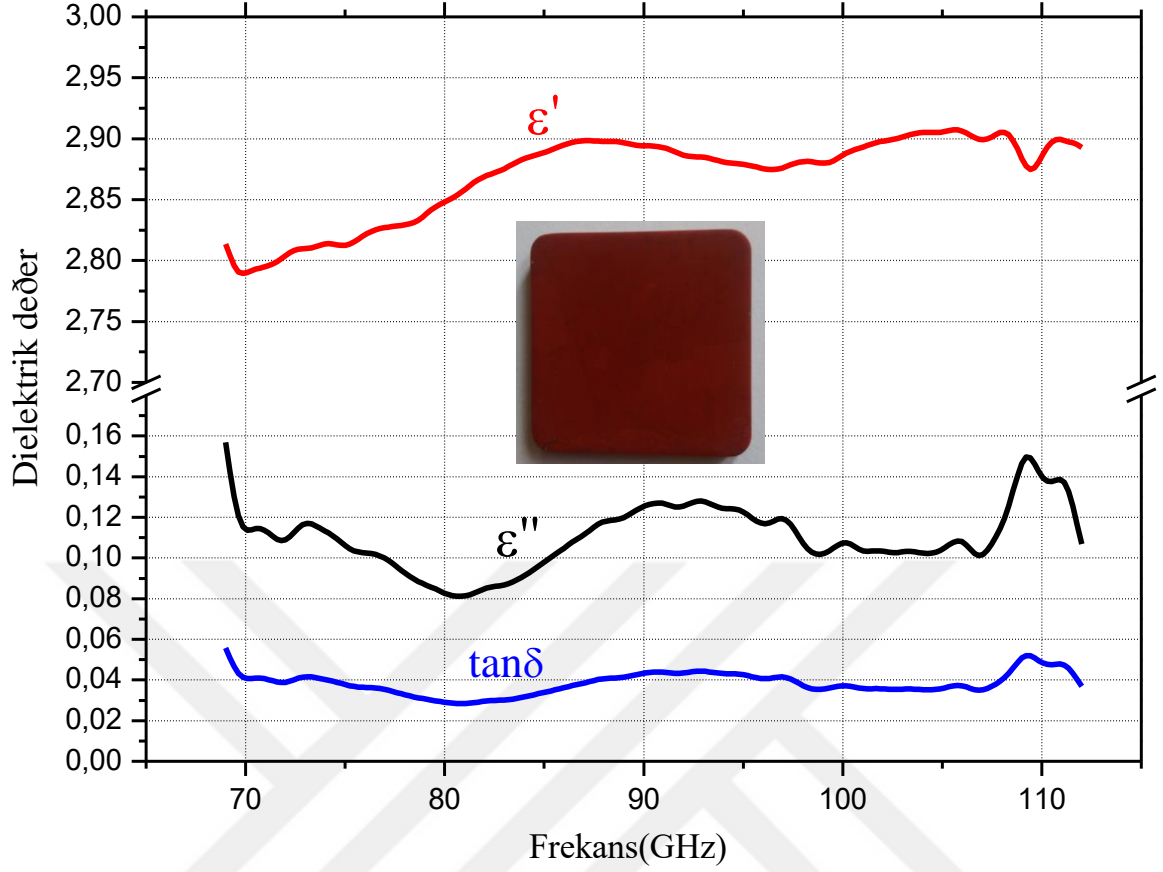
3.5. Üretilen Peletlerin Dielektrik Özelliklerinin Ölçümü

Şekil 3.24 ile Şekil 3.27 arasında üretilen filmlerden pellet haline getirilen PMMA, ZnO/PMMA, α -Fe₂O₃/PMMA ve hibrit/PMMA kompozit malzemelerin oda sıcaklığında ölçülen frekansa bağlı (70-110 GHz aralığında) dielektrik davranışları (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) gösterilmiştir. Şekil 3.24'de 4.7 mm kalınlıkta saf PMMA'ya ait reel dielektrik (ϵ'), imajinel (ϵ'') ve kayıp tanjant ($\tan\delta$) değerlerinin frekansa bağımlılığı gösterilmiştir. Şekillerden PMMA'nın ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ katsayıları yaklaşık olarak $\epsilon' \approx 2.8$, $\epsilon'' \approx 0.05$ ve $\tan\delta \approx 0.01$ olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, Zekiyan S.E ve ark. [77] 1-12 GHz aralığında 2 mm kalınlıktaki saf PMMA için ϵ' değerini yaklaşık 2.5 olarak bildirmişlerdir.



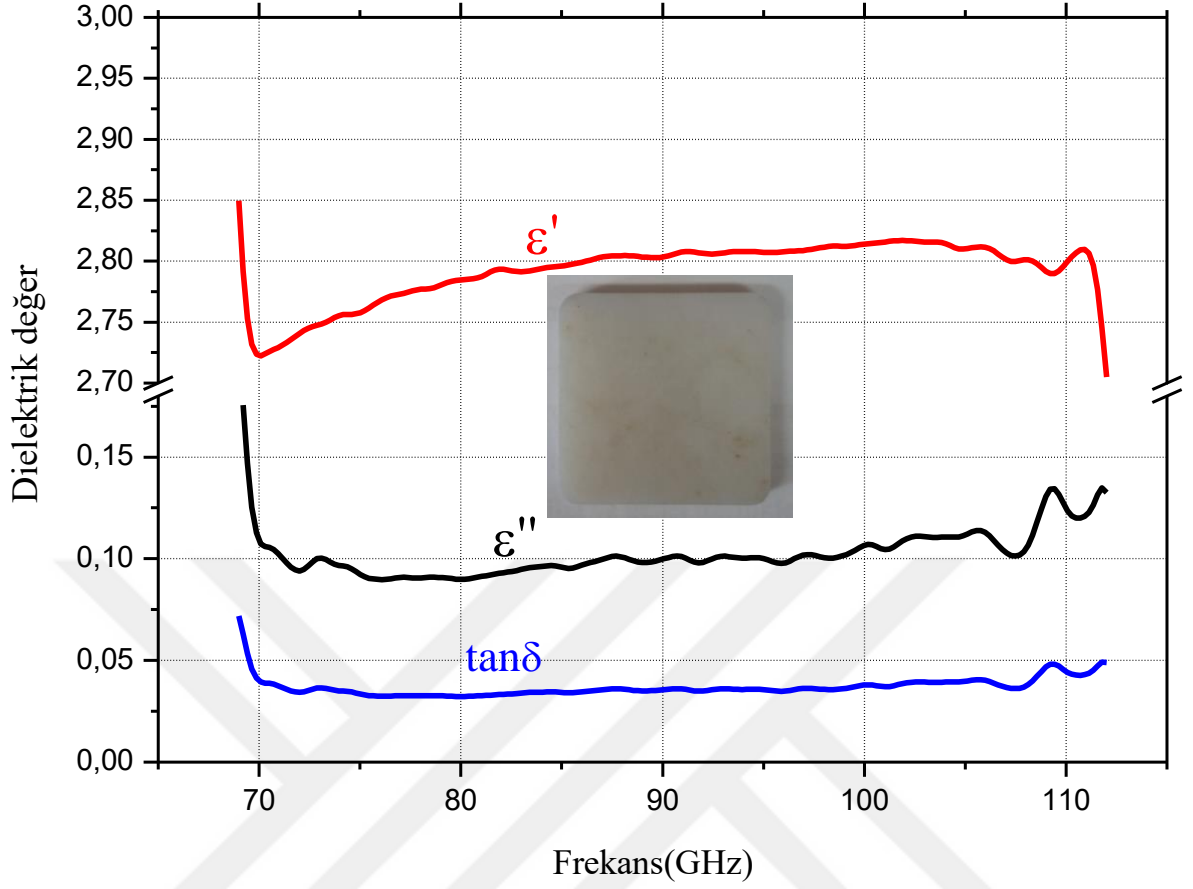
Şekil 3. 24. Saf PMMA'nın dielektrik değerlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla değişimi

4 mm kalınlığındaki α -Fe₂O₃/PMMA kompozit peletinin reel dielektrik (ϵ'), imajinel dielektrik (ϵ'') ve kayıp tanjant ($\tan\delta$) değerlerinin frekansa bağımlılığı Şekil 3.25'de gösterilmiştir. α -Fe₂O₃/PMMA kompozit peletinin dielektrik değerlerinin ϵ' = 2.8-2.9 aralığında ve ϵ'' =0.08-0.14 aralığında olduğu görülmüştür. α -Fe₂O₃/PMMA numunesinin dielektrik kayıp faktörü değerinin ise $\tan\delta$ = 0.03-0.04 aralığında olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.25 den görüldüğü gibi α -Fe₂O₃/PMMA 'ya ait dielektrik sabitlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla önemli derecede değişmediği gözlenmiştir.



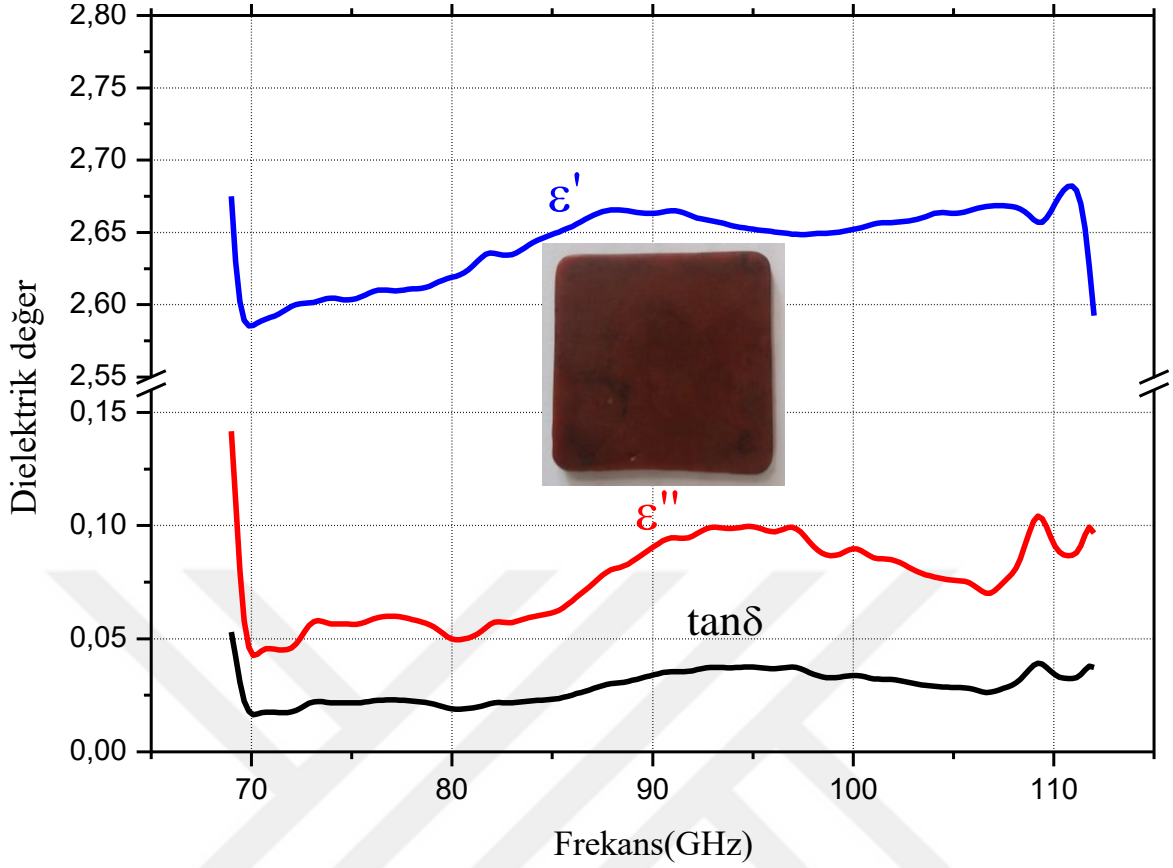
Şekil 3. 25. $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ takviyeli pelet kompozitinin dielektrik değerlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla değişimi

4.5 mm kalınlığında ZnO/PMMA kompozit peletlerin reel dielektrik (ϵ'), imajinel dielektrik (ϵ'') ve kayıp tanjant ($\tan\delta$) değerlerinin frekansla değişimi Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Şekilden ZnO/PMMA kompozit peletinin dielektrik değerlerinin, yaklaşık $\epsilon' = 2.8$, $\epsilon'' = 0.10$ $\tan\delta = 0.03$ olduğu ve frekansla önemli derecede değişmediği gözlenmiştir.



Şekil 3. 26. ZnO takviyeli pelet kompozitinin dielektrik değerlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla değişimi

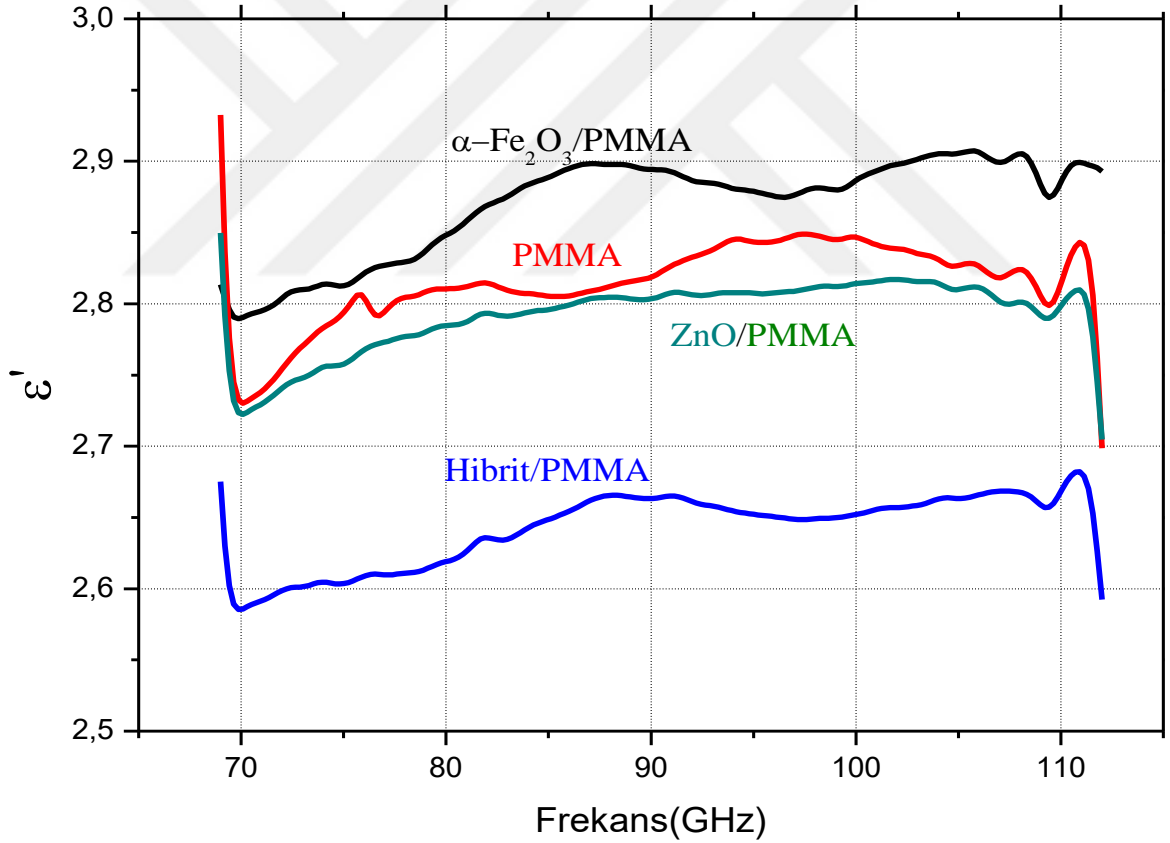
4.5 mm kalınlıkta hibrit/PMMA kompozit peletlerin reel dielektrik (ϵ'), imajinel dielektrik (ϵ'') ve kayıp tanjant ($\tan\delta$) değerlerinin frekansla değişimi Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Hibrit/PMMA kompozit için dielektrik değerlerinin, $\epsilon'= 2.60-2.65$, $\epsilon''= 0.05-0.10$, $\tan\delta=0.03$ olduğu ve bu değerlerin frekansla önemli derecede değişmediği gözlenmiştir.



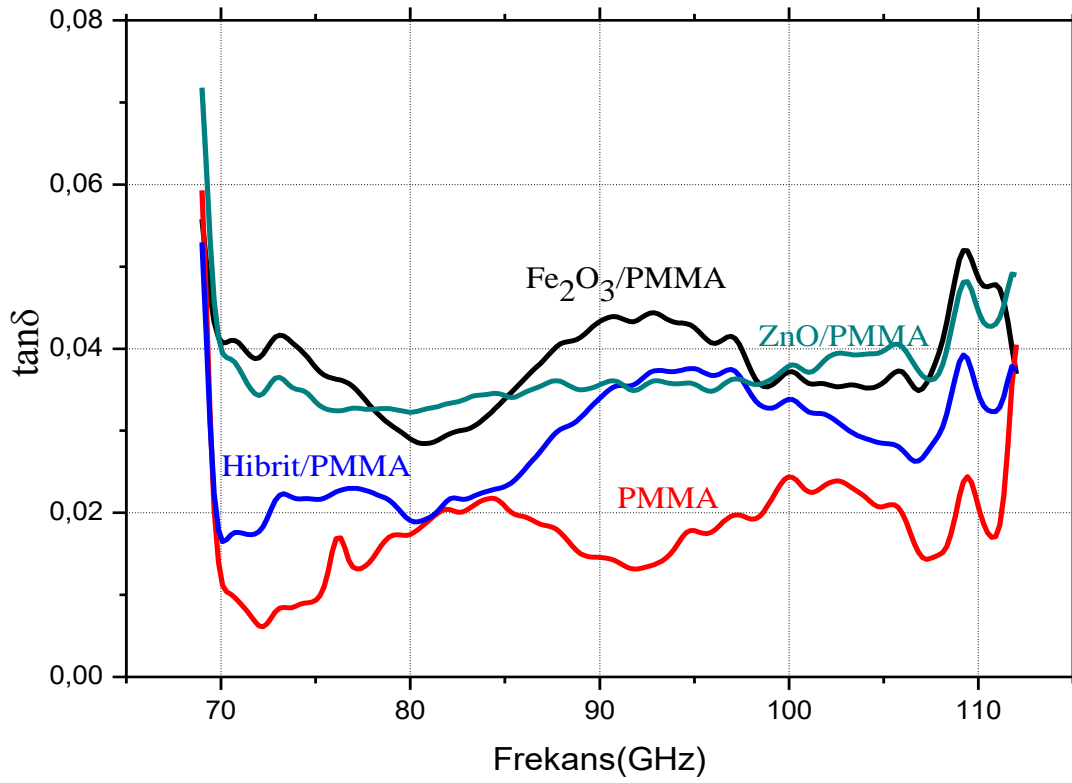
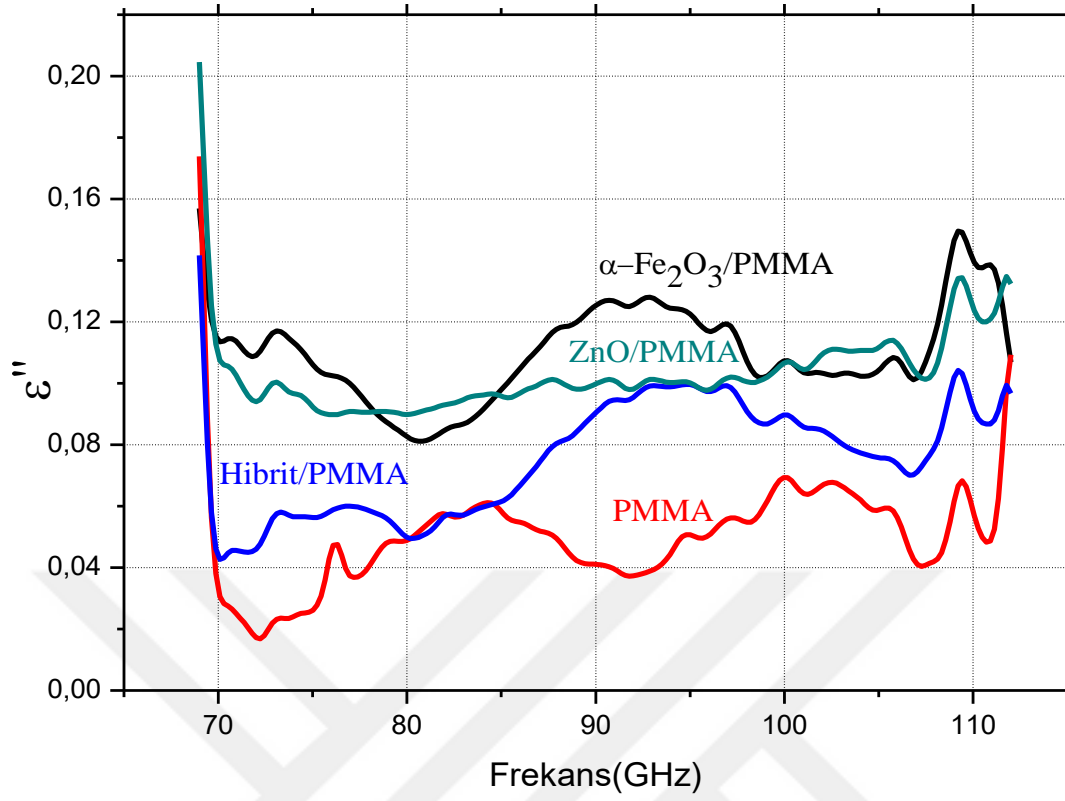
Şekil 3. 27. Hibrit takviyeli pelet kompozitinin dielektrik değerlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla değişimi

Kalınlıkları 4 - 4,7 mm arasında değişen PMMA (4.7 mm), ZnO/PMMA (4.5 mm), α -Fe₂O₃/PMMA (4 mm) ve hibrit/PMMA (4.5 mm) kompozit malzemelerin oda sıcaklığında ölçülen frekansa bağlı (70-110 GHz aralığında) reel (ϵ'), imajinel (ϵ'') ve kayıp faktörü ($\tan\delta$) değerleri Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da gösterilmiştir. Dielektrik sabitinin reel kısmı ϵ' dielektrik maddenin polarizasyon miktarının bir ölçüsü olup malzemede elektrik alandan dolayı ne kadar enerji depolandığını ifade eder. Dielektrik sabitinin imajinel kısmı ϵ'' ise kayıp faktörü olarak adlandırılır ve elektromanyetik enerjinin ne kadarının soğrulup ve dağılım yolu ile ısı enerjisine çevrildiğini ifade etmektedir. Malzemelerin dielektrik kayıp faktörü ($\tan\delta$) dielektrik sabitininin sanal kısmının (ϵ'') gerçel kısmına (ϵ') oranı ile ifade edilmektedir. Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'dan görüldüğü gibi α -Fe₂O₃/PMMA kompozit malzemesi ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ değerleri saf PMMA, ZnO/PMMA ve hibrit/PMMA değerlerinden daha yüksektir. Bu durum α -Fe₂O₃/PMMA kompozit malzemesinin mikrodalga absorblama kabiliyetin

diğerlerine göre daha iyi olduğunu göstermektedir. ZnO ve α -Fe₂O₃ nanoparçacıklardan oluşan hibrit kompozit maddesi ise en düşük absorblama kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir. Hibrit yapıda α -Fe₂O₃ çekirdek, ZnO ise yalıtım kabuğunu oluşturur. Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'dan görüldüğü gibi hibrit/PMMA ve α -Fe₂O₃/PMMA kompozitlerinin ϵ' , ϵ'' değerlerinin frekansla değişimi yaklaşık aynı tarzda fakat farklı değerdedirler. ϵ' , ϵ'' değerlerinin aynı davranışı göstermesinin sebebinin yalıtıcı kabuk görevi yapan ZnO'nin kalınlığının son derece düşük olması çekirdek görevi gören α -Fe₂O₃'in boyutunun oldukça büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu XRD sonuçlarında da gözlemlenmiştir. Hibrit /PMMA kompozitine ait XRD datalarında ZnO fazına ait herhangi bir kırınım gözlenmemiştir.



Şekil 3. 28. Pelet kompozitlerinin reel dielektrik değerlerinin (ϵ') frekansla değişimi



4. İRDELEME

Bu çalışmada çözeltili döküm yöntemi kullanılarak saf ve %0.01, %0.05, %0.1, %0.3, %0.5, %1 oranlarında ZnO, α -Fe₂O₃ ve hibrit (α -Fe₂O₃/ZnO) nanotoz ile katkılandırılmış PMMA nanokompozitlerin yapısal, optiksel ve dielektrik özellikleri incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan tozların morfolojik özellikleri incelendiğinde nano boyutlara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Mekanik alaşımlamayla elde edilen hibrit nanotozlarında ZnO tozlarının α -Fe₂O₃ tozlarının etrafında topaklandığı gözlemlenmiştir. Yapılan XRD testlerinde hibrit ile α -Fe₂O₃ tozlarının piklerinin aynı olduğu görülmüştür. Bu duruma sebep olarak ZnO tozlarının α -Fe₂O₃ tozları etrafında topaklanması gösterilebilir. Nanotoz takviyeli kompozitlerin de XRD pikleri benzer özellik göstermiştir. Yapılan EDX analizlerinde kompozitler içerisindeki nano tozların yapıda homojen bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir.

UV-Vis. sonuçlarında, ZnO, α -Fe₂O₃ ve hibrit toz takviyeli PMMA kompozitlerin optik geçirgenlik özelliği incelenmiştir. Aldığımız sonuçlara göre saf PMMA filminin görünür bölgede (400-700 nm) %90 geçirgenliğe sahip olduğu görülmektedir. UV bölgede (400 nm altı) ise PMMA filminin UV ışığını tamamen absorbe edemediği kısmi bir absorblama olduğu görülmektedir.

α -Fe₂O₃ takviyeli PMMA kompozitlerde optik geçirgenlik hızlı bir şekilde azalmış ve %1 α -Fe₂O₃ katkılı PMMA filmi için görünür bölgede optik geçirgenlik %10'nun altına düşmüştür. Ayrıca PMMA filmde artan α -Fe₂O₃ katkısıyla kırmızıya kayma saptanmıştır. Artan α -Fe₂O₃ katkısıyla hem kırmızıya kayma hem de optik geçirgenlikle hızlı azalışın nedeninin α -Fe₂O₃ nanoparçaklarının aglomere (topaklanma) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. UV bölgede PMMA'ya α -Fe₂O₃ katkısı filmlerin UV absorblama özelliğini kısmen arttırdığı görülmektedir.

ZnO takviyeli PMMA kompozitlerde optik geçirgenlik ZnO katkısı arttığında görünür bölgede optik geçirgenliğinin azaldığı ve kırmızıya kayma görülmektedir. α -Fe₂O₃ katkılı PMMA filmlere benzer şekilde burada ZnO/PMMA filmlerin de artan ZnO miktarı ile nanoparçaklarının topaklanarak geçirgenliği düşürdüğü ve kırmızı bölgeye kaymaya sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca azalan ZnO katkısı ile filmlerinde görünür bölgeden UV bölgeye geçişleri daha keskin şekilde olduğu

görülmektedir. UV absorblama özelliği artan ZnO miktarı ile artmakla ve %0.5 ve %1 ZnO katkısıyla filmler tamamen UV absorblama özelliğine sahip olmaktadır.

Hibrit takviyeli PMMA filmlerin UV-Vis α -Fe₂O₃/PMMA ve ZnO/PMMA filmlerine benzer şekilde hibrit katkılı PMMA filmde katkı oranının artması ile görünür bölgede filmlerin optik geçirgenliğinin azaldığı ve kırmızıya kayma gözlenmiştir. Hibrit filmler içinde UV bölgede kısmi UV absorblama özelliğini göstermiştir.

%0.01 katkılı α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkılı PMMA kompozitlerde görünür bölgedeki optik geçirgenlikleri hemen hemen aynı olup %80 ile %90 arasında değişmekle beraber en yüksek geçirgenlik ZnO/PMMA filmde gözlenmektedir. Ayrıca hibrit/PMMA filminin en yüksek UV absorbans özelliği gösterdiği görülmektedir.

%0.05 katkılı α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkılı PMMA kompozitlerde görünür bölgedeki ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri hemen hemen aynı olmakla birlikte (%80-90 arasında) α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin %70 ile %85 arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca görünür bölgede en yüksek absorbans özelliği α -Fe₂O₃/PMMA filmde gözlenmektedir. Uv bölgede ise filmler arasında hibrit/PMMA filminin en yüksek UV absorbans değerine sahip olduğu görülmektedir.

%0.1 katkılı α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit katkılı PMMA kompozitler görünür bölgede ZnO ve hibrit katkılı PMMA filminin optik geçirgenlikleri hemen hemen aynı değerlere sahip (%80-90 arasında) olmakla beraber, α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin hızlı bir şekilde %45 ile %70 arasında düştüğü görülmüştür. Ayrıca ZnO/PMMA ve hibrit/PMMA filmlerinin görünür bölgede absorbans değerlerinin α -Fe₂O₃/PMMA filminden daha düşük olduğu görülmektedir. UV bölgedeyse en düşük absorbans özelliği hibrit takviyeli film göstermektedir.

%0.3 katkılı α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit PMMA kompozitlerde görünür bölgede ZnO katkılı PMMA filmin optik geçirgenliği diğerleri ile kıyaslandığında daha yüksek değere sahip (%45-85 arasında) olduğu görülmektedir. Hibrit/PMMA filminin optik geçirgenliği %30 ile %75 arasında değişirken, α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin ise %10 ile %30 arasına düştüğü görülmüştür. Görünür bölgede en yüksek absorbans değeri α -Fe₂O₃/PMMA filmde, Uv bölgede ise en düşük absorbans değerini hibrit/PMMA filmi göstermektedir.

%0.5 katkılı α -Fe₂O₃, ZnO ve hibrit PMMA kompozitlerde görünür bölgede ZnO katkılı PMMA filmin optik geçirgenliğinin diğerleri ile kıyaslandığında daha yüksek değere sahip (%25-75 arasında) olduğu görülmektedir. Hibrit/PMMA filminin optik

geçirgenliği %25 ile %70 arasında değişirken, α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin ise %3 ile %20 arasına düştüğü görülmüştür. Görünür bölgede en yüksek absorbands özelliğini α -Fe₂O₃/PMMA göstermektedir. Uv bölgede ise ZnO/PMMA ve α -Fe₂O₃/PMMA filmlerinin hemen hemen aynı absorbands özelliğine sahip olduğu gözlenirken, bu filmlerin hibrit/PMMA filminden daha iyi absorbands özelliği sergilediği görülmektedir.

% 1 katkılı α -Fe₂O₃, ZnO ve hibritkatkılı PMMA kompozitlerde görünür bölgede ZnO katkılı PMMA filmin optik geçirgenliğinin diğer filmlerden daha yüksek değere sahip (%15-70 arasında) olduğu görülmektedir. Hibrit/PMMA filminin optik geçirgenliği %15 ile % 60 arasında değişirken, α -Fe₂O₃/PMMA filminin optik geçirgenliğinin ise %5 değerinin altına düştüğü gözlemlenmiştir. Görünür bölgede en yüksek absorbands özelliğini α -Fe₂O₃/PMMA filmi göstermiştir. Uv bölgede ise ZnO/PMMA filmi neredeyse tamamen absorblama özelliği sergilediği ve α -Fe₂O₃/PMMA filminin ise kısmi absorbalama özelliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Kalınlıkları 4 - 4,7 mm arasında değişen PMMA (4.7 mm), ZnO/PMMA (4.5 mm), α -Fe₂O₃/PMMA (4 mm) ve hibrit/PMMA (4.5 mm) kompozit malzemelerin oda sıcaklığında frekansa bağlı (70-110 GHz aralığında) reel (ϵ'), imajinel (ϵ'') ve kayıp faktörü ($\tan\delta$) değerleri incelenmiştir. Dielektrik sabitinin reel kısmı ϵ' dielektrik maddenin polarizasyon miktarının bir ölçüsü olup malzemede elektrik alandan dolayı ne kadar enerji depolandığını ifade eder. Dielektrik sabitinin imajinel kısmı ϵ'' ise kayıp faktörü olarak adlandırılır ve elektromanyetik enerjinin ne kadarının soğrulup ve dağılım yolu ile ısı enerjisine çevrildiğini ifade etmektedir. Malzemelerin dielektrik kayıp faktörü ($\tan\delta$) dielektrik sabitininin sanal kısmının (ϵ'') gerçel kısmına (ϵ') oranı ile ifade edilmektedir. Analizler sonucunda Saf PMMA'nın ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ katsayıları yaklaşık olarak $\epsilon' \approx 2.8$, $\epsilon'' \approx 0.05$ ve $\tan\delta \approx 0.01$ olarak ölçülmüştür (Şekil 3.24). α -Fe₂O₃/PMMA kompozit peletinin dielektrik değerlerinin $\epsilon' = 2.8-2.9$ aralığında ve $\epsilon'' = 0.08-0.14$ aralığında olduğu görülmüştür. α -Fe₂O₃/PMMA numunesinin dielektrik kayıp faktörü değerinin ise $\tan\delta = 0.03-0.04$ aralığında olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.25'de görüldüğü üzere α -Fe₂O₃/PMMA 'ya ait dielektrik sabitlerinin (ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$) frekansla önemli derecede değişmediği gözlenmiştir. ZnO/PMMA kompozit peletlerin dielektrik değerlerinin, yaklaşık $\epsilon' = 2.8$, $\epsilon'' = 0.10$ $\tan\delta = 0.03$ olduğu ve frekansla değişmediği gözlenmiştir (Şekil 3.26). Hibrit/PMMA kompozit peletlerin dielektrik değerlerinin,

$\epsilon' = 2.60-2.65$, $\epsilon'' = 0.05-0.10$, $\tan\delta = 0.03$ olduğu ve bu değerlerin frekansla değişmediği gözlenmiştir.

Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'dan görüldüğü gibi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{PMMA}$ kompozit malzemesi ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ değerleri saf PMMA, ZnO/PMMA ve hibrit/PMMA değerlerinden daha yüksektir. Bu durum $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{PMMA}$ kompozit malzemesinin mikrodalga absorblama kabiliyetinin diğerlerine göre daha iyi olduğunu göstermektedir. ZnO ve $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparçacıklardan oluşan hibrit kompozit maddesi ise en düşük absorblama kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir. Hibrit yapıda $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ çekirdek, ZnO ise yalıtım kabuğunu oluşturur. Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'dan görüldüğü gibi hibrit/PMMA ve $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{PMMA}$ kompozitlerinin ϵ' , ϵ'' değerlerinin frekansla değişimi yaklaşık aynı tarzda fakat farklı değerdendirler. ϵ' , ϵ'' değerlerinin aynı davranışı göstermesinin sebebinin yalıtıcı kabuk görevi yapan ZnO'nun kalınlığının son derece düşük olması çekirdek görevi gören $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 'in boyutunun oldukça büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu XRD sonuçlarında da gözlemlenmiştir. Hibrit /PMMA kompozitine ait XRD datalarında ZnO fazına ait herhangi bir kırınım gözlenmemiştir.

5. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen çıkarımlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Takviye tozların kompozit içerisinde homojen bir dağılım gösterdiği görülmüştür.
2. Tüm kompozitlerin optik özelliklerine bakıldığında görünür bölgede artan takviye oranıyla birlikte optik geçirgenliklerinin azaldığı görülmüştür.
3. ZnO takviyeli kompozitlerin genel olarak en iyi optik geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür.
4. α -Fe₂O₃ takviyeli filmlerinin optik geçirgenliğinin ZnO katkısıyla artırılacağı gözlemlenmiştir.
5. 70-110 GHz aralığında α -Fe₂O₃/PMMA kompozit malzemesinin ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ değerleri saf PMMA, ZnO/PMMA ve hibrit/PMMA değerlerinden daha yüksek ölçülmüştür.

6. ÖNERİLER

1. Hibrit nano toz içerisindeki α -Fe₂O₃ ve ZnO tozları farklı oranlarda katılabilir.
2. Hibrit nano toz içerisindeki α -Fe₂O₃ ve ZnO tozları farklı zamanlarda karıştırılabilir.
3. Nanokompozitlere farklı oranlarda takviye malzemesi uygulanarak optik ve dielektrik özellikleri incelenebilir.
4. Farklı kalınlıklarda kompozit malzemeler üretilerek optik ve dielektrik özellikler incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Sönmez, M. , Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerinde Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
2. Şahin, Y., Kompozit Malzemere Giriş , 3.Baskı , Seçkin Yayıncılık , Ankara , 2015.
3. Varol,T., AA2024 Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
4. Dalmış, R., Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Nano-Parçacık Takviyeli Zn-Al Esaslı Nano-Kompozit Malzemelerin Üretilmesi, İç Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
5. Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, 2. Baskı , Seçkin yayıncılık , Ankara, 2006.
6. Şen, F., Palancıoğlu, E . ve Aldaş , K. , Polimerik Nanokompozitler ve Kullanım Alanları, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7,1 (2010) 111-118.
7. Solak, H.H., Lif Ve Mineral Takviyeli Melamin Matrisli Kompozit Malzemelerin Isıl Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul , 2012.
8. Callister, D. W. , Materials and Engineering , Seventh Edition , John Wiley & Sons, United States of America, 2007.
9. Taşcı, U., AA2014-B4C Metal Matrisli Kompozitinin Toz Metalurjisi ve İnfiltasyon Yöntemiyle Üretilirliği, Karakterizasyonu ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
10. Demirel, A., Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
11. Agrawal, J. P., Composite Materials , Ravi A., Defence Scientific Information Documentation Centre (DESIDOC), Delhi, 1990.
12. Atik, E., Ünlü B. S., Şen O ve Çavdar U, Partikül Takviyeli AlSi12CuNiMg Kompozitinin Aşınma Dayanımı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 2,2 (2006) 75-87.
13. <https://www.muhendisbeyinler.net/kompozit-malzemeler-nedir/>, 21 Ağustos 2017.

14. Chawla, K.K., Composite Materials Science and Engineering, Third Edition, Springer, London, 2013.
15. Akın, G., Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
16. Güler, C. , Alüminyum Matrisli SiC Takviyeli Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2012.
17. Coiai, S., Passaglia, E., Pucci, A. ve Ruggeri, Nanocomposites Based On Thermoplastic Polymers And Functional Nanofiller For Sensor Applications, Materials, 8, 6 (2015) 3377-3427.
18. Mazumdar, S. K., Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering, 2001.
19. Schmidt-Mende, L. Ve MacManus-Driscoll J. L., Zno-Nanostructures, Defects And Devices, Materials today, 10, 5(2007), 40-48.
20. Chakraborty, H., Sinha, A., Mukherjee, N., Ray, D. ve Chattopadhyay P.P., A Study On Nanoindentation And Tribological Behaviour Of Multifunctional ZnO/PMMA Nanocomposite , Materials Letters, 93(2013) 137-140.
21. Kiziltas, E. E., Kiziltas, A., Bollin, S. C. ve Gardner, D. J. , Preparation And Characterization Of Transparent PMMA–Cellulose-Based Nanocomposites, Carbohydrate Polymers, 127 (2015) 381-389.
22. <http://pslc.ws/macrog/pmma.htm> 2 Kasım 2017.
23. <http://polimetilmetakrilat.blogspot.com.tr/> 2 Kasım 2017.
24. Wanga, G., Zhaob J., Wangd G., Markb L. H., Parkb C. B. ve Zhaoa G., Low-Density And Structure-Tunable Microcellular PMMA Foams With Improved Thermal Insulation And Compressive Mechanical Properties, European Polymer Journal, 95 (2017) 382-393.
25. Bayrak, Ö., Silikon Yağı İlave Edilen Polimetilmetakrilat(PMMA) Protez Kaide Materyalinin Mekanik ve Mikrobiyolojik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, 2007.
26. Anju, V. P., Narayanankutty S. K., Impact Of Bis-(3triethoxysilylpropyl) Tetrasulphide On The Properties Of PMMA/Cellulose Composite, Polymer , 119 (2017) 224-237.
27. Carbaugh, D. J., Wright J. T. ve Rahman F., Negative Tone Photolithography With Photo-Sensitised Polymethyl Methacrylate (PMMA), Microelectronic Engineering 171 (2017) 53-59.

28. Kumdalı, F., Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
29. Xu, S. ve Wang, Z. L., One-dimensional ZnO nanostructures: solution growth and functional properties, *Nano Research*, 4,11(2011) 1013-1098.
30. Yi, G. C., Wang, C., ve Park Il, W., Zno Nanorods: Synthesis, Characterization And Applications, *Semiconductor science and technology*, 20, 4 (2005) S22.
31. Canbay, C.A., Kompozit Yarıiletkenlerin Termal , Elektrik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2005.
32. Salavati-Niasari, M., Davar, F. ve Khansari, A., Nanosphericals And Nanobundles Of Zno: Synthesis And Characterization, *Journal Of Alloys And Compounds*, 509 (2011) 61–65 .
33. Amekura, H. ve Kishimoto, N., Fabrication Of Oxide Nanoparticles by Ion Implantation And Thermal Oxidation, Toward Functional Nanomaterials, Wang Z.,Springer, 2009.
34. Özgür, Ü., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M., Doğan, S., Avrutin V., Cho S.J. ve Morkoc, H., A Comprehensive Review Of Zno Materials And Devices, *Journal of Applied Physics*, 98 (2005) 041301 .
35. Yiğit, T., Çinko Oksit (Zno) Nanokompozitlerin Doğrusal Olmayan Optik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2013.
36. Arıç, E., Nanoyapıda Çinko Oksit Partiküllerinin Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
37. Kango, S., Kalia, S., Celli, A., Njuguna, J., Habibi, Y. ve Kumar, R., Surface Modification Of İnorganic Nanoparticles for Development of Organic–İnorganic Nanocomposites—A Review, *Progress in Polymer Science*, 38,8 (2013) 1232-1261.
38. İmamoğlu, G., Elektrokimyasal Yöntemlerle Çinko Metalinden Çinko Oksit Ve Çinko Gliserat Sentezi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2013.
39. Akl, A. A., Microstructure And Electrical Properties Of İron Oxide Thin Films Deposited By Spray Pyrolysis, *Applied Surface Science*, 221 (2004) 319–329.
40. Belkhedkar, M.R. ve Ubale, A.U., Preparation and Characterization of Nanocrystalline α -Fe₂O₃ Thin Films Grown by Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction Method, *International Journal of Materials and Chemistry*, 4, 5(2014) 109-116
41. Sreeja, V. ve Joy, P.A., Microwave–Hydrothermal Synthesis Of γ -Fe₂O₃ Nanoparticles And Their Magnetic Properties, *Materials Research Bulletin*, 42 (2007) 1570–1576.

42. Surowieca, Z., Gac W. ve Wiertel M, The Synthesis and Properties of High Surface Area Fe₂O₃ Materials, *Acta Physica Polonica A*, 119,1 (2011) 18-20.
43. Demir, G., Yeni Bir Kimyasal Metotla α -Fe₂O₃ ve γ -Fe₂O₃ Nanopartiküllerinin Hazırlanması ve Faz Değişimlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl Üniversitesi, 2012.
44. Tuček, J., Machala, L., Ono, S., Namai, A., Yoshikiyo, M., Imoto, K., Tokoro H., Ohkoshi S. ve Radek Zboří R., Zeta-Fe₂O₃ – A new stable polymorph in iron(III) oxide family, *Scientific reports*, 5, 2015.
45. Vujtek, M., Zboril, R., Kubinek, R., ve Mashlan, M., Ultrafine Particles of Iron(III) Oxides by View of AFM – Novel Route for Study of Polymorphism in Nano-world, Science, technology and education of microscopy: an overview, *Microscopy Book Series 1*, 2003.
46. Chirita, M. ve Grozescu, I., Fe₂O₃ – Nanoparticles, Physical Properties and Their Photochemical And Photoelectrochemical Applications, *Chem. Bull*, 54, 68(2009) 1-8.
47. Zolghadr, S., Khojier, K. ve Kimiagar, S., Ammonia Sensing Properties of α -Fe₂O₃ Thin Films During Post-Annealing Process, *Procedia Materials Science*, 11 (2015) 469 – 473.
48. <http://www.encyclopedia.com/science/academic-and-educational-journals/ironiii-oxide> 28 Ekim 2017
49. http://www.fen.bilkent.edu.tr/~mb/dokumanlar/Nanoteknoloji_UNAM.pdf 16 Kasım 2017
50. Bayındır, M. ve Köylü, Ö., Türkiye’de Nanoteknoloji, *Bilim ve Teknik Dergisi–Yeni Ufuklar*, (2006) 1-23.
51. Okpala, C.C., Nanocomposites–An Overview, *International Journal of Engineering Research and Development*, 8(2013) 17-23.
52. Paul, D.R.ve Robeson, L.M., *Polymer Nanotechnology: Nanocomposites*, *Polymer* 49, 15 (2008) 3187-3204.
53. Vural, S., Nanometrik Boyuttaki Metal Oksit Sollerinin Oluşumları, Yapısal Kontrolü Ve Fizikokimyasal Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2007.
54. Zhao, S., Introduction to Nanocomposites. ncmn.unl.edu/Nanocomposite%20%282013%206%2021%29.pdf 30 Ağustos 2017.
55. Singh, P., Kumar, A., Deepak ve Kaur D., Growth And Characterization Of ZnO Nanocrystalline Thin Films And Nanopowder Via Low-Cost Ultrasonic Spray Pyrolysis, *Journal of Crystal Growth*, 306, 2(2007) 303-310.
56. Anandhan, S. ve Bandyopadhyay, S., *Polymer Nanocomposites: From Synthesis to Applications, Nanocomposites and Polymers with Analytical Methods*, John Cuppoletti, InTech, Rijeka, 2011.

57. Camargo, P.H.C., Satyanarayana K..G. ve Wypych F., Nanocomposites: Synthesis, Structure, Properties and New Application Opportunities, *Materials Research*, 12, 1(2009) 1-39.
58. Casati, R. ve Vedani, M., Metal Matrix Composites Reinforced by Nano-Particles— A Review, *Metals*, 4, 1 (2014) 65-83.
59. Kurt, A., ATRP Metodu İle Hazırlanan Üç Kollu Polimerlerin Dielektrik Özellikleri, *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2,1 (2009) 47-55.
60. Lökçü, E., Spinel Mikrodalga Dielektrik Seramiklerinin Polimerik Jel Yöntemi İle Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
61. http://www.wikiwand.com/en/Dielectric_spectroscopy 7 Nisan 2018
62. Burtfoot, J. C., *Ferroelectrics: An introduction to the physical principles*, Van Nostrand Reinbold, London, 1967.
63. Virtanen, S., Structural studies of dielectric polymer nanocomposites, Research report/Department of Chemistry, University of Jyväskylä, 0357-346X, 173, 2013.
64. http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/25967/17/17_chapter%209.pdf
29 Mart 2018
65. Chiang, C.K. ve R. Popielarz. "Polymer composites with high dielectric constant." *Ferroelectrics* 275, 1 (2002) 1-9.
66. Gümüşderelioğlu, M. ve Kaynak, G., *Mikrodalgalar ve Uygulamaları*, Bilim ve Teknik, Temmuz, 2012.
67. Arora, A. K., Sharma, M., Kumari, R., Jaswal, V.S. ve Kumar, P., Synthesis, Characterization, and Magnetic Studies of α -Fe₂O₃ Nanoparticles, *Journal of Nanotechnology*, 7(2014) 474909.
68. Liu, P. ve Su, Z., Preparation and Characterization of PMMA/ZnO Nanocomposites via In-Situ Polymerization Method, *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 45, 1(2006) 131-138.
69. Bansod, A.R., Chimankar, O.P., Turkar, R.K. ve Gandhe, A., Synthesis, Ultrasonic and other characterization of PMMA/Fe₂O₃ films, *International Journal of Engineering and Technical Research*, 2014, 2-2.
70. Demir, M.M., Koynov, K., Akbey, Ü., Bubeck, C., Park, I., Lieberwirth, I. ve Wegner, G., Optical properties of composites of PMMA and surface-modified zincite nanoparticles, *Macromolecules*, 40, 4(2007) 1089-1100.
71. Li, S., Qin, J., Fornara, A., Toprak, M., Muhammed, M. ve Kim, D. K., Synthesis and magnetic properties of bulk transparent PMMA/Fe-oxide nanocomposites, *Nanotechnology*, 20, 18(2009) 185607.

72. Soumya, S., Mohamed, A. P., Paul, L., Mohan, K. ve Ananthakumar, S., Near IR reflectance characteristics of PMMA/ZnO nanocomposites for solar thermal control interface films, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 125, (2014) 102-112.
73. Ishaq, M., Saeed, K., Ayaz, S. ve Ahmad, I., Synthesis and characterization of iron (III) oxide/polyvinyl chloride/poly (methyl methacrylate) nanocomposites, *Instrumentation Science & Technology*, 44, 5(2016) 566-576.
74. Rameshkumar, C., Sarojini, S., Naresh K. ve Subalakshmi, R., Preparation and Characterization of Pristine PMMA and PVDF Thin Film Using Solution Casting Process for Optoelectronic Devices, *Journal Of Surface Science And Technology*, 33,(1-2) 2017 12-18.
75. Reyes-Acosta, M. A., Torres-Huerta, A. M., Domínguez-Crespo, M. A., Flores-Vela, A. I., Dorantes-Rosales, H. J. ve Andraca-Adame, J. A., Thermal, Mechanical and UV-Shielding Properties of Poly(Methyl Methacrylate)/Cerium Dioxide Hybrid Systems Obtained by Melt Compounding, *Polymers*, 7(2015) 1638-1659.
76. Verma, A., Srivastav, A., Khan, S. A., Satsangi, V. R., Shrivastav, R., Avasthi, D. K. ve Dass, S., Enhanced photoelectrochemical response of plasmonic Au embedded BiVO₄/Fe₂O₃ Heterojunction, *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 19(2017) 15039.
77. Zakiyan, S. E., Azizi, H. ve Ghasemi, I., Influence of chain mobility on rheological, dielectric and electromagnetic interference shielding properties of polymethyl-methacrylate composites filled with graphene and carbon nanotube, *Composites Science and Technology*, 142 (2017) 10-19.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Enis TAŞÇIOĞLU 1990 yılında Trabzon'da doğdu. 2014 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Lisans eğitiminin ardından Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimi süresince uluslararası sempozyumlarda sunulmuş olan 1 adet bildirisi bulunmaktadır.

