

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI  
KATIHAL FİZİĞİ BİLİM DALI**

**NANOPARÇACIK İÇEREN POLİMERLERİN OPTİKSEL VE YAPISAL  
KARAKTERİZASYONLARININ İNCELENMESİ**

**Murat TÜREMİŞ**

**Danışman  
Doç. Dr. Ahmet ÇETİN**

**II. Danışman  
Doç. Dr. Rana KİBAR**



**MANİSA-2016**

**Murat  
TÜREMİŞ**

**Nanoparçacık İçeren Polimerlerin Optiksel ve Yapısal Karakterizasyonlarının İncelenmesi**

**2016**

## TEZ ONAYI

**Murat TÜREMİŞ** tarafından hazırlanan "**Nanoparçacık İçeren Polimerlerin Optiksel ve Yapısal Karakterizasyonlarının İncelenmesi**" adlı tez çalışması 07.10.2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**' nda **DOKTORA TEZİ** olarak savunulmuş ve **oybirliği** ile **başarılı** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman**

**Doç. Dr. Ahmet ÇETİN**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



**II. Danışman**

**Doç. Dr. Rana KİBAR**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Zekai TEK**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Müslim Murat SAÇ**  
Ege Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. İdris SORAR**  
Mustafa Kemal Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Kamil ŞİRİN**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



**Enstitü Müdürü**

**Prof. Dr. Kenan DOST**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü' nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Murat TÜREMİŞ**



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ .....	VII
TEŞEKKÜR.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT .....	X
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Literatür Özeti .....	3
1.2. Nanoteknoloji ve Nanoparçacık .....	7
1.3. Tez Düzeni.....	8
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	10
2.1. Kristaller ve Kristal Yapı Kusurları .....	10
2.1.1. Noktasal Kusurlar .....	12
2.1.2. Çizgisel Kusurlar .....	14
2.1.3. Düzlemsel (Yüzeysel) Hatalar .....	15
2.1.4. Kütle (Hacimsel) Kusurları.....	16
2.2. Yarıiletkenler.....	17
2.2.1. Katkısız (Doğal) Yarıiletkenler .....	19
2.2.2. Katkılı (Doğal Olmayan) Yarıiletkenler .....	20
2.2.3. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri .....	23
2.3. Lüminesans ve Türleri.....	23
2.3.1. Ömür Sürelerine Göre Lüminesans Türleri .....	27
2.3.2. Uyarım Kaynağına Göre Bazı Lüminesans Türleri .....	28
2.4. Radyolüminesans.....	30
2.5. Optik Soğurma.....	31
2.5.1. Safsızlık Soğurması .....	32
2.5.2. Eksitonlar .....	33
2.5.3. Doğrudan (Direkt) ve Dolaylı (Direkt olmayan) Geçişler.....	34
2.6. Polimer Nanokompozitler .....	36

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	37
3.1. Materyal.....	37
3.1.1. Polietilen ve Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE) .....	37
3.1.2. Çinko Oksit (ZnO).....	41
3.1.3. 2-Hydroxy-4-Methoxybenzophenone (BP-3).....	44
3.1.4. Nanokompozitlerin Hazırlanması .....	45
3.2. Yöntemler.....	48
3.2.1. Radyolüminesans Sistemi (RL) .....	48
3.2.2. Optik Soğurma Sistemi .....	51
3.2.3. Mekanik Test Ölçümleri .....	55
3.2.4. Termal Analizler (TG-DTA) .....	58
3.2.5. X-Işını Kırınımı Sistemi (XRD) .....	59
3.2.6. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM).....	61
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	63
4.1. RL Ölçümleri.....	63
4.2. Optik Soğurma Ölçümleri .....	67
4.3. Mekanik Test Ölçümleri.....	70
4.4. TG-DTA Ölçümleri.....	72
4.5. XRD Ölçümleri .....	77
4.6. SEM Görüntüleri .....	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	88
KAYNAKLAR .....	91
ÖZGEÇMİŞ .....	100

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklaması
BP-3	2-Hydroxy-4-Methoxybenzophenone
c	Işık hızı
CL	Katodoluminesans
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
EL	Elektrolüminesans
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre
h	Planck sabiti
ICDD	Uluslararası Kırınım Verileri Merkezi
k.d.	Keyfi değer
LED	Işık yayan diyot
OSL	Optik Uyarımlı Lüminesans
PE	Polietilen
PL	Fotoluminesans
PM	Fotoçoğaltıcı tüp
PP	Polipropilen
RL	Radyoluminesans
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TG	Termogravimetrik
TL	Termoluminesans
TSL	Termal uyarımlı lüminesans
UV	Morötesi
XRD	X-Işını kırınımı
ZnO	Çinko Oksit
$\lambda$	Dalgaboyu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Makro-boyuttan nano-boyuta olan değişim .....	8
Şekil 1.2. Hareket edebilen nanoaraba .....	8
Şekil 2.1. (a) Kristal (düzenli) (b) Amorf (düzensiz) yapılar (c) ve (d) Birim hücre.	10
Şekil 2.2. Kristal sistemleri ve Bravais örgülerinin gösterimi .....	11
Şekil 2.3. (a) Atom boşluğu kusuru (b) Arayer atomu kusuru .....	13
Şekil 2.4. (a) Schottky kusuru, (b) Frenkel kusuru .....	13
Şekil 2.5. Kenar Dislokasyonu .....	14
Şekil 2.6. Vida Dislokasyonu .....	15
Şekil 2.7. Karışık Dislokasyon .....	15
Şekil 2.8. Tanecik Sınırı Kusurları .....	16
Şekil 2.9. İkizleme Sınırı Kusurları .....	16
Şekil 2.10. Hacimsel Kusurlar .....	17
Şekil 2.11. Kusur sınıflandırmaları için ölçek aralığı .....	17
Şekil 2.12. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken için basit bant yapısı .....	18
Şekil 2.13. Silisyum örgüsünde atomlar arası bağlar (a) $T = 0$ , (b) $T > 0$ .....	20
Şekil 2.14. n-tipi yarıiletkenin şematik gösterimi (a) bir silisyum atomunun bir fosfor safsızlık atomu ile yer değiştirdiğinde kovalent bağ oluşumu ve (b) donör safsızlık atomlarının enerji seviyeleri .....	21
Şekil 2.15. p-tipi yarıiletkenin şematik gösterimi (a) Bu yarıiletken için kovalent bağ oluşumu ve (b) alıcı yabancı atomlarının enerji seviyeleri. ....	22
Şekil 2.16. Basit lüminesans modeli .....	24
Şekil 2.17. Lüminesans Olayının Şematik Gösterimi .....	25
Şekil 2.18. Bant aralığı farklı olan malzemeler için lüminesans rengi .....	25
Şekil 2.19. Elektromanyetik Spektrum .....	26
Şekil 2.20. Farklı yollarla oluşan lüminesans .....	27
Şekil 2.21. Floresans ve fosforesans .....	28
Şekil 2.22. Radyolüminesans oluşumunun enerji diyagramı .....	31
Şekil 2.23. Bir malzeme üzerine gelen ışığın maddeden yansıması, yayılması ve geçişi .....	32
Şekil 2.24. n-tipi bir yarıiletkende safsızlık soğurma mekanizmaları (a) donör seviyeleri arasındaki geçişler (b) boş donör seviyeleri için valans bandından geçişler .....	33
Şekil 2.25. Eksiton türleri (a) Serbest veya zayıf bağlı (Wannier-Mott eksitonları) ve (b) Sıkıca bağlı (Frenkel eksitonları) .....	34
Şekil 2.26. Katılarda bantlar arası geçişler. Dikey eksen fotonun soğrulması sürecini; q ise bir fotonun soğrularak yayınlanmasını temsil etmektedir .....	35
Şekil 2.27. Elektronik soğurma enerjisi bant geçişleri .....	35
Şekil 3.1. Polietilenin molekül yapısı (a) Polietilenin tekrarlanan birimleri ve zincirleri (b) Polietilenin kristal yapısı .....	37
Şekil 3.2. Dallanmış molekül yapısına sahip olan Alçak Yoğunluklu Polietilen .....	38
Şekil 3.3. Etilen molekülünün bağ yapısı (a), Polietilenin başlangıç oluşumları ve kendisi (b) .....	39
Şekil 3.4. Avrupa da üretilen plastikler ve farklı sektörlerde uygulamaları .....	40
Şekil 3.5. Wurtzite yapı (hekzagonal simetri) ZnO nun gösterimi .....	42
Şekil 3.6. Ultraviyole (UV) radyasyonun dalgaboyu sınıflandırması (deri içerisine girme derinlikleri ve oluşturdukları olumsuz etkiler) .....	44
Şekil 3.7. BP-3' ün molekül yapısı .....	44



Şekil 3.8. Collin ZK 25T tezgah tipi çift vidalı karıştırıcı resmi .....	45
Şekil 3.9. Collin ZK 25T tezgah tipi çift vidalı karıştırıcının şematik görüntüsü.....	46
Şekil 3.10. A1, A5, A8 ve A11 numunelerinin görüntüleri ve renkleri .....	48
Şekil 3.11. RL makine sisteminin şematik gösterimi .....	49
Şekil 3.12. Işınlama amacıyla kullanılan X-ışını tüpü .....	50
Şekil 3.13. X-ışını kontrol ünitesi .....	50
Şekil 3.14. Radyolüminesans Sisteminin genel görünüşü .....	51
Şekil 3.15. Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi .....	52
Şekil 3.16. Perkin Elmer Lambda 950 Spektrofotometre Sisteminin iç yapısının şematik gösterimi .....	53
Şekil 3.17. İki farklı tür (sıvı-katı) örnek odası mevcut olan Lambda 950 Spektrofotometresi .....	54
Şekil 3.18. Çekme testleri için kullandığımız Shimadzu Çekme, Basma ve Üç Nokta Eğme Cihazı .....	55
Şekil 3.19. Çekme ölçümlerinde kullandığımız ASTM D 638 uluslararası standartlara göre tip IV şekli.....	56
Şekil 3.20. Plastiklerin Gerilme - Gevşeme eğrisi .....	57
Şekil 3.21. TG-DTA analizleri için kullanılan Hitachi SII Exstar 7300 marka deney cihazı .....	59
Şekil 3.22. Bragg Kanunu .....	60
Şekil 3.23. XRD ölçümlerinin alındığı PANalytical X-ışını kırınımı cihazı .....	60
Şekil 3.24. SEM mekanizmasının şematik gösterimi .....	61
Şekil 3.25. SEM görüntülerinin alındığı Philips XL-30S FEG cihazı .....	62
Şekil 4.1. A2-A5 ve ZnO numunelerinin RL grafikleri .....	63
Şekil 4.2. ZnO için gözlenen üç lüminesans sürecinin şematik diyagramı.....	64
Şekil 4.3. ZnO’da bulunan doğal kusurların enerji seviye diyagramı.....	65
Şekil 4.4. A4 ve A9-A11 numunelerinin RL grafikleri .....	65
Şekil 4.5. Titreşimsel geçişlerin şematik diyagramı, (1) soğurma, (2 ve 4) ışınımsız geçişler, (3) yayınlanma .....	66
Şekil 4.6. BP-3 ün Soğurma Grafiği .....	67
Şekil 4.7. Nanokompozitlerin (A1-A5 ve ZnO) Soğurma Grafikleri .....	68
Şekil 4.8. Nanokompozitlerin (A6-A8 ve A9-A11) Soğurma Grafikleri.....	69
Şekil 4.9. Nanokompozitlerin Kopmada Uzama Grafikleri.....	71
Şekil 4.10. Nanokompozitlerin Akma Dayanımı Grafikleri .....	71
Şekil 4.11. Nanokompozitlerin Kopma Dayanımı Grafikleri .....	72
Şekil 4.12. A1-A5 Nanokompozitlerinin TG Eğrileri.....	73
Şekil 4.13. A6-A8 Numunelerinin ve BP-3 ün TG Eğrileri.....	74
Şekil 4.14. A9-A11 Numunelerinin TG Eğrileri.....	74
Şekil 4.15. A1-A5 Nanokompozitlerinin DTA Eğrileri.....	76
Şekil 4.16. A6-A8 ve BP-3 Numunelerinin DTA Eğrileri.....	76
Şekil 4.17. A9-A11 Nanokompozitlerinin DTA Eğrileri.....	77
Şekil 4.18. A1-A5 Nanokompozitlerinin ve ZnO nun XRD Grafikleri.....	78
Şekil 4.19. A1, A6-A8 ve BP-3 Numunelerinin XRD Grafikleri .....	78
Şekil 4.20. A9-A11, ZnO ve BP-3 Numunelerinin XRD Grafikleri.....	79
Şekil 4.21. ZnO numunesinin SEM Görüntüsü .....	80
Şekil 4.22. BP-3 numunesinin SEM Görüntüsü.....	81
Şekil 4.23. A1 numunesinin SEM Görüntüsü .....	81
Şekil 4.24. A2 numunesinin SEM Görüntüsü .....	82
Şekil 4.25. A3 numunesinin SEM Görüntüsü .....	82
Şekil 4.26. A4 numunesinin SEM Görüntüsü .....	83

Şekil 4.27. A5 numunesinin SEM Görüntüsü.....	83
Şekil 4.28. A6 numunesinin SEM Görüntüsü.....	84
Şekil 4.29. A7 numunesinin SEM Görüntüsü.....	84
Şekil 4. 30. A8 numunesinin SEM Görüntüsü.....	85
Şekil 4.31. A9 numunesinin SEM Görüntüsü.....	85
Şekil 4.32. A10 numunesinin SEM Görüntüsü.....	86
Şekil 4.33. A11 numunesinin SEM Görüntüsü.....	86



## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3.1. ZnO'nun bazı fiziksel özelliklerinin daha ön plana çıkarılması açısından teknolojik uygulama alanları yönünden kesişen diğer bileşik yarıiletken materyaller ile karşılaştırılması .....	42
Tablo 3.2. Nanokompozitlerin oranları ve kodları.....	47
Tablo3.3. Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin teknik özellikleri.....	52
Tablo 3.4.Çekme ölçümlerinde kullanılan ASTM D 638 uluslararası standartlara göre tip 4 şeklinin uzunlukları ve toleransları (kırmızı işaretli).....	56
Tablo 4.1. Nanokompozitlerin mekanik özellikleri .....	70
Tablo 4.2. Polimer nanokompozitlerin termal bozunma değerleri .....	75



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa girdiğim zamandan doktora çalışmamı bitirdiğim ana kadar çalışmalarımın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, ufkumu açan, uçsuz bucaksız bilim deryasında katedilecek daha çok mesafe olduğunu ve bu yolların nasıl aşılabacağını bilgileri ile gösteren danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. Ahmet ÇETİN' e ve Sayın Doç. Dr. Rana KİBAR' a,

Kimyasal ve mekanik tecrübeleri ile beni aydınlatan ve bu alanlarda her zaman yardımcı olan hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kamil ŞİRİN' e

Çalışmalarım sırasında maddi ve manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli meslektaşlarım ve arkadaşlarım İlker Çetin KESKİN 'e, Mehmet İsmail KATI' ya, Vahit ÇORUMLU' ya ve Dr. Recep Onur Uzun' a,

Doktora tezimin jürisinde bulunan diğer hocalarıma ve bölümümüzde bulunan hocalarımıza,

Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, hayatımın tüm zorlu aşamalarında moral verip varlığını her zaman hissettiren güzel aileme can-ı gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Murat TÜREMİŞ  
Manisa, 2016

## ÖZET

### Doktora Tezi

## Nanoparçacık İçeren Polimerlerin Optiksel ve Yapısal Karakterizasyonlarının İncelenmesi

Murat TÜREMİŞ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ÇETİN

II. Danışman: Doç. Dr. Rana KİBAR

Bu çalışmada, Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE) ürünler, UV stabilizör özelliğine sahip nanoboyutlu Çinko Oksit (ZnO) ve 2-Hydroxy-4-Methoxybenzophenone (BP-3) ile farklı oranlarda katılandırılmıştır. Bu yeni polimerlerde (nanokompozitlerde) meydana gelen optiksel, yapısal, termal ve mekaniksel değişiklikler detaylı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, çekme test ölçümlerine ek olarak XRD, TG-DTA spektrumları ve SEM görüntüleri karakterize edilmiştir. Ayrıca, lüminesent özellikler gösteren ZnO katkılı örnekler radyolüminesans (RL) özellikler bakımından da incelenmiştir.

ZnO içeren polietilen nanokompozitlerin hepsi çinko oksitin karakteristik pikini göstermektedir. 390 nm (eksiton) ve 530 nm (ana pik) deki bu karakteristik RL piklerinin şiddeti, kompozite eklenen BP-3 miktarı arttıkça azalmaktayken, ZnO miktarı arttıkça yükselmektedir. Nanokompozitlerde kopmada uzama değeri için BP-3' ün iyileştirmesi ZnO ya göre daha yüksektir fakat diğerlerinde durum tam tersinedir. Nanokompozitlerin termal analizlerinde polietilenin baskın karakterde olduğu gözükmektedir. XRD grafiklerinde nanokompozitlerdeki ZnO oranı arttıkça ZnO nun karakteristik piklerinin daha çok belirginleştiği açıktır. Bu sebeplerden dolayı en verimli olan nanokompozit, ZnO ve BP-3' ün maksimum oranda olduğu numunede elde edilmiştir ve SEM görüntüleri de bu durumu desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Polimer nanokompozit, Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE), Radyolüminesans (RL), optik soğurma, mekanik özellikler, ZnO, BP-3

2016, 103 sayfa

## **ABSTRACT**

**PhD Thesis**

### **Investigation of Optical and Structural Characterizations of Polymers Containing Nanoparticle**

**Murat TÜREMİŞ**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Physics**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇETİN**

**Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rana KİBAR**

In this study, low density polyethylene (LDPE) products were doped in different ratios with 2-Hydroxy-4-Methoxybenzophenone (BP-3) and ZnO which have UV stabilizer properties and nanosized. The optical, electrical, structural, thermal and mechanical changes that are occurred in these new polymers (nanocomposites) were studied in detail. For this purpose, besides making tensile testing measurements, in order to find out the optical, structural, mechanical and thermal changes, the new polymer nanocomposites were characterized by XRD, TG-DTA spectra and SEM images. Furthermore, the samples with zinc oxide which show luminescent properties were examined in terms of radioluminescence (RL) features.

Radioluminescence spectrum showed characteristic peaks of zinc oxide all of the nanocomposites including ZnO. The intensity of the characteristic RL peaks at 390 nm (exciton peak) and 530 nm (mean peak) increased by increasing rates of nanopowder zinc oxide while adding BP-3 to the composites caused a decrease in intensity of radioluminescence. In mechanical test, for elongation at break, the nanocomposites with BP-3 has better treatment over the nanocomposites with ZnO but in the others have a reverse situation. In thermal analysis of the nanocomposites, PE is dominant over BP-3 and ZnO. The characteristic peaks for ZnO has been more apparent with the raising ratio of ZnO in the nanocomposites in XRD graphs. Because of this reasons, the best yield ratio in the nanocomposite is obtained in the sample of maximum rate of ZnO and BP-3 in the nanocomposite and SEM images also supports this situation.

**Keywords:** Polymer nanocomposite, Low Density Polyethylene (LDPE), Radioluminescence (RL), optical absorption, mechanical properties, ZnO, BP-3

**2016, 103 pages**

## 1. GİRİŞ

Kullanımı çok eski tarihlere dayanan tahta, demir, cam, kağıt vb. maddelere karşı alternatif malzeme olarak veya bu malzemelerle birlikte kullanılan ve geleceğin vazgeçilmez malzemesi olan plastik ürünlerin, dünyadaki üretimi ve tüketimi hızla artarak farklı sanayi kollarına uygulanabilirliği de önemli ölçüde gelişme göstermiştir.

Gerek ekonomik gerekse kolay uygulanabilir olması, plastiğin diğer maddelere göre tüketimini artırmaktadır. Günümüzde plastik tüketiminin fazlalığı ülkelerin gelişmişliğinin bir göstergesi haline gelmektedir.

Plastik türü olan polimer malzemeler neredeyse her alanda kullanılmakla birlikte kolay elde edilebilirliği, hafifliği, dayanıklılığı, çok yönlü olması ve düşük maliyetinden dolayı oldukça ümit verici ve en hızlı gelişmekte olan malzemelerdir.

Çevreye bakıldığında, cep telefonundan bilgisayara; CD'lerden, kıyafetlere; arabalardan, ileri teknoloji uçak ve teknelere; alışveriş poşetlerinden, ameliyathane ekipmanlarına ve tıbbi ilaç ambalajlarından temizlik malzemesi paketlerine kadar her alanda polimerler görülebilmektedir. Kısaca polimerler; elektronik eşya, sağlık sektörü, otomotiv sanayisi, yapı malzemesi, tekstil, oyuncak sektörü, yiyecek içecek endüstrisi vb. gibi alanlarda yaygın kullanıma sahiptirler.

Polimerler, kovalent bağlarla bağlanmış olan monomerler olarak adlandırılan ve birbirini tekrarlayan birimlerden oluşan makro moleküllerdir. Genellikle üç grupta sınıflandırılırlar. Bunlar termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir. Bu tezde de kullanılan polietilen malzemesi termoplastikler grubuna girmektedir. Termoplastikler doğrusal polimerlerdir ve göz ardı edilebilen iç içe geçmelerin de bulunabildiği zayıf olarak dallanmış yapılardır. Kristal veya amorf halde bulunabilmektedirler [1]. Bu ürünlerin dünya çapında üretim tonajı fazladır. İhtivasında termoplastik türü bulunan polimer kompozitler, mühendislik alanında önemli rol oynayan ve en hızlı gelişmekte olan yapısal malzemeler haline gelmeye devam etmektedirler.

Dünya plastik üretiminin türler itibariyle dağılımında, toplamın % 50'sini poliolefinler oluşturmaktadır. Polietilen (PE) ilk sırada, polipropilen (PP) ve polivinil klorür (PVC) ikinci sırada yer alırken, mühendislik termoplastikleri daha küçük bir paya sahiptirler [2]. Polietilen en yaygın termoplastik türü ve etilen birleşimidir. Sıcaklık ve basınç etkisi ile yumuşayıp erime özelliği gösterir fakat soğutulduğunda eski haline geri döner [3, 4]. Bu avantajlardan dolayı bu çalışmada polietilen kullanılmıştır.

10 yılı aşkın süre içinde mikro ve nano yapıları polimer yüzeyler geliştirilmiştir. Bu malzemelerdeki çoğu gelişmeler performans gereksinimlerini en verimli şekilde karşılamak için mevcut olan polimer özelliklerini değiştirmeye yöneliktir. Herhangi bir numuneye katkılandırma yapıldığında özelliklerinin değiştiği gözlenmektedir. Bu özellikler sertlik, esneklik, çekme ve dayanıklılık modülleri, gerilme-kopma, lüminesans, soğurma ve erime viskozitesini artırma gibi sıralanabilir [5-8].

Geçmiş yıllarda ve günümüzde atmosferik bileşimdeki değişikliklerle ve ozon tabakasının incilmesi ile maruz kalınan UV radyasyonu doz değerinde derin bir artış olmuştur. Son araştırmaların çoğu, özellikle nanokompozitler olmak üzere fotokoruyucu malzemelerin geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır [9, 10]. Güneşten gelen ve insan teninin aşırı derece maruz kaldığı morötesi (UV) radyasyon, cilt kanserinde ve güneş yanıklarında önemli ölçüde risk faktörüdür [11]. Yapılan bu çalışmada oluşturulan yeni malzemelerle yukarıda mevcut bulunan olumsuz etkiler de göz önünde bulundurularak bu olumsuzluklar minimize edilmeye çalışılmıştır.

Yakın morötesi bölgede (400 nm den küçük) keskin bir soğurma piki ve görünür bölgede yüksek geçirgenlik, UV soğurma üzerine bağlı olan çoğu uygulamalar için gereklidir. Bunun için nanoboyutlu ZnO gibi inorganik malzemeler en umut verici malzemeler arasında yer almaktadır [9].

Nanoparçacıkların kullanıldığı çağımızın ve geleceğin teknolojisi olan nanoteknoloji, savunma sanayinden tıba kadar birçok konuda uygulama alanı bulmaktadır. Sensör, katalizör, yakıt hücreleri ve elektrotlar, polimerik nanokompozitler, yüksek kapasiteli veri depolama sistemleri için manyetik



nanokompozitler; otomotiv, cam, ambalaj ve beyaz eşya sanayi için nano-kaplamalar, boyalar ve akıllı (smart) tekstil ürünleri, yapay enzimler, moleküler aygıtlar, yapay fotosentetik sistemler nanoteknolojinin uygulama alanları arasında sayılabilen bazı konulardır [12].

Geride bıraktığımız yaklaşık elli yıl içinde geniş bant aralığına sahip yarıiletken malzemelerin, teknoloji ve elektronik sahada kullanım alanları araştırılmış ve büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Bu malzemelerin teknolojide yaygın olarak kullanılması nedeniyle, birbirinden avantajlı yanlarının ve daha düşük maliyette elde edilebilme yollarının araştırılması da hız kazanmıştır. Günümüzde kullanılan birçok yarıiletken malzemeler, yüksek sıcaklık ve yüksek ışımaya gücü gerektiren elektronik biliminde LED ve lazer diyotları gibi kısa dalgaboylu (UV ve şiddetli mavi- yeşil) ışık yayan optik aletlerde kullanılmakta ve daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için incelemeler yapılmaktadır. Yapılan bu incelemeler sayesinde, daha yüksek verime sahip, farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri içeren, hem katkısız hem de katkılı ürünler ortaya çıkarılmakta ve teknolojide çoğu alanda kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmadaki amaç; UV stabilizör olan ZnO ve BP-3 ün polimer içerisindeki optiksel, yapısal, mekanik ve termal davranışlarını incelemektir. Bu inceleme ise fizik ve kimya bölümlerini makine ve malzeme mühendisliği çalışmalarıyla bir araya getiren disiplinlerarası bir çalışma olduğunu ön plana çıkarmaktadır. Yeni oluşturulan bu nanokompozitlerin bahsi geçen incelemeler sonucunda endüstriyel ve ticari alanda kullanımına ışık tutabilme potansiyelini arttırmak da amacın bir parçasıdır.

### **1.1. Literatür Özeti**

Kolay elde edilebilirliği ve düşük maliyetinden dolayı polimer malzemelerin, oldukça karmaşık ve pahalı yarıiletken mikro ve nano elektroniklere kıyasla en ümit verici alternatif malzemeler oldukları söylenmektedir [1].

Literatürde, polimer türlerinden olan termoplastiklerin işlenebilirliğini ve mukavemetini arttırmak için içerisine polietilen eklenen yani polietilenin ev sahibi

olmadığı çalışmalar mevcuttur [13]. Polietilen(PE) ile Polipropilen( PP) nin karışımı yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Burada PE nin kırılmaya karşı dayanımının, PE ve PP' nin ikisi birlikte olan karışımdan daha yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla PE' nin daha sağlam olduğu yorumu ortaya çıkmaktadır [14].

Polimerleri güçlendirmek için nanoparçacıkların kullanıldığı çalışmalar görülmektedir [15]. Panin ve ark.larının yaptığı bir çalışmada nano boyuttaki ZnO nun lüminesans veriminin kütle(bulk) halindeki ZnO nun lüminesansından daha fazla olduğu da görülmüştür [7].

Polimerlerin içerisine ZnO ya benzer bir madde olan CdSe ve CdS nanoparçacıkları eklenerek lüminesans özelliklerine bakılmıştır. Lüminesans çalışmalarında büyük nanoparçacıkların band kuyusuna yakın lüminesans verdiği görülmüştür. Ancak daha küçük parçacıklarda enerji ve emisyon bandının şekli (kuantum verimliliği %45'in üzerinde) parçacık boyutundan bağımsızdır. Boyuttan bağımsız olan bu lüminesans geniştir ve beyaz ışığa yaklaşmaktadır [8].

Polimerlerin antimikrobiyel olması için metal parçacık ve organik bileşik ekleme işlemleri kullanılmaktadır. ZnO nun iyi bilinen bir antibakteriyel olmasından dolayı nanoparçacık boyutunda termoplastik polimerlere (polietilen ve poliamid) katılarak oluşturulan kompozit malzemenin antimikrobiyelliği üzerine de çalışma yapılmış ve kompozitin (SEM) görüntüleri de alınmıştır. Sonuçta ZnO nun antimikrobiyel olduğu görülmüştür ve eklenen ZnO nun polietilenin kristallik oranını arttırdığı da söylenmektedir [16].

ZnO'nun UV ışınlarından koruma sağladığını gösteren bir çalışmada ZnO nun parçacık boyutu 120 nm den 20 nm ye kadar düştükçe malzemenin şeffaflaştığı ve soğurma pikinin gittikçe UV bölgeyi kapladığı tespit edilmiştir. Dolayısı ile ZnO nun nanoparçacık boyutu ne kadar küçük olursa UV bölgeyi soğurması o kadar geniş bir alana yayılacaktır [17].

Polipropilen polimerine UV radyasyona karşı dayanıklı ve antimikrobiyel olması için mikro boyutta ZnO ile desteklenmiş zeolit katılarak kompozit

oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçta ise ZnO destekli zeolit katılan kompozitin, sadece mikrometre mertebesinde ZnO katılan kompozite kıyasla UV radyasyon dayanımının ve antimikrobiyelliğinin daha çok olduğu görülmüştür. Dolayısıyla ZnO'nun radyasyon dayanımını ve mikrobiyel karşıtı olmasını daha çok geliştiren malzemeler de polimerler içerisine ilave edilip çok zengin içerikli çalışmalar gerçekleştirilebilir [18].

Santos ve ark.'nın gerçekleştirdiği bir çalışmada sol jel metodu ile çinko sülfat heptahidrat ve hindistan cevizi suyu kullanarak ürettikleri ZnO malzemesini farklı sıcaklıklarda tavlayıp RL, XRD, SEM, EDS sonuçlarına bakılmıştır. Burada RL şiddetinin 500 °C ve 600 °C de tavlamalarda titreşim seviyesinde olduğu görülmüştür ancak 800 °C ve yukarısı için kusurlardan kaynaklandığı yorumu ile birlikte 550 nm de maksimum pike sahip ışımaya oluştuğu gözlenmiştir. Malzemenin başlangıçta beyaz renkli olduğu ancak sıcaklık artışıyla yapıdan sülfürün ayrıldığını söyleyerek sarı renge döndüğünü bildirmişlerdir. Tavlamanın etkisiyle parçacık boyutunun büyüme gösterdiğinden de bahsetmektedirler [19].

BP-3 ile ilgili bir çalışmada ise çift cam ayırmalı ampul kullanılarak dikey Bridgman tekniği ile BP-3 tek kristalini büyütmüşlerdir. Bu malzemenin optik soğurma, TG-DTA, FTIR, XRD grafiklerini incelemişlerdir. Kristalin görünür ve yakın kızılötesi bölgenin tümünü verimli bir şekilde geçirdiği tespit edilmiştir. Termal çalışmalarında ise iyi bir termal kararlılığa sahip olduğu söylenmektedir. Bu değerlendirmelere ek olarak, düşük dielektrik sabitine sahip olmasından dolayı mikroelektrik endüstrisinde ümit verici malzeme olabileceği yorumu da yer almaktadır [20]. Suthan ve ark.'nın bu çalışmasında elde edilen TG-DTA, XRD ve optik soğurma sonuçlarının, yapılan bu doktora tez çalışmasındaki BP-3'ün ve BP-3 katkılı numunelerin sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Tian ve ark., AYPE' nin içerisine ZnO nanoparçacıklarının eklenmesiyle elektriksel özelliklerinin nasıl etkilendiğini gösteren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Burada daha düşük oranlarda eklenen ZnO katkılı nanokompozitlerin elektriksel olarak kırılma dayanımının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Yine bu çalışmada yarıkristal polimerik bir malzeme olan AYPE' nin özellikle amorf kısımlarında ve yüzeyler arası bölgelerinde derin tuzak

durumlarının bulunduğunu 1984 yılında yapılan bir termolüminesans çalışmasını kaynak göstererek söylemektedirler [21].

Miyazaki ve ark., sıvı polimerler (üretan ve akril) ile nanoboyutta ZnO'yu karıştırarak UV (morötesi)'yi ve IR (kızılötesi)'yi geçirmeyip görünür ışığı geçiren farklı kalınlıklarda kompozit filmler üretmişlerdir. Bu çalışmada sadece geçirgenlik üzerine odaklanıldığı görülmektedir. Elde edilen ürünlerin UV'yi %5'den daha az limitlerde, görünür ışığı ise %80'in üzerinde geçirdiği ortaya konulmuştur. ZnO'nun dolgu optik malzemesi olarak seçici özelliklerini en uygun olarak gösterdiği parçacık boyutu aralığının da 10-100 nm arasında olduğunu söylemektedirler [22].

Zhao ve ark. ZnO nanoparçacık dolgululu polipropilen(PP) nanokompozitinin ışııl bozunumunu incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Ürettikleri malzemelerin FTIR, XRD, TG ve çekme testleri ölçümlerini incelemiştir. UV'ye maruz kalan saf PP ve ZnO lu PP nanokompozitlerin çekme testlerinde, ZnO oranı fazla olan numunelerin çekme dayanımlarının çok daha yüksek ve esnek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla ZnO'nun, nanokompozitler üzerindeki ışııl bozunmanın etkisinin azaltılmasına yardımcı olabileceğini söylemektedirler. UV etkisinde kalan PP örneklerinin SEM görüntülerinden üzerinde çatlakların mevcut olduğu ancak ZnO/PP nanokompozitlerinde bu çatlakların net bir şekilde azaldığı görülmektedir. TG grafiklerinde ise ZnO/PP numunelerinin daha iyi termal kararlılık sürdürebileceği yorumu yer almaktadır [23].

İçerisine safsızlıklar oluşturmak için aromatik çözücüler eklenip uzunca süre bekletilen AYPE ve YYPE'nin  $\gamma$  radyasyon kaynaklı radyolüminesans ölçümleri oda sıcaklığından düşük sıcaklıklarda (77-298 °K) incelenmiştir. Aynı anda termolüminesansına da bakılmıştır ve her iki tip lüminesansın yer aldığı bu mekanizmaya Radyotermolüminesans (RTL) denmektedir. Bu numunelerden yayınlanan ışığın oluşturduğu spektrumun ve şiddetinin, lüminesans merkezleri görevi gören aromatik safsızlıkların bulunması ile ilgili olduğundan bahsedilmektedir. AYPE'nin RL şiddetinin YYPE'nin şiddetinden yüksek olduğu görülmüştür ve bu polimerlerin içerisindeki çözücülerin, lüminesans şiddetini düşürdüğü söylenmektedir [24].

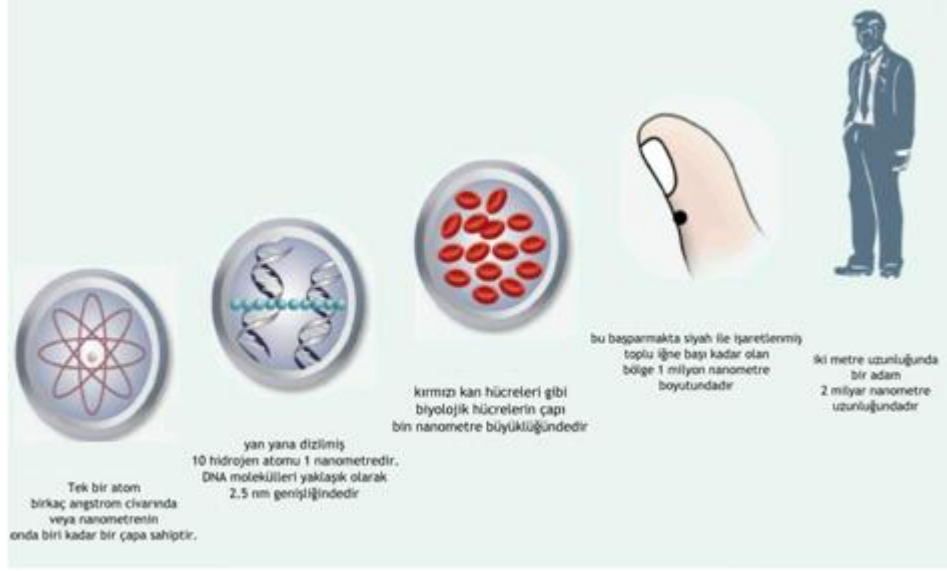
Başka bir çalışmada ise ZnO nanoparçacıklar AYPE' nin içerisine eritilerek karıştırma işlemi ile eklenmiş ve hibrit filmler üretilmiştir. Oluşan ürünlerin dielektrik, soğurma, XRD ve TG gibi özellikleri incelenmiştir. ZnO' nun polietilenin kristal yapısında biraz değişiklik oluşturduğu söylenmektedir. Düşük dielektrik sabiti ve UV karşıtı özelliklerinin de ortaya çıktığı vurgulanmaktadır. Oluşan malzemelerin entegrasyon devrelerinde ve paketleme alanlarında kullanılabileceği yorumu da mevcuttur [25].

## 1.2. Nanoteknoloji ve Nanoparçacık

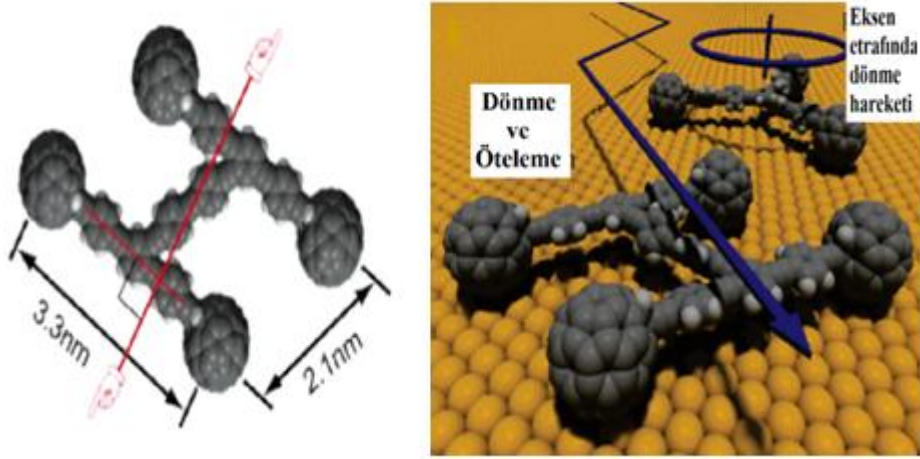
Son yıllarda nanoteknoloji araştırmaları fizik, kimya, biyoloji, malzeme bilimi ve tıbbi içine alan disiplinler arası bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Nano ifadesi yunanca cüce anlamındaki *nanos* kelimesinden türetilmiş ve herhangi bir nesnenin milyarda biri anlamına gelmektedir. Nanoteknoloji kavramının ilk ortaya çıkışı ise Richard Feynman'ın 1959 yılında Amerikan Teknoloji Enstitüsünde ki "There is Plenty of Room at the Bottom" başlıklı konuşması ile olmuştur.

Nanoparçacıklar fiziksel, kimyasal, optik, mekanik, termal, elektronik, elektriksel, magnetik, dielektrik ve biyolojik özellikler gibi karakteristik özelliklere sahiptir. Nanoparçacıkların boyutu küçüldükçe fiziksel özellikleri yığın malzemelerden farklı olan belirgin etkilere sahip olurlar. Bu fiziksel özellikler onların geniş atom yüzeylerinden, büyük yüzey enerjilerinden, uzaysal sınırlamalarından ve azaltılmış kusurlarından kaynaklanır. Nanoparçacık terimi herhangi bir uzaysal boyutta 0.1 ile 1000 nm arasında uzunluğa sahip parçacıkları tanımlar [26-28].

Şekil 1.1.' de bir insan uzunluğunun bulunduğu skaladan nanometre mertebesine kadar olan değişim verilmektedir. Nanoboyutta optik, elektronik, manyetik ve kimyasal davranışlar klasik olmayıp kuantum olarak ifade edilmektedir. Malzemeyi nanometre mertebesinde işleyip ortaya çıkan değişik özellikleri kullanarak, yeni teknolojik nano-ölçekte aygıtların ve malzemelerin elde edilmesi mümkün olmaktadır [12]. Örnek olarak 2005 yılında Y. Shirai ve ark. tarafından yapılmış bir nanoaraba Şekil 1.2.' de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Makro-boyuttan nano-boyuta olan değişim [12]



Şekil 1.2. Hareket edebilen nanoaraba [29]

### 1.3. Tez Düzeni

Tezin ilk bölümünde, polimerler ile UV soğurucuların avantajlarından ve kullanım alanlarından bahsedilmektedir. Bunlara dayanılarak da çalışmanın yapılmasındaki amaç sunulmaktadır. Yine aynı bölüm içerisinde bulunan ve elimizdeki malzemelerle daha önceden yapılmış olan çalışmaların yer aldığı literatür taraması ve nanoteknoloji hakkında detaylı bilgiler yer almaktadır.

Tezin 2. bölümünde temel kavramlar ile ilgili bilgiler belirtilmektedir. Bu bağlamda kristaller, yarıiletkenler, lüminesans ve optik soğurmanın yanı sıra polimer nanokompozitler gibi temel teorik konular ele alınmaktadır.

Tezin 3. bölümünde çalışmayı oluşturan malzemeler (AYPE, ZnO ve BP-3) hakkında derinlemesine bilgiler verilmiştir. Bunlara ek olarak, nanokompozit hazırlama ve hazırlanan bu örneklerin inceleneceği deneysel yöntemler (RL, optik soğurma, mekanik testler, termal analizler, XRD ve SEM) hakkında detaylı olarak bilgiler yer almaktadır.

Tezin 4. bölümünde araştırma bulguları ve tartışmaya yer verilmiştir. Bu amaçla, mevcut bulunan numunelerin 3. Bölümde bahsedilen yöntemler ile incelenip elde edilen sonuçların grafik ve şekilleri ortaya konarak literatüre katkı sağlayacak yorumların bilimsel bir dil ile anlatılmasıyla da bu bölüm sonlanmaktadır.

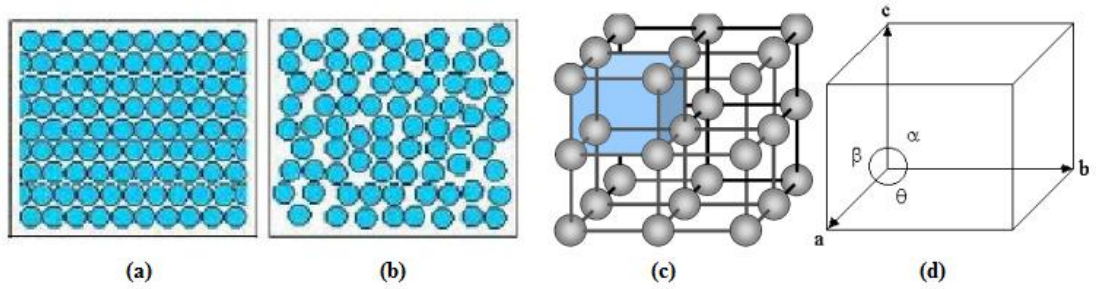
Son olarak tezin 5. bölümünde ise tez çalışması boyunca elde edilen tüm verilerin ve yorumların akabinde ortaya çıkan sonuçlar net bir şekilde izah edilmektedir ve buna ek olarak bu çalışmanın devamı konusunda ileride yapılması planlanan ve önerilen araştırmalar hakkında da düşünceler dile getirilmektedir.

## 2. TEMEL KAVRAMLAR

### 2.1. Kristaller ve Kristal Yapı Kusurları

Kristal yapı katılar, üç boyuta sahip duvar kağıdı gibi düzgün tekrarlanan bir görüntüyü baz alan atomik örgüye sahip olan katılardır. Bu bağlamda önem arz eden katıların büyük bir kısmı dıştan görünüşlerinde bunu göstermeseler de kristal yapıya sahiplerdir. Pek çok katı malzemeler, örneğin cam, plastik, tahta ve kemik gibi atomik ölçülerde üst seviyede bir düzene sahip değildirler. Bu nedenle bu tür katılar kristal yapıya sahip değildirler [30].

Kristal yapı, üç boyutlu uzayda periyodik olarak tekrarlanmış olan atomlardan ibarettir. Sıvı ve gazlar için atomların yerleşimi kısa mesafelerde bir düzen içerisinde bulunurken, uzun mesafelerde bu düzen bozulduğu için kristaller sıvı ve gazlara benzememektedirler. Buna ek olarak, yukarıda belirtildiği gibi bütün katılar kristal yapıda bulunmamaktadırlar. Şöyle ki, bu tür katılar düzensiz (amorf) yapıdadır. Amorf katılarda atomlar arası uzun mesafe düzeni olmayıp kısa mesafeli düzen mevcuttur. Kristal ve amorf yapılar Şekil 2.1’ de gösterilmektedir.

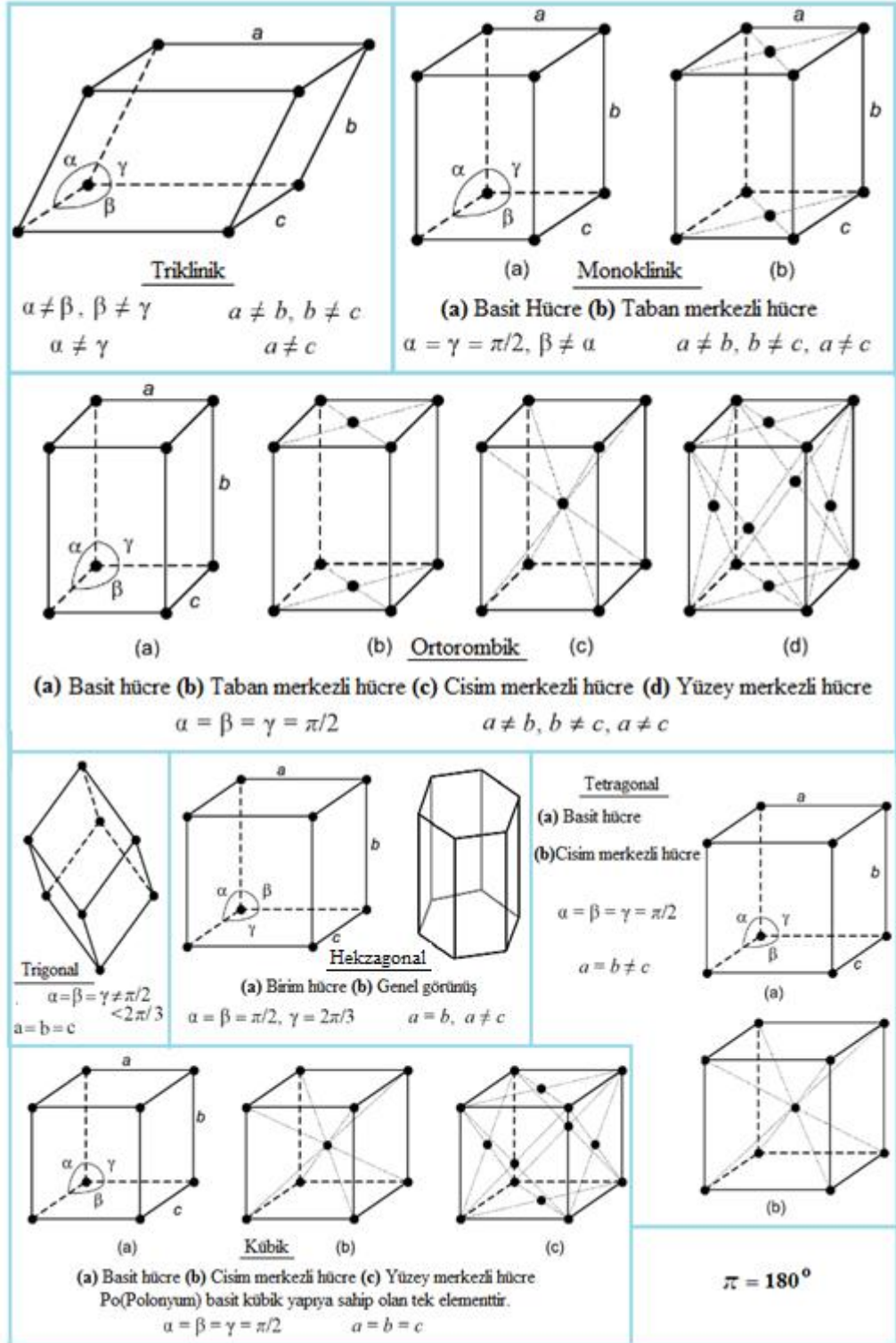


**Şekil 2.1.** (a) Kristal (düzenli) (b) Amorf (düzensiz) yapılar (c) ve (d) Birim hücre [31]

Kristalin tüm davranışlarını sergileyen en küçük yapı modeline birim hücre denmektedir. Şekil 2.1’ de (c) ve (d) kısmında üç boyutlu birim hücre görülmektedir. Başlangıç olarak alınan ve köşeden çizilen a, b ve c vektörleri ile birim hücrenin şekli ve de büyüklüğü belirtilir. Söz konusu vektörler hücreyi temsil ederler ve hücrenin kristal eksenleri olarak isimlendirilirler. Bu vektörler ve arasındaki açılar ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) birim hücre parametreleri olarak bilinirler [32].  $\gamma$ ,  $\theta$  sembolü ile de gösterilebilmektedir.



Yedi kristal sistem ve bu sistemlerin her biri için 14 tane paralelyüzlü Bravais örgüleri Şekil 2.2' de tanımlanmıştır (hekzagonalin genel görünüşü hariç). Genel itibari ile 230 uzay grubu içinde bu 14 tanesi en çok bilinenleridir [33].



Şekil 2.2. Kristal sistemleri ve Bravais örgülerinin gösterimi [33]

Doğada neredeyse her yapının olduğu gibi kristalin de idealini bulmak çok zordur. Söz konusu olan üç boyutlu yapı içerisinde muhakkak periyodikliği az veya çok miktarda bozacak kusurlar bulunur ve bunlara kristal yapı kusurları denir [34].

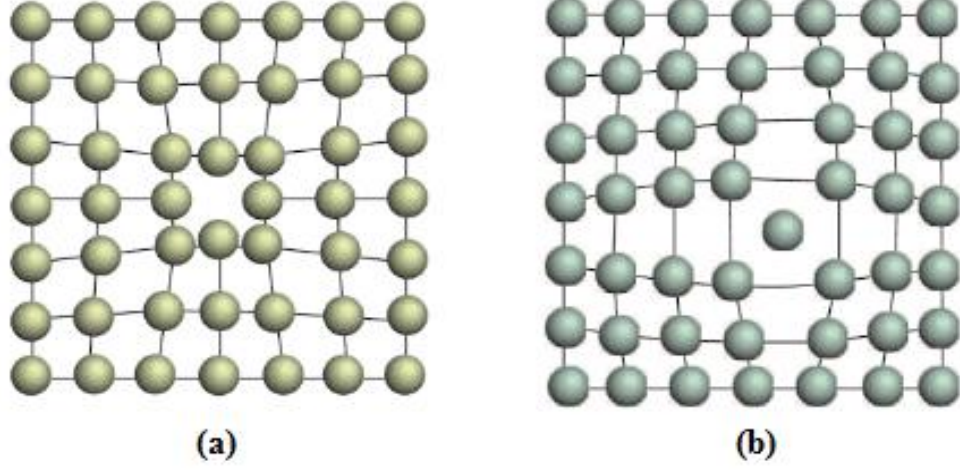
Kristallerde mevcut olan yapı bozukluklarının (kusurlarının); kristalin sıcaklığı, dış basıncı, saflığı gibi sebepleri vardır. İkiye ayrılmış olan bu kusurlardan ilki, son derece konumlanmış olan ve atomik boyutta bulunanlardır. Atomik boyutta olanlar noktasal kusurlardır. Diğer konumlanmış kusurlar (dislokasyonlar) ise genellikle boyutlarına göre incelenir. Bunlar çizgisel, düzlemsel ve hacimsel kusurlardır [35].

### 2.1.1. Noktasal Kusurlar

Normalde dolu olması gereken yerlerde boş halde görünen *atom boşlukları*, dolu olan konumların dışında görünen fazladan atomlar veya iyonlar ile tanımlanan *arayer atomu* ve bir arayer, başka bir atomun veya iyonun normal halde bulunması gereken yerini değiştirdiğinde *ayrışmış arayerler* görülür. Bu durumlar noktasal kusurlar olarak tanımlanırlar [36].

*i) Atom boşluğu (Boş nokta kusuru-vacancy)*: Özellikle yüksek sıcaklıklarda yapıdaki boşlukların oluşması, kristal yapı içerisindeki atomların konumlarını difüzyonla değiştirmesiyle meydana gelir (Şekil 2.3a). Düşük sıcaklıklarda da bu boşluklar oluşmasına rağmen, sıcaklık yükseldikçe yapıdaki boşluk adedi de fazlalaşır. Boşluk olduğu zaman mevcut olan bu yer sürekli boş kalmaz. Boşluğun etrafındaki başka bir atom kendi bulunduğu konumundan ayrıлып bu boş alana yerleşebilir. Bu yer değiştiren atomun yerine de farklı bir atom geçebilir.

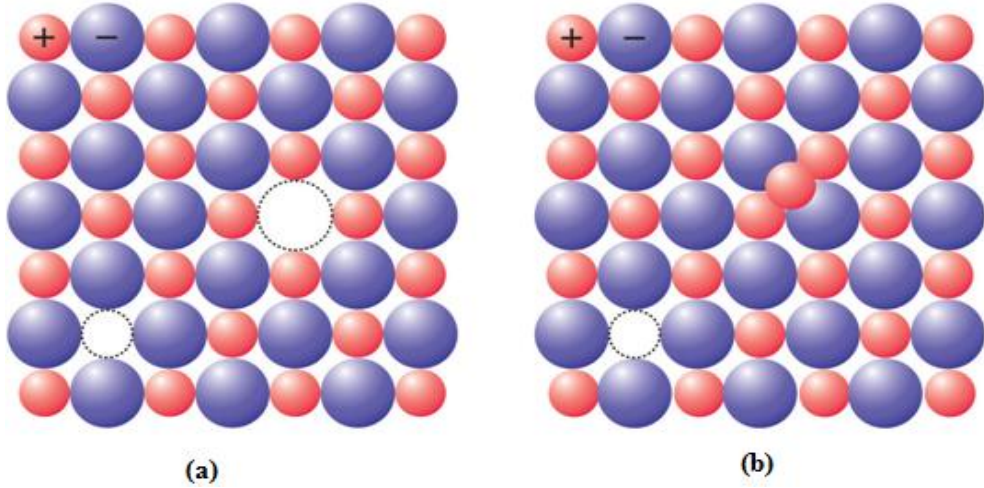
*ii) Arayer kusuru(interstitial)*: Fazlalık olan bir atom örgüde yer alabileceği uygun bir konum yok iken örgüye girebilmek için kuvvet uygularsa örgünün baskılanması ile kristal kafesteki konumundan çıkıp atomlar arasında bulunan başka bir boşluğa yerleşir (Şekil 2.3b), bu atom da arayer atomu olarak isimlendirilir [31].



Şekil 2.3. (a) Atom boşluğu kusuru (b) Arayer atomu kusuru [28]

iii) **Schottky kusuru:** Yüklü bir iyonun var olması gereken yerde boşluk varsa, bu olay sonucu oluşan yük dengesizliğini yok edecek şekilde diğer yüke sahip iyon yerlerinde de boşluk mevcuttur. Bu duruma **Schottky kusuru** adı verilir (Şekil 2.4a).

iiii) **Frenkel Kusuru:** Herhangi bir iyonun yerinde boşluk varsa, oluşan yük dengesizliğini yok edecek aynı yükte bir başka iyon arayer pozisyonlarında da bulunabilir. Bu duruma **Frenkel kusuru** adı verilir (Şekil 2.4b) [31].



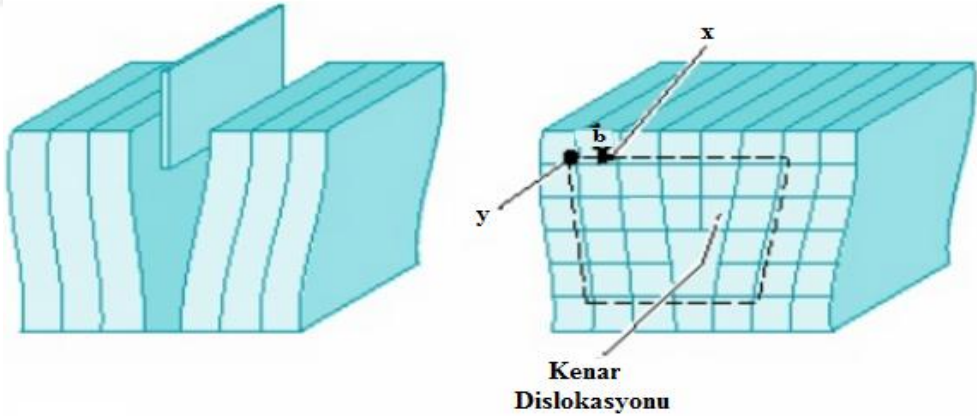
Şekil 2.4. (a) Schottky kusuru, (b) Frenkel kusuru [37]

### 2.1.2. Çizgisel Kusurlar

Kristallerde mevcut olan düzensizlik merkezi bir çizgi boyunca bulunmaktadır ve çizginin her iki yanında kristal kusursuz olabilir. Fakat örgü noktaları birbirlerinin devamı olarak bulunmaz. Bir başka ifadeyle; kristali alt ve üst bölümlere ayıran bölge, düzlem boyunca kaymaya maruz kalmışsa, alt ve üst noktalar birbirlerine kıyasla az bir miktar bile ötelenmişse, kristaldeki bu ayrımı oluşturan bölgeleri ayıran çizgi bir kristal hatadır ve dislokasyon denir. Dislokasyon kusurları elektron mikroskopların görüntülerinden anlaşılabilir [38].

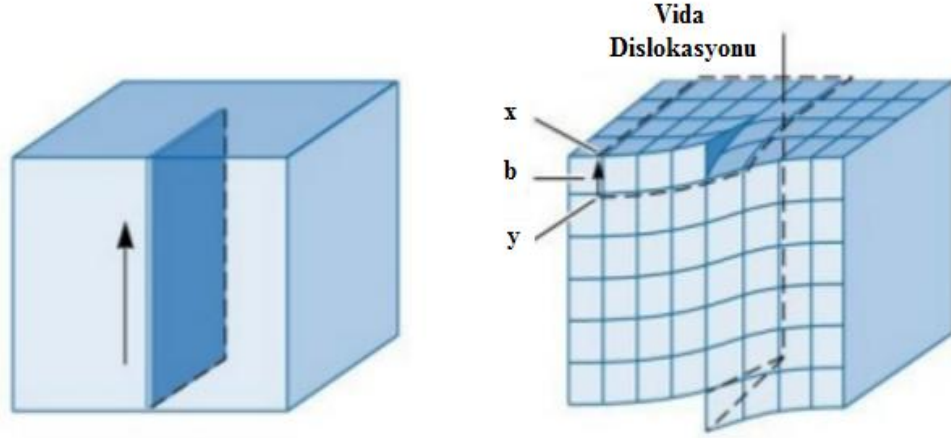
Dislokasyonlar; kenar, vida ve karışık olarak isimlendirilen üç gruba ayrılır:

i) **Kenar Dislokasyonu:** Bu dislokasyon kusur bulunmayan bir kristalde fazladan bir atom tabakasının eklenmesi ile oluşur (Şekil 2.5). Malzemenin şekil değiştirmesine sebep olan kuvvetin geldiği yöne dik olarak oluşan dislokasyonlardır. Kristal içerisinde açığa çıkan dislokasyonların oluşum özellikleri ve çeşidi Burgers vektörü (b) ile belirlenir, bu ise kayma vektörü ismini alır [38].



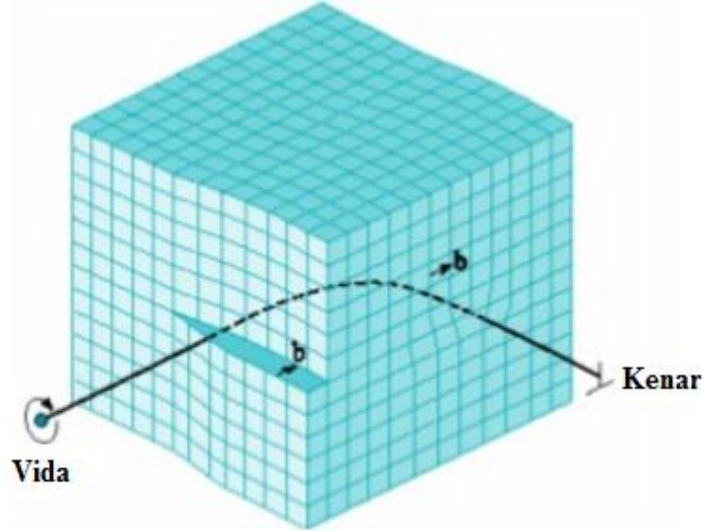
Şekil 2.5. Kenar Dislokasyonu [39]

ii) **Vida Dislokasyonu:** Şekillendirilecek olan malzemeye etki eden kuvvetin geldiği yönde oluşmaktadır (Şekil 2.6). Burgers vektörüne paralel yönde oluşan dislokasyonlardır [38].



Şekil 2.6. Vida Dislokasyonu [39]

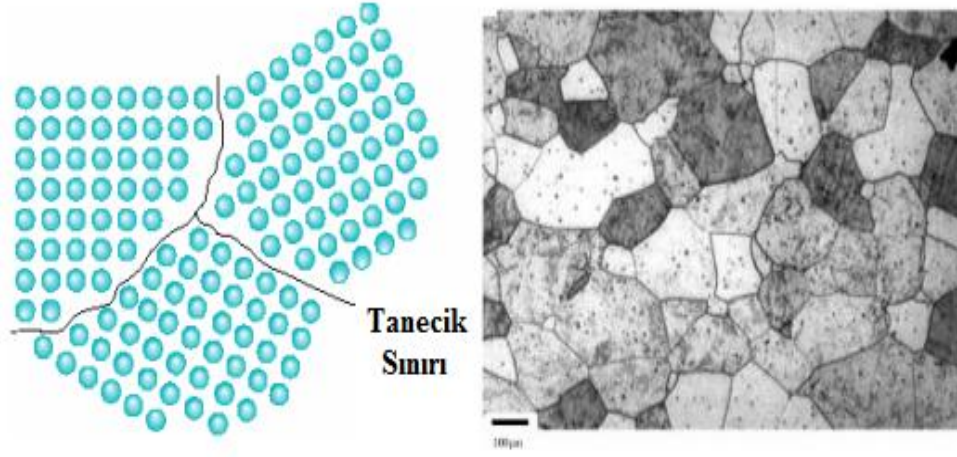
iii) **Karışık Dislokasyon:** Vida ve kenar dislokasyonunun beraber bulunduğu haldir (Şekil 2.7). Gerçekte dislokasyonlar kristalde karışık dislokasyonlar halindedir.



Şekil 2.7. Karışık Dislokasyon [39]

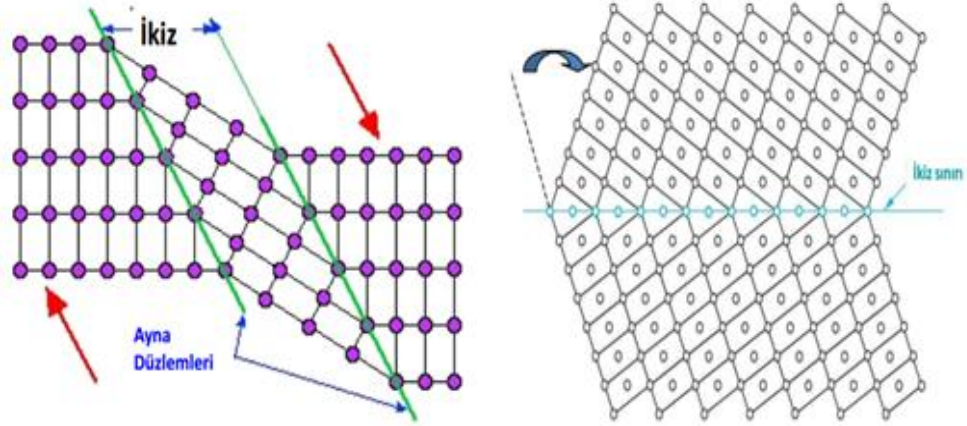
### 2.1.3. Düzlemsel (Yüzeysel) Hatalar

i) **Tanecik Sınırı:** Bir malzemede aynı örgü yapısına sahip, fakat farklı doğrultularda yönlenip ayrı bölgelere bölünen yüzeyler meydana çıkar (Şekil 2.8). Bunlar kesit üzerinde tanelerin sınırı biçiminde görünür [38].



Şekil 2.8. Tanecik Sınırı Kusurları [40]

ii) **İkizleme sınırları:** Malzemenin kafes yapısındaki atom dizilişlerinin simetrik olarak farklı doğrultularda yönlenmesinden sonra ortaya çıkan ve birbirinin ayna görüntüsü gibi oluşan iki bölge arasındaki tabaka olarak açıklanmaktadır (Şekil 2.9) [38].

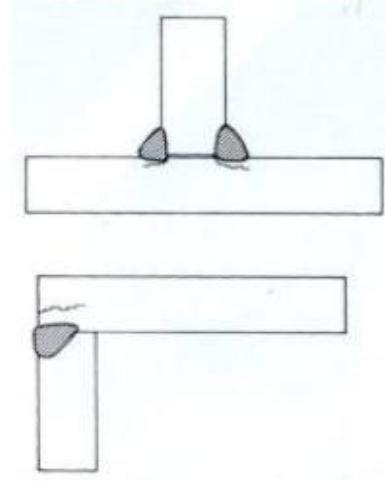
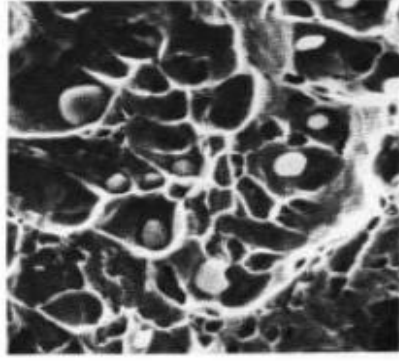


Şekil 2.9. İkizleme Sınırı Kusurları [40]

#### 2.1.4. Kütle (Hacimsel) Kusurları

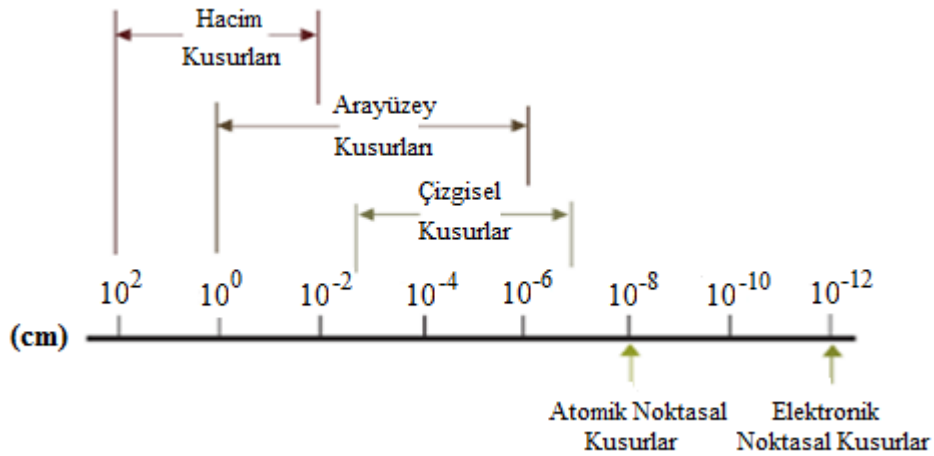
Bu tip kusurların meydana çıkması için oldukça fazla enerji gerekmektedir. Hacimsel kusurlar üç boyutlu olmakla birlikte malzemenin elde edilmesi esnasında ve döküm, dövme, hadde gibi şekillendirme yapılırken ortaya

çıkılmaktadırlar (Şekil 2.10). Döküm kusurları, biçimlendirme, dövme kusurları ve kaynak kusurları gibi kavramları örnek olarak vermek mümkündür [36].



Şekil 2.10. Hacimsel Kusurlar [36]

Aşağıda bulunan Şekil 2.11’ de çeşitli kusurların oluşma aralığının santimetre (cm) cinsinden karşılığı yer almaktadır.

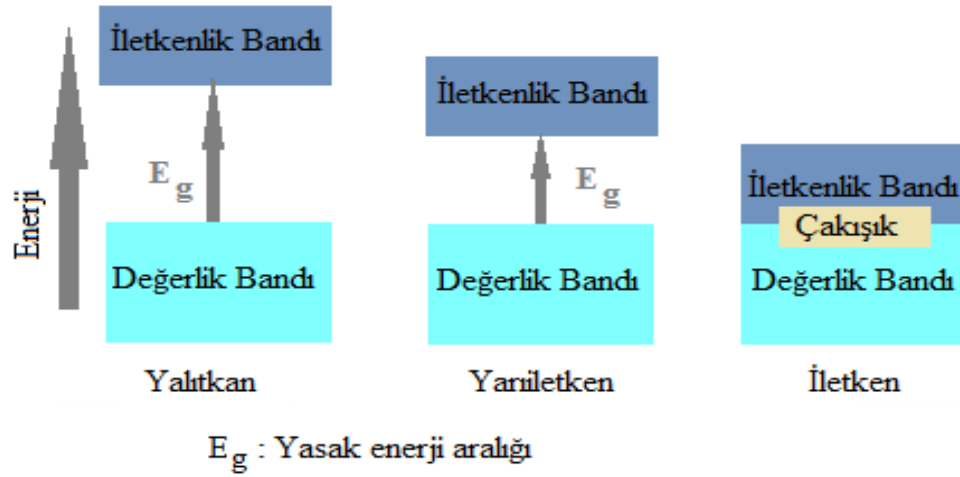


Şekil 2.11. Kusur sınıflandırmaları için ölçek aralığı [28]

## 2.2. Yarıiletkenler

Yarıiletkenler, katıların en önemli ve en ilgi çekici sınıfını oluşturmaktadır. İletkenler ile yalıtkanlar arasındaki bölgeyi kapsamaktadırlar ve geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Oda sıcaklığında özdirençleri  $10^{-2} - 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$  aralığındadır. Bu aralık; iyi iletkenler  $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$  ve yalıtkanlar için  $10^{14} - 10^{20} \Omega \cdot \text{cm}$  arasındaki

bölgeye karşılık gelir. Yarıiletkenlerde  $T = 0 \text{ K}$ ’ de tam dolu olan en yüksek enerji bandına değerlik (valans) bandı (D.B.) ve onun üstünde boş olan banda ise iletkenlik bandı denmektedir. Değerlik bandındaki bir elektrona, onu iletkenlik bandına (İ.B.) çıkaracak kadar enerji verilmezse, elektriksel iletkenlik sağlanamaz. Dolayısı ile katı yalıtkan özelliği gösterir. Burada gerekli olan uyarma enerjisinin yasak enerji aralığının bir ölçüsü olduğu görülmektedir. Bu enerji termal, optik ve mekanik yolla sağlanabilir. Yasak enerji aralığı genel olarak  $E_g = 2 \text{ eV}$ ’ dan daha küçük olduğunda, oda sıcaklığında uyarılan elektronların sayısı yeterli düzeye çıkmaktadır ve malzeme yarıiletken olmaktadır. Elektronlar yasak enerji aralığını geçerek enerji ile uyarıldığında D.B.’ nin üst kısmında boşluklar bırakıp iletkenlik bandının taban kısmına geçerler. Bu boşluk ve elektronlar elektrik alandan etkilendikleri için iletkenliğe katkıda bulunurlar [41, 42]. Yarıiletkenlerin bileşik ve element çeşitleri mevcuttur. “Çinko Oksit” ile “Bakır Oksit” bileşiklere örnek verilirken “germanyum” ve “silisyum (silikon)” ise elementlere örnek gösterilebilir [38].



**Şekil 2.12.** Yalıtkan, yarıiletken ve iletken için basit bant yapısı

Şekil 2.12’ de üç çeşit materyalin de bant yapıları verilmiştir. En yüksek yasak enerji aralığına sahip olan yalıtkanlardır. Bunu sırayla takip eden yarıiletkenler ve iletkenlerdir. Üstelik iletkenlerde bant boşluğu olmayıp valans ve iletkenlik bandı çakışıkır.



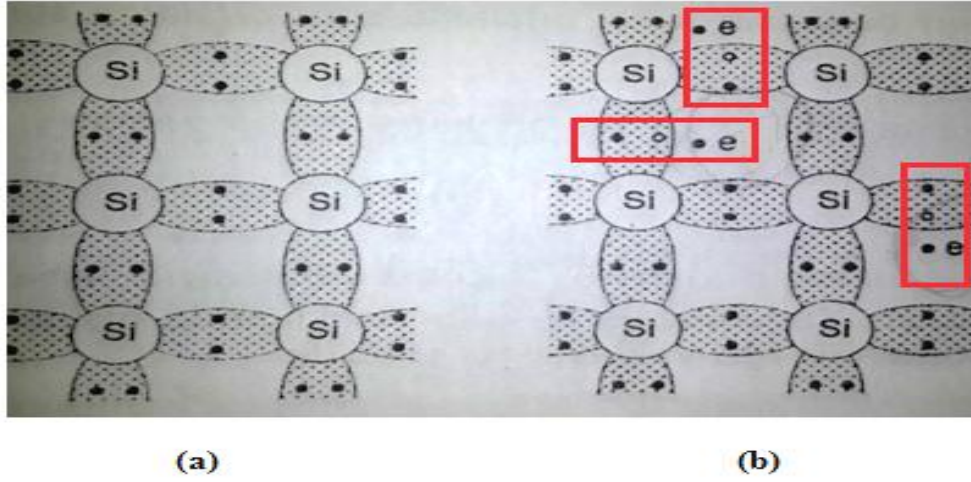
Yasak enerji aralığı sıcaklıkla değişim göstermektedir. Yarıiletkenlerin çoğunda, sıcaklık yükseldikçe yasak enerji aralığı doğrusal olarak azalmaktadır. Dolayısı ile iletkenlik artmaktadır. Örnek vermek gerekirse; silikon için 1500 °K' deki iletkenlik 750 °K' deki iletkenlikten 100 kat daha fazladır. Çünkü elektriksel yük taşıyıcılarının sayısı artış göstermiştir [34, 43].

Yarıiletkenler kristal yapıdadırlar. Şöyle ki; atomları kübik kafes sistemi olarak adlandırılan belirli bir düzen içerisinde sıralanmıştır. Bu tip yarıiletkenler, ısı, ışık ve gerilim uygulanması halinde belirli oranda iletken duruma geçirildiği gibi, bünyesine bazı özel malzemeler eklenerek de iletkenlikleri arttırılmaktadır. Periyodik cetvelin II. grubunda bulunan elementlerden olan Zn, Cd, Hg; VI. grup elementlerden olan O, S, Se ve Te ile 12 tane ikili bileşik oluşturabilirler. İstenmesi halinde bu bileşikler ile üçlü, dördü ve beşli bileşikler de oluşturulabilir. Yasak enerji aralıklarının geniş bir bölgeyi içermesinden ötürü bu tür katılar teknolojik ve bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu materyaller, kızılötesi (infrared) detektörlerin görüntü sistemleri, enerjisi yüksek olan radyasyon detektörleri, televizyonlarda mevcut olan kamera tüplerindeki fotoiletken görüntü detektörleri, güneş pilleri, lazerler, elektrolüminesans diyotlar benzemektedir. Yüksek kalitede kristallerin üretimi, çeşitli yapay kristal büyütme tekniklerinin geliştirilmesiyle ortaya çıkabilmektedir. II-VI grubu bileşiklerinin yasak enerji aralığı (bandı) 1.8 eV ile 4 eV arasında yer almaktadır [44].

Yarıiletkenleri katkılı ve katkısız yarıiletkenler olmak üzere iki başlık altında toplamak mümkündür.

### **2.2.1. Katkısız (Doğal) Yarıiletkenler**

Katkısız (Asal-Doğal-Özden-Hakiki) yarıiletkenlerde mutlak sıfırda ( $T=0$  °K) yük taşıyıcıları bulunmamaktadır. Valans(değerlik) bandı elektronlarla tamamen doldurulmuştur. Yani valans bandında boşluklar ve iletkenlik bandında serbest elektronlar mevcut değildir. Ancak sıcaklık artışı olduğunda kırılmış valans bağların sayısı artar ve bunun sonucu olarak serbest elektronların ve boşlukların yoğunluğu artmış olur. Bu sözü geçen olaylar aşağıda gösterilen katkısız yarıiletkenin bant diyagramında (Şekil 2.13) kendini göstermektedir [43].



Şekil 2.13. Silisyum örgüsünde atomlar arası bağlar (a)  $T = 0$ , (b)  $T > 0$  [43]

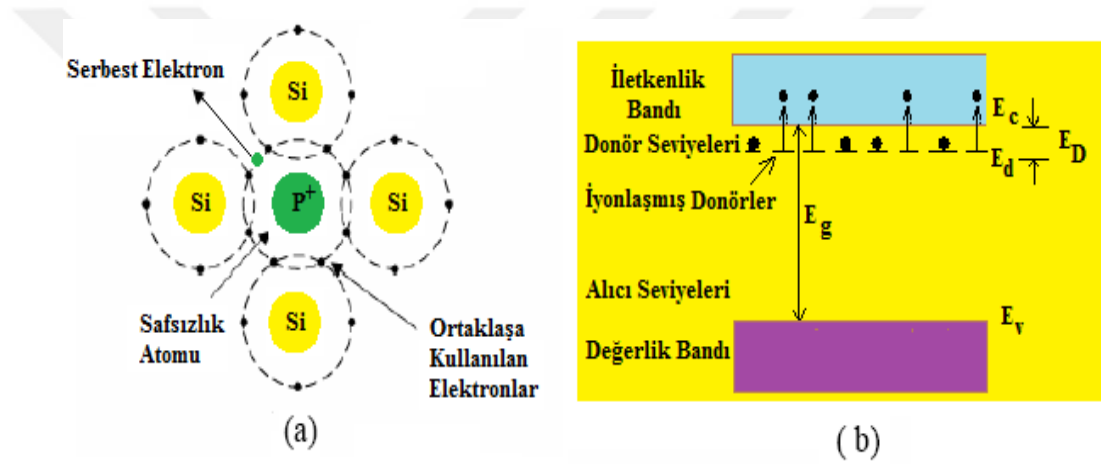
### 2.2.2. Katkılı (Doğal Olmayan) Yarıiletkenler

Doğal yarıiletkenlerin içerisine az miktarda yabancı atomlar katılarak elde edilen yarıiletkenlerdir. Yarıiletken devre elemanları üretmek için genellikle katkı yarıiletkenler tercih edilir. Bu tür yarıiletkenlerin elektriksel ve optiksel özellikleri kristal içerisine müdahil olan yabancı atomların adedi ve cinsi ile orantılıdır. Madde içerisine giren yabancı atom, maddenin kendine özgü doğal enerji bant yapısını bozarak kendisinin (yabancı atomun) baskın geldiği enerji seviyeleri oluşturur. Bu durumda yarıiletken içerisine dahil olan atom, ortama elektron vererek iyonlaşıp (donör veya verici) iletkenliğe bu şekilde katkıda bulunursa “n tipi yarıiletken”, eğer bu yabancı atom içinde bulunduğu ortamdan elektron alarak iyonlaşma sergilerse (alıcı veya akseptör) ve bu hal üzere iletkenliğe katkıda bulunursa “p-tipi yarıiletken” türleri ortaya çıkar [45].

#### 2.2.2.1. n-tipi yarıiletkenler

Katkılı yarıiletkenler başlığında da bahsedildiği gibi ortama elektron vererek iyonlaşan n-tipi yarıiletkenin bir örnek ile izah edilmesi mümkündür. Örneğin doğal Silisyum (Si) elementi fosfor ile zenginleştirildiği zaman Fosfor (P) atomlarının Şekil 2.14 (a)’ da gösterildiği gibi, normal örgü dizisinde silisyum atomlarının bulunması gereken atomik bölgelerde yer aldığı görülmektedir.

Silisyum ( $_{14}\text{Si}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ ) atomları dört değerliklidir yani son yörüngesinde dört atom mevcuttur ( $3s^2 3p^2$ ). Bu yüzden beş değerlik elektronuna sahip olan Fosfor ( $_{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ ) atomlarının elektronlarından yalnızca dört tanesi kovalent bağları oluşturmada işlev görür, geriye kalan bir elektron komşu atomuna zayıf bir kuvvetle bağlanır. Bu elektron çok az bir enerji ile serbest hale getirilerek kolaylıkla iletkenlik bandına geçişi sağlanabilir. Böylece n-tipi yarıiletkenin enerji bandının bulunduğu diyagramda bu safsızlıklara ait fazla elektronlar için enerji seviyeleri Şekil 2.14. (b)' deki gibi iletkenlik bandının biraz altında  $E_d$  noktasında bulunur. Bu safsızlıklar, vericiler (donörler) ismi ile  $E_d$  deki enerji seviyeleri de verici seviyeleri ismi ile ifade edilmektedir [38, 43].



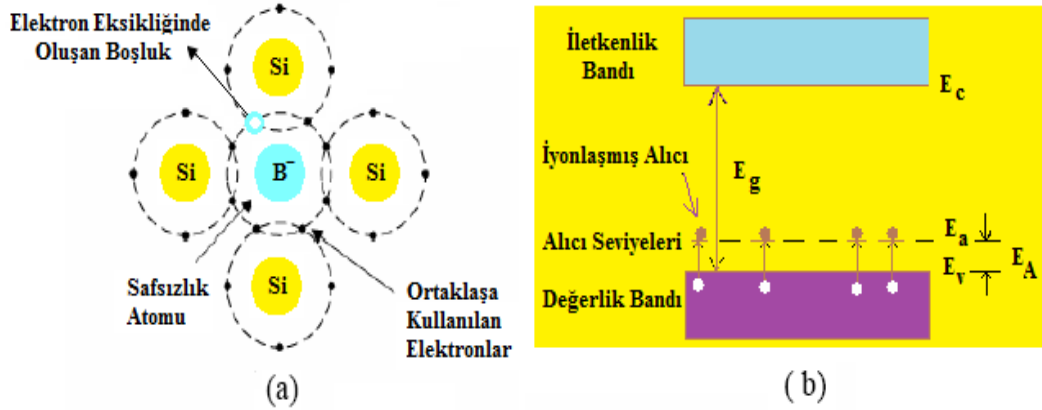
**Şekil 2.14.** n-tipi yarıiletkenin şematik gösterimi (a) bir silisyum atomunun bir fosfor safsızlık atomu ile yer değiştirdiğinde kovalent bağ oluşumu ve (b) donör safsızlık atomlarının enerji seviyeleri

$E_D = E_g - E_d$  olduğu Şekil 2.14 (b)' den görülmektedir. Mutlak sıfırda  $E_D$  çok küçük olduğundan (yaklaşık 0,04 eV) verici seviyeleri doludurlar. Bu sebeple düşük sıcaklıklarda bile elektronların çoğu iletkenlik bandına yükselirler ve serbest iyon konsantrasyonu aratarak malzemenin iletkenliğini artmış olur [46].

n-tipi bir yerleşim sonucunda artan elektron hem kristalin periyodik potansiyeli ile hem de fosfor atomundan artan çekirdeksel yük ile etkileşmeye girecektir. Bilindiği gibi örgü periyodik potansiyeli, elektronun  $m$  kütleğini  $m_e$  etkin kütleğine dönüştürür ve  $E = \hbar^2 k^2 / 2m_e$  olur. Tersisi durumda, elektron en azından iletkenlik bandının tabanında serbest bir parçacık gibi davranır (yani  $k \rightarrow 0$ ) [34].

### 2.2.2.2. p-tipi yarıiletkenler

n-tipi yarıiletkenin aksine, ortamdan elektron alarak iyonlaşan p-tipi yarıiletkeni de bir örnek ile açıklamak yerinde olacaktır. Silisyum elementinin Bor ( ${}_5\text{B}$ :  $1s^2 2s^2 2p^1$ ) atomu ile katkılandırıldığı göz önüne alınırsa bu durumda Şekil 2.15 (a)' da olduğu gibi, yabancı atomlarının silisyum atomları tarafından doldurulmuş bölgelerde yer aldığı görülür. Bu durumda kovalent bağı tamamlamak için bir elektrona ihtiyaç vardır. Bu eksiklik safsızlık atomuna bağlı bir boşluk gibi görülebilir. Söz konusu boşluğun elektron geçişi ile birlikte safsızlık atomu içinde hareket etmesi mümkün olabilir. Böyle bir safsızlık atomu bantlar arası bölgede enerji seviyesi oluşturur ve bu sonradan ortaya çıkan seviye değerlik bandının biraz üstündedir. Boşluğun bir elektronun değerlik bandından safsızlık seviyesine ısısal uyarıma sonucunda ortaya çıktığı varsayımı yapılabilir. Bu şekilde bir geçme ile yalnızca değerlik bandı içinde bir boşluk olur. Serbest elektron safsızlık seviyesi veya iletim seviyesinin hiçbirinde oluşmaz. Bu tip safsızlıklar alıcı (akseptör) olarak adlandırılır ve yasak enerji bandında kendini gösteren ek seviyeye ise alıcı seviyesi denir. Bu tip yarıiletkenlerde boşlukların adedi elektronlarından fazla olduğundan p-tipi yarıiletken olarak isimlendirilir [46, 47].



**Şekil 2.15.** p-tipi yarıiletkenin şematik gösterimi (a) Bu yarıiletken için kovalent bağ oluşumu ve (b) alıcı yabancı atomlarının enerji seviyeleri.

$E_A$ , Şekil 2.15 (b)' de gösterildiği üzere, bir elektronu değerlik bandından bu bandın biraz üzerinde bulunan alıcı enerji düzeylerine çıkartmak için gereken enerji ihtiyacıdır.

Isısal etkiyle valans bağlarının (kovalent bağ) kırılması artış göstermektedir ve böylece elektron boşluk çiftlerinin çoğaldığı görülür. Dolayısı ile iletkenlik de yükselmiş olur [43].

### **2.2.3. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri**

Herhangi bir malzemedan yayınlanan ışığın dalgaboyu karakteristik olduğu gibi, soğurma ölçümlerinde meydana gelen dalgaboyu da soğurucu numuneye özgüdür. Yarıiletkenlerin bant yapılarının incelenmesinde en çok kullanılan yöntem optik soğurmadır. Yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralığı ile ilgili bilinmeyenleri (yasak aralığın enerji karşılığı vb.) bu teknikle bulmak mümkündür. Doğrudan geçişler için yasak bant değerinden düşük olan enerji değerlerinde soğurma gerçekleşmesi beklenmez.

İncelenecek madde üzerine gelen fotonların, herhangi bir elektronu bir üst enerji düzeyine çıkarmak için gerekli enerjileri yoksa, soğurulma olayı gerçekleşmeyip malzeme geçirgen bir şekilde davranır. Dolayısıyla dalgaboyu kısa olan fotonlar için yarıiletkenler malzemeler soğurucu fakat uzun olanlar için saydam olarak davranış sergilemektedirler. Bir fotonun soğurulması veya geçirilmesi, fotonun enerjisine, yarıiletkenin yasak enerji aralığına ve atomların dizilişine bağlıdır [48, 49].

Yarıiletkenlerde yasak enerji aralığının çeşitli dış etkilerle değişmesi muhtemeldir. Bunları basınç, sıcaklık, elektrik alan, manyetik alan ve kusurların yoğunluklarının değişmesi olarak sıralamak mümkündür.

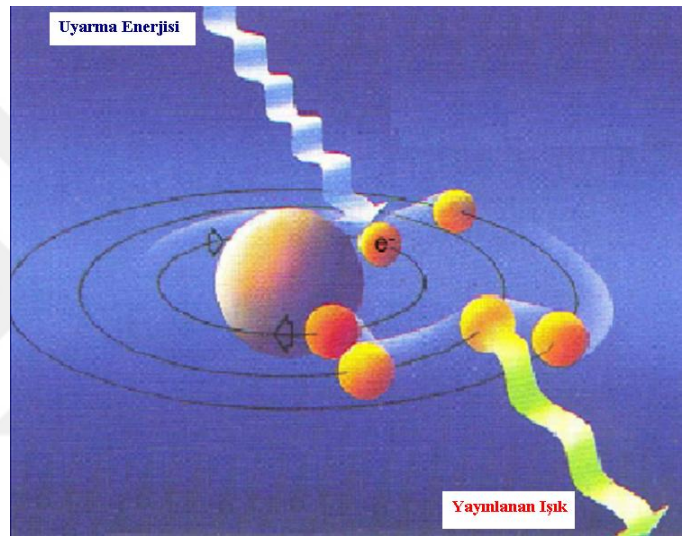
Elektron-boşluk çiftlerinin Coulomb etkileşmesi ile ortaya çıkan eksitonlar da yarıiletkenlerin optik özelliklerindedir. Burada bildirilen kavramlar hakkında daha detaylı bilgiler ileriki konularda (başlık 2.5) verilmektedir.

### **2.3. Lüminesans ve Türleri**

Işığın malzeme ile etkileşiminde çeşitli yollar vardır. Işık malzeme yüzeyi içinden geçebilir, yüzey tarafından soğurulabilir veya yansıtılabilir. Etkileşim yolları

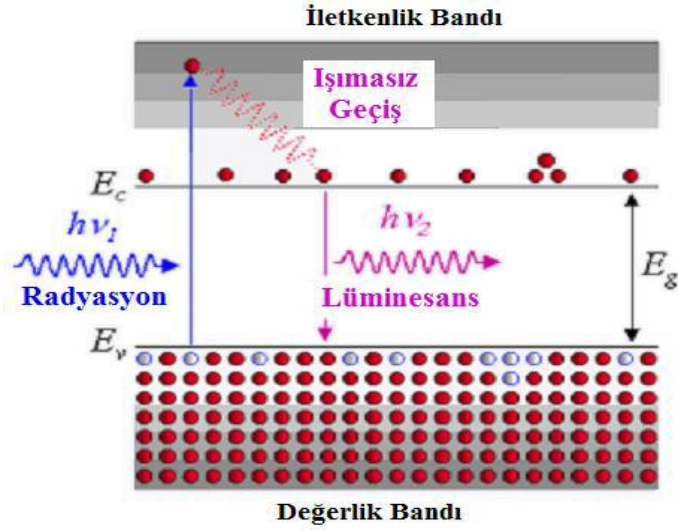
sayesinde malzemenin özellikleri incelenebilir. Ayrıca malzeme yansıttığı ışığın renginde görülür. Bu gibi özellikler malzemenin optik özelliklerinin incelenmesinde öncelikli aşamadır.

Bir malzeme enerji aldığı veya radyasyona maruz kaldığında gelen enerjinin bir kısmını soğurur ve bundan daha uzun dalga boylu bir ışık olarak geri yayar (Stokes Kanunu). Bu olay lüminesans olarak adlandırılır (Şekil 2.16). Yayılan ışığın dalga boyu gelen radyasyona değil malzemeye özgüdür yani malzemeler için karakteristiktir [38].



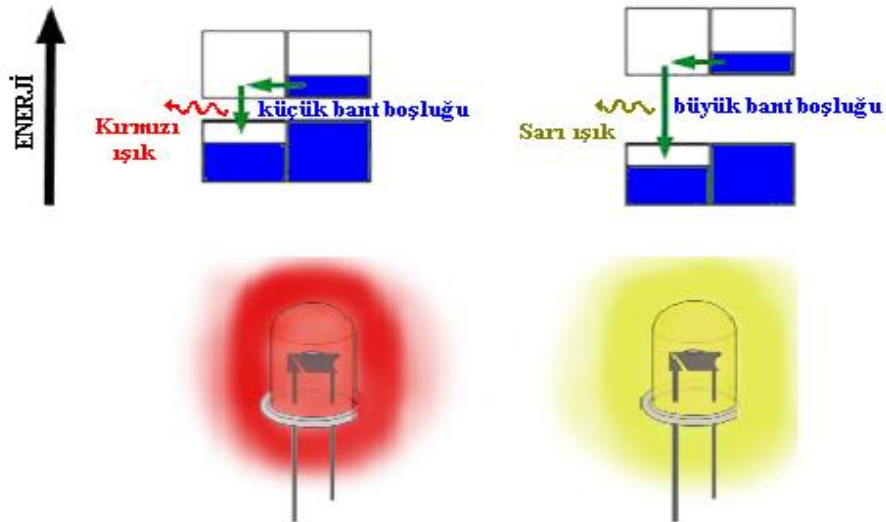
**Şekil 2.16.** Basit lüminesans modeli [12]

Malzemenin maruz kaldığı radyasyon, malzeme içerisindeki atomların son yörüngesinde bulunan valans (değerlik) elektronlarına enerji kazandırır yani uyarılmış olur. Böylece buldukları seviyeden bir üst seviye olan iletkenlik (iletim) bandına çıkmaya zorlar. Bu durumda atom kararlılığını yitirir. Elektron yeni yörüngesinde dolarken enerji kaybeder ve kararlı olan eski durumuna tekrar dönebilmek için belirli bir enerji değerine sahip (eski yörünge ile uyarılmış yörünge arasındaki enerji farkı kadar) bir foton yayınlar ve eski kararlı durumuna döner (Şekil 2.17) [12, 32].



Şekil 2.17. Lüminesans Olayının Şematik Gösterimi [31]

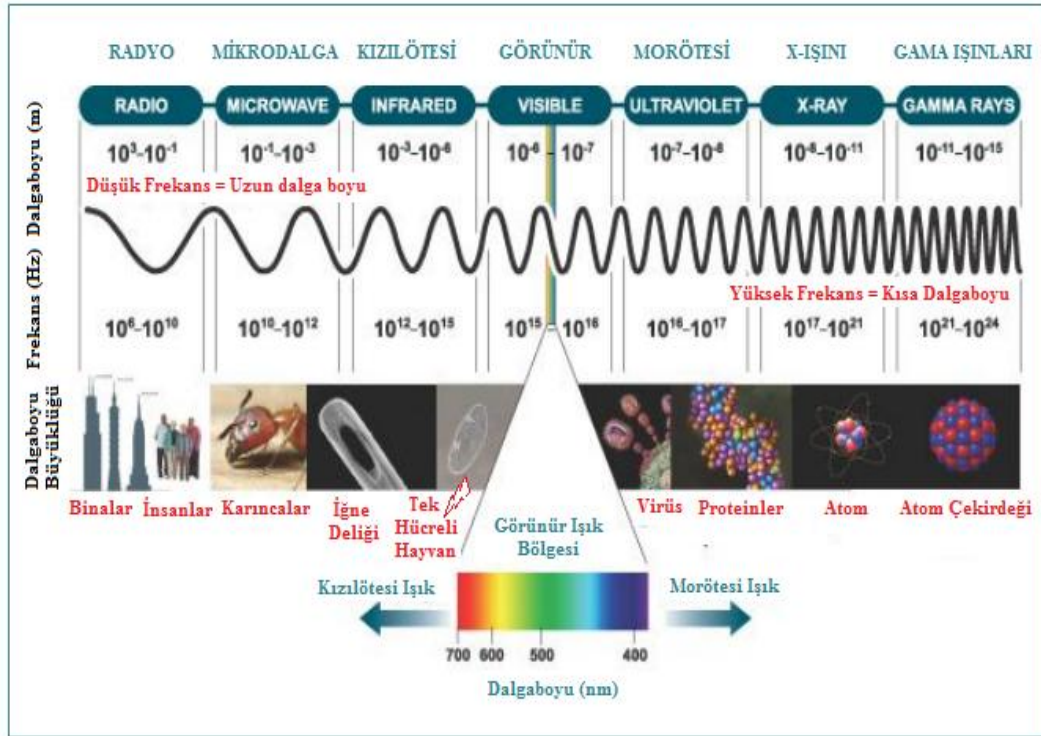
Lüminesans, soğurma işlemiyle sürekli ve eş zamanlı olarak gerçekleşmek mecburiyetinde değildir. Uyarılmış olan atomların kendiliğinden emisyon gerçekleştirerek tekrardan ışığa yayınlanması zaman almaktadır. Bu hal, ışınımlı olarak yeniden yayma olayının meydana gelmesinden önce ısıtma vb. bir uyarma enerjisinin uyarılan atomlar bünyesinde tüketilmesiyle gerçekleşebilmesi anlamına gelmektedir. Dolayısı ile lüminesans verimi, atomlarda meydana gelen uyarılmış seviyeden taban durumuna geçiş işlemi ile ilişki içerisinde [50].



Şekil 2.18. Bant aralığı farklı olan malzemeler için lüminesans rengi [12]

Sahip olduğu bant boşluğuna göre malzemelerden yayınlanan ışığın dalgaboyu değişiklik gösterecektir. Bu durumda bilindiği üzere bant boşluğu ne kadar küçükse yayınlanan ışığın dalgaboyu da o kadar yüksek olacaktır (Şekil 2.18).

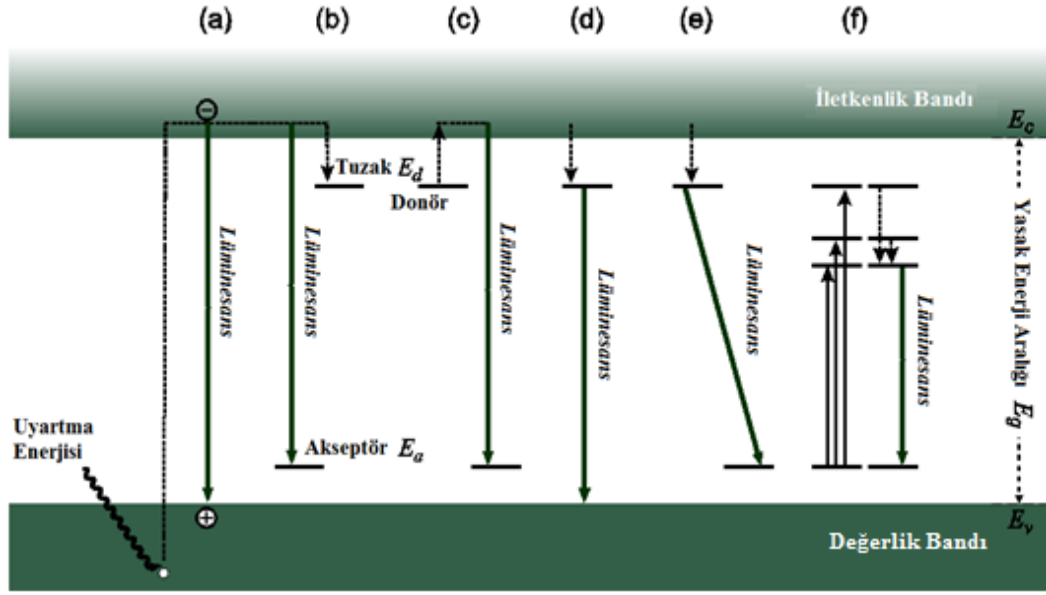
Radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızılötesi dalgalar, görünür ışık, morötesi ışık, X-ışınları,  $\gamma$ -ışınları gibi kavramlar elektromanyetik dalgaların değişik frekanslarda titreşimleridir. Hepsinin bir arada yer alması ile ortaya çıkan spektruma *elektromanyetik spektrum* ismi verilmektedir (Şekil 2.19). Burada görünür bölge, 400 nm ile 700 nm civarında ya da 1,65 eV ile 3,0 eV aralığındadır denilebilir. Elektromanyetik spektrumundakilerin tamamı madde ile etkileşme potansiyeline sahiptir [51].



Şekil 2.19. Elektromanyetik Spektrum [52]

Lüminesans merkezinin türüne ve bulunduğu konuma göre, Şekil 2.20' de gösterildiği üzere farklı yollarla lüminesans oluşabilir.





Şekil 2.20. Farklı yollarla oluşan lüminesans [53]

- a) Uyartma enerjisinin soğurulmasının ardından elektronun önce iletkenlik sonra da valans(değerlik) bandına geçtiği durumda gerçekleşen lüminesans
- b) Uyarılma enerjisinin yeniden birleşme merkezleri (akseptör) seviyelerine geçişinde ışın yayınlanması
- c) Tuzak seviyelerinden (donör) iletkenlik bandına ve bu banttan yeniden birleşme merkezlerine (akseptörlere) geçişte ışın yayınlanması
- d) Tuzaklardan direkt değerlik bandına geçiş ile oluşan lüminesans
- e) Tuzaklardan akseptörlere geçiş sonrasında ışın yayınlanması
- f) Kusur enerji seviyelerinde uyartılma ve tekrar birleşme [12, 53].

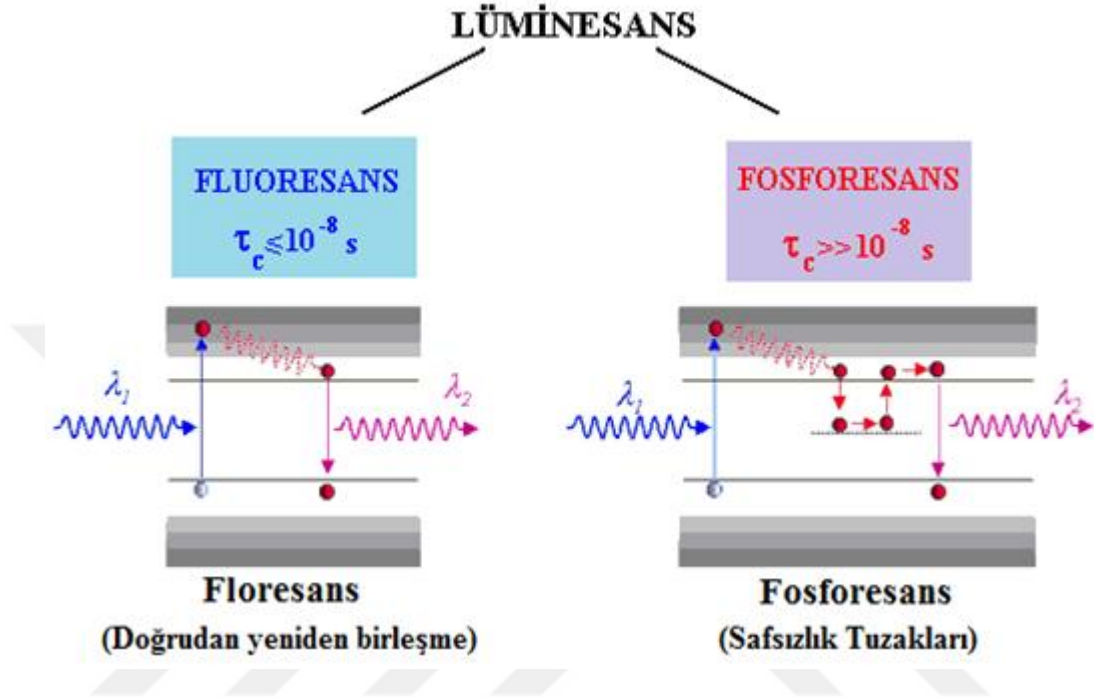
Lüminesans, enerji seviyeleri hakkında bilgi verir, bu ise malzeme hakkında da bilgi edinilmesini sağlar. Lüminesans kavramı oldukça kapsamlıdır. Işıma ömrüne ve uyartım kaynaklarına göre sınıflandırılırlar.

### 2.3.1. Ömür Sürelerine Göre Lüminesans Türleri

Işımanın ortaya çıkma süresine göre lüminesans ikiye ayrılır; fosforesans ve floresans.

Radyasyona maruz kalarak uyartılan bir malzeme, bu maruziyetin kaldırılmasından sonra  $10^{-8}$  s' den daha az süreli ışık yaymaya devam ediyorsa bu

olaya floresans denir. Bu durumda floresans yalnızca radyasyonun etki ettiği süre zarfında meydana gelmektedir. Fosforesans ise malzemenin uyarılmasından sonra  $10^{-8}$  s' den daha uzun süre ışığa yapmasıyla gerçekleşir (Şekil 2.21). Uyarımda bulunan kaynak uzaklaştırılsa bile ışığa gözlenebilmektedir [54].



Şekil 2.21. Floresans ve fosforesans [31]

### 2.3.2. Uyarım Kaynağına Göre Bazı Lüminesans Türleri

**Radyölüminesans (RL);** X-ışını lüminesansı olarak da adlandırılmaktadır ve X ışını soğuran malzemedен elde edilen lüminesans olarak ifade edilir. Foton kaynakları (X-ışını veya gama-ışını) ve hızlı parçacıklarla oluşturulan bu olay katodölüminesans olayına benzemektedir. CL oluşturmak için kullanılan alfa ve beta parçacıklarına göre daha büyük nüfuz etme derinliğine sahiptir. Bu lüminesans türünde, soğrulan enerji verimli bir şekilde UV veya görünür ışık olarak lüminesansa dönüştürülür [46, 55].

Radyölüminesans kavramı bu tez çalışmasının en dikkat çekici kısmı sayılmakta ve burada kısaca bahsedilip aşağıda bölüm 2.4 başlığı altında detaylı olarak anlatılmaktadır.

**Fotolüminesans (PL);** Optik uyarılmaya maruz kalmış bir malzemeden ışığın kendiliğinden salınımı olayıdır. Optik uyarımlı lüminesans ile fotolüminesans birbirine benzerdir. OSL’ de uyarılma işlemi elektromanyetik radyasyon ile gerçekleşir [genellikle UV olmakla birlikte görünür ışık (VIS) veya kızılötesi (IR)]. Morötesi, vakum morötesi (VUV) veya kızılötesi ışık, sadece önceden depolanmış enerjinin serbest bırakılmasını tetiklemektedir [56].

**Katodolüminesans (CL);** Elektron bombardımanı(katot ışınları) sonucu oluşan ışık yayımıdır. Bu olay ilk olarak, vakumlanmış cam tüplerdeki elektron boşalması üzerine yapılan deneylerde gözlemlenmiştir. Burada katot ışınları cama vurduğunda lüminesans ortaya çıkmıştır. Katot ışını tüpleri (CRT) ve televizyon tüplerinin ekranları bu tür emisyon ile parıldarlar. Katot ışını tüplerinde genellikle çinko ve kadmiyum sülfid fosforlar kullanılır. Diğer uyarılma türlerinden farklı olarak katot ışınları malzemenin belirli bölümünde kristal örgünün tümünü bozabilir [56,57].

**Elektrolüminesans (EL);** Elektrik alan etkisinde kalan bir maddenin oluşturduğu lüminesans çeşididir. Katı, sıvı veya gaz olan bir malzemenin elektrik alana maruz kalmasıyla malzemede mevcut bulunan elektronlar uyarılma enerjisine varıncaya dek kadar ivmelendirilebilir. Hava ortamında veya bir vakum tüpünde bulunan seyreltik gazda meydana gelen elektriksel yük salınmasıyla koordineli olan ışık olarak da söylenilebilir. Neon ve kutup ışıkları veya şimşekler bu lüminesans çeşidine örnek verilebilir. Elektrolüminesans normal eski tip ampullerde meydana gelen akkor hali ile karıştırılmamalıdır. Bu ampullerde elektriğe ısı üretmek amacıyla ihtiyaç duyulur ve dolayısıyla oluşan ısı da ışığı meydana getirir [46, 55].

**Termolüminesans (TL) veya termal uyarımlı lüminesans (TSL);** Bir takım malzemelerin herhangi bir şekilde radyasyondan etkilenerek enerji soğurmalarının ardından kararsız bir hal oluşur. Soğurulmuş olan enerji ısı yardımıyla ışık olarak malzemeden yayınlanır. Isıtma ile ışımaya yapılarak termolüminesans olayı meydana gelmiş olur [54].

**Optiksel uyarımlı lüminesans (OSL);** Daha önceden radyasyona uğramış bir malzemenin morötesi veya kızılötesi ışıklarla ile yeniden uyarılmasıyla ortaya çıkan

ışık olarak tanımlanmaktadır. Bu tekrardan uyarıtma işlemi ile yasak enerji aralığında bulunan tuzaklanmış elektronlar serbest hale geçmektedirler [36].

**İyonolüminesans veya iyon demeti lüminesansı;** Genellikle 3 MeV enerjiye kadar olan protonların kullanıldığı iyon demetine maruz kalınmasıyla ortaya çıkmaktadır. 40 µm civarına kadar derinliğe inmek mümkündür. Malzeme içerisinde bulunan safsızlıkların tespit edilmesinde katkısı yüksektir [46].

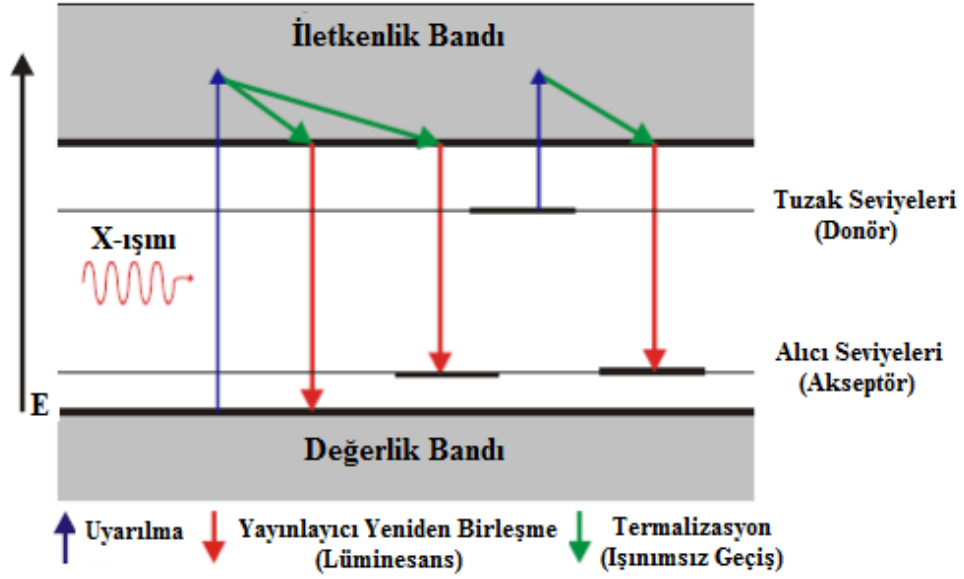
**Tribolüminesans;** Organik ve inorganik materyallerin çoğunda gerçekleşen bir olaydır. Mekanik gerilme, basınç etkisi veya sertlik derecesi yüksek bir maddeyle çizilme, aşındırma, sürtme veya kesme gibi durumlara maruz kalınması ile malzemede meydana gelen bir ışımaya türüdür. Mekanolüminesans, piezolüminesans, deformasyon lüminesansı olarak da isimlendirildiği bilinmektedir. Piezoelektrik kristallerin tamamında bu lüminesansın oluştuğu görülmektedir. Tribolüminesans ışığının spektrumu pek çok madde için PL ışımaya benzemektedir [56, 58].

#### **2.4. Radyolüminesans**

Foton kaynakları (X ışını, gama ışını) ve yüksek enerjili parçacıklara maruz kalınmasıyla ortaya çıkan bir ışımadır. Elektron demetine veya diğer uyarıtım türlerine göre daha büyük nüfuz etme derinliğine sahip olması temel farkıdır. Örneğin, bir yüzey üzerine gelen elektron demeti sadece yüzey üzerindeki bilgilerin edinilmesini sağlarken, RL de kullanılan X-ışını demeti malzemenin tümünü kapsadığı ve daha derine nüfuz ettiği için numunenin bütünü hakkında bilgi edinmeyi sağlar. Bunlara ek olarak sintilasyon sayaçlarının çalışma prensibi ile RL mekanizmasındaki temel işlem birbirine uygunluk göstermektedir [46, 50].

Şekil 2.22' de verilen diyagramdaki gibi X-ışınları ile uyarılan bir malzemede bulunan elektronların valans bandından iletkenlik bandına geçtiği görülmektedir. Elektron tekrar eski bandına dönmek için geçerken bir ışımaya yapar. Bu ışımaya X-ışını lüminesansı (Radyolüminesans) olarak isimlendirilir. Elektronlar sayesinde oluşan bu lüminesans ile bazı karakteristikler belirlenebilir. Bu özellikler için numunenin yapısı, yasak enerji aralığı, yayılan parıldamanın hangi dalgaboyu aralığında

gerçekleştiği gibi kavramlar örnek verilebilir. Dolayısı ile bu malzeme ile ilgili önemli bilgiler açığa çıkartılabilmektedir.



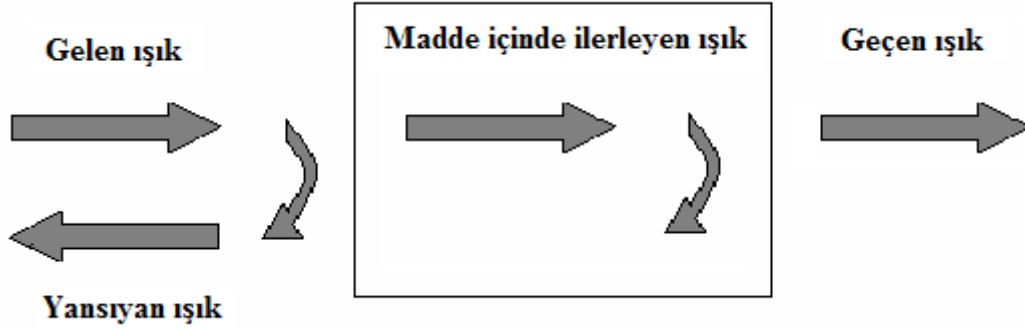
Şekil 2.22. Radyölüminesans oluşumunun enerji diyagramı [51]

RL sisteminde numune üzerine düşen X-ışını demeti örneğin tümünü kapsayan bilgiler vermektedir çünkü tamamı ışınlamaya maruz kalmıştır. RL ile analiz yöntemleri prensip olarak sintilasyon sayaçları ile ilgili ölçümlerle benzerlik göstermektedir. Örnek olarak; proton ile uyarılmış X-ışını deneysel analizinde (PIXE) hızlı olan X-ışını demeti, hızlandırıcıdan çıkıp örneğin üzerine düşürülmektedir. Numunede var olan elementlerin tespit edilmesine önemli katkı sağlar. Yapılan bu tez çalışmasında kullanılan RL sistemi PIXE' den farklı olarak numunelerde bulunan kusurların belirlenmesi için temel olarak kullanılan tekniklerden birisidir [46, 59].

## 2.5. Optik Soğurma

Katı malzemelerde gözlenen kapsamlı optik özellikler birkaç genel olayla sınıflandırılabilir. Bu olaylar temel olarak Şekil 2.23' te gösterilen yansıma, yayılma ve geçirme ifadeleri ile adlandırılırlar. Burada ışık demeti bir madde üzerine geldiği zaman, ışığın bir miktarı yüzeyin ön kısmından yansıtılırken bir kısmı bu madde içinde ilerler. Eğer ışık, malzemenin arka yüzeyine ulaşırsa bu durumda tekrar

yansıtılabilir ya da diğer yüzeye doğru geçirilebilir. Geçen ışığın miktarı ön ve arka yüzeyin yansıtıcılığı ve ışığın madde içindeki yayılımı ile de ilişkilidir [60].



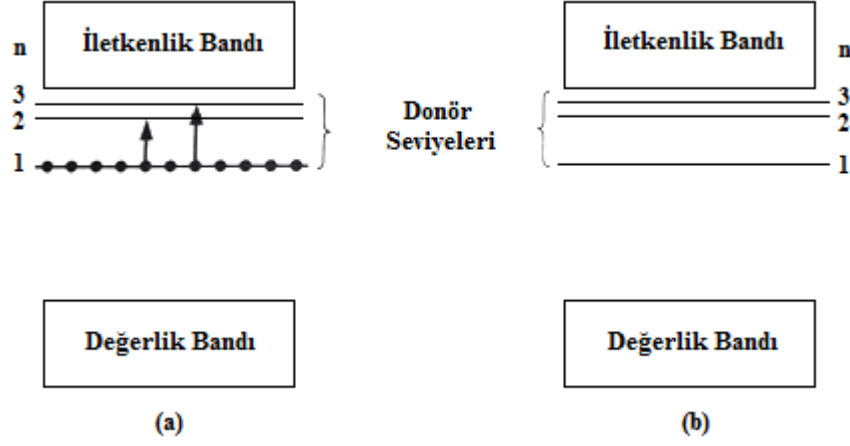
**Şekil 2.23.** Bir malzeme üzerine gelen ışığın maddeden yansıması, yayılması ve geçişi [60]

Kırılma, ışık dalgalarının serbest uzaydan daha düşük hızlarla ilerlemesinin sebebidir. Hızdaki bu azalma, Snell kırılma kanunu olarak adlandırılan, ışık ışınlarının aradaki yüzeylerde kırılmasına neden olur. Gerçekte kırılma olayı, ilerleyen ışık dalgasının şiddetini değiştirmez.

Soğurma, bir numunenin içindeki elektriksel yüklerin malzeme yüzeyine gönderilen elektromanyetik dalgalardan etkilenmesinin ardından meydana gelen enerji kaybı ifadesi ile açıklanmaktadır. Bu kayıp, malzemenin atomlarının enerjiyi kullanmasından dolayı gerçekleşmektedir. Eğer ışığın frekansı madde içindeki atomların geçiş frekansı ile aynıysa ışığın ilerlemesi boyunca soğurma meydana geldiği de vurgulanmaktadır. Bu durumda, ışık demeti ilerledikçe zayıflayacaktır. Malzemenin geçirimi açık bir şekilde soğurmaya bağlıdır. Çünkü sadece soğurulmayan ışık geçirilecektir. Çoğu optik malzemenin renginden seçici soğurma sorumludur [48, 60].

### 2.5.1. Safsızlık Soğurması

Aşağıda açıklanacak olan durumların daha net anlaşılabilmesi için Şekil 2.24'te bulunan donör enerji seviyeleri normal görüntüsünden çok daha büyük çizilmiştir.



**Şekil 2.24.** n-tipi bir yarıiletkende safsızlık soğurma mekanizmaları (a) donör seviyeleri arasındaki geçişler (b) boş donör seviyeleri için valans bandından geçişler [60]

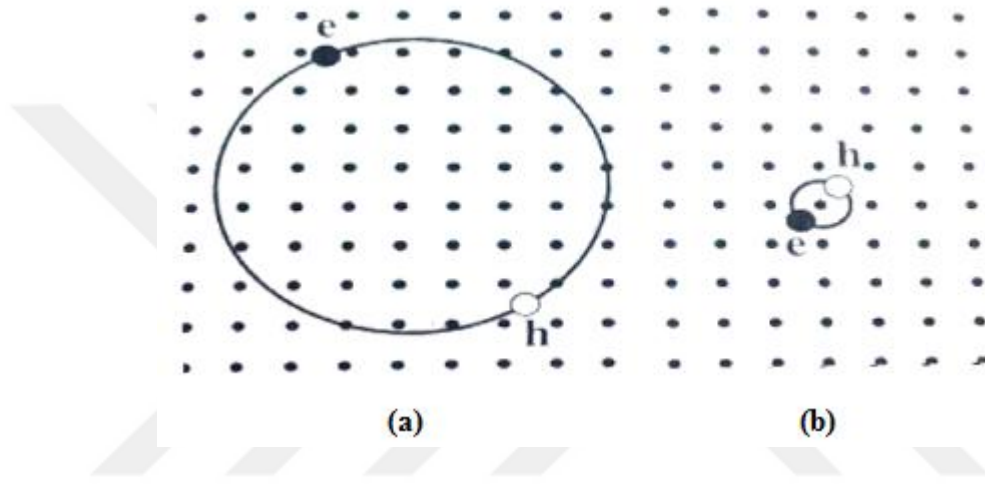
Donör atomlarıyla birlik n-tipli bir yarıiletkende iletkenlik bandının altında hidrojenik seviyelerin meydana geldiği daha önce katkılı yarıiletkenler başlığı altında bahsedilmişti. Bu kuantlı haller donör seviyeleri olarak adlandırılırlar ve Şekil 2.24 (a)' da gösterilmektedirler. Safsızlık düzeyleri iki yeni soğurma mekanizmasına neden olurlar.

Donör durumları işgal edilmişse Şekil 2.24 (a)' dan görüldüğü üzere seviyeler arasında elektronlar uyarılarak soğurma fotonlarının oluşması mümkün olacaktır. Öte yandan Şekil 2.24 (b)' de gösterildiği gibi donör durumları için valans bandından elektronlar uyarılarak ışık soğurması oluşacaktır. Şekil 2.24 (a)' da bulunan ve daha karmaşık olan şekli biraz daha açacak olursak; elektronların donör seviyelerinden iletkenlik bandına yükselmesi için termal enerjinin yetersiz olduğu düşük sıcaklık durumlarında sadece donör seviyeleri arasında geçişler meydana gelecektir. Yeterli yüksek enerji sağlanması durumunda ise elektronlar donör seviyelerinden iletkenlik bandına ulaşabileceklerdir [60].

### 2.5.2. Eksitonlar

Eksitonlar, yarıiletken veya yalıtkan bir malzemenin değerlik bandında bulunan elektronlarının iletkenlik bandına uyarılması ile kendi yerlerinde bıraktığı boşluklarla aralarında Coulomb etkileşmesi gerçekleşen elektron-boşluk (e-h) çiftleridir. Eksitonların hareketleri çoğunlukla korelasyon içerisinde olup bağlanma

enerjileri düşüktür. Eksitonlar temel olarak iki gruba ayrılır. Bunlar serbest veya zayıf bağlı eksitonlar olarak adlandırılan Wannier-Mott ve sıkıca bağlı eksitonlar olarak adlandırılan Frenkel eksitonlarıdır. Serbest eksitonlar çoğunlukla yarıiletkenlerde, sıkı bağlı eksitonlar ise yalıtkan kristal ve moleküler kristallerde görülmektedir. Serbest olanların çapı büyüktür, hareket sahası geniştir ve çoğu atomu kapsamaktadır. Sıkı bağlı olanların ise çapı çok küçüktür ve birim hücrenin büyüklüğü ile kıyaslanabilir durumdadır. Bağlanma enerjileri kıyaslanırsa; Wannier-Mott için 0.01 eV, Frenkel için 0,1 ile 1 eV aralığındadır [60, 61].



**Şekil 2.25.** Eksiton türleri (a) Serbest veya zayıf bağlı (Wannier-Mott eksitonları) ve (b) Sıkıca bağlı (Frenkel eksitonları) [60]

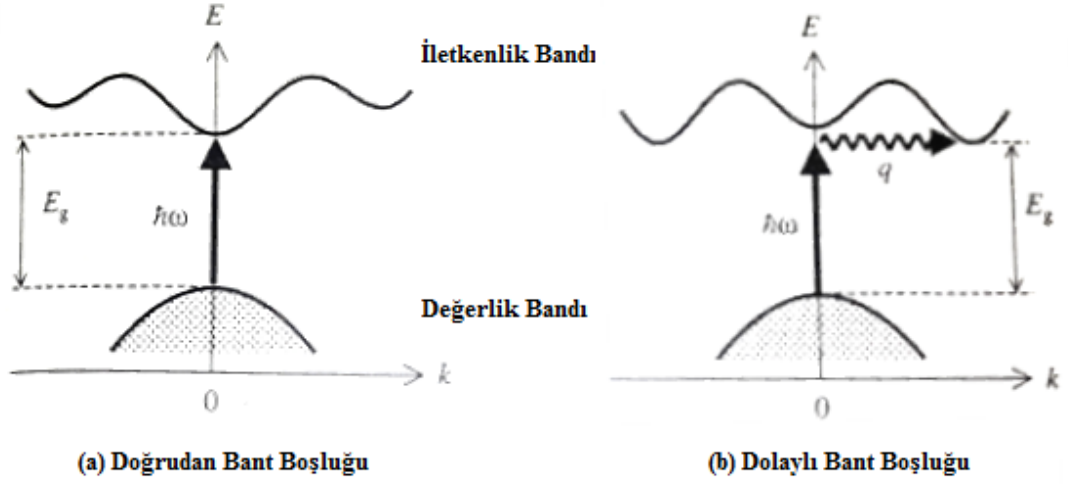
### 2.5.3. Doğrudan (Direkt) ve Dolaylı (Direkt olmayan) Geçişler

Değerlik bandının en üst seviyesi ile iletkenlik bandının en alt seviyesi aynı doğrultuda olan malzemeler (Şekil 2.26 (a)) yalnızca iki bant arası kendiliğinden ışınımlı yeniden birleşme potansiyeline sahiptir. Bunlar doğrudan bant boşluğuna sahiptirler.

Dolaylı geçişlerde (Şekil 2.26 (b)) ise bir foton soğurularak bu geçişin oluşması tek başına yetmez. Çünkü bu olaylarda momentum korunumu da esas olduğu için fononun ortaya çıkması da gerekmektedir.

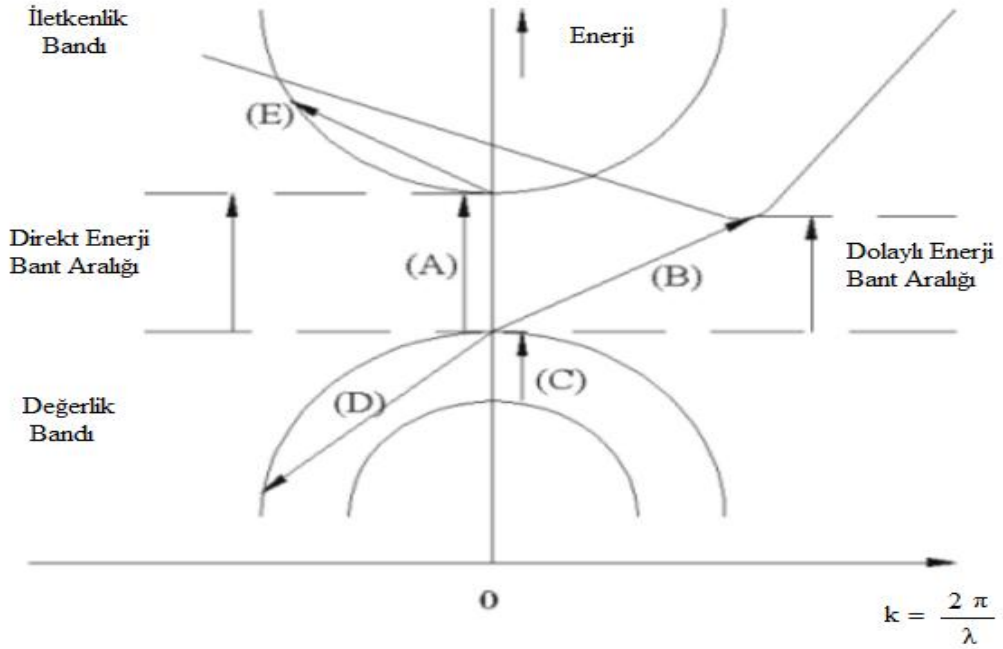
Doğrudan bant boşluğuna sahip malzeme olarak ZnO'yu, dolaylı bant boşluğuna ise Silikonu örnek verebiliriz [60, 62].





**Şekil 2.26.** Katılarda bantlar arası geçişler. Dikey eksen fotonun soğrulması sürecini;  $q$  ise bir fotonun soğrularak yayınlanmasını temsil etmektedir [60]

Şekil 2.27' de ise elektronik soğurma enerjisi bant geçişleri görülmektedir.



**Şekil 2.27.** Elektronik soğurma enerjisi bant geçişleri [63]

- (A) Değerlik bandından iletkenlik bandında geçişler ( $k$  dalga vektörü sabit)
- (B) Değerlik ile iletkenlik bandı arasında foton-fonon bağlantı etkileşimleri yardımıyla dolaylı geçiş

(C) Değerlik bandı arasındaki geçişler

(D) Foton-fonon etkileşimleri ve safsızlıklardan kaynaklanan değerlik bandında serbest taşıyıcı geçişleri

(E) Foton-fonon etkileşimleri ve safsızlıklardan kaynaklanan iletkenlik bandında serbest taşıyıcı geçişleri

## 2.6. Polimer Nanokompozitler

Nanokompozit kavramı, polimerlerin mekanik, optik ve termal özelliklerinin yanı sıra boyut ve yoğunluk gibi özelliklerinin de değiştirilerek malzemeye istenilen doğrultuda ayrıcalık katmak için polimer karışımların nanoparçacıklar ile etkili değişikliğe uğratıldığı önemli bir sahadır.

Organik ve inorganik polimer nanokompozitlerin ortaya çıkmasının en klasik ve kolay yolu, polimere nanoparçacıkları doğrudan karıştırmaktır. Bu karışım genellikle eritme ve solüsyon katma ile gerçekleştirilmektedir

Son çalışmalar küçük boyuttaki malzemelerin kontrol edilebildiğini ve böylece 1-100 nm arasındaki nanomateryallerin uygulama araştırmalarının katlanarak arttığını göstermektedir.

Polimer nanokompozitler, nanoparçacık olarak isimlendirilen 100 nm' den küçük malzemelerin polimer ile birlikte oluşturduğu karışımlardır. Bu nanoparçacıklar metaller veya metal bileşikler olabilirler (ZnO, TiO<sub>2</sub> gibi). Bu karışımda polimer ev sahibi malzemedir [28, 64].

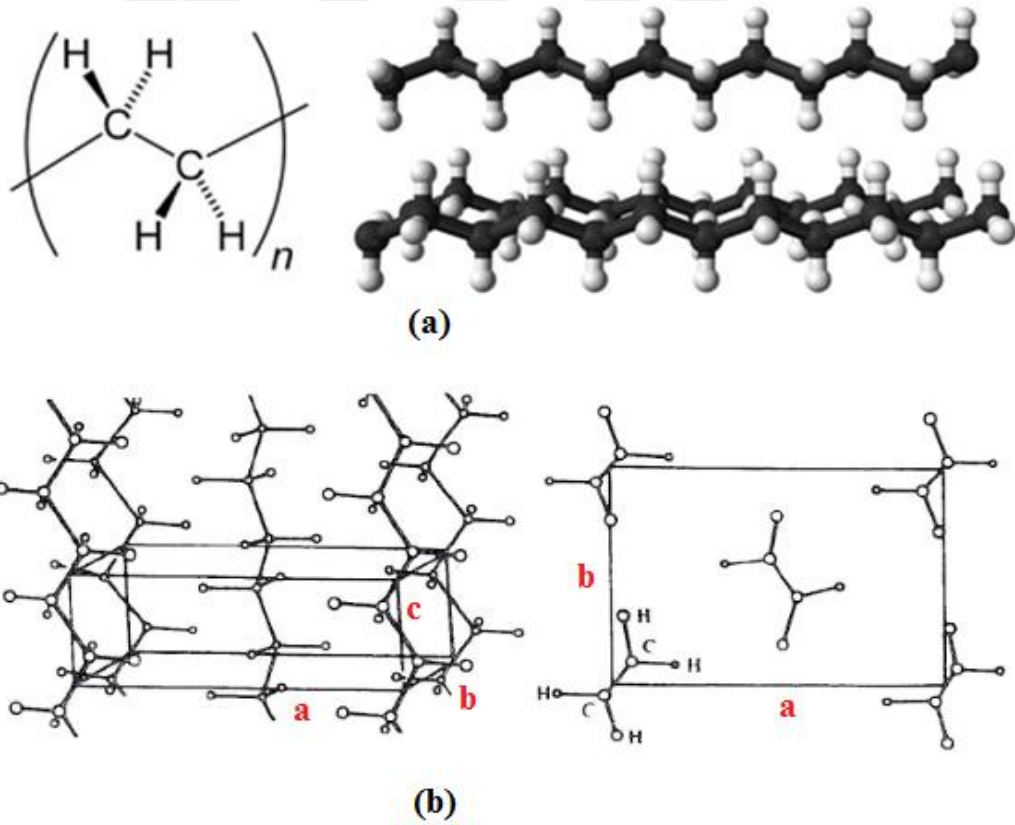
Polimer nanokompozitler çok önemli avantajlar içermektedirler. Örneğin bu kompozitler genellikle daha iyi mekaniksel dayanıma, elektriksel iletkenliğe, termal ve optik davranışa sahiptirler. Yakın zamanda yapılan çalışmalarda, nanodolguların küçük boyut ve geniş yüzey alanına sahip olmasından ötürü bilinen kompozitlerinkinden farklı mekanik, optik ve elektrik özellikler ortaya koyduğu gözükmektedir ve bu malzemeler araştırmacıların ilgi odağındadır [25].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Polietilen ve Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)

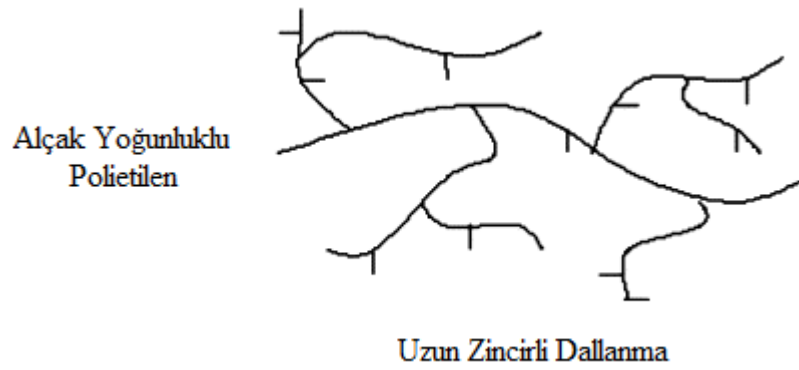
Polietilen en yaygın olarak kullanılan termoplastik malzemedir ve etilenin birleşimidir. Kısmen amorf kısmen kristal yapılıdır. Polimer zincirlerinin lineerliği moleküllerin daha verimli olarak paketlenmesini sağlar ve bu sebeple kristallik derecesi daha yüksek olmaktadır. Fakat yan zincir dallanmaları olursa kristallığın derecesini azaltmaktadır. Polietilenin çeşitli türleri vardır. Bunların üretim olarak basınçları ve sıcaklıkları farklıdır. Bunlar, Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) YYPE (Yüksek yoğunluklu polietilen), Orta yoğunluklu polietilen (OYPE) ve Lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE) dir. Aşağıda bulunan Şekil 3.1 (a) ve Şekil 3.1 (b) ' de polietilenin zincir ve kristal yapıları verilmektedir.



**Şekil 3.1.** Polietilenin molekül yapısı (a) Polietilenin tekrarlanan birimleri ve zincirleri [65] (b) Polietilenin kristal yapısı [66]

Polietilenin yaygın olarak kullanılmasına yol açan karakteristiklerini şöyle sıralamak mümkündür; düşük maliyetli, kolay uygulanabilirliği, mükemmel elektriksel yalıtımı, dayanıklılığı ve düşük sıcaklıklarda bile mevcut olan esnekliği, koku ve zehir içermemesi, ince filmlerin uygun şeffaflığı, pek çok paketleme, inşaat ve tarım uygulamaları için su buharını yeterince düşük miktarda geçirmesi vb. AYPE için genellikle başlıca pazarlama alanlarının paketleme ve kaplama endüstrisi olduğu söylenebilir [4].

AYPE, sanayide geniş uygulama alanına sahip bir malzemedir. Uygun özelliklerinden dolayı kolay işlenebilir ve farklı malzemelerle kullanılabilirler. Mükemmel bir kimyasal dirence sahiptir. Asitler, bazlar ve tuzlardan çok az oranda etkilenir. %50 ile %70 arasında kristal derecesine sahip olduğu için kısmen kristal yapıya sahiptir.  $0.915 - 0.930 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahip esnek bir polietilen türüdür. Dallanmış şekilde molekül yapısına sahip olduğu için kristalleşme oranı kısmen düşüktür. Erime noktası yaklaşık olarak  $100-120 \text{ }^\circ\text{C}$  arasındadır ancak genellikle  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  civarındadır [67, 68]. AYPE' nin dallanmış molekül yapısı Şekil 3.2' de verilmektedir.



**Şekil 3.2.** Dallanmış molekül yapısına sahip olan Alçak Yoğunluklu Polietilen [68]

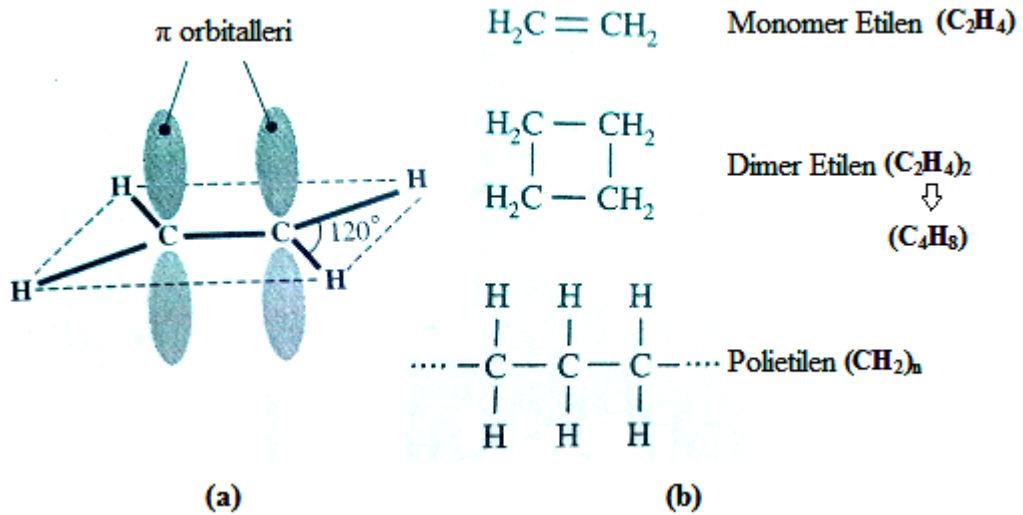
Laridjani ve Leboucher, elmasın kristal zincir modelini örnek vererek bu yapıdaki karbonun (C) makromolekül zincirlerinin paralel şekilde olduğunu vurgulamışlardır. Polietilenin kristal zincir yapısının ise bu yapıya benzetilerek modellendiğini söylemektedirler [69].

Dünyada plastiklere olan ihtiyaç her geçen yıl artarak devam etmektedir. 2010 yılında bu talep hacminin % 63' ünü poliolefinler oluşturmuştur. Poliolefinler içerisinde ise en büyük pazar payını polietilen karşılamaktadır [70].

Etilenin polimerizasyonu ile elde edilen bir polimer olan polietilen, plastik ürünler arasında dünya çapında en yaygın kullanılan polimer türüdür. 2014 yılı itibariyle Avrupa'daki 47,8 milyon ton plastik talebinin yaklaşık % 29' unu polietilen karşılamıştır [71].

Polimerin ilk basamağı olup monomer olan etilenden başlayarak yukarıya doğru üretim anındaki reaktör şartlarında değişiklik yapıp farklı yapıda polietilen türleri üretilebilmesi mümkündür. Reaktörde üretilen farklı türler dışında bulunan üretim akabindeki değişiklikler ve türlü kimyasal reaksiyonlardan yararlanılarak polietilenin özellikleri (yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasallara yönelik daha yüksek direnç vb.) geliştirilebilir ve üstelik yeni özellikler eklenerek uygulama alanı genişletilebilir [68].

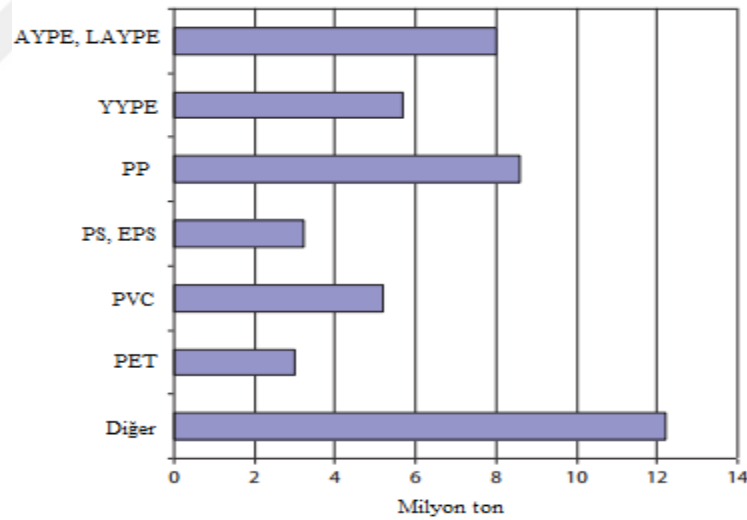
Etilen molekülünün bağ yapısı ve polietilenin oluşumunun başlangıcından itibaren gösterimi sırasıyla Şekil 3.3 (a)' da ve Şekil 3.3 (b)' de verilmektedir.



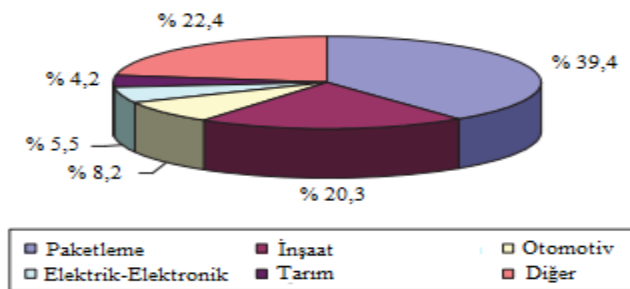
**Şekil 3.3.** Etilen molekülünün bağ yapısı (a), Polietilenin başlangıç oluşumları ve kendisi (b) [60]

Karbonun atomik konfigürasyonu  ${}_6\text{C}: 1s^2 2s^2 2p^2$  dır ve bu yüzden  $n=2$  durumunda atomik kabukta 4 değerlik elektronu vardır. Element halindeki karbonlarda (elmas) her bir karbon atomu komşu olan 4 karbon atomu ile tekli kovalent bağ oluşturur. Organik atomlarda ise komşu karbon atomları arasında tekli, ikili ve üçlü bağlar olabilir. İki ve üç bağlı moleküllerde valans (değerlik) elektronları  $\sigma$  ve  $\pi$  bağları arasında bölünür.

Bu olay şöyle açıklanabilir: Şekil 3.3 (a)' da gösterilmiş olan etilen molekülünde karbon (C) atomları iki tane hidrojen (H) atomuna bağlıdır ve diğer C atomları ile çift bağa sahiptir. İki tane 2s elektronu üç tane  $sp^2$  bağını oluşturmak için 2p elektronlarının birisiyle hibridize (melez) olmuştur. Bunlar  $\sigma$  bağlarıdır ve her birinin arasındaki açı yaklaşık  $120^\circ$  dir. Bu ise C ve H atomlarının bir düzlem üzerinde olduğu anlamına gelir. Diğer 2p elektronu,  $2p_z$  atomik orbitalinden (yörüngesinden) türeyen bir  $\pi$  orbitalini oluşturur. Bu fonksiyonlar çekirdek tarafından belirlenen alt ve üst düzlemde loplara sahiptir. Bu  $\pi$  orbitallerindeki elektronlar  $\pi$  elektronları olarak adlandırılırlar.  $\pi$  orbitallerinin örtüşmesi, iki C atomu arasındaki ikinci bağları üretir [28, 60].



(a)



(b)

Şekil 3.4. Avrupa da üretilen plastikler ve farklı sektörlerde uygulamaları [64]

Şekil 3.4' ten de görüldüğü gibi termoplastiklerin ve özellikle polietilenin Avrupa' da yaygın kullanım alanı olduğu net bir şekilde anlaşılmaktadır. Genel olarak plastiklerin ise en geniş çaplı olarak kullanıldığı sektörün paketleme sahasında olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada polietilen türü olarak Petkim' de üretilen Alçak Yoğunluklu I22-19T polietileni kullanılmıştır.

### 3.1.2. Çinko Oksit (ZnO)

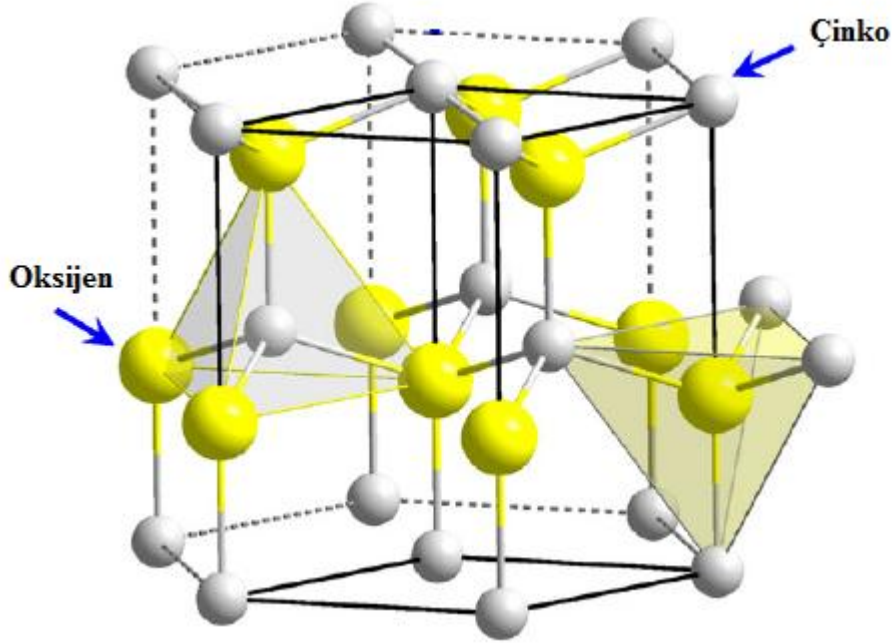
Çinko Oksit II-VI bileşenli bir yarıiletkenidir. II-VI yarıiletken ve yarımetaller, O, S, Se, ve Te ile Zn, Cd ve Hg nin ikili bileşiklerini ve üçlü veya dörtlü alaşımlarını içerir.

ZnO doğada *zincite* (doğal çinko oksit) minerali olarak bulunur. Bu mineral genellikle belirli miktarda mangan ve diğer elementleri içerdiği için rengi kırmızımsı sarıdır. Saf haldeki ZnO ise yasak enerji aralığı geniş olduğundan renksizdir ve şeffaftır. 300 °C ye kadar ısıtılınca rengi sarıya dönmeye başlar. Sıcaklık değiştikçe sarı, yeşil, kahverengi ve kırmızı başta olmak üzere farklı renklerde görünebilirler. Bu renk değişimleri kristalin yapısında var olan % 0,02- 0,03 oranındaki boşluklardan kaynaklanmaktadır [47]. Uygulamaların ve incelemelerin çoğunda kullanılan ZnO, sentetik materyal olarak kullanılmaktadır [46, 72].

ZnO yarıiletkeni oda sıcaklığında 3,37 eV [73-76] ve 2 K'de 3,43 eV [77] luk direkt ve geniş bir yasak enerji aralığına sahiptir. Bu bant aralığı, MgO veya CdO ile alaşımlar hazırlanılarak 4 eV' a kadar yükseltilebilmektedir [62].

ZnO'nun, geniş yasak enerji aralığına sahip ZnSe ve GaN gibi diğer yarıiletkenlere göre en önemli avantajlarından bir tanesi, onlara kıyasla (20 meV ZnSe ve 21 meV GaN) yaklaşık olarak üç katı olan 60 meV luk eksiton bağlanma enerjisine sahip olmasıdır [78, 79]. Buna ek olarak çinko oksit, ZnSe ve GaN' a göre daha düşük sıcaklıklarda hazırlanabilmektedir. Bu özelliğinden dolayı optoelektronik uygulamalar üzerine önemli derecede ilgi çekicidir [38].

ZnO wurtzite (hekzagonal simetri) kristal yapıya sahiptir (Şekil 3.5). Oksijen boşlukları olduğundan dolayı doğal olarak n-tipi bir yarıiletkendir ancak p-tipi olarak üretiminin de gerçekleştiği bilinmektedir [62, 76].



Şekil 3.5. Wurtzite yapılı (hekzagonal simetri) ZnO nun gösterimi [80]

Katkılanmamış ZnO, yaklaşık  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$  gibi yüksek elektron yoğunluğuna sahip katkısız *n*-tipi iletkenlik gösterebilir. Bu nedenle, ZnO'nun *n*-tipi elde edilmesi *p*-tipi ile karşılaştırıldığında daha kolaydır. ZnO yarıiletkenini katkılamanın zorluğu yarıiletkenin yüksek kusur iyonlaşma enerjisine bağlıdır ve böylece kusur normal çalışma sıcaklığında iyonlaşmaz [81].

**Tablo 3.1.** ZnO'nun bazı fiziksel özelliklerinin daha ön plana çıkarılması açısından teknolojik uygulama alanları yönünden kesişen diğer bileşik yarıiletken materyaller ile karşılaştırılması [61].

Materyal	Kristal yapısı	Örgü parametreleri a (Å) b (Å)	Bant aralığı enerjisi(eV)	Kohezyon enerjisi (eV)	Erime sıcaklığı (K)	Eksiton bağlanma enerjisi(eV)	Dielektrik sabiti $\epsilon(0)$ $\epsilon(\delta)$
ZnO	Wurtzite	3.25 5.207	3.37	1.89	2248	60	8.75 3.75
ZnS	Wurtzite	3.82 6.261	3.80	1.59	2103	30	9.6 5.7
ZnSe	Zinc-blende	5.66	2.70	1.29	1793	20	9.1 6.3
GaAs	Zinc-blende	5.65	1.43			4.2	
GaN	Wurtzite	3.19 5.185	3.39	2.24	1973	21	8.9 5.35
6H-SiC	Wurtzite	3.18 15.117	2.86	3.17	>2100	.....	9.66 6.52



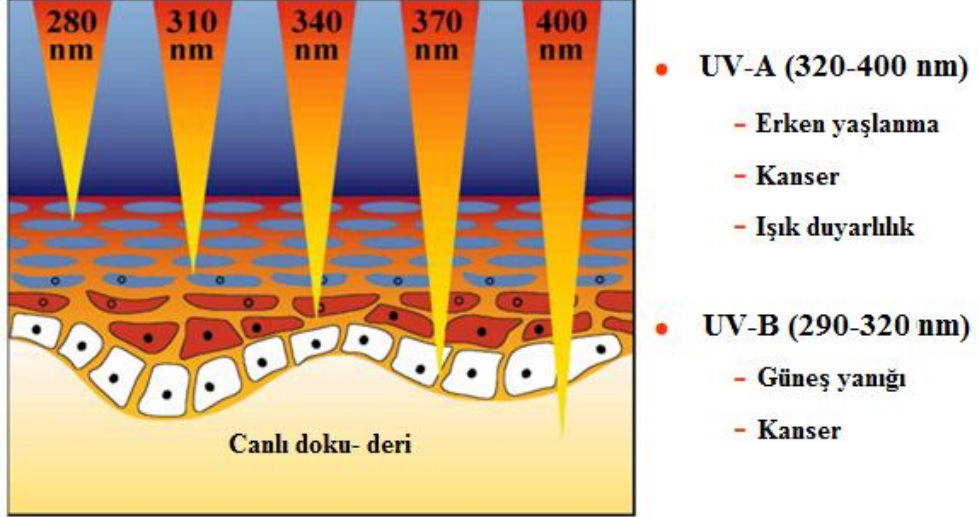
Tablo 3.1' de ZnO nun uygulama alanlarına benzer özellikleriyle teknolojiye kullanılan diğer yarıiletken türlerinin karşılaştırılması mevcuttur.

ZnO çok iyi bilinen ve yoğun şekilde çalışılan bir yarıiletkendir. Bu malzemenin fiziksel özelliklerinin incelenmesi ve uygulamalara yönelik ilerleme göstermesi eski tarihlere dayanmaktadır. Bu özelliklere değinecek olunursa, Bunn tarafından 1935 yılında ZnO'nun örgü parametreleri bulunmuştur. 1954'de Mollwo detaylı olarak optik çalışmalarını uygulamıştır. 1966 da ise Raman saçılmasıyla titreşim özelliklerini Damen ve ark. çalışmıştır. Galli ve Coker 1970 yılında kimyasal buhar taşınması yöntemiyle büyütme işlemini gerçekleştirmiştir. Optoelektronikte, sensörlerde, güç çeviricilerde (transdüserlerde) ve biyomedikal bilimlerdeki muhtemel uygulamalara sahip olan nadir bir malzemedir [19, 61, 62]. Bu malzemenin piezoelektrik güç çevirici ince filmlerde, yüzey dalga akustik aletlerinde, gaz sensörlerinde, optoelektronik aletlerde, yarıiletken detektörlerde, LED (ışık yayan diyot) lerde, plazma monitörlerin yapımında, sıvı kristal ekranlarda ve lazer teknolojisi olmak üzere çoğu uygulama alanlarında yer aldığı bilinmektedir [46].

Metal-oksit yüzeyinde elektriksel ve kimyasal olarak aktif olan oksijen boşlukları mevcuttur. Bu boşluklar işlevsel olarak n-tipi vericiler gibi görünür. Çoğunlukla oksitin iletkenliğini önemli ölçüde arttırmırlar. Katıhal gaz sensörlerinin başında gelen ZnO esaslı malzemeler yüksek sıcaklıklarda (~400 °C) CO, NH<sub>3</sub>, alkol ve H<sub>2</sub> algılamada kullanılmaktadırlar [82].

ZnO antimikrobiyeldir ve UV ışınını genişçe filtreleme özelliğine sahiptir. UV ile ZnO' nun içerisindeki Zn<sup>2+</sup> miktarı, ışın şiddetine ve ZnO konsantrasyonuna bağlı olarak artar. Zn<sup>2+</sup> ilavesi hücre ölümlerine karşı koruyucu etki yapmaktadır. Bu nedenle ZnO katkısı ile yapılacak üretimin tıpta oldukça önemli kullanım alanları oluşturması mümkün olabilecektir [83]. Yüksek radyasyona maruz kaldığında kusur oluşumu, yaygın kullanım alanına sahip diğer yarıiletkenlere oranla daha düşüktür. Bu nedenle radyasyona dayanımı daha yüksektir. Bu özelliğinden ötürü uzay teknolojisinde ve radyasyon içeren çevrelerdeki fotonik uygulamalarda önemli kullanım ağı sağlamaktadır [46].

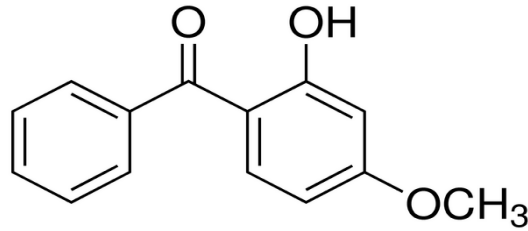
UV radyasyonun deri içersine giriciliklerinin gösterimi Şekil 3.6' da verilmektedir. Derinin üst yüzeyi en alt tabaka olarak gösterilmektedir. Yuakarıya doğru ilerledikçe derinin iç kısımlarına ulaştığı görülmektedir. Dalgaboyu küçük olanın enerjisi yüksektir ve giriciliği fazladır.



Şekil 3.6. Ultraviyole (UV) radyasyonun dalgaboyu sınıflandırması (deri içersine girme derinlikleri ve oluşturdukları olumsuz etkiler) [17]

ZnO' nun yanısıra bir sonraki başlıkta bahsedecek olduğumuz BP-3 de UV-A ve UV-B soğurucu özelliğine sahiptir [17].

### 3.1.3. 2-Hydroxy-4-Methoxybenzophenone (BP-3)



Şekil 3.7. BP-3' ün molekül yapısı [84]

**Basit Formülü:** C<sub>14</sub>H<sub>12</sub>O<sub>3</sub>

**Okunuşu:** 2-Hidroksi-4-Metoksibenzofenon

**Lineer formülü:** HOC<sub>6</sub>H<sub>3</sub>(OCH<sub>3</sub>)COC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>

BP-3, çiçek pigmentlerinden çıkartılmaktadır ve doğal olarak meydana gelmektedir. Diğer bir adı *Oxybenzone* (*Oksibenzon*) dur. BP-3' ün molekül yapısı Şekil 3.7' de gösterilmiştir. Güneş kremleri gibi çeşitli kozmetik ürünlerinde, ilaç sanayisinde, plastik yüzey kaplamalarında ve polimerlerde UV stabilizör olarak kullanılmak için sentezlenmektedir. Bu malzeme organik özütleme ile ayrılır, su ve metanol ile tekrar kristallendirilir ve kurutulur.

BP-3 plastik üretiminde selülozik esterler, polyesterler, polisitrinler, kauçuklar vb. plastik türlerinde kullanılmıştır. Olefinik polimerlerde UV stabilizör ve antioksidan olarak kullanılabilir [85, 86]. Bu malzeme 62-65 °C aralığında erime noktasına ve 150 °C de kaynama noktasına sahiptir. Nem tutmayan organik bir malzemedir [20].

Bu çalışmada BP-3, polietilen içerisine hem ayrı olarak hem de ZnO ile birlikte katılıp elde edilen numunelerin optiksel, yapısal, mekanik ve termal davranışlarına bakılmış ve yorumlanmıştır.

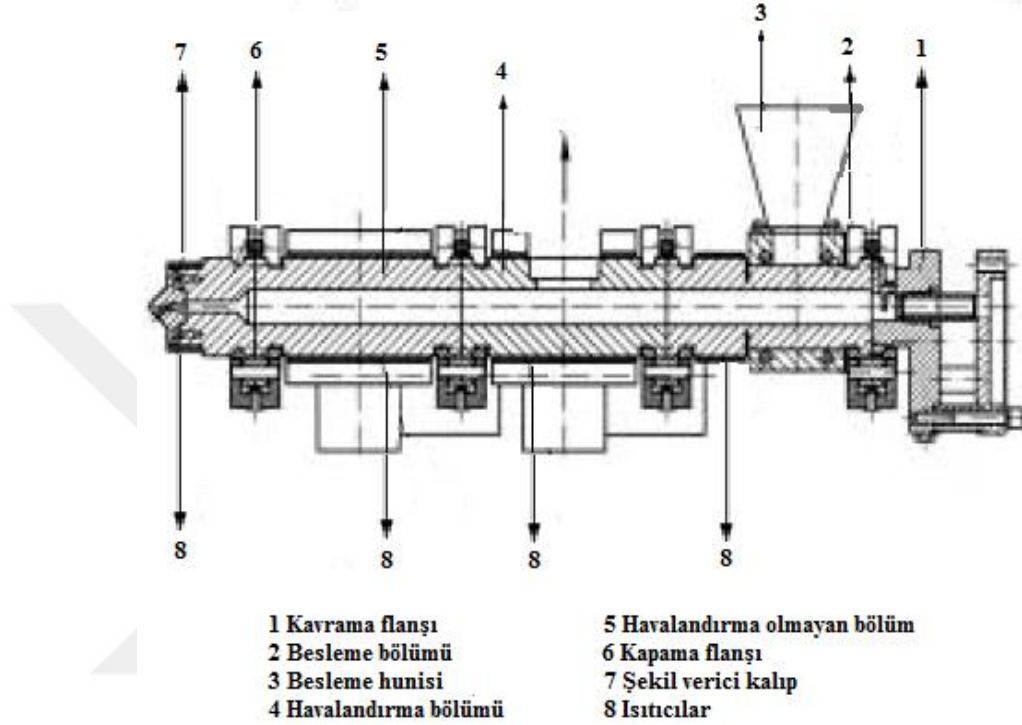
#### 3.1.4. Nanokompozitlerin Hazırlanması

Alçak Yoğunluklu Polietilen Petkim Petrokimya A.Ş. (İzmir-Aliğa) tarafından tedarik edilmiştir ve I22-19T olarak isimlendirilmektedir. ZnO malzemesi Sigma Aldrich den, BP-3 malzemesi ise Alfa Easer den satın alınmıştır.



Şekil 3.8. Collin ZK 25T tezgah tipi çift vidalı karıştırıcı resmi [87]

Nanokompozit örnekler, Şekil 3.8’de dış görünüşü ve Şekil 3.9’ da şematik görüntüsü verilen tezgah tipi çift vidalı karıştırıcı (Collin ZK 25T) kullanılarak granül yapıdaki AYPE’nin, toz haldeki ZnO ve BP-3 ün farklı oranlarıyla karıştırılması işlemi ile hazırlanmıştır.



Şekil 3.9. Collin ZK 25T tezgah tipi çift vidalı karıştırıcının şematik görüntüsü [88]

Nanokompozitler Tablo 3.2’ de yer alan bileşim oranları dikkate alınarak titiz bir şekilde yapılmıştır. Bu numunelerin her biri oranları baz alınarak karıştırıcıda ayrı ayrı eritilip üretilmiştir. Karıştırıcı için basınç değerleri şöyledir; vida çapı: 25 mm, boy çap oranı: 18:1, basınç: 8-10 bar, doldurma kısmından baş kısmına kadar örnekler için sıcaklık skalası: 170-250 °C ve vida hızı 30 dev/dk dır. Nanokompozit oranları ve kodları Tablo 3.2’ de verilmiştir. Elde edilen nanokompozitler 15x15x0,2 cm ebadında kalıplar haline getirilmişlerdir.

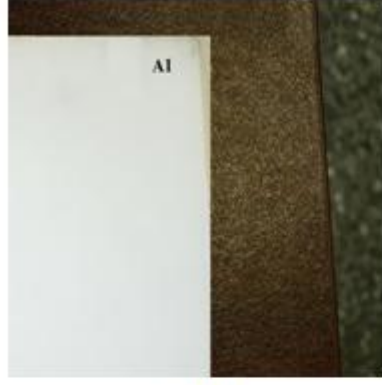
Polimer kompozit ve nanokompozitler dayanıklılığı, ağırlık oranı ve aşınmaya karşı dirençlilikleri gibi eşsiz özelliklerinde dolayı hava sahası, deniz, otomotiv ve yapı alanları başta olmak üzere birçok alanda önemli rol oynamaktadırlar [89-94].

**Tablo 3.2.** Nanokompozitlerin oranları ve kodları

Numune Kodları	Karışım (Ağırlıkça%)		
	PE	ZnO	BP3
A1	100	—	—
A2	99	1	—
A3	97.5	2.5	—
A4	95	5	—
A5	90	10	—
A6	99.5	—	0.5
A7	98.5	—	1.5
A8	97.5	—	2.5
A9	94.5	5	0.5
A10	93.5	5	1.5
A11	92.5	5	2.5

Polimer nanokompozitler çok avantajlı özelliklere sahiplerdir. Genellikle daha iyi mekaniksel dayanım ve elektriksel iletkenlik gösterirler. Son yıllardaki çalışmalarda inorganik nanodolguların küçük boyutta ve geniş yüzey alanına sahip oldukları için klasik kompozitlerden farklı olan optiksel, elektriksel ve mekaniksel özelliklere yol açtıkları görülmektedir. Bu durum ise bu malzemelerin ilgi odağı olduğunu ortaya koymaktadır. Polimerler ile birlikte bazı işlevsel organik ve inorganik dolguların veya diğer bir isimle doldurucuların karışımı, mühendislik alanında yeni malzemeler üretmek için potansiyel bir metottur [25].

11 nanokompozit numuneden 4 tanesinin görünüşleri ve renklerinin yakın çekimdeki görüntüleri Şekil 3.10' da verilmiştir. Bunlar en üst katkı oranlı oldukları için temsilen yer almaktadırlar. Alt kısımda mevcut olan renkler yakınlaştırılmış hallerinin renkleridir.



(A1)



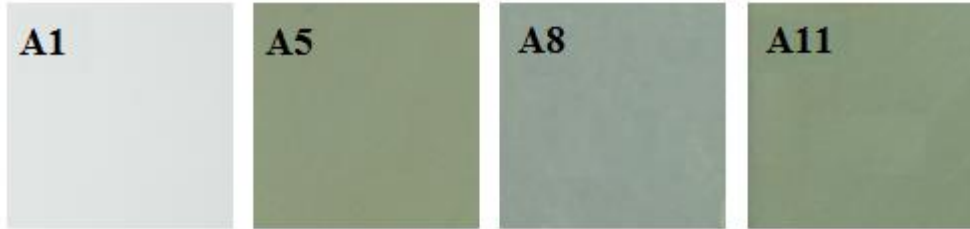
(A5)



(A8)



(A11)

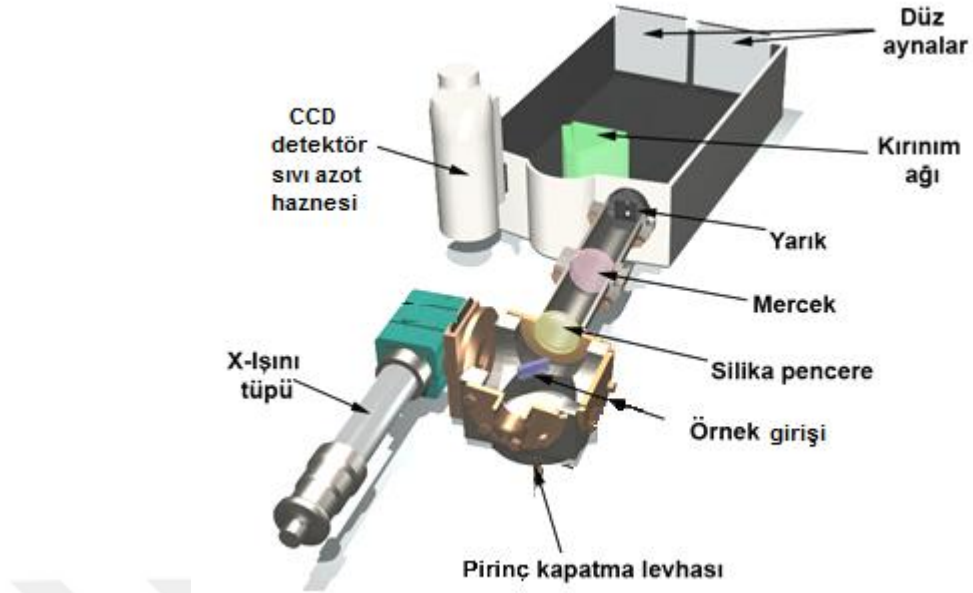


Şekil 3.10. A1, A5, A8 ve A11 numunelerinin görüntüleri ve renkleri

## 3.2. Yöntemler

### 3.2.1. Radyolüminesans Sistemi (RL)

Şekil 3.11' de Manisa Celal Bayar Üniversitesi Araştırma Laboratuvarı' nda kullanılan Jobin Yvon TRIAX 552 marka monokromatöre bağlanmış X-ışını ünitesi ile oluşturulan RL sistemi şematik olarak verilmektedir. Bu tez çalışmasında X- ışını radyasyonuna maruz kalan ZnO, BP-3 ve nanokompozitlerin RL spektrumları bu sistem ile ölçülmüştür.



**Şekil 3.11.** RL makine sisteminin şematik gösterimi [46]

RL sisteminde su soğutmalı olup tek fazlı Machlett OEG-50A X-ışını tüpü (Şekil 3.12) kullanılmaktadır. 0,1 mm kalınlığında alüminyum filtrelili ve 1 mm kalınlığında berilyum pencereye sahip olup tungsten hedef içermektedir. Şekil 3.13' te mevcut olan kontrol ünitesi yardımıyla, en fazla 50 kV luk bir gerilim ve 20 mA lik akım oluşturulabilmektedir. Buna ek olarak, ölçüm alınmak istenen deneysel çalışmalarda uygulanan değerler 30 kV ve 15 mA dir. Yapılan hesaplamalarla bu değerlerin oluşturduğu radyasyon dozu (10 cm uzaklıkta) *dakika da 30 Gy'* e tekabül etmektedir. Bu değerlerde çalışılmasının sebebi, muhtemel elektriksel bir boşalma ile tüpe olumsuz etki oluşturmaması ve ayrıca tehlikesiz çalışma doz sınırını geçmemek amacı üzeredir. X-ışınına maruz kalan numuneden yayınlanan ışık Jobin Yvon TRIAX 552 spektrometresi yardımıyla tespit edilmektedir. Bahsi geçen bu ışığın, silika bir mercek sayesinde spektrometrenin giriş yarığına (0,1-2 mm) düşmesi için ayarlanmıştır. Numuneden çıkan ışığı en az kayıpla monokromatöre ulaştırmak için numunenin mercek eksenine doğrultusunda yerleştirilmesi gerekmektedir.

Numuneden yayılıp yarıklar arasından geçerek gelen ışık CCD detektöre sahip spektrometre ile değerlendirilmektedir. En üst kapasitede çalışılan dalgaboyu aralığı 200-1200 nm dir ve sıvı azot kullanılarak çalışılmaktadır.

CCD detektörden elde edilen bilgiler “SpectraMax32 Instrument Control/Data Acquisition” olarak isimlendirilen bir program tarafından spektrum formunda bilgisayar ekranında gözükmektedir. Dikey ve yatay eksenlerinin sırasıyla lüminesans şiddeti ve dalgaboyu değerlerinden oluştuğu spektrum, AXUM grafik programı sayesinde rahatlıkla bilgisayarda oluşturulabilmektedir. Sistem hakkında girilip değiştirilebilecek tüm değer aralıkları [“binning faktör” (belli bir zaman için depolama), giriş ve çıkış yarıklarının genişliği ve katı açısı] bu program sayesinde kolaylıkla ayarlanabilmektedir [12, 46].



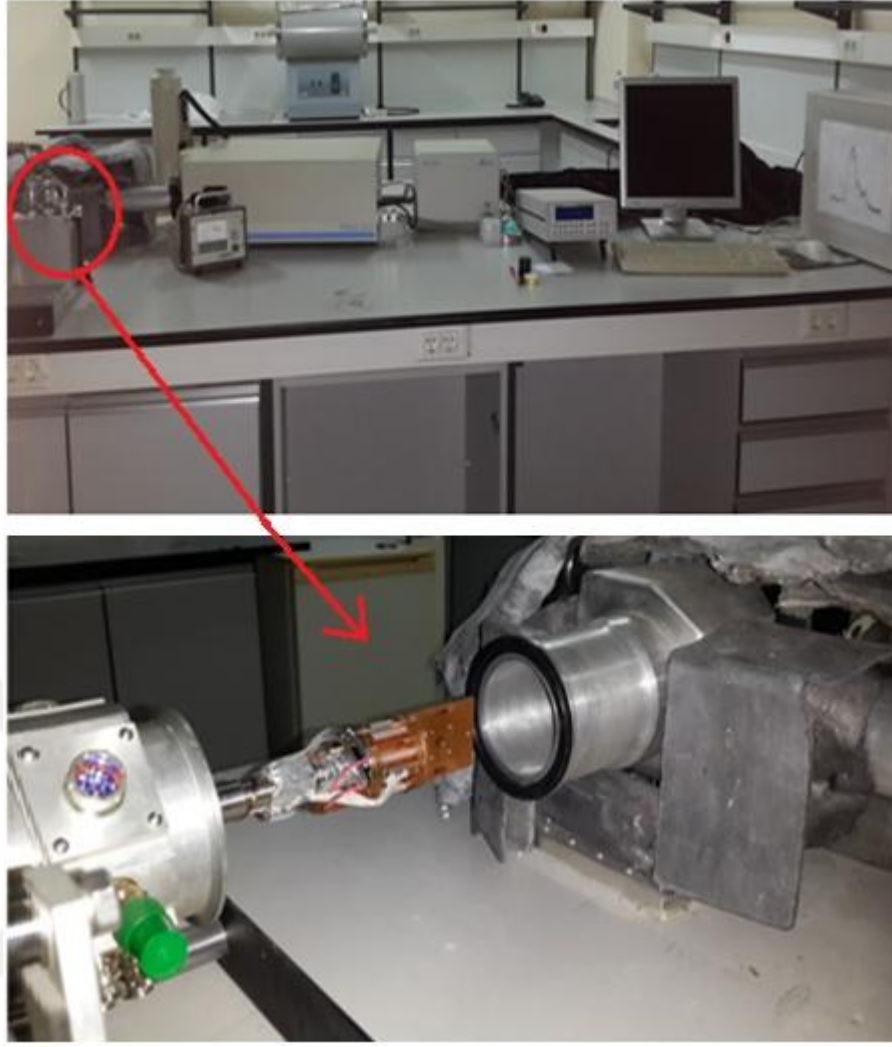
**Şekil 3.12.** Işınlama amacıyla kullanılan X-ışını tüpü



**Şekil 3.13.** X-ışını kontrol ünitesi

RL sisteminin genel görünüşü ve numunenin konulduğu yer (kırmızı işaretli) Şekil 3.14’ te gösterilmiştir.





**Şekil 3.14.** Radyolüminesans Sisteminin genel görünüşü

### **3.2.2. Optik Soğurma Sistemi**

Optik soğurma spektroskopisi özellikle yarıiletken malzemelerin, nanoparçacıkların ve nanokompozitlerin optiksel özelliklerini açığa çıkarmak için kullanılan tahribatsız bir yöntemdir.

Bu çalışmada kullanılan Perkin Elmer Lambda 950 UV-VIS-NIR spektrofotometresi ile sıvı ve katı olmak üzere farklı malzemelerin optiksel özellikleri incelenebilmektedir (Şekil 3.15).

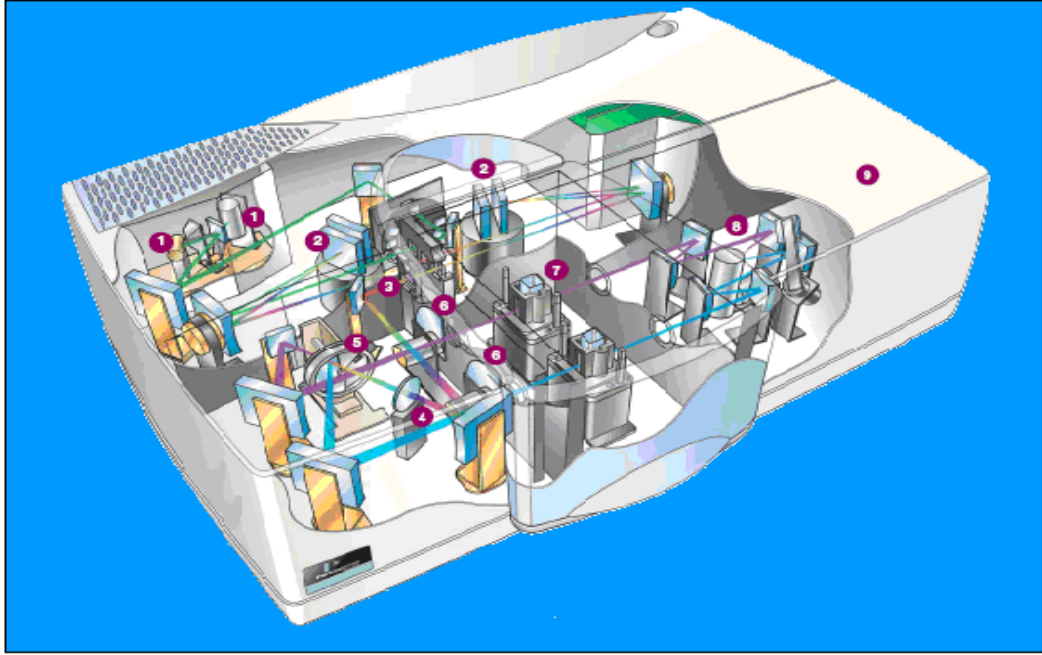


**Şekil 3.15.** Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sistemi

**Tablo 3.3.** Perkin Elmer Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin teknik özellikleri [12]

Teknik Özellik	Açıklama
Optik Sistem	Hepsi SiO <sub>2</sub> ile kaplanmış yansıtıcı optik sistemlerden oluşmaktadır. UV/VIS için 240 nm 1440 çizgi/nm ve NIR için 1100 nm de 360 çizgi/mm kırınım ağına sahip iki monokromatör bulunmaktadır.
Demet Ayırma Sistemi	Kesici (Chopper) (46 Hz, Devir:Karanlık/Örnek/Karanlık)
Detektör	Tüm UV/VIS dalgaboyu aralığında yüksek enerji için R6872 Fotoçoğaltıcı tüp ve NIR için Peltier soğutuculu PbS dedektör.
Kaynak	Önceden hizalanmış Tungsten-halojen ve döteryum lamba
Dalgaboyu aralığı	175-3300 nm (185 nm nin altında sıvı azot (N <sub>2</sub> ) soğutması gereklidir).
Ayırma Gücü	UV/VIS için $\leq 0.05$ nm NIR için $\leq 0.20$ nm
Dalgaboyu doğruluğu	+/- 0.08 nm UV/VIS +/- 0.30 nm NIR
Dalgaboyu Tekrarlanabilirliği	UV/VIS (Döteryum Lamba Çizgileri) $\leq 0.020$ nm NIR (Döteryum Lamba Çizgileri) $\leq 0.080$ nm UV/VIS için 10 ölçümün standart sapması: $\leq 0.005$ nm NIR için 10 ölçümün standart sapması: $\leq 0.020$ nm
Fotometrik Ekran	Sınırsız
Bant Geçirici	UV/VIS aralığında 0.01 nm lik artışlarla 0.05 nm- 5.00 nm NIR aralığında 0.04 nm lik artışlarla 0.20 nm- 20.00 nm
Çalışma Sıcaklığı	10-35 °C

Numunelerin soğurma ölçümlerinin alındığı spektrofotometre sisteminin teknik özellikleri Tablo 3.3' te bulunmaktadır.



**Şekil 3.16.** Perkin Elmer Lambda 950 Spektrofotometre Sisteminin iç yapısının şematik gösterimi [38]

Lambda 950 UV/VIS/NIR Spektrofotometre Sisteminin Şekil 3.16' da iç yapısının şematik gösterimi mevcuttur. 175 nm ile 3300 nm dalgaboyu aralığında ölçüm alabilme imkanı sağlayan bir sistemdir. Bu amaçla sistemde döteryum ve tungsten-halojen lambalar içeren iki tane ışık kaynağı (Şekil 3.16' da 1) ve UV/VIS için 240 nm de 1440 çizgi/nm ve NIR için 1100 nm de 360 çizgi/mm kırınım ağı bulunduran iki monokromatör mevcuttur. Şekil 3.16' da görüldüğü üzere lambalardan çıkarak gelen ışık demeti aynalar aracılığı ile monokromatöre ulaşır (Şekil 3.16' da 2-3). Böylece gelen demetin dalgaboyu belirlenir. Sonrasında monokromatörden çıkan ışık demeti tekrar aynalar vasıtasıyla depolarizöre aktarılır (Şekil 3.16' da 4). Bahsedilen spektrometre kristaller ve lazer ile ilgili araştırmalar yapıldığında kullanılacak olan malzemeler için polarizasyona bağlı geçirgenlik ve yansıtma değerleri alabileceği gibi, polarizasyonla bağımlı olmayan ölçümler için de depolarize sistemi ile çalışılması gerekmektedir. Depolarizörden gelen ışık demeti demet kesiciye (chopper) ulaşır (Şekil 3.16' da 5). Demet kesici 47 Hz lik bir frekansla dönen, geçirici ve yansıtıcı bölümleri bulunan ve dört parçalı olarak

oluşturulmuş bir diskidir. Bu parça aracılığı ile ışık demeti spektrometre içerisindeki numune ve referans odalarından ayrı ayrı geçecek bir biçimde yansıtılır veya geçirilir. Yani numune ile referans arasında bir anahtar işlevi görmektedir. Şekil 3.16' da 6 ile gösterilen parçada yüksek soğurma özelliği mevcuttur, numunelerde yüksek hassasiyette ve doğru ölçüm gerçekleştirebilmek için kullanılır. Bu numune ve referans demetini düşürme özelliğine sahiptir. Böylece bu işlemlerle, ölçüm skalasındaki her dalgaboyu için, ışık demeti Şekil 3.16' da 7 ile verilen referans ve numune odalarından geçip detektöre gelir. Sistemde detektör olarak UV/VIS aralığı için R6872 fotoçoğaltıcı tüpü ve NIR için Peltier soğutuculu PbS detektörü vardır (Şekil 3.16' da 8). 185 nm den aşağı aralıklarda ölçüm alabilmek için N<sub>2</sub> soğutması gerekmektedir. Detektörde her dalgaboyu için referans ve numune odalarından geçerek gelen ışığın kıyaslamalı ölçümü elde edilir. Şekil 3.16' da 9 ile gösterildiği gibi, sisteme ikinci bir örnek odası daha yerleştirme imkanı vardır. Toplam ve difüz geçirgenlik ölçümü yapmaya olanak sağlamasının yanı sıra bulundurduğu 60 mm veya 150 mm lik küre ile neredeyse mükemmel kararlılıkta yansıma ölçümleri almayı sağlamaktadır (Şekil 3.17).



**Şekil 3.17.** İki farklı tür (sıvı-katı) örnek odası mevcut olan Lambda 950 Spektrofotometresi

Ölçümlerin tümünde ışığın numune üzerine dik bir şekilde gelmesi sağlanmaktadır. Ölçülecek dalgaboyu aralığı, sistemin çözünürlüğü ve ne tür ölçüm alınacağı (soğurma, yansımaya veya geçirgenlik) “Perkin Elmer UV WinLab” bilgisayar programı aracılığı ile belirlenir. Bu çalışmada soğurma ölçümleri olarak ayarlanmıştır. Sonuçta elde edilen veriler AXUM programı ile grafik haline getirilmektedir.

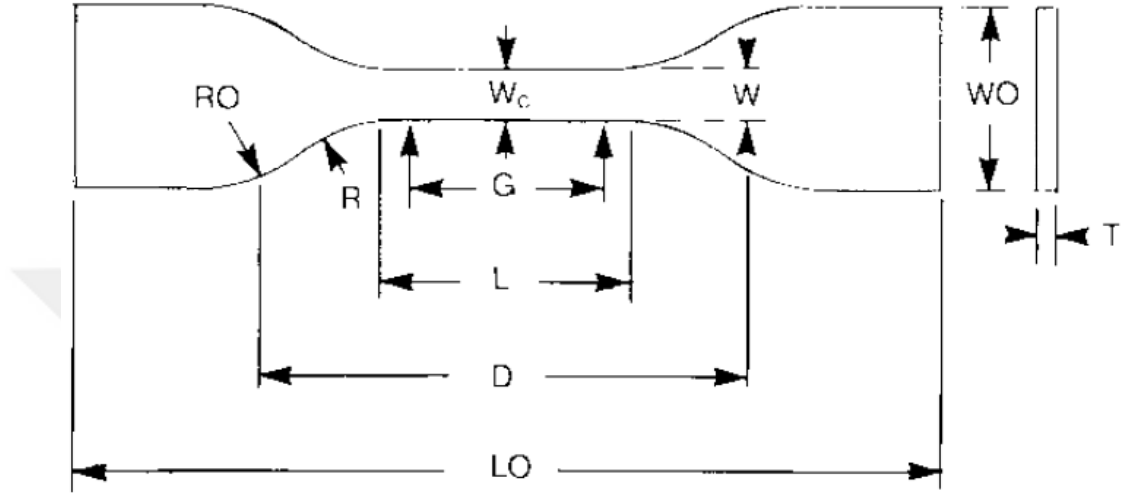
### 3.2.3. Mekanik Test Ölçümleri

Çekme testi çok yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Polimerlerin viskoelastik (akışkanımsı esnek) olması sebebiyle bu test tekniği, bir polimerin nihai ürünündeki davranışının nasıl olacağı hakkında bilgi vermektedir [4].



**Şekil 3.18.** Çekme testleri için kullandığımız Shimadzu Çekme, Basma ve Üç Nokta Eğme Cihazı

Bu çalışmada bulunan polimer nanokompozit malzemelerin elastik özelliklerini incelemek için kullanılan bir cihazdır (Şekil 3.18) ve farklı türdeki malzemeler için de kullanılmaktadır. ASTM D 638 uluslararası standartlara göre kalıplanmış malzemeyi belli bir kuvvet altında uzatarak numunenin uzama miktarını, uzamaya ve kopmaya karşı dayanımını ölçer.



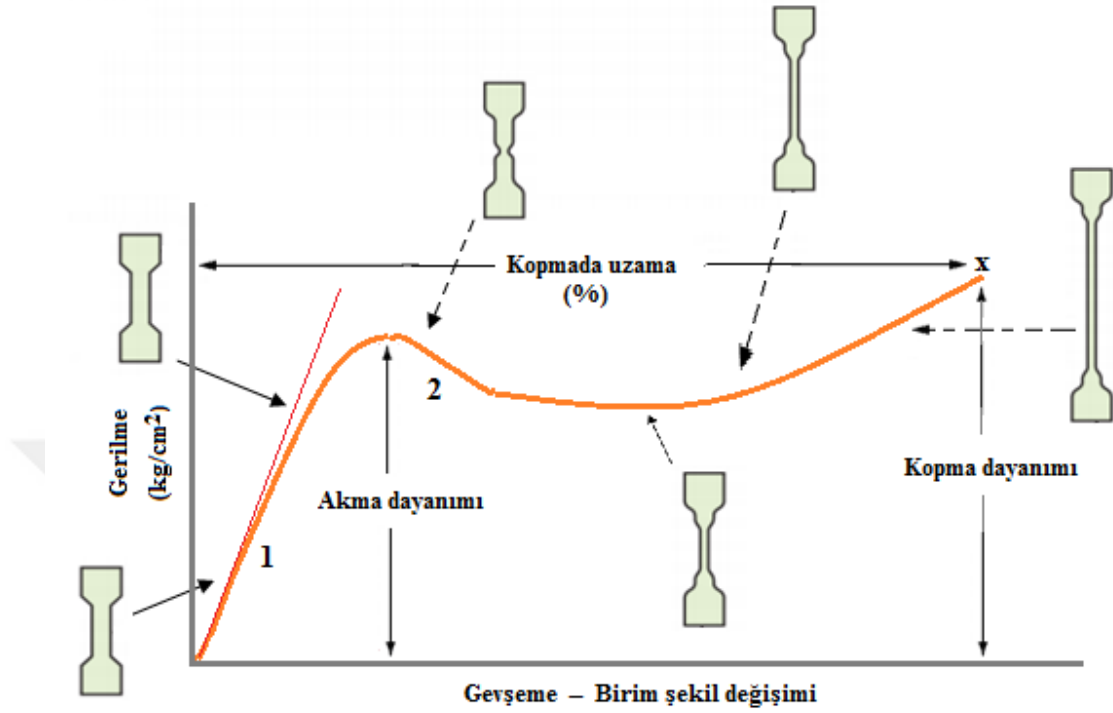
**Şekil 3.19.** Çekme ölçümlerinde kullandığımız ASTM D 638 uluslararası standartlara göre tip IV şekli [95]

**Tablo 3.4.** Çekme ölçümlerinde kullanılan ASTM D 638 uluslararası standartlara göre tip 4 şeklinin uzunlukları ve toleransları (kırmızı işaretli) [95]

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV <sup>B</sup>	Type V <sup>C,D</sup>	
W—Width of narrow section <sup>E,F</sup>	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) <sup>B,C</sup>
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) <sup>C</sup>
WO—Width overall, min <sup>G</sup>	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min <sup>G</sup>	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min <sup>H</sup>	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length <sup>I</sup>	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) <sup>C</sup>
G—Gage length <sup>I</sup>	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) <sup>J</sup>	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) <sup>C</sup>
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Çekme testi numuneleri Şekil 3.19 ve Tablo 3.4’ te bulunan ASTM D 638 standartlarına göre hazırlanarak ölçüm alınmıştır.

Plastik malzemelerin çekme kuvveti uygulanarak kopma anına kadar oluşan şekil değişimleri aşağıda bulunan Şekil 3.20' de verilmiştir.



Şekil 3.20. Plastiklerin Gerilme - Gevşeme eğrisi [4, 96]

**Akma Dayanımı:** Kaymanın gözle görülebilir ve etkili bulunduğu durumdaki gerilmedir. Şekil değiştirilmesine ihtiyaç olan parçaların üretiminde gerilme değeri, malzemenin görünüşünde kalıcı bir değişim bırakması için akma dayanım değerinin üstünde olmalıdır [96].

**Kopma Dayanımı:** Malzemenin belirli bir değere kadar gerilerek o anda koptuğu değerdir.

**Kopmada Uzama:** Numunenin gerilmeye başladığı andan kopma anına kadar olan uzamasıdır. % olarak ifade edilir.

Şekil 3.20' de 1 sayısı ile gösterilen noktada malzeme elastik bir katı gibi davranır ve oluşan bozukluk telafi edilebilir. Az miktarda olan bu bozulma, polimer moleküllerinin atomları arasındaki atomik bağlar arası bükülme veya gerilme ile ilişkilidir. 1 ve 2 arasında ise bozukluklar, moleküler zincirlerin dirsekli veya sarmal

kısının doğrulması ile ilgilidir. Anlık süre zarfında olmasa da nihayetinde bozulma düzelebilir. Bu durum doğrusal olmayan bir yayın düzelmesine benzemektedir. Daha üst gerilme kısımlarında moleküllerin yer değiştirmesi meydana gelir. Bu durum bir sıvının akışı gibidir. Bu yer değişikliğine uğrayan moleküller eski hallerine gelemedikleri için bu bozukluk kalıcı olup telafi edilemez bir durumdur [4].

#### 3.2.4. Termal Analizler (TG-DTA)

**TG:** Termogravimetri, genellikle sıcaklığa bağlı olarak malzemedeki kütle değişimini ölçen bir metottur. Numune analiz için ısıtıldığında malzemenin ağırlığındaki değişim ile birlikte çeşitli kimyasal olaylar (termal bozunma, oksitlenme gibi) ve fiziksel işlemler (su ve çözücü buharı çıkma, süblimleşme vb.) ortaya çıkabilmektedir. Bu teknik, malzemenin termal davranışının belirlemede çok sık kullanılmaktadır. Numunenin zamana bağlı olarak sıcaklık arttırma yolu ile davranışı incelenmektedir. Ölçümün ardından kütlenin veya % olarak kütle değişiminin TG grafikleri elde edilir [4, 97].

Termal analizde ısı kararlılık, malzemenin bozunmaya başladığı sıcaklık veya sıcaklığa karşı sergilediği direnç olarak ifade edilir [68].

**DTA:** Diferansiyel termal analizde, çalışılan numune ile referans malzeme arasındaki sıcaklık farkının aynı sıcaklık programı altında ölçülürken kademeli olarak kayıt edilmesidir. Endotermik ve ekzotermik pikler gözükülebilmektedir. Negatif yönlü olan pik endotermik, pozitif yönde olan pik ise ekzotermiktir. Kristalleşme, erime ve süblimleşme gibi olaylar ile ilgili bilgi sağlanmaktadır. TG ve DTA ölçümlerini aynı anda gerçekleştiren laboratuvar cihazları sıklıkla karşımıza çıkmaktadır [97, 98].

Şekil 3.21' de çalışmadaki numunelerin TG-DTA analizleri için kullanılan deney cihazı bulunmaktadır.





**Şekil 3.21.** TG-DTA analizleri için kullanılan Hitachi SII Exstar 7300 marka deney cihazı [99]

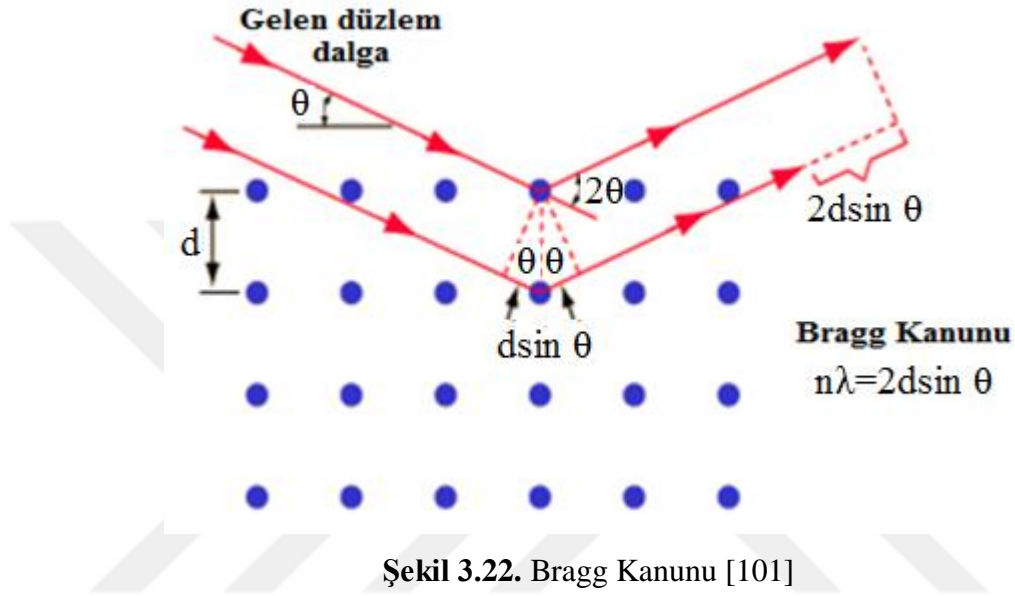
### 3.2.5. X-Işını Kırınımı Sistemi (XRD)

X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları 0.1-100 Å arasında değişen elektromanyetik dalgalardır [100].

Bilinmeyen katıların kristal yapılarını belirlemek için kırınım teknikleri kullanılır. Katıların kristal yapılarını incelemek için en çok kullanılan kırınım tekniği X-ışını kırınımıdır. Elektron veya nötron kırınımı tekniklerinin yerine X-ışını kırınımını seçilmesinin iki sebebi vardır; birincisi X-ışınlarının dalga boyları (atomik mesafeler boyutunda olması), ikincisi X-ışını saçılımının yıkıcı olmamasıdır (incelenecek malzemeyi değiştirmemesi) [54].

Kristal yapı ve bu yapının içerisindeki atomların dizilimlerinin incelenmesi ilk defa Max van Laue tarafından XRD ile gerçekleştirilmiştir.

Bir X-ışını kırınımı modelindeki pikler atomların birbirleri ile olan mesafeleri direkt bağlıdır. Şekil 3.22’de bir X-ışınının atomlarla olan iki boyutlu etkileşimi görülmektedir. Örgüde kırınım olayının oluşması Bragg kanununa göre gerçekleşmektedir. XRD verilerinin yorumu için çok önemlidir.  $\lambda$ : X-ışını dalgaboyu,  $\theta$ : Saçılma açısı ve  $n$ : Kırınım pikinin düzenini tanımlayan mertebedir ve tam sayıdır [55]. XRD ölçümleri Şekil 3.23’ te bulunan cihaz ile alınmıştır.

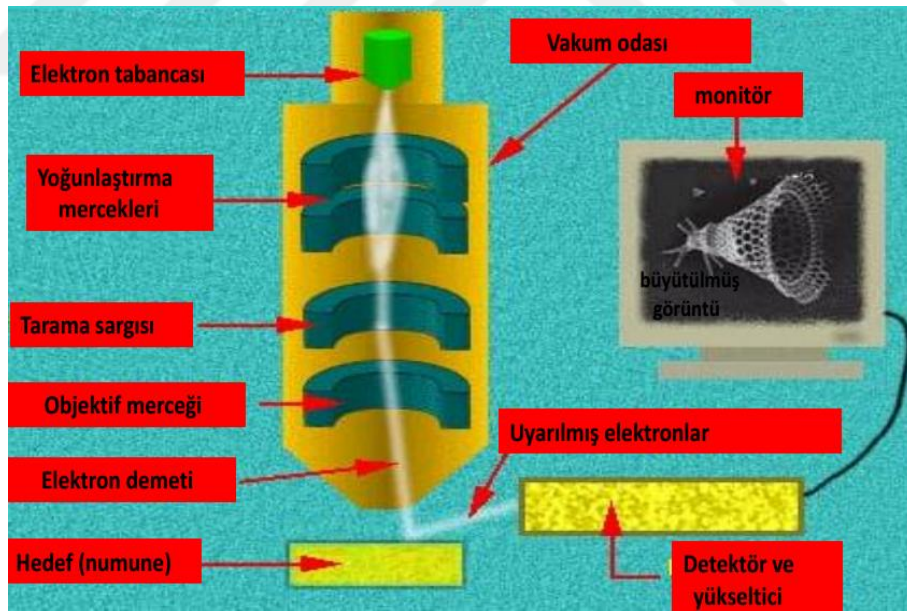


Şekil 3.23. XRD ölçümlerinin alındığı PANalytical X-ışını kırınımı cihazı [99]

### 3.2.6. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM)

Yüksek büyütme avantajı ile morfolojik yapıları özellikle mikroboyutta incelemek için çok kullanışlı bir tekniktir. Bu metotta çok ince W (tungsten) tel veya LaB<sub>6</sub> uç ya da bir elektron tabancası aracılığı ile elde edilen elektron ışını kullanılmaktadır. Yüksek gerilim alanı (1-50 kV) altında hızlandırılan elektronlar ile işlem gerçekleştirilmektedir. Işın, numune üzerine mercekler aracılığı ile 1-2 nm aralığında bir bölgeye odaklanır ve tarama sargıları yardımıyla malzeme yüzeyinde taranır. Ortaya çıkan veriler işlenerek malzeme ile ilgili çeşitli bilgiler edinilebilir. Malzeme üzerine düşürülmüş olan elektronlardan geri saçılanlar üç boyutlu olan şekil odaklı bilgiler vermektedir. Bu bilgilere örnek olarak yüzey pürüzlülükleri, tanecik sınırları, çatlak oluşumları, gözenek, lif ve iğne tipli yapılar vb. verimli bir şekilde incelenebilir.

SEM deney mekanizmasının şematik gösterimi Şekil 3.24' te ayrıntılı olarak verilmektedir.

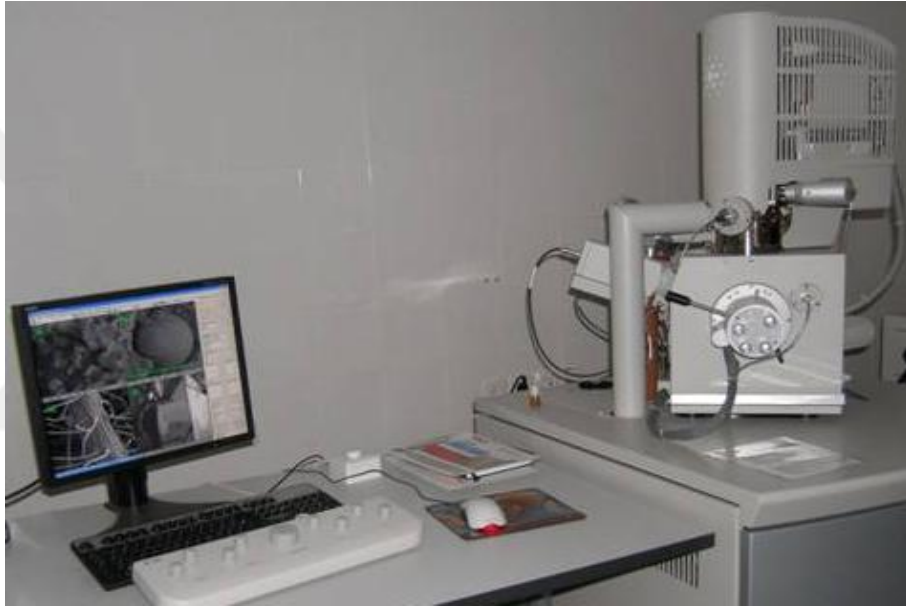


Şekil 3.24. SEM mekanizmasının şematik gösterimi [40]

SEM cihazı ile incelemesi en kolay olan örnekler iletkenlerdir. Bu malzemelerin üzerinde biriken elektronların kolaylıkla ve hızlı bir şekilde toprağa geçmesinden dolayı hatasız ölçümler almak mümkündür. İletken örneklerin

çoğunlukla ısı iletkenlikleri de iyi oldukları için ölçüm sırasında ısıdan etkilenerek bozunma olasılıkları azdır. Öte yandan genellikle yalıtkan olan polimer bazlı malzemeler, görüntüleme öncesinde iletken ve metal olan bir film ile kaplanmalıdır. Bu kaplanan filmin, numune üzerindeki detay girintilerini örtmeyecek kadar ince yapılı olması gerekmektedir. Numune ve numune tutucu arasında da iletkenlik gösteren bir bağlantı olması sağlanmaktadır [102, 103].

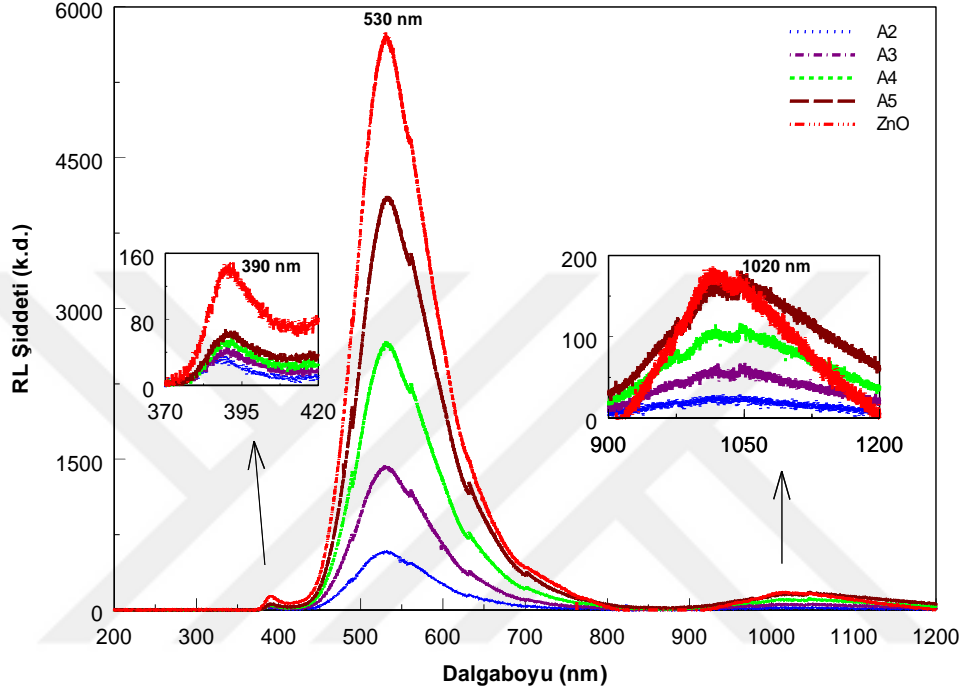
Bu çalışmada bulunan numunelerin görüntülerinin alındığı Philips marka SEM cihazı Şekil 3.25’ te gösterilmektedir.



**Şekil 3.25.** SEM görüntülerinin alındığı Philips XL-30S FEG cihazı [104]

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. RL Ölçümleri



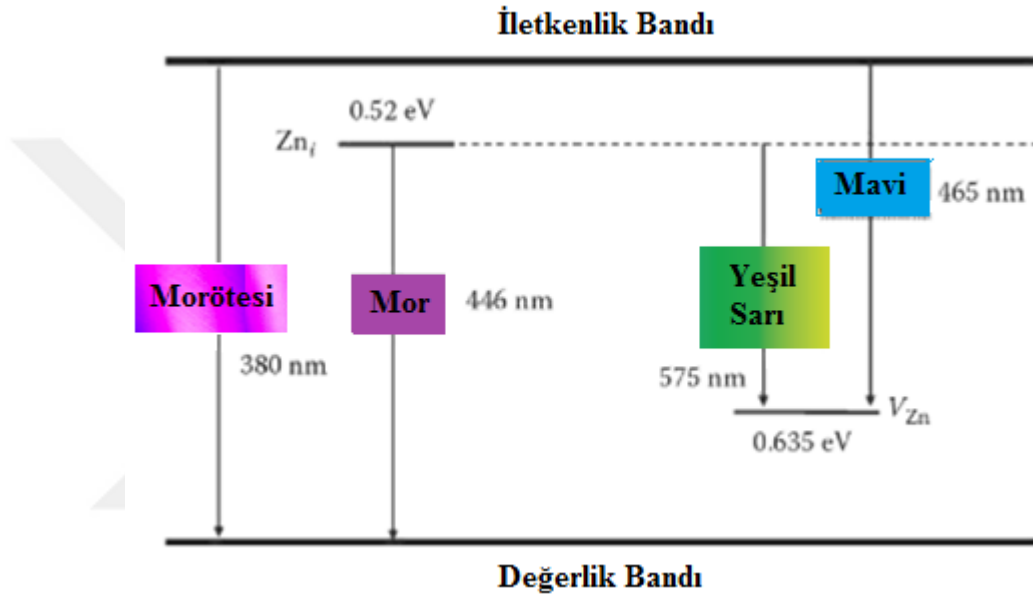
Şekil 4.1. A2-A5 ve ZnO numunelerinin RL grafikleri

Oda sıcaklığında alınan RL ölçümlerinde polietilenin saf halde lüminesans spektrumu mevcut değildir (A1). Ancak içerisine farklı yüzdeliklerle ZnO eklendiğinde, Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi RL şiddeti ZnO katkı miktarı ile orantılı olarak artış göstermiştir (A2-A5). ZnO’ ya ait RL spektrumu kütle halindeki ZnO kristali ile benzer olarak yaklaşık 530 nm’ de gözlenmiştir. Maksimum noktası ~530 nm de olan bu geniş pik, ZnO kristalinin mavi-yeşil ışık yayma özelliğine sahip bir malzeme olduğunu göstermektedir.

~400-800 nm arasında, ZnO kristalinin içerisindeki;  $V_O$  (oksijen boşluğu) ve  $V_{Zn}$  (çinko boşluğu),  $O_i$  (oksijen çatlakları),  $Zn_i$  (çinko çatlakları) ve  $O_{Zn}$  (oksijen ters yerleşimi) kirliliklerinden kaynaklanan geniş bir emisyon bandı bulunmaktadır [105, 106]. Ayrıca 390 nm de ZnO ya ait eksiton piki belirgin bir şekilde

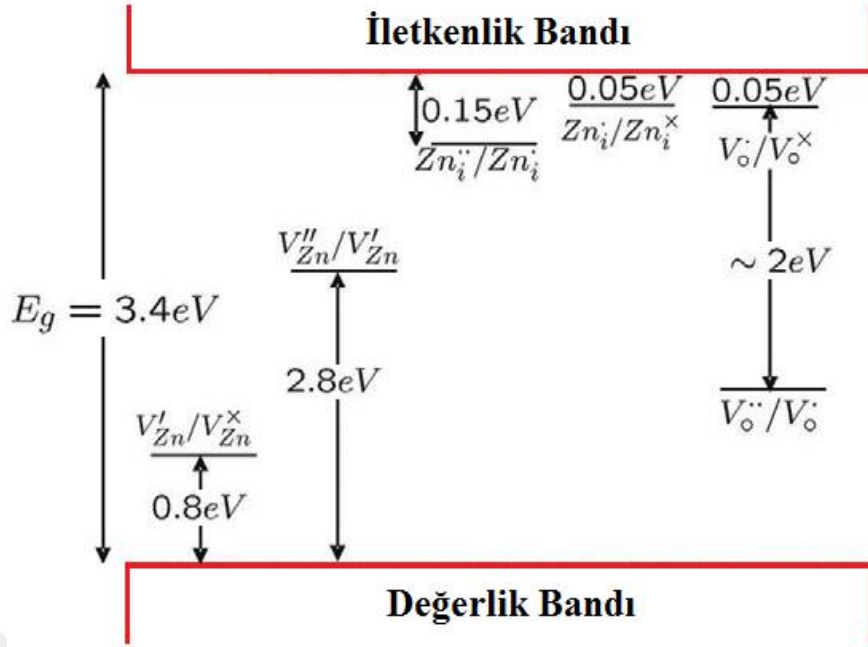
görülmektedir. Polimerdeki ZnO oranı arttıkça eksiton pikinin şiddeti de artmaktadır. Maksimum piki 1020 nm de görünen pik ise ana pikin ışımından kaynaklanan ikincil bir piktir.

Bahsi geçen geniş lüminesans piki, donörlerden derin akseptör durumuna geçiş ile de ilgilidir. Feng ve ark. bu diyagramı aşağıda bulunan Şekil 4.2' deki gibi göstermişlerdir.

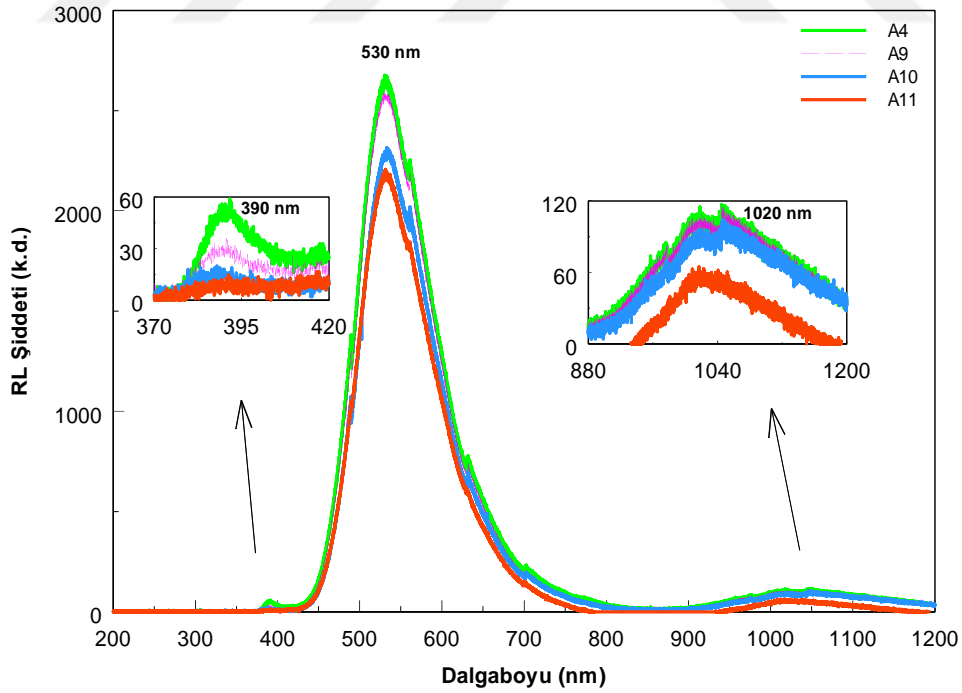


Şekil 4.2. ZnO için gözlenen üç lüminesans sürecinin şematik diyagramı [76]

Bir başka çalışmada ise Mende ve ark. ZnO içerisinde mevcut olan doğal kusurların elektronik seviye diyagramını Şekil 4.3' te görüldüğü gibi ele almışlardır. Burada Zn<sub>i</sub><sup>••</sup>, Zn<sub>i</sub><sup>•</sup>, Zn<sub>i</sub><sup>x</sup>, V<sub>o</sub><sup>••</sup>, V<sub>o</sub><sup>•</sup>, V<sub>o</sub> sembolleri donör kusurlarına, V<sup>''</sup><sub>Zn</sub>, V<sup>'</sup><sub>Zn</sub> sembolleri ise akseptör kusurlarına aittir.

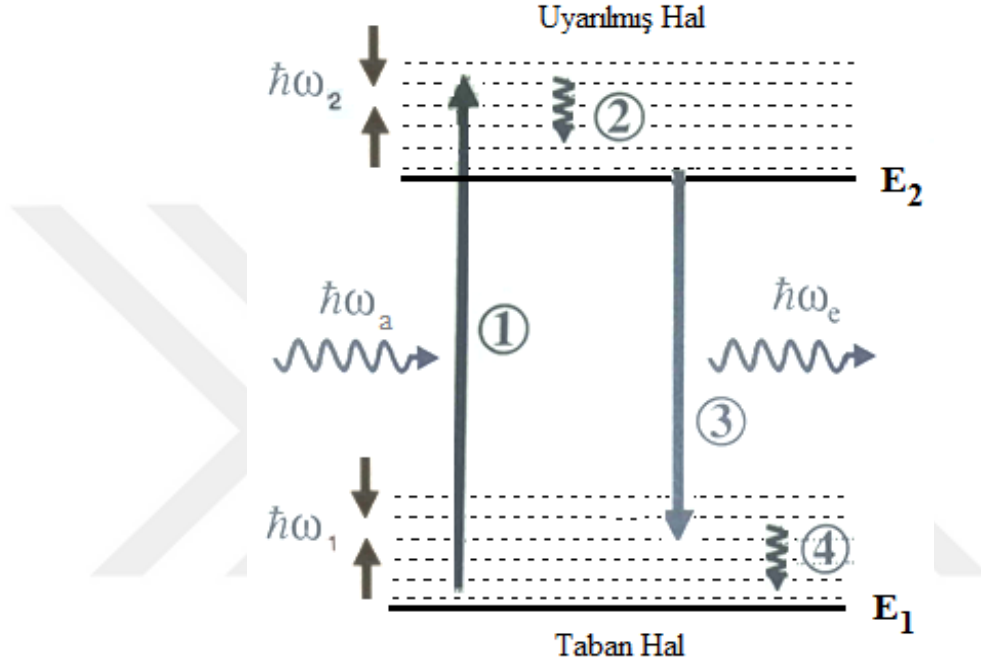


Şekil 4.3. ZnO’da bulunan doğal kusurların enerji seviye diyagramı [107]



Şekil 4.4. A4 ve A9-A11 numunelerinin RL grafikleri

Şekil 4.4' te görüldüğü üzere ağırlıkça % 5 ZnO katkılı nanokompozit örneklerden A4' e, % 0.5, % 1.5 ve % 2.5 oranında UV stabilizör olan BP-3 katılmıştır. BP-3'lü örneklerde katkı miktarıyla orantılı olarak RL spektrum şiddetinde düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebinin BP-3 ün X-ışınına maruz bırakıldığında aldığı dozu ışımsız enerjilere (Şekil 4.5) dönüştürerek RL şiddetini azalttığı düşünülmektedir.



**Şekil 4.5.** Titreşimsel geçişlerin şematik diyagramı, (1) soğurma, (2 ve 4) ışınımsız geçişler, (3) yayınlanma [60]

Eklenen BP-3 miktarı arttıkça hem eksiton pikinin hem de ikincil pikin şiddeti azalmaktadır.

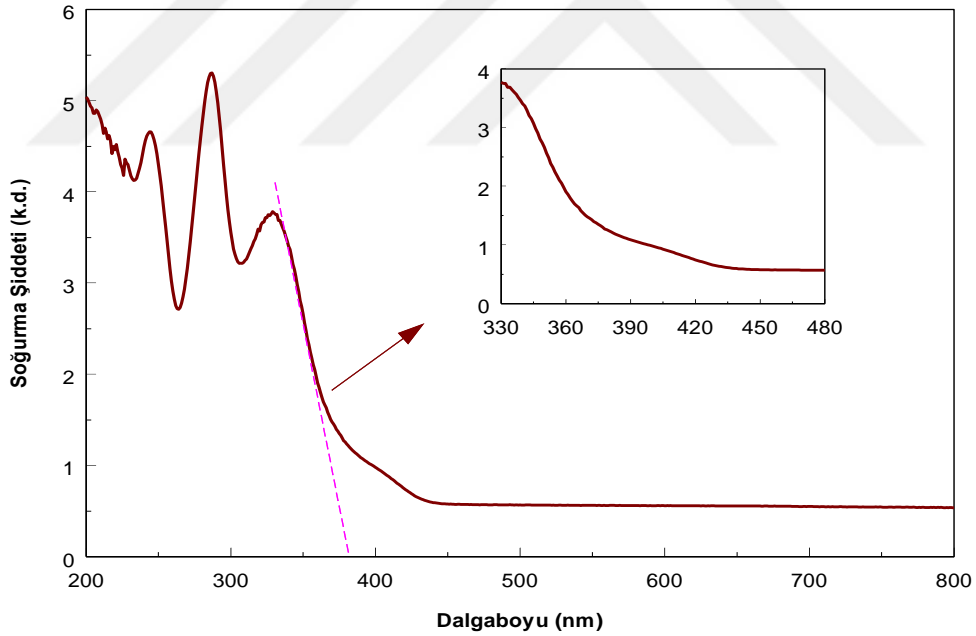
Şekil 4.1 ve 4.4' te ZnO dan kaynaklanan RL piklerinin (ikincil pik hariç) literatürde nanoçubuk yapılı ZnO nun oda sıcaklığında katodoluminesans pikleri ile hemen hemen aynı yerlerde maksimum pikler verdiği görülmektedir [76]. Bu benzerlik, RL' in PL gibi diğer lüminesans türlerinden ziyade CL' e daha çok benzerlik gösterdiğini vurgulamaktadır ve bu da literatür ile uyum içerisindedir. Çünkü ilk radyasyon fotonlardan oluşmasına rağmen asıl uyartmaya sebep olan, soğurma tarafından üretilen ve hızlı olan ikincil elektronlardır [59].



## 4.2. Optik Soğurma Ölçümleri

Numunelerin optiksel özelliklerini belirlemek üzere soğurma spektrumlarına da bakılmıştır. Bu amaçla bölüm 3.2.2’ de anlatılan Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarı’ nda bulunan Perkin-Elmer Lambda 950 spektrofotometre cihazı kullanılarak maksimum 200-2000 nm dalgaboyu aralığında, oda sıcaklığında ve 1 nm hassasiyetle ölçümler alınmıştır. Sistemde mevcut olan yarıklar 1 nm olarak ayarlanmıştır.

Şekil 4.6 ve 4.7’ den de görüleceği üzere BP-3 ve ZnO nun morötesi (UV) bölgeyi soğurduğu belirgindir. Bunların PE’ nin içerisine katıldığı malzemelerde de soğurma özelliğini korumaya devam ettiği de kesin bir ifade ile söylenebilir ve bu nanokompozitlere de UV soğurucu özellik kazandırdıkları açıktır.



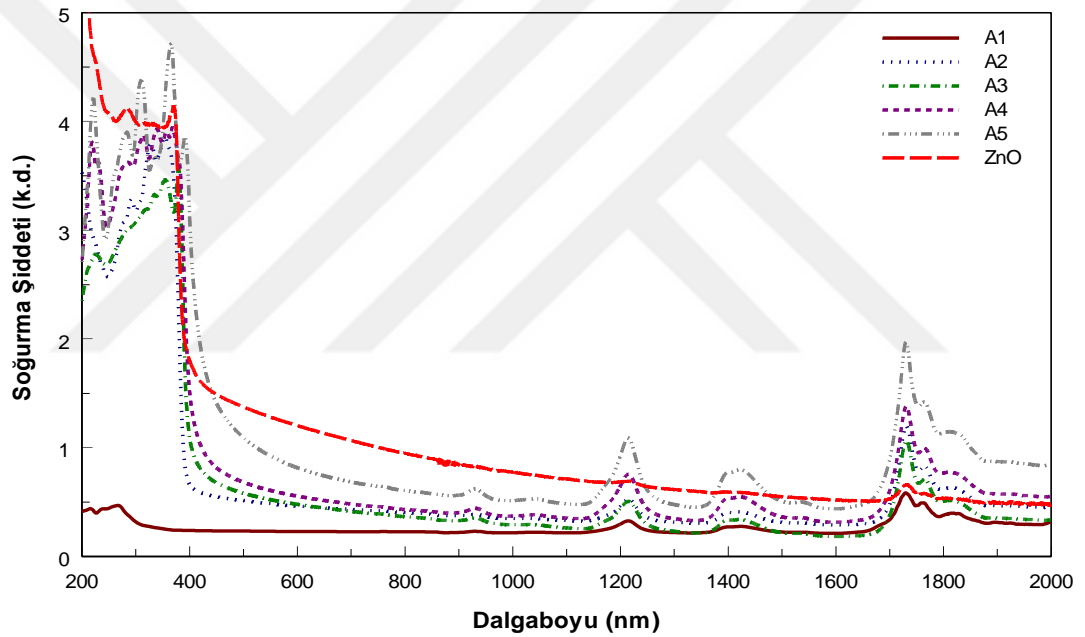
Şekil 4.6. BP-3 ün Soğurma Grafiği

Şekil 4.6’ da soğurmaya başladığı kısımda doğrusal olan bölgeden teğet çekilip dalgaboyu eksenini kestiği nokta dikkate alınarak bant aralığı için dalgaboyu değeri tespit edilmiştir. A. Einstein’ in enerji denklemi olan  $E_g=hc/\lambda$  bağıntısından yasak enerji aralığı hesaplanmıştır [108-110]. BP-3 için uygulanan yöntem ZnO için

de uygulanmıştır. BP-3 için bant boşluğu 1242/380 işleminden 3,27 eV, ZnO için ise 1242/385 işleminden 3,23 eV değerinde çıkmaktadır.

Soğurmanın başladığı dalgaboyu değerinde elektronların doğrudan geçişlerinin olduğu söylenebilir [109].

ZnO ve BP-3 ün UV-A ve UV-B soğurucu oldukları daha önceden teorik olarak bahsedilmişti. Bu çalışmadaki sonuçlarda da hem saf hem de AYPE içerisine eklenmiş hallerinde bu durumun bir değişikliğe uğramadığı Şekil 4.7 ve 4.8' den anlaşılmaktadır.

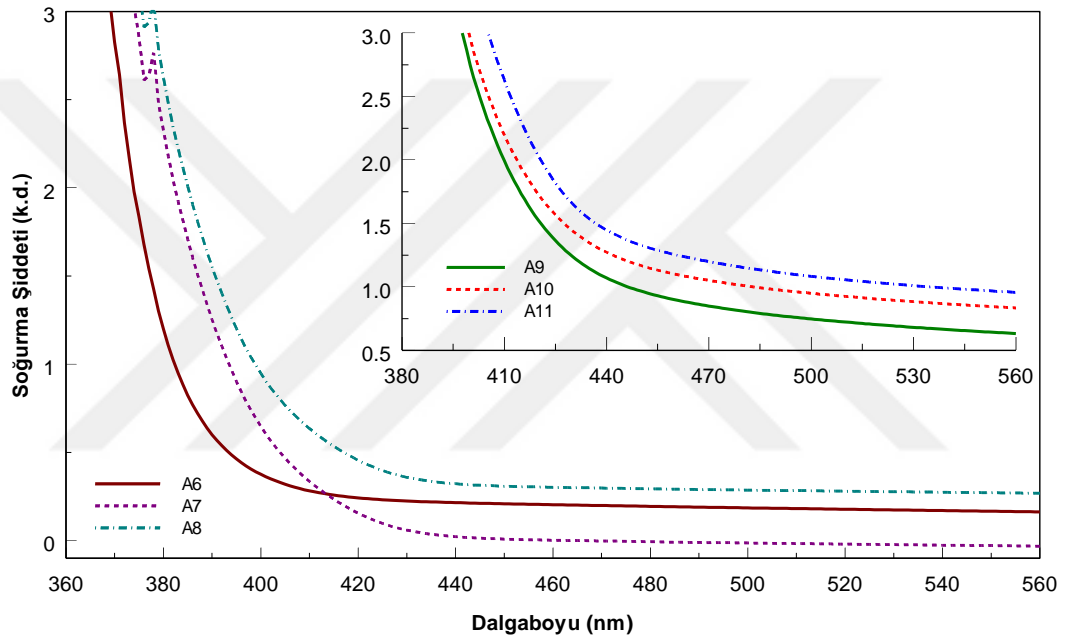


Şekil 4.7. Nanokompozitlerin (A1-A5 ve ZnO) Soğurma Grafikleri

Şekil 4.7' ye göre PE ye katılan ZnO miktarına bağlı olarak UV bölgeyi soğurma aralığının ve şiddetinin keskin bir şekilde yükseldiği görülmektedir. A5 numunesinde bu soğurma bölgesinin 340 ile 400 nm arasında maksimum olduğu görülmektedir.

UV soğurma piklerinin keskin kenar bölgeleri ZnO toz örneklerinin iyi kristallik derecesine sahip olduğunu göstermektedir. 390 nm de görünen yüksek pikler eksiton bozunmasını göstermektedirler.

Soğurduğu UV radyasyon enerjisinin etkisiyle çoğu polimer bağları kırılabilir, serbest radikal zincir reaksiyonu başlayabilir ki bu reaksiyonlar polimerde solmaya, gevremeye ve nihayetinde degradasyona sebep olur. Şekil 4.8’deki grafikte görüldüğü gibi, bu reaksiyonu engellemek için polimere katılan BP-3 UV stabilizörünün, saf polietilen tarafından geçmesi engellenemeyen ve yaklaşık olarak 400 nm civarından başlayıp daha küçük dalgaboyu aralıklarını (UV bölgesi) soğurduğu görülmektedir.



**Şekil 4.8.** Nanokompozitlerin (A6-A8 ve A9-A11) Soğurma Grafikleri

Bu çalışmada UV stabilizör olarak kullanılan BP-3 (2-Hydroxy-4-Methoxybenzophenone) UV bölgede yüksek sönümlenme katsayısına sahiptir ve kimyasal değişim olmadan soğurduğu enerjiyi ısıya çevirebilmektedir. Hazırlanan nanokompozitlerde UV ajan olan BP-3 kullanılarak UV bozunma minimize edilmeye çalışılmıştır. BP-3 ve ZnO'nun birlikte kullanıldığı örneklerde UV soğurma özelliği artış göstermiştir.

### 4.3. Mekanik Test Ölçümleri

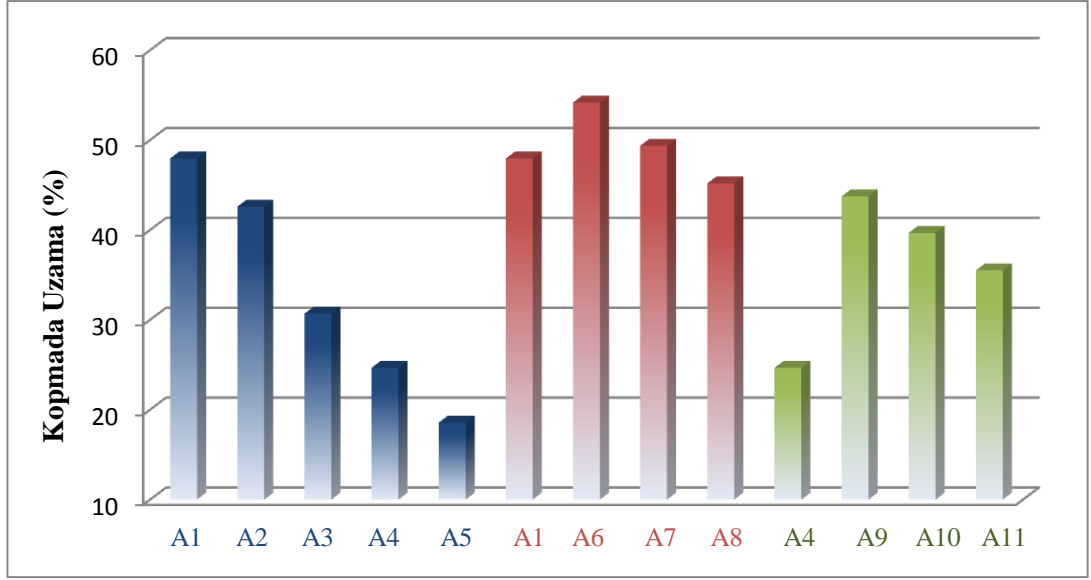
Nanokompozitlerin çekme testleri ASTM D-638 standardına uygun olarak Shimadzu marka çekme cihazı ile alınmıştır. Bu testler her bir örnekten 5 ölçüm adedi alınarak yapılmıştır. Çekme hızı dakikada 50 mm olarak ayarlanmıştır. Nanokompozitlerin mekanik özellik değerleri Tablo 4.1’ de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Nanokompozitlerin Mekanik Özellikleri

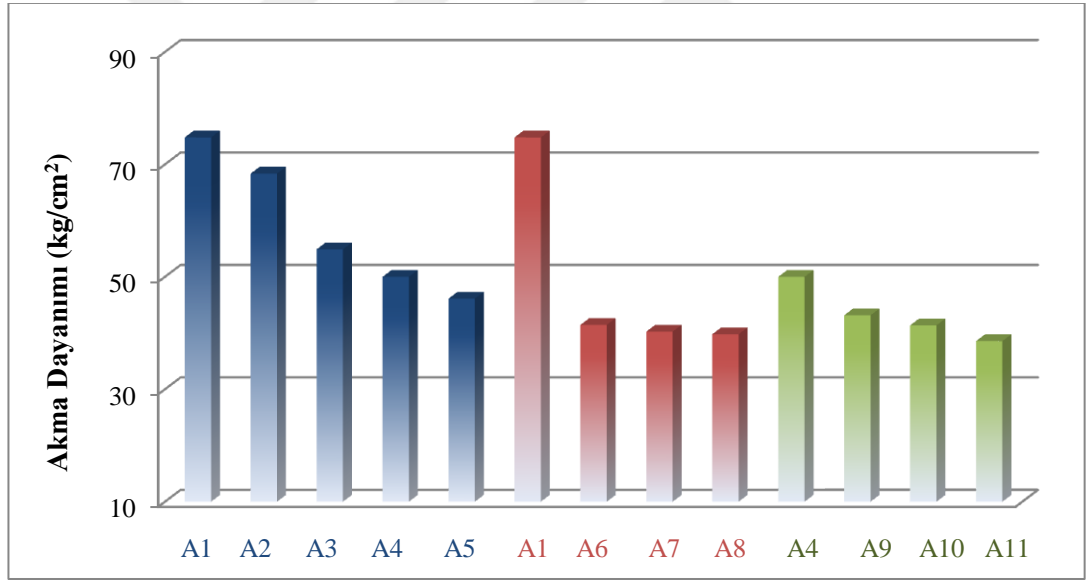
Numune Kodları	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
<b>Kopmada Uzama (%)</b>	47.96	42.59	30.69	24.67	18.57	54.18	49.37	45.19	43.74	39.68	35.52
<b>Akma Dayanımı (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	74.80	68.37	54.89	50.00	46.12	41.45	40.26	39.79	43.16	41.37	38.57
<b>Kopma Dayanımı (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	95.61	89.69	84.59	90.92	100.91	92.96	92.13	90.82	85.41	86.54	88.67

Kıyaslanmasının kolay olması için Şekil 4.9-11’de bulunan grafiklerdeki sütunlar kendi içerisinde belirli renklerle gösterilmiştir. Şekil 4.9’ da PE içine katkılan ZnO’nun oranı arttıkça kopmada uzama miktarının azaldığı yani dayanımın düştüğü gözlenmiştir. A9-A10-A11 nanokompozitlerinin, sadece ZnO eklenerek elde edilen A4 numunesine göre % uzama miktarı artış göstermiştir. Dolayısıyla ZnO ve BP-3 katkı oranları arttıkça % uzama miktarlarında azalma gözlenmiştir.

Şekil 4.9’ da A1 numunesine ağırlıkça %0,5 ve %1,5 BP-3 eklendiğinde oluşan A6 ve A7 numunelerinin kopmada uzaması A1 ve A8 e göre yüksektir. Dolayısıyla saf PE ye ilave edilen BP-3 miktarı arttıkça bu değer azalacaktır. A9, A10 ve A11 in değerleri ise A4 ten belirgin bir şekilde yüksektir. Sonuç olarak saf PE nin kopmada uzama değerine BP-3 ün katkısı, ZnO ya göre daha yüksektir. Yapılan çalışmada en yüksek uzama değeri A6 gözlenmektedir. Yani dolayısı ile bu değer için en uygun numune A6 olup BP-3 oranı en azdır.

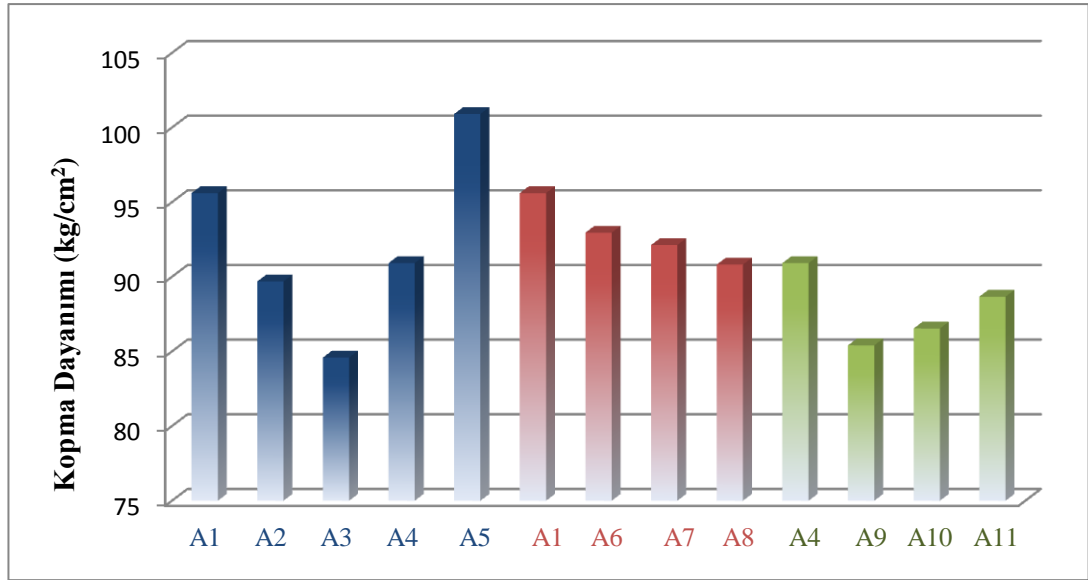


**Şekil 4.9.** Nanokompozitlerin Kopmada Uzama Grafikleri



**Şekil 4.10.** Nanokompozitlerin Akma Dayanımı Grafikleri

Şekil 4.10' da akma dayanımının ZnO lu nanokompozitlerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Burada ise BP-3 ün etkisinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

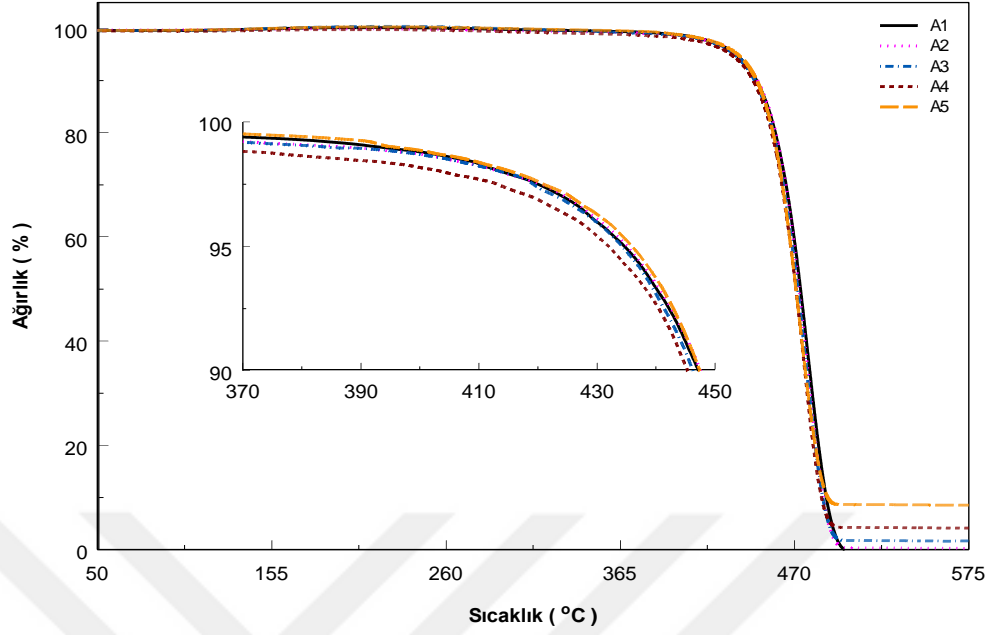


**Şekil 4.11.** Nanokompozitlerin Kopma Dayanımı Grafikleri

Şekil 4.11’ de A2 ve A3 numunesinde azalma görülmektedir. A4 ve A5 numunelerinde ise keskin bir artış olmuştur. A6, A7 ve A8 numunelerinde azalma, A9, A10 ve A11 numunelerinde ise artma meydana gelmiştir. Yine bu şekilden, ZnO oranının fazla artmasıyla (>%2,5) numunenin kopma dayanımının gittikçe arttığı görülmüştür. Sadece BP-3 ün nanokompozite bu ölçüm değerinde fazla bir katkısı yoktur fakat ZnO ile birleştiğinde bu değer artmaktadır.

#### 4.4. TG-DTA Ölçümleri

Nanokompozitlerinin TG ve DTA termal analizleri Perkin Elmer SII 7300 marka cihazda yapılmıştır. Nanokompozitlerin termal davranışları 27-650 °C sıcaklık aralığında ve dk da 10 derece ısıtma hızında alınmıştır. Numunelerden en çok katkılı olanlar 900 °C ye kadar çıkılmıştır ancak yine bir değişiklik görülmediği için 50-575 °C aralığındaki değerler verilmiştir. Şekil 4.12-14 ve Şekil 4.15-17’ de TG ve DTA termal analizlerinin sonuçları görülmektedir. TG analizi sonuçları, malzemelerin 425 °C civarlarında kütle kaybetmeğe başladığını göstermektedir.

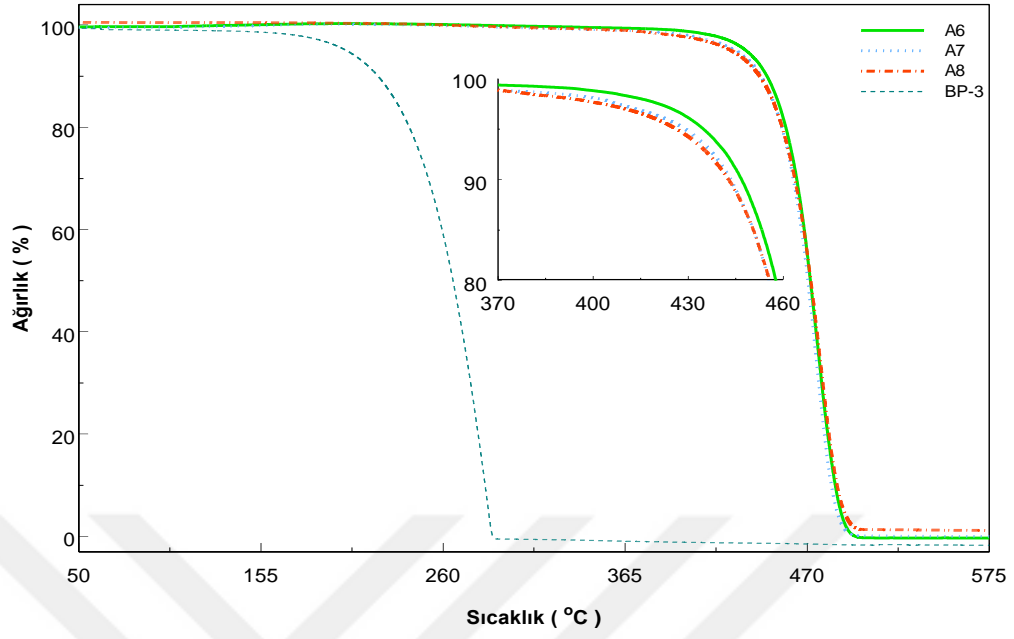


**Şekil 4.12.** A1-A5 Nanokompozitlerinin TG Eğrileri

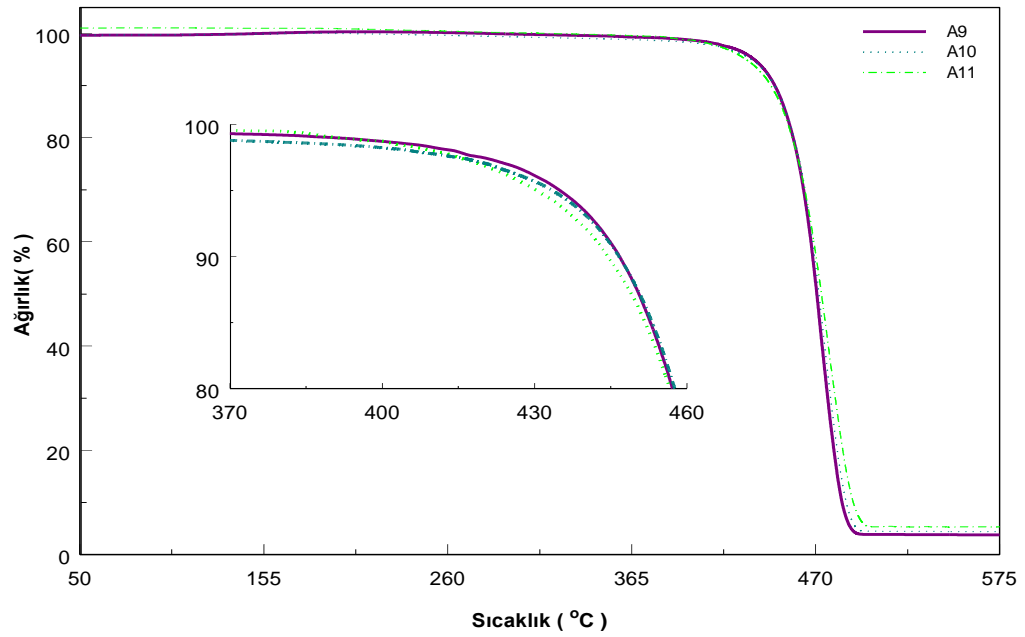
BP-3 ün TG ve DTA eğrilerinin, literatürde bulunan grafikleriyle aynı yerde pik verdiği görülmektedir [20].

ZnO nun erime noktası çok yüksektir. Bu yüzden nanokompozitlerin içindeki PE erimiştir ve ZnO lar kalmıştır. Bu durum özellikle Şekil 4.12' den net bir şekilde anlaşılmaktadır.

Hem sadece BP-3 katılan (A6-A8) hem de ZnO ile birlikte BP-3 de eklenen numunelerde (A9-A11) Şekil 4.13 ve 4.14' ten de anlaşılacağı gibi TG eğrilerinde önemli derecede bir etki söz konusu değildir. Fakat özellikle A6 numunesi için (BP-3 oranı en az ve ZnO olmayan) termal kararlılığı bir miktar artırdığı söylenebilir.



Şekil 4.13. A6-A8 Numunelerinin ve BP-3 ün TG Eğrileri



Şekil 4.14. A9-A11 Numunelerinin TG Eğrileri



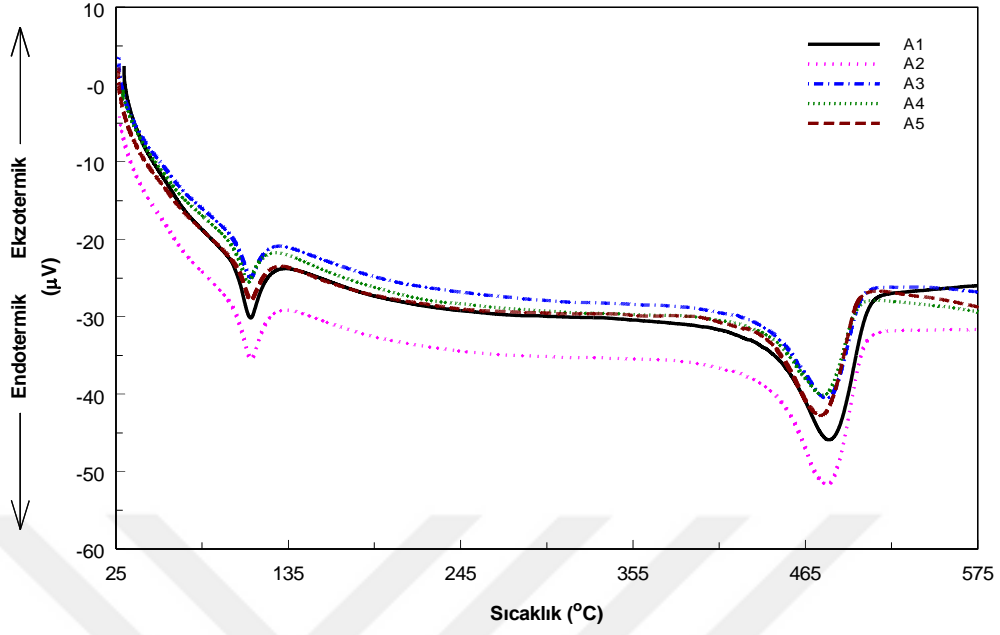
**Tablo 4.2.** Polimer Nanokompozitlerin termal bozunma değerleri

Numune kodu	$T_{baş.}$	$T_{maks.}$	$T_{son}$	Bozunma Adımları (°C)		
				Bozunan Kısım Ağırlık Yüzdeleri		
				420 °C	460°C	500°C
A1	399	473	497	2.32	21.93	99.79
A2	395	472	496	2.31	21.73	99.47
A3	396	471	575	2.43	24.18	98.04
A4	373	470	575	2.90	25.37	95.51
A5	400	470	575	2.24	24.60	91.19
A6	398	471	494	2.28	23.02	99.69
A7	387	472	493	3.16	25.77	99.61
A8	375	470	493	3.37	26.21	99.64
A9	396	470	575	2.39	24.10	95.97
A10	383	473	575	2.49	24.43	95.93
A11	360	471	575	2.78	23.14	95.37

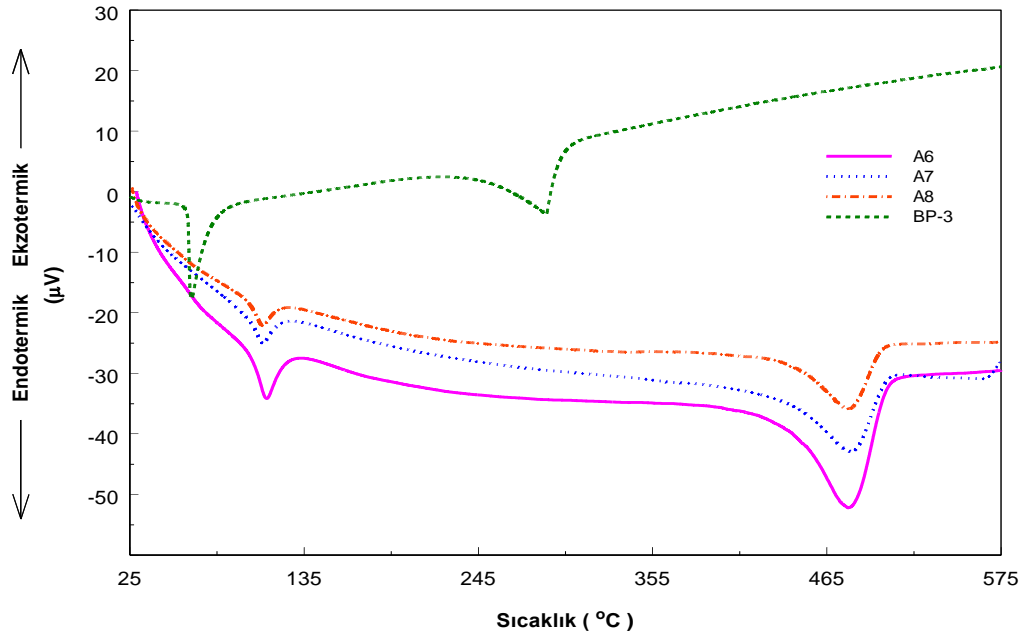
$T_{baş.}$ : %1 ağırlık kaybının olduğu sıcaklık.  $T_{maks.}$ : % 50 bozunma olan sıcaklık  $T_{son}$ : % 99 ağırlık kaybında bozunma sıcaklığı

Tablo 4.2' de özellikle A3, A4 ve A5 numunelerinde hem 500 °C de hem de son sıcaklıkta ( $T_{son}$ ) başlangıçtaki ZnO miktarlarına yakın bir oranda kalıntı meydana geldiği açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Sadece BP-3 lü olan A6, A7 ve A8 polimerlerinde ZnO lu olanlara kıyasla daha az kalıntı olduğu görülmüştür. Bu durum Tablo 4.2' den görülmeye ek olarak BP-3 ün TG grafiğindeki değredasyonuyla da net bir şekilde anlaşılmaktadır.

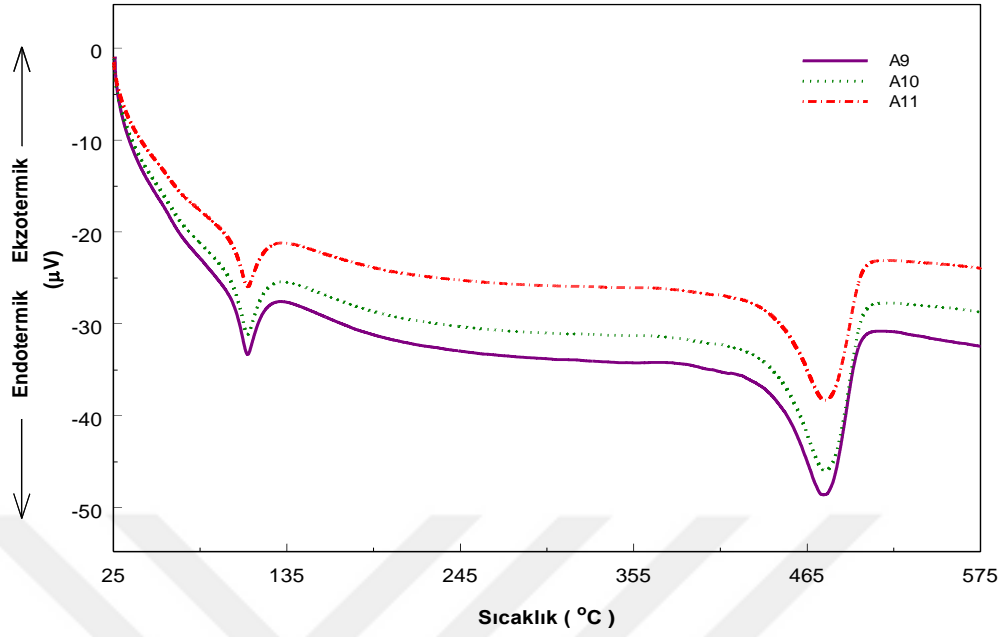
DTA grafiklerinde ise 110 °C keskin endotermik pik gözlenmiştir. Bu pik nanokompozitlerin eridiğini gösteren bir enerji değişim pikidir. 478 °C deki pik ise malzemenin bozunduğunu gösteren piktir ve burada da enerji değişimi söz konusudur. Bu sıcaklıkta malzemeler çok hızlı bir şekilde kütle kaybetmişlerdir. Kütle kaybı en sonunda ZnO ların kalmasıyla son bulmuştur. DTA daki endotermik piklerin keskinliği, numunelerin kristallik derecelerinin iyi olduğunu göstermektedir [20].



Şekil 4.15. A1-A5 Nanokompozitlerinin DTA Eğrileri



Şekil 4.16. A6-A8 ve BP-3 Numunelerinin DTA Eğrileri



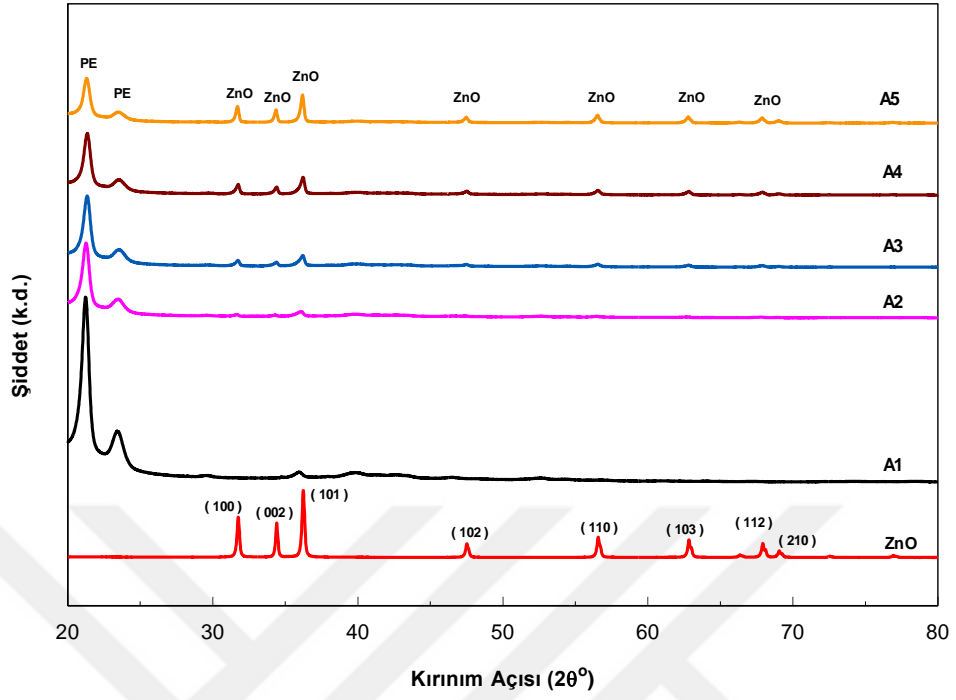
**Şekil 4.17.** A9-A11 Nanokompozitlerinin DTA Eğrileri

#### 4.5. XRD Ölçümleri

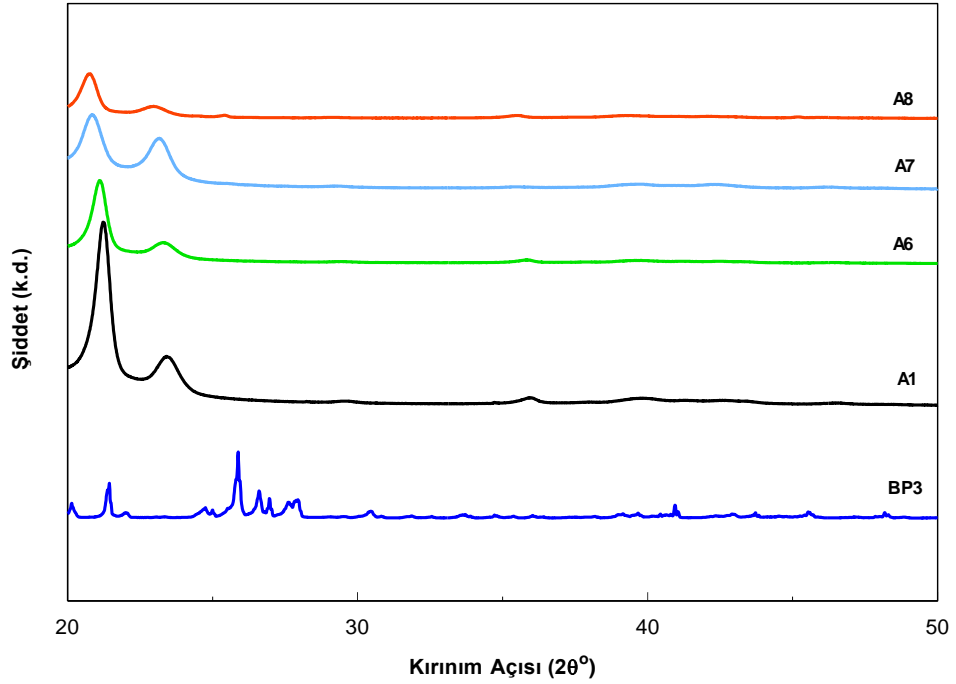
ZnO için tanımlama, uluslararası kırınım verileri merkezi (ICDD) veritabanı esas alınarak yapılmıştır (JCPDS referans no: 98-018-4793) [111].

Şekil 4.18 ve 4.20’ de görülen ZnO’ dan kaynaklanan  $2\theta = 31.7^\circ, 34.4^\circ, 36.2^\circ$  de bulunan XRD piklerinden üç tanesi diğerlerinden daha yüksektir (kırmızı renkli) (Referans kodu: 98-018-4793). Bunlar sırasıyla (100), (002) ve (101) yansımalarına karşılık gelmektedir. Mevcut olan bu yüksek pikler ZnO nun wurtzite yapılı bir polikristal olduğunu göstermektedir [112].

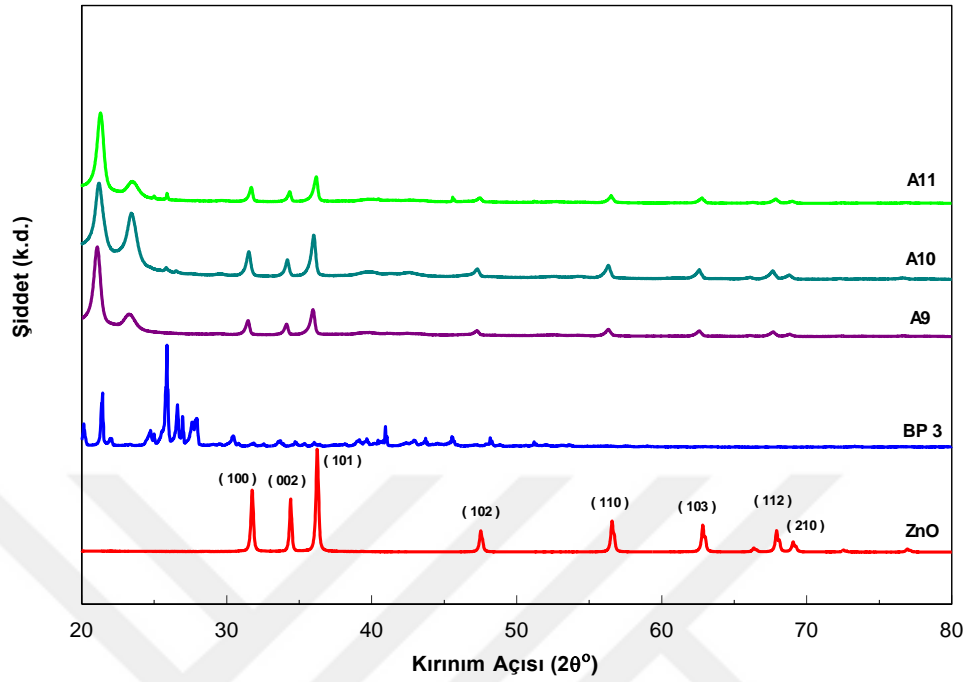
BP-3 ün XRD grafiğinin literatürdekilerle aynı yerde pik verdiği görülmektedir [20] bu ise Şekil 4.19’ da mevcuttur.



Şekil 4.18. (A1-A5) Nanokompozitlerin ve ZnO nun XRD Grafikleri



Şekil 4.19. A1, A6-A8 ve BP-3 Numunelerinin XRD Grafikleri



**Şekil 4.20.** A9-A11, ZnO ve BP-3 Numunelerinin XRD Grafikleri

A2 den A5 e kadar olan numunelerde saf polietilene eklenen ZnO oranı arttıkça ZnO nun karakteristik pikleri daha da belirginleşmiştir. Aynı zamanda katkılanırılan ZnO, PE yapı içerisindeki boşlukları doldurduğu için d boşluğu azalacağından PE ye ait olan piklerin şiddeti azalmıştır.

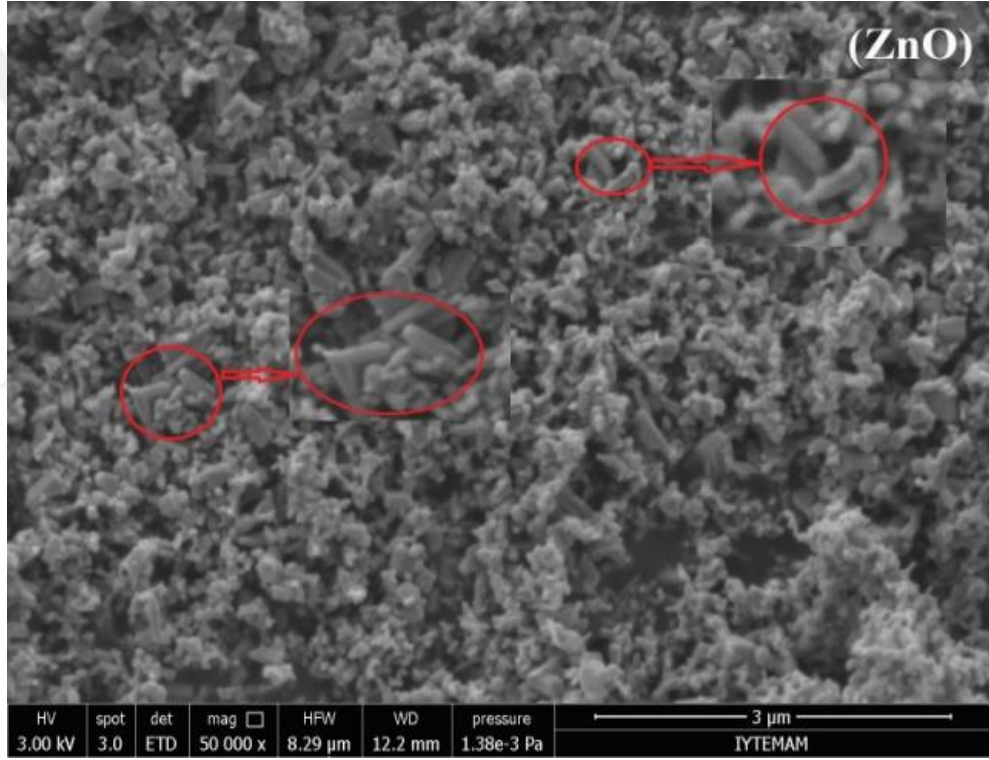
BP-3 ün karakteristik XRD pikleri polietilen içerisinde belirgin olarak etkinlik gösterememiştir. Yani PE' nin, XRD pikleri bakımından BP-3' e karşı baskın bir davranış sergilediği görülmektedir..

Tjong ve ark. yaptığı bir çalışmada AYPE' nin ortorombik kristal özelliği sergilediğini söylemektedirler. Bu polietilene ait olan ve tüm nanokompozitlerde de gözükten 20-25° arasında mevcut biri büyük diğeri küçük ve sırasıyla (110) ile (200) yansıma piklerine sahip iki pikin bu kristal özelliğinden kaynaklandığını vurgulamaktadırlar [113].

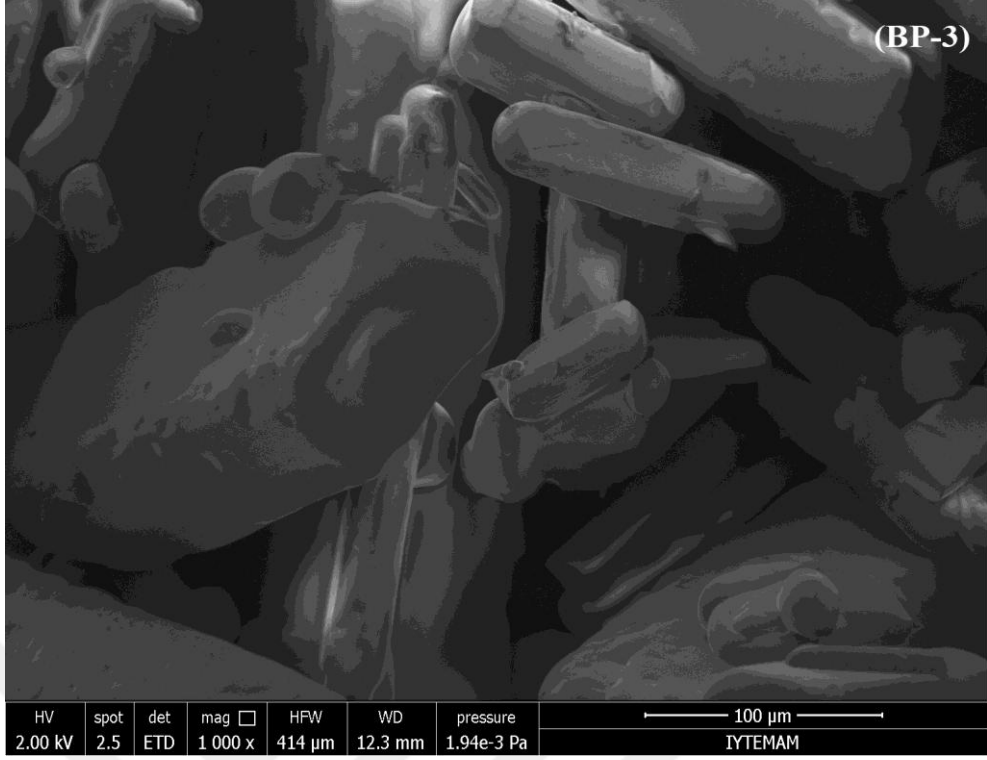
#### 4.6. SEM Görüntüleri

Nanoboyutlu(<100 nm) ZnO tozun, UV soğurucu BP-3' ün ve (A1)' den (A11)' e kadar olan polimer nanokompozitlerin Şekil 4.21-4.33 arası mikro mertebede taramalı elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir.

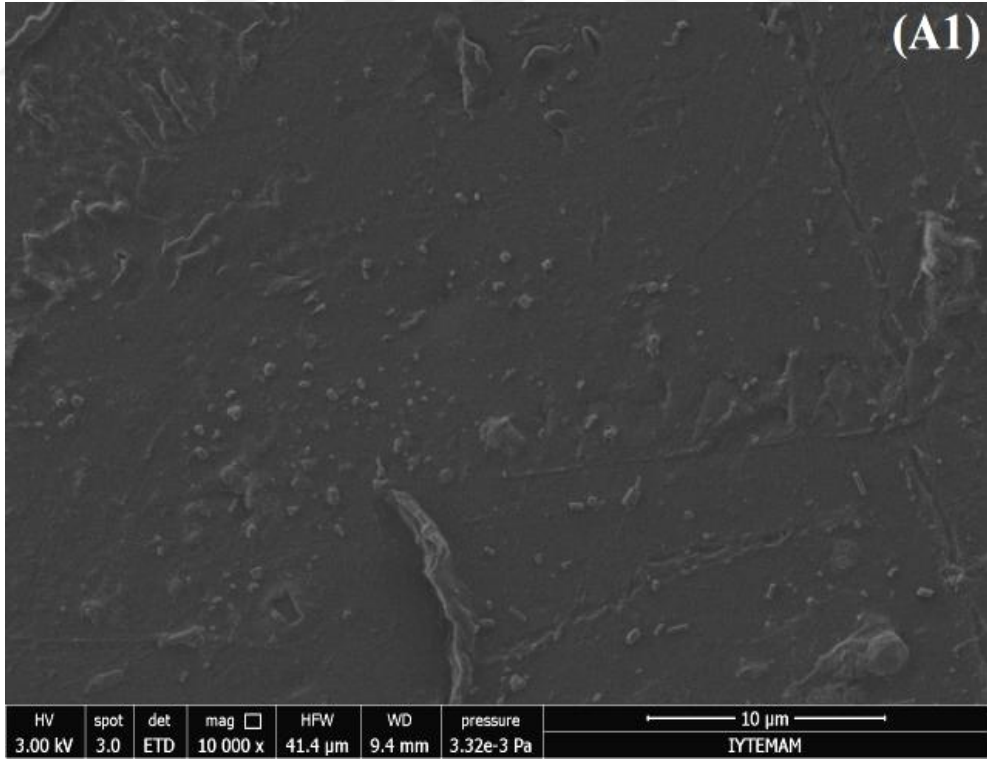
Saf toz ZnO nun içerisinde (Şekil 4.21) çubuklu yapılar gözlenmektedir. Bu yapılar ZnO nun morfolojik özelliğinden kaynaklanmaktadır [112, 114]. Bu durum özellikle A2 den A5' e kadar olan numunelerde katkı oranı arttıkça daha da belirgin bir hal almaktadır.



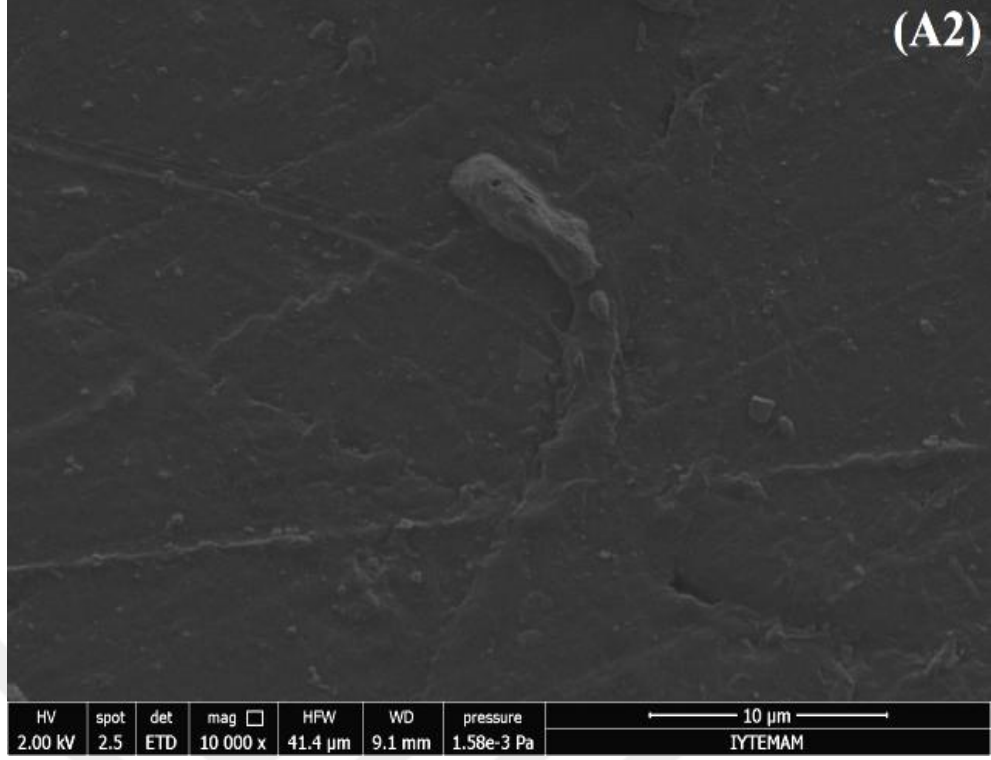
Şekil 4.21. ZnO numunesinin SEM Görüntüsü



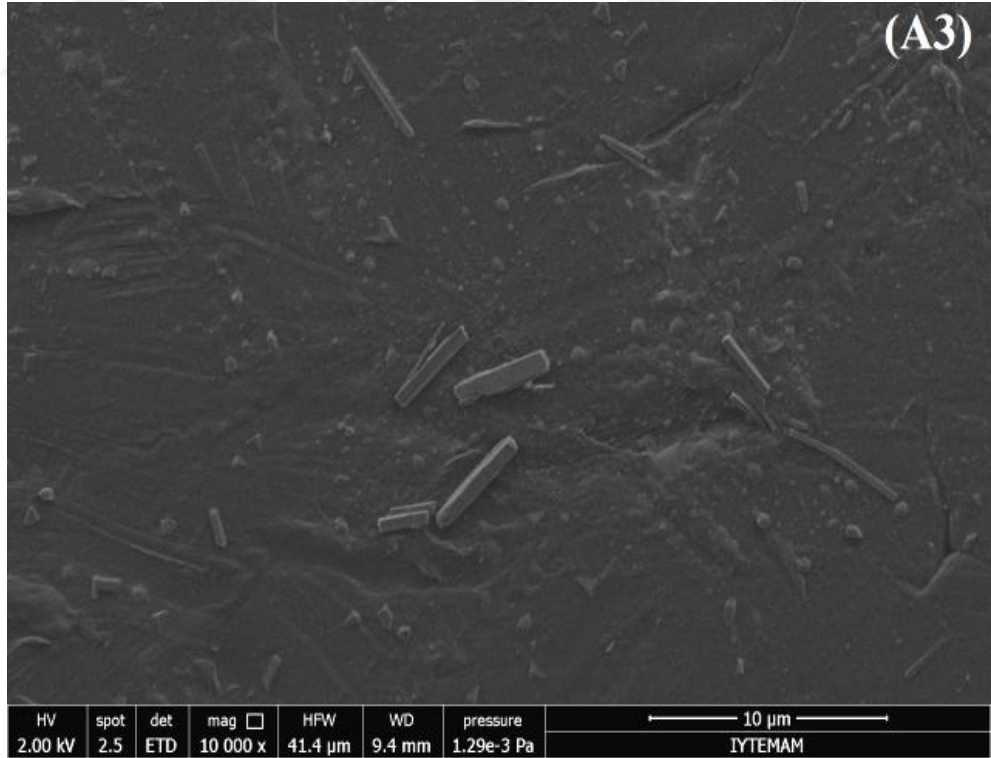
Şekil 4.22. BP-3 numunesinin SEM Görüntüsü



Şekil 4.23. A1 numunesinin SEM Görüntüsü

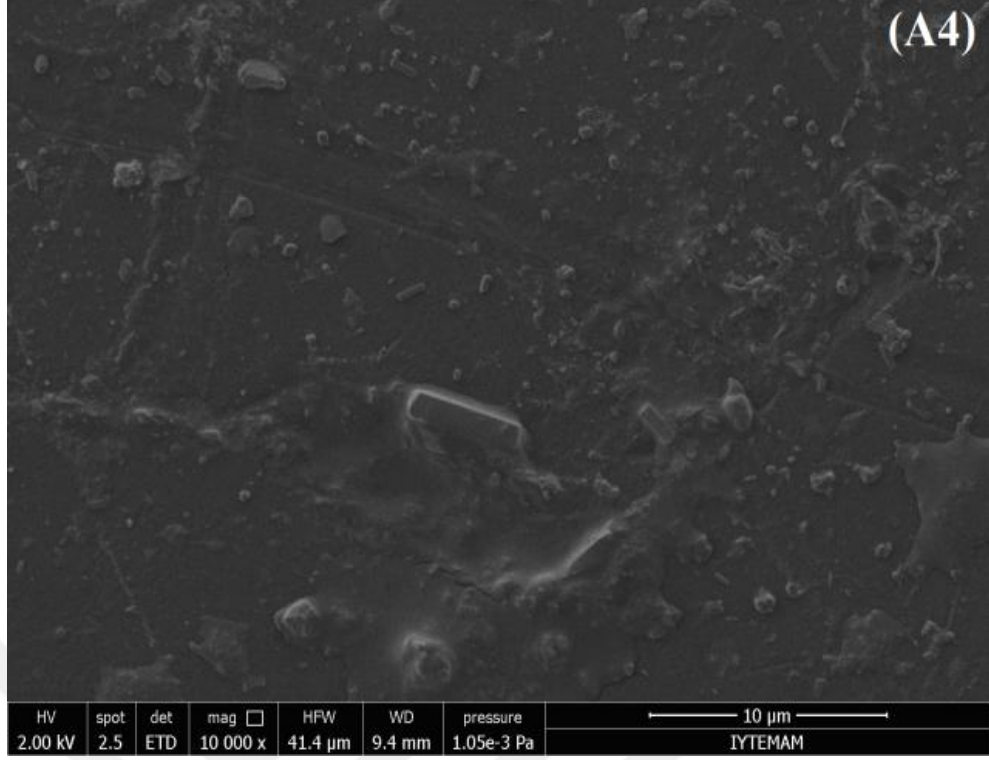


Şekil 4.24. A2 numunesinin SEM Görüntüsü

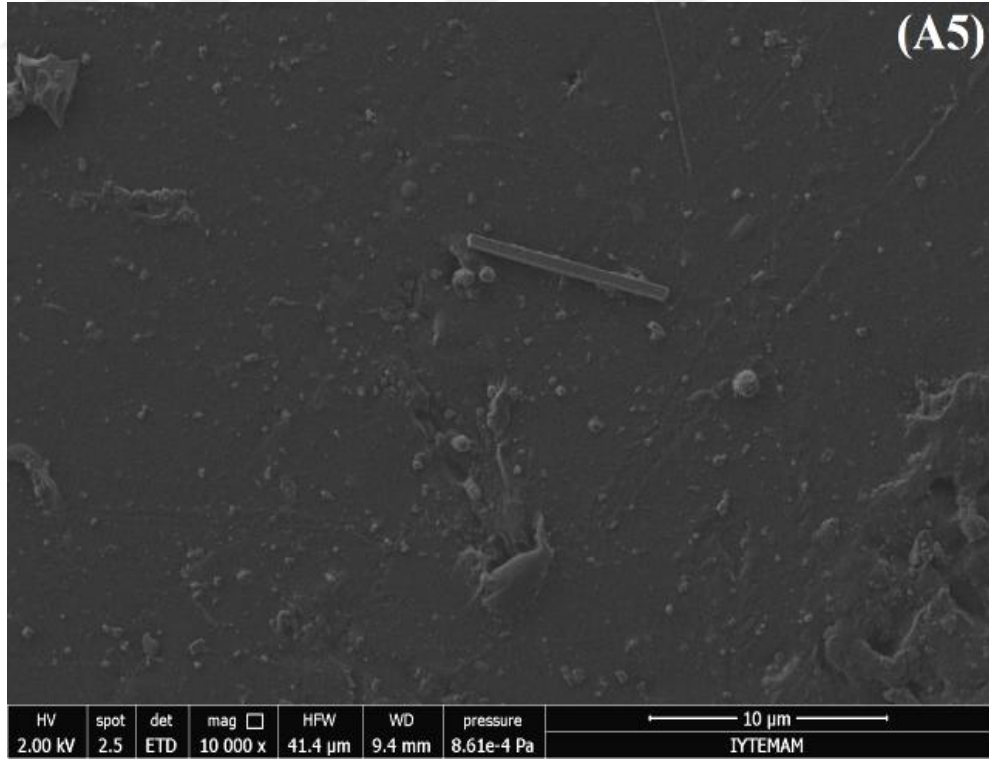


Şekil 4.25. A3 numunesinin SEM Görüntüsü

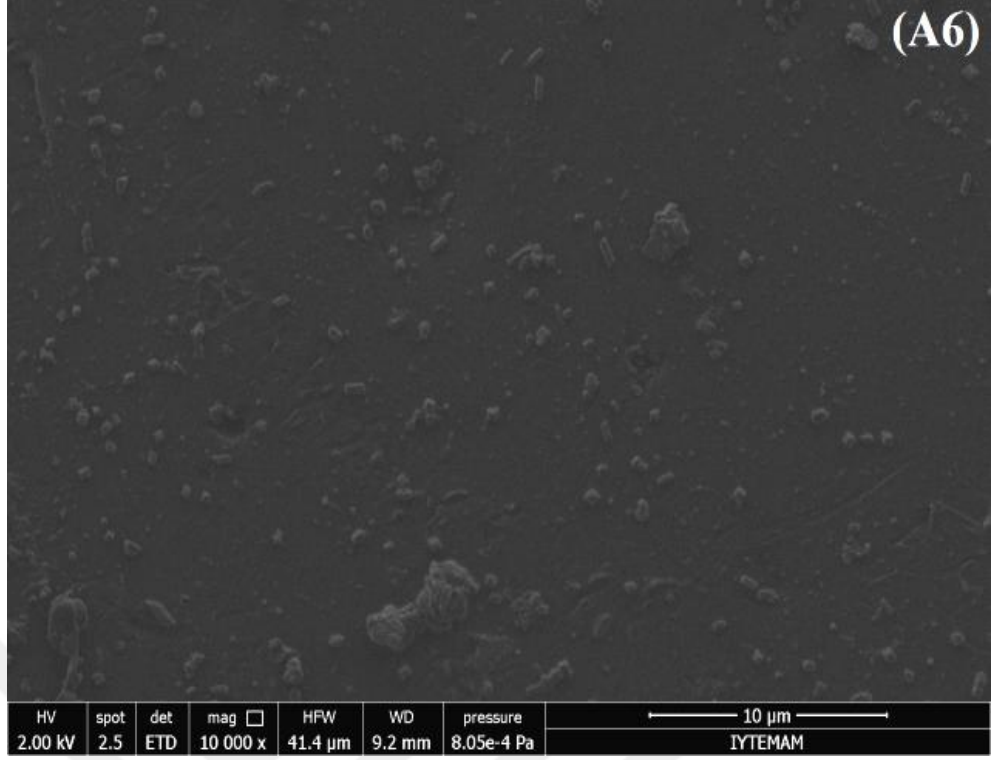




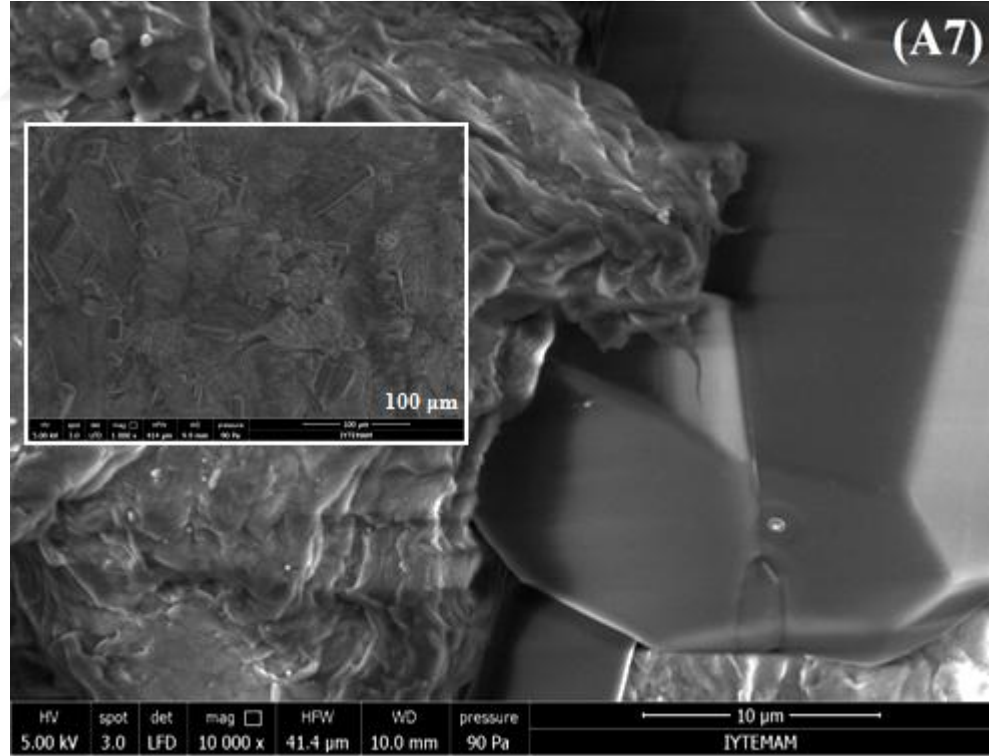
Şekil 4.26. A4 numunesinin SEM Görüntüsü



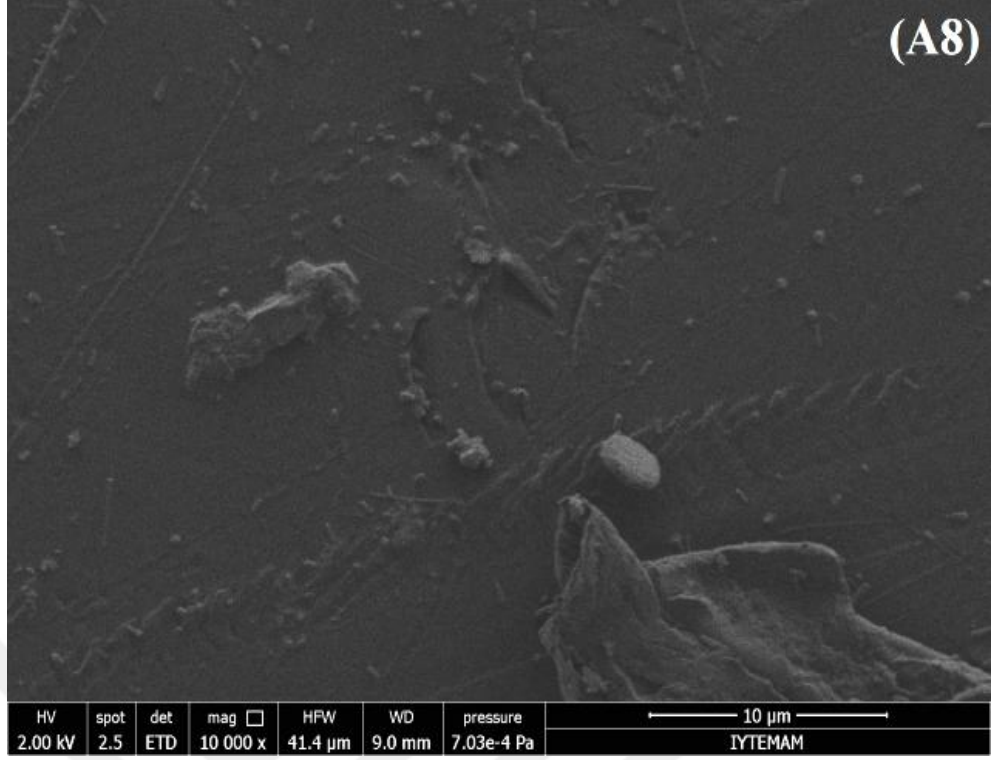
Şekil 4.27. A5 numunesinin SEM Görüntüsü



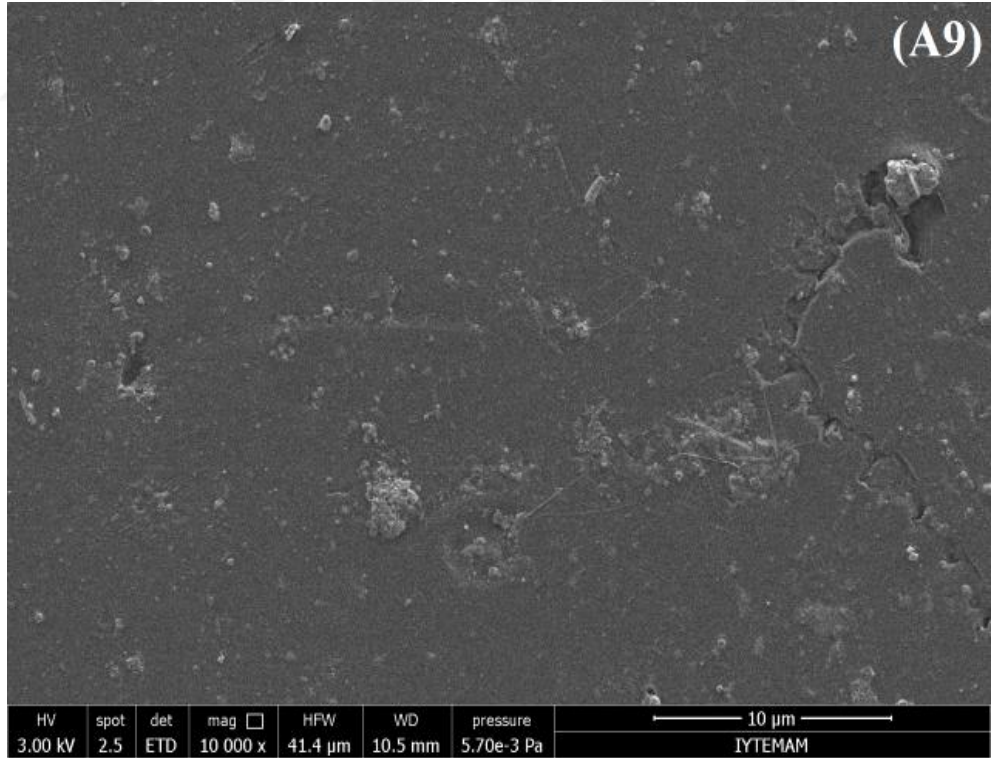
Şekil 4.28. A6 numunesinin SEM Görüntüsü



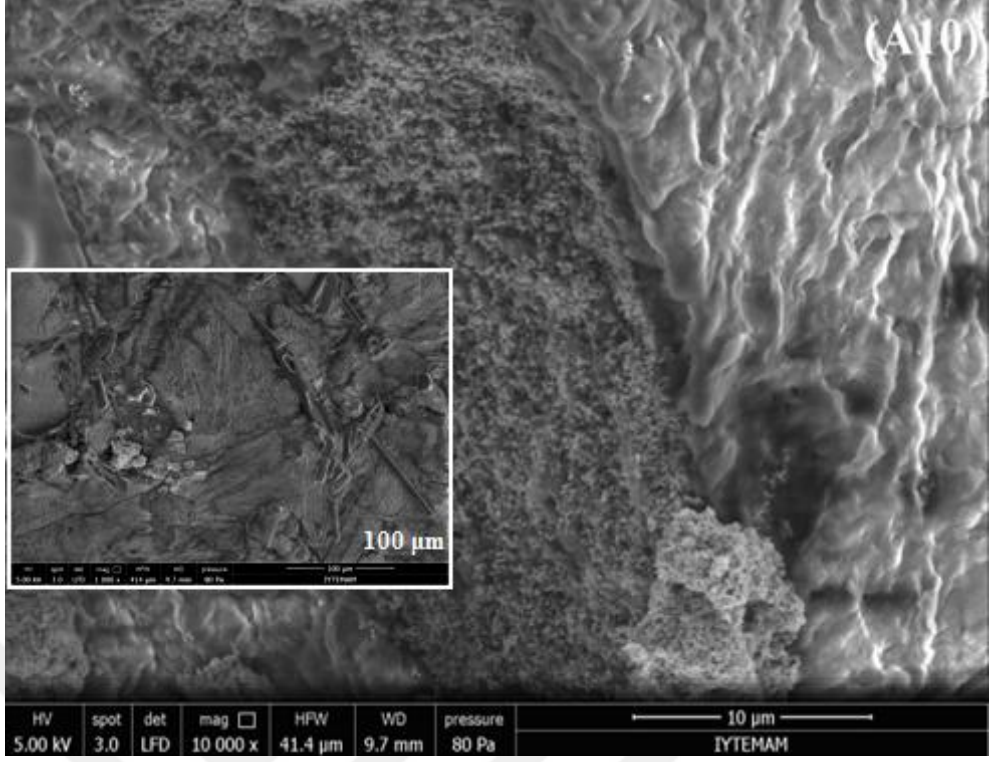
Şekil 4.29. A7 numunesinin SEM Görüntüsü



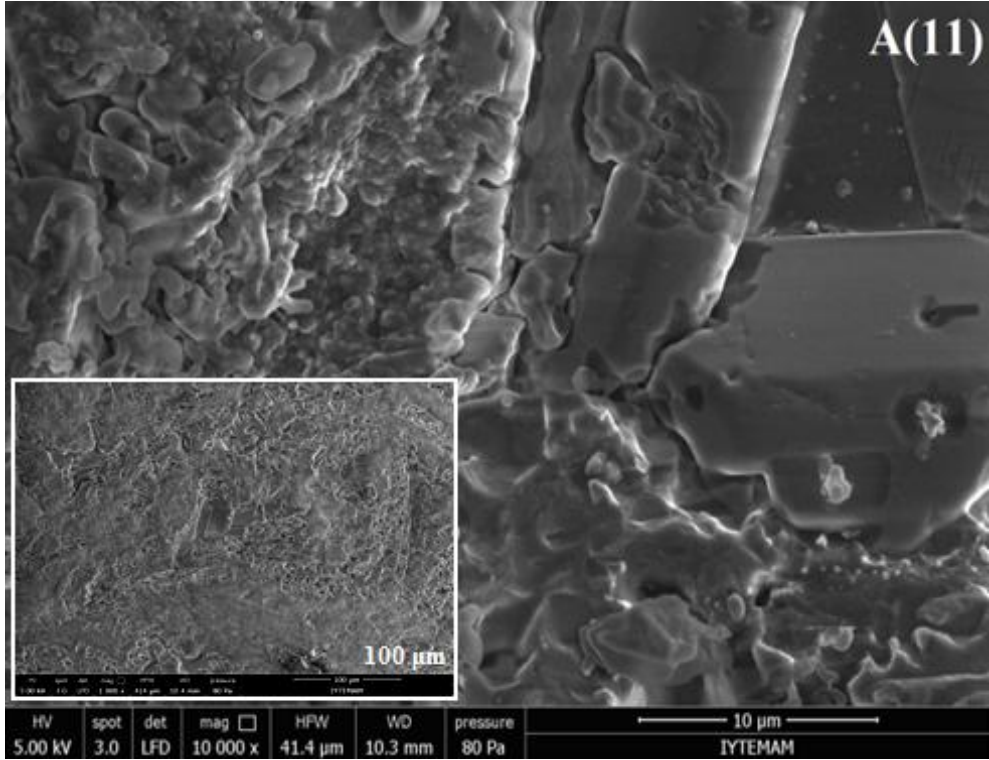
Şekil 4.30. A8 numunesinin SEM Görüntüsü



Şekil 4.31. A9 numunesinin SEM Görüntüsü



Şekil 4.32. A10 numunesinin SEM Görüntüsü



Şekil 4.33. A11 numunesinin SEM Görüntüsü

ZnO olmaksızın sadece BP-3 ün polietilene katıldığı A6, A7 ve A8 numunelerinde bu malzemenin PE ile etkileşime girmediği görülmektedir. Fakat %5 ZnO ve %2,5 BP-3 olan A11 numunesinde ZnO ların BP-3 ile etkileştiği belirgin bir şekilde görülmektedir. BP-3' ün yapılarından bazıları kırılmış ve ZnO lar bunların yerlerini almıştır. Bu numunede pürüzlülük çok fazla artmış olup SEM görüntüsü dalgalı bir şekil almıştır. Dolayısı ile soğurma oranı bu numunede en fazladır. Bu durumların soğurma grafikleriyle de uyum içerisinde olduğu gözlenmektedir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nano boyutta ve toz haldeki ZnO nun ve nanokompozitlerin RL spektrumları alınmıştır. Bu spektrumlarda ZnO nun karakteristik pikleri gözlenmiştir. Bu pikler 390 nm, 530 nm ve 1020 nm dalgaboylarında ortaya çıkmıştır. 390 nm de görünen pik eksiton pikine aittir. 530 nm de bulunan ana pik, ZnO nun ve nanokompozitlerin mavi-yeşil ışık yayma özelliğinde olduğunu göstermektedir. 1020 nm de oluşan sonuncu pik ise ana pikten kaynaklanan ikincil bir piktir.

Polietilen içerisinde ZnO nun katkı miktarı arttıkça nanokompozitin verdiği RL şiddetlerinin arttığı gözlenmiştir. Ancak nanokompozit içerisine katılan BP-3 oranı arttığında RL şiddetinin düştüğü görülmektedir. Bu azalmanın, X-ışınına maruz kalan BP-3' teki non-radyatif (ışınmasız) geçişlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

BP-3 ün lüminesent bir madde olmadığı görülmüştür, fakat UV bölgeyi çok iyi soğuran bir ajan olduğu ortadadır. ZnO ve BP-3 ün çok az miktarları bile istenmeyen UV ışınlarını geçirmemeye yetmektedir. Oranları arttığında ise soğurmalarının daha geniş alanı kapsadığı net bir şekilde görülmektedir.

Mekanik test grafiklerinde birbirinden farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Nanokompozitlerde kopmada uzama değeri için BP-3 ün iyileştirmesi ZnO ya göre daha yüksektir. Akma dayanımı değerinin ZnO içeren nanokompozitlerde BP-3 lü olanlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Kopma dayanımı grafiklerinden ise yüksek oranlardaki ZnO nun bu değere olumlu etki ettiği görülmüştür. BP-3' ün yapıcı bir etkisi yoktur ancak ZnO ile birlikte kullanıldığında pozitif bir anlam ifade etmektedir.

Nanokompozitlerin termal analizlerinde polietilenin baskın bir karakterde olduğu görülmektedir. BP-3 ve ZnO nun belirgin bir katkısı mevcut değildir. Daha net bir ifade ile denilebilir ki BP-3 ün ve ZnO nun karakteristik pikleri nanokompozit içerisinde görülmemiştir. ZnO nun erime sıcaklığı çok yüksek olduğu için nanokompozit içerisinde bozunmadan kalan ZnO ların mevcut olduğu söylenebilir.

XRD grafiklerinde nanokompozitlerdeki ZnO oranı arttıkça ZnO nun karakteristik piklerinin daha çok belirginleştiği açıktır. Nanokompozitlerdeki PE piklerinin şiddeti azalmıştır. Bu durumun ise katkılandırılan ZnO nun PE içerisindeki boşlukları doldurmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür. Dolayısı ile katkılandırma işlemi başarılı olarak gerçekleşmiştir.

SEM görüntülerinde toz ZnO nun çubuklu yapıda olduğu ve bunun da nanokompozitler içerisinde belirgin bir şekilde görüldüğü gözükmemektedir. Nanokompozitlerin içerisine eklenen ZnO ve BP-3 ile doğru orantılı olarak pürüzlülüklerinin arttığı söylenebilir. Bu da soğurmanın arttığını destekleyen bir durumdur. Bu sebeple en verimli olan nanokompozitin ZnO ve BP-3 ün maksimum oranda olduğu numunede gerçekleştiğini söylemek uygun olur.

Kullanılan ZnO malzemesi toz olduğu için kullanım sahalarının kısıtlı olması sebebiyle, AYPE içerisine eklenerek elde edilen nanokompozitlerin kütle halinde ve polimer bazlı olmasıyla daha elverişli ve avantajlı kullanım amaçlarına katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla ZnO miktarına fazla miktarda ihtiyaç duyulan alanlarda (optik soğurma, lüminesans vb.) ZnO katkılı polimer nanokompozitlerin kullanılması büyük avantaj sağlayacaktır. ZnO için ifade ettiğimiz olumlu yönlere ek olarak BP-3 için de önemli özellikler bulunmaktadır. Örneğin; BP-3 malzemesi, soğurduğu UV radyasyonu ışınımsız geçişlere de harcadığı için (ısınma vb.) nanokompozit malzemede gevremeye yönelik dezavantajları yok ederek degradasyonu engelleme olanağı sunmaktadır.

Elde edilen bu nanokompozitler, ZnO nun maliyetinden çok düşük fiyatlarla hazırlanabildiği ve bilhassa optiksel özellik yönünden aynı performansı gösterdiği için çok avantajlı malzemeler olarak ülkeye kazandırılmışlardır. İstenilen her alanda katkılı polimer malzemeli araçlar kullanılıp UV yi geçirmeyen ve degradasyona sebep olmayan geniş ve önemli bir kullanım yelpazesi ortaya çıkarılmıştır.

ZnO ve BP-3 materyallerinin antimikrobiyel ve antibakteriyel özelliklerinin de bulunması sağlık sektörü gibi alanlarda da kullanılma oranını önemli derecede artırma imkanı sunmaktadır. Elde edilen nanokompozit numuneler UV ışınından

etkilenebilecek ürünlerin (hap veya canlı organizma gibi) korunması bakımından ayrı bir önem arz etmektedir.

Bu söylenen alanlara ek olarak; paketlenme, elektrik-elektronik, inşaat, tarım ve otomotiv sanayisi gibi alanlarda da bu nanokompozit malzemelerin kullanımı çeşitli amaçlar için yaygın bir kullanım sahasına sahiptir.

RL ölçümlerinden farklı lüminesans sistemleri kullanılarak da bu çalışmada elde edilen malzemelerin lüminesans özellikleri aynı şekilde ayrıntılı bir biçimde incelenebilir. Bu amaçla Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvarı'nda onarım aşamasında olan Katodolüminesans (CL) Sistemi ve aktif halde olan Termolüminesans (TL) Sistemi kullanılabilir. Bunlara ek olarak Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) ve Fotolüminesans (PL) gibi yöntemlerle de her bir malzemeyi farklı lüminesans teknikleri ile de incelemek mümkün olabilir.

Hazırlanmış olan bu nanokompozit malzemelerin düşük sıcaklıkta Termolüminesans (TL) ölçümlerinin de yapılabilmesi için çalışmalara devam edilmektedir. Bu numunelerin TL parametrelerinin hesaplanmasının uzun zaman alacağı aşikardır. Bundan sonraki çalışmalarda da bu hesaplamalar üzerine yoğunlaşarak farklı bir bakış açısıyla bu malzemeleri çok yönlü inceleme olanağı sağlanmış olacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] NIKLAUS, M. Metal-Ion Implanted Elastomers: Analysis of Microstructures and Characterization and Modeling of Electrical and Mechanical Properties. Pour L'obtention Du Grade De DocteurÈs Sciences. École Polytechnique Fédérale De Lausanne. Thèse No 4798 (2010), 198s. (Doktora Tezi)
- [2] Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Plastik Ürünler Çalışma Grubu Raporu Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013). Ankara, 2006, 96s.
- [3] Yildirim, E., Miskolczi, N., Onwudili, J.A., Németh, K.E., Williams, P.T., Sója, J. Evaluating the mechanical properties of reinforced LDPE composites made with carbon fibres recovered via solvothermal processing. *Composites Part B: Engineering*. 2015, 78, 393–400.
- [4]Şirin, K. Preparation Of Polymer Blends And Their Composites And Determination Of Their Properties. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilimdalı, İzmir, 2008, 123s . (Doktora Tezi)
- [5] da Silva, A.L.N., Rocha, M.C.G., Moraes, M.A.R., Valente,C.A.R., Coutinho F.M.B. Mechanical and rheological properties of composites based on polyolefin and mineral additives. *Material Properties, Polymer Testing*. 2002, 21, 57–60.
- [6] Acikgoz, C., Hempenius, M. A., Huskens, J., Vancso, G. J. Polymers in conventional and alternative lithography for the fabrication of nanostructures. *European Polymer Journal*. 2011, 47, 2033–2052.
- [7] Panin, G. N., Baranov A. N., Kang T. W. Electric field-induced color switching of luminescence from ZnO nanoparticle/polymer. *Second International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers: Proc. of SPIE*, 2008, Vol. 7009, 700915.
- [8] Firth, A. V., Haggata, S. W., Khanna, P. K., Williams, S. J., Allen, J. W., Magennis, S.W., Samuel, I. D.W., Cole-Hamilton, D. J. Production and luminescent properties of CdSe and CdS nanoparticle–polymer composites. *Journal of Luminescence*. 2004, 109, 163–172.
- [9] Li, S., Lin, M. M., Toprak, M. S., Kim, D. K., Muhammed, M., Nanocomposites of polymer and inorganic nanoparticles for optical and magnetic applications. *Nano Reviews*. 2010, 1: 5214.
- [10] Ries, G., Heller, W., Puchta, H., Sandermann, H., Seidlitz, H.K., Hohn, B. Elevated UV-B radiation reduces genome stability in plants. *Nature*. 2000, 406, 98-101.

- [11] Shi, L., Shan, J., Ju, Y., Aikens, P., Prud'homme, R. K. Nanoparticles as delivery vehicles for sunscreen agents. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2012, 396, 122–129.
- [12] Kibar, R. Farklı Metal İyonları İle Bombalanan SrTiO<sub>3</sub> Kristalinin ve Bazı Minerallerin Nükleer Ve Diğer Yöntemlerle İncelenmesi . Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, İzmir, 2007, 223s.(Doktora Tezi)
- [13] Vasile, C. Handbook of Polyolefins. Marcel Dekker, Inc., Amerika, New York, 2000, 1017s.
- [14] Mourad, A. H. I. Thermo-mechanical characteristics of thermally aged polyethylene/polypropylene blends. *Materials and Design*. 2010, 31, 918–929.
- [15] Hine, P., Broome, V., Ward, I. The incorporation of carbon nanofibres to enhance the properties of self reinforced, single polymer composites. *Polymer*. 2005, 46, 10936–10944.
- [16] Droval, G., Aranberri, I., Bilbao, A., German, L., Verelst, M., Dexpert-Ghys, J. Thermal and rheological characterization of antibacterial nanocomposites: poly(amide) 6 and low density poly(ethylene) filled with zinc oxide. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2014, 27, 268–284.
- [17] Shao, Y., Schlossman, D. Using TiO<sub>2</sub> and ZnO for Balanced UV Protection. Kobo products. Inc. Sunscreen Symposium Disney World Resort September 7, 2007.
- [18] Jiang, J., Li, G., Ding, Q., Mai, K. Ultraviolet resistance and antimicrobial properties of ZnO-supported zeolite filled isotactic polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability*. 2012, 97, 833-838.
- [19] Santos, D.A.A., Junior, Macedo, E.A.S., M.A. Radioluminescence in ZnO. *Radiation Physics and Chemistry*. 2010, 79, 612–614
- [20] Suthan, T., Rajesh, N.P., Mahadevan, C.K., Bhagavannarayana, G. Growth and characterization of 2-hydroxy-4-methoxybenzophenone single crystal using modified vertical Bridgman technique. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2011, 78, 771–776.
- [21] Tian, F., Lei, Q., Wang, X., Wang, Yi. Investigation of Electrical Properties of LDPE/ZnO Nanocomposite Dielectrics. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2012, 19, 763-769.
- [22] Miyazaki, H., Teranishi, Y., Ota, T. Fabrication of uv-opaque and visible-transparent composite film. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2006, 90, 2640–2646.

- [23] Zhao, H., Li, R. K. Y. A study on the photo-degradation of zinc oxide (ZnO) filled polypropylene nanocomposites. 2006, 47, 3207–3217.
- [24] Szadkowska-Nicze, M., Mayer, J., Kroh, J. Excited State Formation in Irradiated Polyethylene in the Presence of Aromatic Admixtures at Low Temperature. Radiation Physics and Chemistry. 1992, 40, 383-389.
- [25] Ren, G. H., Yu, Z. S., Xiong, R. Dielectric, Optical and Thermal Properties of LDPE/ZnO Hybrid Film. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2015, 37-42. doi: 10.1007/s11595-015-1096-7
- [26] Narayanan, K. B., Sakthivel, N. Biological synthesis of metal nanoparticles by microbes. Advances in Colloid and Interface Science. 2010, 156, 1–13.
- [27] Yıldız, N. Gümüş Nanopartiküllerinin Liken Özü İle Biyosentezi. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri. 2011, 55s.
- [28] Ashby, M. F., Ferreira, P. J., Schodek, D. L. Nanomaterials, Nanotechnologies and Design. Elsevier, China, 2009, 540s.
- [29] Shirai, Y., Osgood, A. J., Zhao, Y., Kelly, K. F. and Tour, J. M. Directional Control in Thermally Driven Single-Molecule Nanocars. Nano Letters. 2005, 5, 2330-2334.
- [30] Hook, J. R., Hall, H. E. Katıhal Fiziği. (Fevzi Köksal ve ark., Çev.). Wiley, Literatür yayıncılık, İstanbul, 1999, 467s.
- [31] Taştekin, B. Cu ve Tb ile Aşıl原因mış SrTiO<sub>3</sub> Kristalinin Optik Soğurma ve Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2013, 86s . (Yüksek Lisans Tezi)
- [32] Katı, M. İ. Ege Bölgesi'nden Çıkarılan Süstaşlarının Karakteristik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2012, 100s . (Yüksek Lisans Tezi)
- [33] Patterson, J., Bailey, B. Solid State Physics Introduction to Theory . Springer, Newyork, Amerika, 2010, 826p.
- [34] Durlu, T. N. Katıhal Fiziğine Giriş. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara, 1996, 311s.
- [35] Gür, E. Çinko Oksit Yarıiletkeninin Yapısal, Optik ve Elektriksel Karakterizasyon Teknikleriyle İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Erzurum, 2007, 132s. (Doktora Tezi)

- [36] Keskin, İ. Ç. Kemererit'in Karakterizasyonu ve Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2012, 57s . (Yüksek Lisans Tezi)
- [37] <http://www.majordifferences.com/2013/02/difference-between-schottky-defect-and.html#.V6udBPmyOko>
- [38] Türemiş, M. İyon Aşılınmış ZnO Kristalinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2011, 65s . (Yüksek Lisans Tezi)
- [39] <http://pt.slideshare.net/hiyaka71/kristal-yapda-noktasal-ve-izgisel-hatalar> (Doç. Dr. Sermin Ozan)
- [40] [http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/WEBMAL201/Mal201DislokasyonMikroskop\(3\).pdf](http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/WEBMAL201/Mal201DislokasyonMikroskop(3).pdf)
- [41] Dikici, M. Katıhal Fizikine Giriş. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Samsun, 1993, 276s.
- [42] Kittel, C. Katıhal Fizikine Giriş. (Bekir Karaoğlu, Çev.). Güven Kitap Yayın Dağıtım. 1996, 434s.
- [43] Caferov, T. Yarıiletken Fizik -1. Yıldız Teknik Üniversitesi Basımı, İstanbul, 1998, 200s.
- [44] Yanış, H. Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama Yöntemiyle p-tipi Çinko Oksit (ZnO) Üretimi ve Elektriksel Özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Adana, 2008, 78s . (Yüksek Lisans Tezi)
- [45] Bulun, G. 3d-Geçiş Metali Ni Katkılı  $Zn_{1-x}Ni_xO$  ve 4f-Lantanit Gd Katkılı  $Zn_{1-x}Gd_xO$  Bileşiklerinin Yapısal ve Manyetik Özellikleri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Adana, 2010, 177s. (Doktora Tezi)
- [46] Çetin, A. Farklı Metalik İyonlarla Bombalanan ZnO Örneklerinin Fiziksel ve Yapısal Özelliklerinin Nükleer, Lüminesans ve Diğer Teknikler Kullanılarak İncelenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, İzmir, 2007, 189s.(Doktora Tezi)
- [47] Kasapoğlu, A. E. Sol-Jel Spin Kaplama Metodu ile Büyütülen ZnO ve ZnO:Fe İnce Filmlerin Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Erzurum, 2014, 69s . (Yüksek Lisans Tezi)
- [48] Kılınç, T.  $Zn_{1-x}Fe_xS$  İnce Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Kahramanmaraş, 2006, 46s. (Yüksek Lisans Tezi)

- [49] Smith, W. F. Principles of materials science and engineering. McGraw-Hill, Inc. New York, 1999, 892s.
- [50] Arslanlar, Y. T. Doğal Taşların Ve Sentetiklerinin Karakteristik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2011, 101s . (Doktora Tezi)
- [51] Ayvacıklı, M. Nadir Toprak Elementleri İle Katkılandırılmış Seramik Fosforların Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu.. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2011, 166s . (Doktora Tezi)
- [52] [w3.balikesir.edu.tr/~hkara/ders%20not/bolum%204.pdf](http://w3.balikesir.edu.tr/~hkara/ders%20not/bolum%204.pdf)
- [53] Salh, R. Defect Related Luminescence in Silicon Dioxide Network: A Review. InTech, Crystalline Silicon - Properties and Uses. 2011. doi: 10.5772/22607
- [54] Karsu, E.C. Nadir Toprak Elementleri İle Katkılandırılmış İtiryum Tabanlı Fosforların Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2012, 206s . (Doktora Tezi)
- [55] Uysal Satılmış, S.Seryum Katkılı İtiryum Gadolinyum Alüminat Fosforlarının Bazı Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2015, 147s . (Doktora Tezi)
- [56] Nazarov, M. and Young, N. D. New Generation of Europium and Terbium Activated Phosphors from Syntheses to Applications. Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., Singapore, 2011, 451s.
- [57] Yacobi, B. G., Holt, D. B. Cathodoluminescence Microscopy of Inorganic Solids. Plenum Press, Amerika, New York, 1990, 291s.
- [58] D.R. Vij. Luminescence of Solids. Plenum Press. Amerika, New York, 1998, 427 s.
- [59] Can, N. Studies Of Ion Implantation Into Insulators Using Nuclear Methods, Luminescence And Waveguide Techniques. The University of Sussex, İngiltere, 1995, 159s. (Doktora Tezi)
- [60] Fox, M. Optical Properties of Solids. Oxford University Press, New York, Amerika, 2001, 305s.
- [61] Kuzucu, A. Eriyik ve Buhar Tekniği ile Büyütülen Yüksek Kalite ZnO Kristallerinin Optiksel Özellikleri. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, 2007, 79s. (Yüksek Lisans Tezi)

- [62] Özgür, Ü., Alivov, I., Liu C., Teke A., Rechchikov M. A., Doğan S., Avrutin V., Cho, J., Morkoç H. A Comprehensive Review of ZnO Materials and Devices. *Journal of Applied Physics*. 2005, 98, 041301.
- [63] <http://www.reading.ac.uk/ir-absorptiontheory-electronicabsorption.aspx>
- [64] Cirillo, G., Spizzirri, U. G., Iemma, F. *Functional Polymers in Food Science from Technology to Biology*. Vol. 1 Food Packing. Scrivener Publishing (Wiley), 2015, 452p.
- [65] <https://crystallography365.wordpress.com/2014/02/27/plastic-fantastic-polyethylene/>
- [66] Gourgues-Lorenzon ,A. F., Haudin, J. M. *Matériaux pour l'ingénieur*. Mines ParisTech Press, Paris, Fransa, 2010, 390p.
- [67] Şirin, K., Doğan, F., Balcan, M., Kaya, İ. Effect of CaCO<sub>3</sub> Filler Component on Solid State Decomposition Kinetic of PP/LDPE/CaCO<sub>3</sub> Composites. *Journal of Macromolecular Science, Part A:Pure and Applied Chemistry*, 2009, 46, 949-958.
- [68] Çengel, Ö. *Peroksitlerin Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE) Üzerine Etkisi, Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi*. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilimdalı, Manisa, 2013, 70s . (Yüksek Lisans Tezi)
- [69] Laridjani, M., Leboucher, P. The Structural Dilemma of Bulk Polyethylene: An Intermediary Structure. *Plos one*, 4, 7, e6228, 2009.
- [70] Rappaport, H. Ethylene and Polyethylene Global Overview [shown at Orlando, FL: SPI's Future of Film and Bag Conference]. 2011.
- [71] PlasticsEurope. *Plastics – the Facts 2015, An analysis of European plastics production, demand and waste data*. 2015.  
<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics---the-facts-2015.aspx> [04.08.2016]
- [72] Klingshirn, C. ZnO: Material, Physics and Applications. *ChemPhysChem*. 2007, 8, 782 – 803
- [73] Gao, Y. F., Nagai, M., Masuda, Y., Sato, F., Koumoto, K. Electrochemical Deposition of ZnO Film and Its Photoluminescence Properties. *Journal of Crystal Growth*. 2006, 286, 445–450.
- [74] Turemis, M., Tastekin, B., Kati, M. I., Keskin, I. C., Kibar, R., Cetin, A., Can, N. The Influence of Annealing on Thermoluminescence Behaviour in ZnO. *Corals Conference, Madrid-SPAIN*, 2011.

- [75] Qu, J., Zhu, Y., Chen, Z., Yuan, N., Ding, J. Synthesis of ZnO Nanomaterials with Controlled Morphology and Their Photoelectrochemical Properties. *Physical Chemistry of Nanoclusters and Nanomaterials. Russian Journal of Physical Chemistry A.* 2016, 90, 1621–1627.
- [76] Zhe Chuan Feng. *Handbook of Zinc Oxide and Related Materials (Volume 2). Devices and Nano-Engineering.* CRC Press(Taylor&Francis Group),2013, 339 p.
- [77] Look, D. Recent advances in ZnO materials and devices. *Materials Science and Engineering B.* 2001, 80, 383–387.
- [78] Liang, W.Y., Yoffe, A.D. Transmission Spectra of ZnO Single Crystals. *Physical Review Letters.* 1968, 20, 59-62.
- [79] Bhatti, H. S., Singh, K, Kavita, Kumar, S., Choubey, R. K. Photo-Physical Studies of Pyridine Capped ZnO Nanostructures. *Physical Chemistry of Nanoclusters and Nanomaterials. Russian Journal of Physical Chemistry A.* 2014, 88, 1166–1171.
- [80][https://www.researchgate.net/figure/222550297\\_fig2\\_Fig-2-ZnO-crystalline-structure-Wurtzite-structure-modified-following-Ref-1-with](https://www.researchgate.net/figure/222550297_fig2_Fig-2-ZnO-crystalline-structure-Wurtzite-structure-modified-following-Ref-1-with) (25.07.2016)
- [81] Wei, S. H., Li, J., Yan, Y., “Design of shallow p-type dopants in ZnO” Presented at the 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, California. May 11–16, 2008.
- [82] Aydın, H. ZnO Esaslı Nanoyapılı Yarıiletken İnce Filmlerin Büyütülmesi ve Gaz Sensörlerinin Üretilmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Elazığ, 2013, 159s. (Doktora Tezi)
- [83] Lisa, M. Matorano, D.O. Candidate, Christian J. Stork, Yang V. Li., UV irradiated –induced zinc dissociation from commercial zinc oxide sunscreen and its action in human epidermal keratinocytes. *Journal of Cosimetric Dermatology.* 2010, 9, 276 – 286.
- [84] Yiin L.M., Tian J.N., Hung C.C. Assessment of dermal absorption of DEET-containing insect repellent and oxybenzone-containing sunscreen using human urinary metabolites. *Environ Sci Pollut Res.* 2015, 22, 7062–7070.
- [85] French, J. E. et al. EG&G Mason Research Institute, Worcester, MA. Toxicity Report Series Number 21. NIH Publication No. 92-3344 1992, 52s.
- [86] Tomoharu S., Shigeyuki K., Ryuki K., Kazumi S., Nariaki F., Shigeru O. Estrogenic and antiandrogenic activities of 17 benzophenone derivatives used as UV stabilizers and sunscreens. *Toxicology and Applied Pharmacology.* 2005, 203, 9 – 17.

- [87] <http://www.cellmat.es/index.php/equipamiento/fabricacion>
- [88] [http://www.plastima.nl/media/rtf/GB\\_xTL\\_Compounder\\_zk\\_25\\_T\\_web.pdf](http://www.plastima.nl/media/rtf/GB_xTL_Compounder_zk_25_T_web.pdf)
- [89] Toldy, A, et al. Flame retardancy of fibre-reinforced epoxy resin composites for aerospace applications. *Polymer Degradation and Stability*. 2011, 96, 371-376.
- [90] Vieille B, et al. About the influence of stamping on thermoplastic-based composites for aeronautical applications. *Composites Part B Engineering*. 2012.
- [91] Fiore, V. et al. Glass–basalt/epoxy hybrid composites for marine applications. *Mater. Des.* 2011. 32, 2091-2099
- [92] Hufenbach W, et al. Polypropylene/glass fibre 3D-textile reinforced composites for automotive applications. *Mater. Des.* 2011, 32, 1468-1476.
- [93] Sandeep Pendhari S, et al. .Application of polymer composites in civil construction: A general review. *Composite Structure*. 2008, 84, 114-124
- [94] Kumosa, L. et al. .Resistance to stress corrosion cracking of unidirectional ECR-glass/polymer composites for high voltage composite insulator applications. *Composites Part A*. 2003, 34, 1-15
- [95] [www.astm.org](http://www.astm.org) (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics1)
- [96] Callister, W. D., Rethwisch, D. D. *Materials Science and Engineering*(K. Genel ve ark., Çev.). Wiley. Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık, 2015, 992s.
- [97] Paralı, L. Türkiye’de Çıkartılan Dumanlı Kuvars, Mavi Kalsedon ve Agat’ın Optik ve Elektrik Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2011, 115s . (Doktora Tezi)
- [98] Brown, M. E. *Introduction to Thermal Analysis (Techniques and Applications)*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Hollanda, 2001, 267s.
- [99] <http://defam.cbu.edu.tr/>
- [100] Arslan, T. X-Işınları ve Kullanım Alanları. Gazi Üniversitesi, Fizik Eğitim Anabilim Dalı, 2010, 24s.
- [101] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/bragg.html> (03.09.2016)
- [102] Şabikoğlu, İ. Katkılandırılmış Lityum Silikat Camsı Seramiklerin Sentezlenmesi ve Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Manisa, 2011, 159s . (Doktora Tezi)
- [103] Gülcan, M. *Anorganik Kimyada Spektroskopik Yöntemler*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Bölümü, 2012, 97s.
- [104] <http://mam.iyte.edu.tr/sem/>



- [105] de Oliveira, T. C., da Silva, M. S., de Jesus, L. M., Sampaio, D. V., dos Santos, J. C. A., da Silva Souza, N. R., da Silva, R. S. Laser sintering and radioluminescence emission of pure and doped Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics. *Ceramics International*. 2014, 40, 16209–16212.
- [106] Yanagida, T., Fujimoto, Y., Yamanoi, K., Kano, M., Wakamiya, A., Kurosawa, S. and Sarukura, N. Optical and scintillation properties of bulk ZnO crystal. *P hys. Status Solidi*. 2012, 12, 2284–2287.
- [107] Mende, L. S., Driscoll, J. L. M. ZnO-Nanostructures, Defects and Devices.. *Materials Today*. 2007, 10, 40-48.
- [108] Bhadwal, A. S., Tripathi, R. M., Gupta, R. K., Kumar, N., Singh, R. P., Shrivastav, A. Biogenic synthesis and photocatalytic activity of CdS nanoparticles. *Royal Society of Chemistry (RSC Advances)*. 2014, 4, 9484–9490.
- [109] Vijayalakshmi, R., Rajendran, V. Synthesis of BaTiO<sub>3</sub> and Evaluation of Optical Properties. *Advances in Technology of Materials and Materials Processing*. 2010, 12, 43-49.
- [110] Ren, R., Wen, Z., Cui, S., Hou, Y., Guo, X., Chen, J. Controllable Synthesis and Tunable Photocatalytic Properties of Ti<sup>3+</sup>-doped TiO<sub>2</sub>. *Scientific Reports*. 2015, 5, 10714, 1-11.
- [111] Chakradhar, R.P.S., Nagabhushana, B.M., Shivakumara,C., Rao, J.L., Sharma, S.C., Nagabhushana, H., Kokila, M.K., Jagannatha Reddy, A. Structural, EPR, photo and thermoluminescence properties of ZnO:Fe nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*. 2012, 133, 876-883.
- [112] Peles, A., Pavlovic, V.P., Filipovic, S., Obradovic, N., Mancic, L., Krstic, J., Mitric, M., Vlahovic, B., Rasic, G., Kosanovic, D., Pavlovic, V.B. Structural investigation of mechanically activated ZnO powder. *Journal of Alloys and Compounds*. 2015, 648, 971-979.
- [113] Tjong, S. C., Liang, G. D., Bao, S. P. Electrical Properties of Low Density Polyethylene/ZnO Nanocomposites: The Effect of Thermal Treatment. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006, 102, 1436-1444.
- [114] Kahouli, M., Barhoumi, A., Bouzid, A., Al-Hajry, A., Guermazi, S. Structural and optical properties of ZnO nanoparticles prepared by direct precipitation method. *Superlattices and Microstructures*. 2015, 85, 7-23.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat TÜREMİŞ  
Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 10 Eylül 1986  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : muraturemis@hotmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Manisa Lisesi, 2003  
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Fizik Bölümü, 2009  
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011

### Mesleki Deneyim

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Akhisar MYO 2014 - (halen)

### Yayınları

#### **A. Uluslararası hakemli dergilerde (SCI ve SCI Expanded) yayımlanan makaleler**

**A1.** Katı, M. İ., **Türemiş, M.**, Keskin, I.C., Tastekin, B., Kibar, R., Çetin A., Can, N. Luminescence behaviour of beryl (aquamarine variety) from Turkey. Journal of Luminescence. 2012, 132, 2599-2602.

**A2.** Ermiş, İ., Çorumlu, V., Sertkol, M., Öztürk, M., Kaleli, M., Çetin, A., **Türemiş, M.**, Arı, M. Microstructure and Electrical Conductivity of ZnO Addition on the Properties of  $(\text{Bi}_{0.92}\text{Ho}_{0.03}\text{Er}_{0.05})_2\text{O}_3$ . Journal of Electronic Materials. 2016, 1-7.

#### **B. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler**

**B1.** Katı, M. İ., Kadiroğulları, K., **Türemiş, M.**, Keskin, İ.Ç., Çetin A., Kibar, R. The Investigation of Thermoluminescence Properties of Tooth Enamel. El-Cezerî Journal of Science and Engineering. 2016, 3, 297-303.

**B2.** Katı, M. İ., Sam, G., Keskin, İ.Ç., **Türemiş, M.**, Çetin A., Kibar, R. Pembe Spodümenin Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi ve Kinetik

Parametrelerinin Hesaplanması. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi. 2016, 3, 258-271.

### **C. Uluslararası bildiriler**

**C1.** Çetin, A., Katı, M.İ., Taştekin, B., **Türemiş, M.**, Kibar, R., Hatipoğlu, M., Can, N. Investigation of Thermoluminescence Kinetic Parameters of NaCl. XIV. International Symposium on Luminescence Spectrometry-ISLS2010, 13–16 July Prague/ CZECH REPUBLIC, 2010.

**C2. Turemis, M.**, Tastekin, B., Katı, M.İ., Keskin, I.C., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. The Influence of Annealing on Thermoluminescence Behaviour in ZnO. Conference on Micro-Raman Spectroscopy and Luminescence Studies in the Earth and Planetary Sciences, CORALS II, Madrid/SPAIN, 18-20 May 2011.

**C3.** Katı, M.İ., **Türemiş, M.**, Keskin, I.C., Tastekin, B., Hatipooglu, M., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Optical Absorption, Cathodo- And Radioluminescence In Diaspore. Conference on Micro-Raman Spectroscopy and Luminescence Studies in the Earth and Planetary Sciences, CORALS II, Madrid/SPAIN, 18-20 May 2011.

**C4.** Tastekin, B., **Turemis, M.**, Katı, M.İ., Keskin, I.C., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Effects of thermal annealing on the thermoluminescence properties of ion-implanted SrTiO<sub>3</sub>. Conference on Micro-Raman Spectroscopy and Luminescence Studies in the Earth and Planetary Sciences, CORALS II, Madrid/SPAIN, 18-20 May 2011.

**C5.** Keskin, I.C., Katı, M.İ., **Turemis, M.**, Tastekin, B., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Thermoluminescence Of The Blue And White Chalcedony From Turkey. Conference on Micro-Raman Spectroscopy and Luminescence Studies in the Earth and Planetary Sciences, CORALS II, Madrid/SPAIN, 18-20 May 2011.

**C6.** Kibar, R., Katı, M.İ., Çetin, A., **Turemis, M.**, Keskin, I.C., Tastekin, B., Hatipooglu, M., Can, N. Structure and Luminescence Characteristics of Aquamarine from TURKEY. Conference on Micro-Raman Spectroscopy and Luminescence Studies in the Earth and Planetary Sciences, CORALS II, Madrid/SPAIN, 18-20 May 2011. (Sözlü sunum)

**C7.** Sam, G., **Türemiş, M.**, Keskin, İ.Ç., Arslanlar, Y., Çetin, A., Kibar, R. Spodümenin Lüminesans ve Optik Soğurma Özelliklerinin İncelenmesi. International Conference on Luminescence and ESR Dosimetry, LUMIDOZ-8, Ankara-TÜRKİYE, 27-29 August 2014.

**C8.** Altuğ, C., **Türemiş, M.**, Keskin, İ.Ç., Katı, M.İ., Çorumlu, V., Üstün, S., Kibar, R., Çetin, A. Examining with Different Techniques Physical and Optical Properties of the Olivine Mineral in Turkey. 5TH International Vocational Schools Symposium (UMYOS), Prizren/ KOSOVO, 18-20 May 2016. (Sözlü sunum)

## **D. Ulusal bildiriler**

**D1. Türemiş, M.**, Katı, M. İ., Taştekin, B., Keskin, İ. Ç., Çetin, A., Kibar, R., Can, N. Ametist Mineralinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMIDOZ-IV, Gaziantep-TÜRKİYE, 20-22 Eylül, 2010.

**D2. Katı, M. İ., Türemiş, M.**, Taştekin, B., Keskin, İ. Ç., Çetin, A., Kibar, R., Can, N. Kütahya Yöresinden Çıkarılan Kalsit Mineralinin Termolüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMIDOZ-IV, Gaziantep-TÜRKİYE, 20-22 Eylül, 2010.

**D3. Taştekin, B., Katı, M. İ., Türemiş, M.**, Keskin, İ. Ç., Çetin, A., Kibar, R., Can, N. Deniz Tuzunun Kinetik Karakterizasyonunun İncelenmesi. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMIDOZ-IV, Gaziantep-TÜRKİYE, 20-22 Eylül, 2010.

**D4. Çivicioğlu, Ö., Çetin, A., Taştekin, B., Katı, M. İ., Türemiş, M.**, Kibar, R., Can, N. Pembe Kuvars Mineralinin Termolüminesans ve Optiksel Özellikleri. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMIDOZ-IV, Gaziantep-TÜRKİYE, 20-22 Eylül, 2010.

**D5. Türemiş, M.**, Katı, M. İ., Keskin, İ.Ç., Taştekin, B., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Cu Aşılmalı ZnO Kristalinin Termolüminesans ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMİDOZ-V, Mersin-TÜRKİYE, 8-9 Eylül 2011.

**D6. Katı, M. İ., Türemiş, M.**, Keskin, İ.Ç., Taştekin, B., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Ege Bölgesinden Çıkarılan Bazı Süstaşlarının Termolüminesans ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMİDOZ-V, Mersin-TÜRKİYE, 8-9 Eylül 2011.

**D7. Keskin, İ.Ç., Türemiş, M.**, Katı, M. İ., Taştekin, B., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Kemereit'in Karakterizasyonu ve Lüminesans Özellikleri. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMİDOZ-V, Mersin-TÜRKİYE, 8-9 Eylül 2011.

**D8. Ertik, T., Aydemir, H. Türemiş, M.**, Katı, M. İ., Keskin, İ.Ç., Taştekin, B., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Sitrinin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMİDOZ-V, Mersin-TÜRKİYE, 8-9 Eylül 2011.

**D9. Aydemir, H. Ertik, T., Türemiş, M.**, Katı, M. İ., Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Bantlı ve Siyah Obsidyenin Optiksel Özelliklerinin Kıyaslanması. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMİDOZ-V, Mersin-TÜRKİYE, 8-9 Eylül 2011.

**D10. Taştekin, B., Katı, M. İ., Keskin, İ.Ç., Türemiş, M.**, Kibar, R., Çetin, A., Can, N. Cu ve Tb Aşılmalı STO Kristalinin Termolüminesans ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Lüminesans Dozimetri Kongresi, LUMİDOZ-V, Mersin-TÜRKİYE, 8-9 Eylül 2011.

## Projeler

- Proje Numarası** : CBÜ BAP FEF 2010-014 (Tamamlandı)  
**Proje Başlığı** : Termolüminesans Yöntemi Kullanılarak Doğal Tuzların Kinetik Karakterizasyonunun İncelenmesi  
**Proje Desteği** : 34.925,63 TL  
**Proje Yürütücüsü** : Doç. Dr. Rana KİBAR  
(Araştırmacı: **Murat TÜREMİŞ**)
- Proje Numarası** : CBÜ BAP FEF 2015-126 (Devam ediyor)  
**Proje Başlığı** : Türkiye'deki Olivin Mineralinin Fiziksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi  
**Proje Desteği** : 14.760,17 TL  
**Proje Yürütücüsü** : Doç. Dr. Ahmet ÇETİN  
(Araştırmacı: **Murat TÜREMİŞ**)

