



**T.C.  
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR VE BARİT MİNERAL KATKILI POLİETİLEN  
ÖRNEKLERİN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE  
LİNEER SOĞURMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ**

**Emrah KULOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**RİZE 2014**

**T.C.  
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR VE BARİT MİNERAL KATKILI POLİETİLEN  
ÖRNEKLERİN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE  
LİNEER SOĞURMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ**

**Emrah KULOĞLU**

**Tez Danışmanı**

**Doç. Dr. Hasan BALTAŞ**




**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**RİZE 2014**

**T.C.**  
**RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR VE BARİT MİNERAL KATKILI POLİETİLEN**  
**ÖRNEKLERİN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE**  
**LİNEER SOĞURMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ**

Bu çalışma, 09 / 07 / 2014 tarihinde yapılan sınav ile Fizik Anabilim Dalı 'nda  
oy birliği ile YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, Soyadı	İmzası
<b>Tez Danışmanı</b>	: Doç. Dr. Hasan BALTAŞ	
<b>Jüri Üyesi</b>	: Yrd. Doç. Dr. Vagif NEVRUZOĞLU	
<b>Jüri Üyesi</b>	: Yrd. Doç. Dr. Nilay AKÇAY	

  
**Prof. Dr. Selami ŞAŞMAZ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**



## ÖNSÖZ

“Bor ve Barit Mineral Katkılı Polietilen Örneklerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi ve Lineer Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi” isimli yapılan bu çalışma, 2013-2014 öğretim yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlandı.

Örneklerin hazırlanması ve lineer soğurma katsayılarının ölçümleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Araştırma Laboratuvarı’nda, optiksel özelliklerin incelenmesi ise Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji Araştırma Laboratuvarı’nda gerçekleştirildi.

Bu çalışmada karşılaştığım güçlükleri çözmekte engin bilgilerinden faydalanma imkânı bulduğum, yakın alakası ile birçok hususta bana yol göstermiş, ayrıca teşvikleriyle bilhassa çalışmalarım boyunca her türlü desteği sağlayan değerli danışman hocam Doç. Dr. Hasan BALTAŞ’a teşekkürlerimi sunmak, benim için yerine getirilmesi gereken en zevkli vazifedir.

Benden yardımlarını esirgemeyen Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü hocalarımdan Doç. Dr. Şükrü ÇELİK ve Doç. Dr. Murat TOMAKİN’e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca çalışmalarım boyunca karşılaştığım zorluklarda ilgilerini ve desteklerini eksik etmeyen Arş. Gör. Erkan KIRIŞ, Arş. Gör. S. Barış GÜNER ve Uzm. Murat ŞİRİN’e teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi destekleriyle sürekli yanımda olan aileme en içten saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Emrah KULOĞLU

Temmuz 2014

## ÖZET

### **Bor ve Barit Mineral Katkılı Polietilen Örneklerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi ve Lineer Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi**

Bu çalışmada, üleksit ve barit mineral katkılı polietilen örneklerin 400–700 nm dalga boyu aralığında optik geçirgenlikleri ve 5,9 ile 59,54 keV enerjilerde lineer soğurma katsayıları ölçüldü.

Örneklerin optik geçirgenlik ölçümleri Molecular Devices SpectraMax M5 Spektrofotometresi'nde analiz edildi. Aynı örnekler 5,9 keV enerjiye sahip 100 mCi'lik <sup>55</sup>Fe ve 59,54 keV enerjiye sahip 10 mCi'lik <sup>241</sup>Am radyoaktif kaynağından gelen fotonlara maruz bırakıldı. Örneklerden geçen fotonlar Ortec marka Si(Li) dedektörü ve buna bağlı çok kanallı analizör kullanılarak sayıldı.

Sonuç olarak, optik geçirgenlik değerlerinin artan katkılarla azaldığı gözlemlendi. Buna ilaveten lineer soğurma katsayılarının artan enerji ile azaldığı, artan katkılarla da arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Alçak yoğunluklu polietilen, üleksit, barit, optik geçirgenlik, lineer soğurma katsayıları.

## SUMMARY

### **Investigation of Optical Properties and Determination of Linear Attenuation Coefficients in Boron and Barite Mineral Additive Polythene Samples**

In this study, optical transmissions of ulexite and barite mineral mixed polythene samples were measured range from 400 to 700 nm wavelength. In addition, linear attenuation coefficients were measured in 5,9 and 59,54 keV energies.

Optical transmission radioactive measurements of samples were analyzed using Molecular Devices SpektraMax M5 Spectrophotometer. These samples were irradiated using 100 mCi  $^{55}\text{Fe}$  (5,9 keV) and 10 mCi  $^{241}\text{Am}$  (59,54 keV) radioactive sources. Photons crossing the samples were counted using a multi-channel analyzer with Si(Li) detector.

It is observed that the optical transmission decreases with increasing additives. In addition, the linear attenuation coefficients decreases with increasing energy and increases with increasing additives.

**Keywords:** Low density polyethylene, ulexite, barite, optical transmission, linear attenuation coefficients.

## İÇİNDEKİLER

**Sayfa No:**

ÖNSÖZ .....	I
ÖZET .....	II
SUMMARY .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
TABLolar DİZİNİ .....	IX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	X
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Literatür Özeti .....	2
1.3. Polietilen Malzemeler .....	5
1.3.1. Polietilen .....	5
1.3.2. Polietilenin Çeşitleri ve Özellikleri .....	6
1.3.3. Polietilenin Uygulama Alanları .....	8
1.3.4. Alçak Yoğunluklu Polietilen .....	8
1.4. Bor Mineralleri .....	9
1.4.1. Bor .....	9
1.4.2. Bor Mineralinin Çeşitleri ve Özellikleri .....	10
1.4.3. Dünya ve Türkiye Bor Rezervleri .....	11
1.4.4. Bor Mineralinin Uygulama Alanları .....	12
1.4.5. Üleksit .....	14
1.5. Barit Mineralleri .....	15
1.5.1. Barit .....	15
1.5.2. Dünya ve Türkiye Barit Rezervleri .....	16
1.5.3. Barit Mineralinin Uygulama Alanları .....	16
1.6. Elektromanyetik Spektrumlar .....	17
1.6.1. Elektromanyetik Dalgaların Spektrumu .....	17
1.6.1.1. Radyo Dalgaları .....	19
1.6.1.2. Mikrodalgalar (Kısa Dalgaboylu Radyo Dalgaları) .....	19
1.6.1.3. Kızıl Ötesi Dalgalar (Isı Dalgaları) .....	19

1.6.1.4. Görünür Dalgalar .....	19
1.6.1.5. Morötesi (Ultraviyole) Dalgalar .....	20
1.6.1.6. X-ışınları .....	20
1.6.1.7. Gama ( $\gamma$ ) Işınları .....	20
1.6.1.8. Kozmik Işınlar .....	20
1.7. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi .....	21
1.7.1. Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulması .....	22
1.7.1.1. Fotoelektrik Olay .....	23
1.7.1.2. Çift Oluşumu .....	25
1.7.2. Elektromanyetik Radyasyonun Saçılması .....	26
1.7.2.1. Koherent Saçılma .....	26
1.7.2.1.1. Rayleigh Saçılması .....	26
1.7.2.1.2. Delbrück Saçılması .....	27
1.7.2.1.3. Nükleer Rezonans Saçılma .....	27
1.7.2.1.4. Nükleer Thomson Saçılması .....	28
1.7.2.2. İnkoherent Saçılma .....	28
1.7.2.2.1. Compton Saçılması .....	28
1.7.2.2.2. Raman Saçılması .....	30
1.7.2.2.3. Nükleer Saçılma .....	30
1.8. Karakteristik X-Işınlarının Oluşumu ve Enerji Seviyeleri .....	30
1.9. X-Işını Spektrumlarının İncelenmesi .....	35
1.9.1. Koherent Saçılma Pikleri .....	35
1.9.2. Compton Pikleri .....	35
1.9.3. Karakteristik X-Işını Pikleri .....	36
1.9.4. Auger Pikleri .....	36
1.9.5. Üst üste Binme (Pile-Up) Pikleri .....	36
1.9.6. Kaçak (Escape) Pikleri .....	37
1.9.7. Satellite Çizgileri .....	37
1.10. Gama Işınları .....	38
1.11. Atomun Uyarılması .....	38
1.11.1. Radyoizotop Kaynaklar .....	39
1.12. Soğurma .....	41



1.12.1. Lineer Soğurma Katsayıları .....	43
1.13. Yarıiletken Dedektörler ve Çalışma Prensipleri .....	44
1.14. Sayma Sistemi .....	50
1.14.1. Yüksek Voltaj Kaynağı .....	50
1.14.2. Ön Yükseltici .....	51
1.14.3. Yükseltici .....	51
1.14.4. Analog Sayısal Dönüştürücü .....	51
1.14.5. Çok Kanallı Analizör (MCA) .....	52
1.15. Dedektör Verimi .....	52
1.15.1. Dedektör Verimliliğinin Ölçülmesi .....	52
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	53
2.1. Materyal .....	53
2.1.1. Numunelerin Hazırlanması .....	53
2.2. Yöntem .....	55
2.2.1. Optik Özelliklerin İncelenmesi .....	55
2.2.2. Lineer Soğurma Katsayılarının Ölçümleri .....	56
2.2.2.1. Deney Sistemi .....	56
2.2.2.2. Deney Geometrisi, Numunelerin Uyarılması ve Gama Işınlığının Sayılması .....	57
3. BULGULAR .....	61
3.1. Optik Özelliklerin İncelenmesi .....	61
3.2. Soğurma Katsayıları .....	62
3.2.1. Lineer Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi .....	62
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....	64
5. ÖNERİLER .....	65
6. KAYNAKLAR .....	66
ÖZGEÇMİŞ .....	69

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa No:**

Şekil 1. Etilenin polimerizasyonu.....	6
Şekil 2. Polietilen.....	6
Şekil 3. Bor'un kristal yapısı.....	10
Şekil 4. Bor mineralleri .....	11
Şekil 5. Üleksit .....	14
Şekil 6. Barit minerali.....	15
Şekil 7. Elektromanyetik radyasyonlar ve çeşitleri .....	18
Şekil 8. Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşimi.....	22
Şekil 9. Elektromanyetik radyasyon etkileşmelerinin soğurucunun atom numarasına ve radyasyonun enerjisine göre değişimi.....	23
Şekil 10. Fotoelektrik olay.....	24
Şekil 11. Çift oluşumu.....	25
Şekil 12. Rayleigh saçılması.....	27
Şekil 13. Compton saçılması .....	29
Şekil 14. Elektronların elastik ve inelastik saçılması ve Bremsstrahlung ışınlarının üretilmesi .....	32
Şekil 15. Karakteristik X-ışınlarının ve Auger elektronunun meydana gelmesi.....	32
Şekil 16. Atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik X-ışını yayımlanmasının şematik olarak gösterimi .....	34
Şekil 17. İdeal bir X-ışını spektrumu.....	35
Şekil 18. Elektron yakalama bozunmasının bir örnek olarak <sup>57</sup> Co'ın bozunma şeması.....	38
Şekil 19. Radyasyonlar ve çeşitli maddelerdeki girme mesafeleri .....	41
Şekil 20. Mg'un kütle soğurma katsayılarının dalga boyu ile değişimi .....	42
Şekil 21. Elektromanyetik radyasyonun dx kalınlıklı bir maddeden geçerken soğurulması .....	43
Şekil 22. Yarıiletken dedektör şeması .....	45
Şekil 23. Dedektörlerin ayırma güçleri.....	46
Şekil 24. Si(Li) dedektör kesiti.....	48
Şekil 25. Kriyostat ve bölümleri.....	49
Şekil 26. X ve gama ışınları ölçüm sisteminin blok diyagramı.....	50
Şekil 27. Etüv .....	53
Şekil 28. a. Terazi, b. Press makinesi, c. Örnek pelet.....	54

<b>Şekil 29.</b> Örnek kalıplar.....	54
<b>Şekil 30.</b> a. Kül fırını, b. Press makinesi aparatı .....	55
<b>Şekil 31.</b> Optik ölçüm için hazır hale gelen örnekler .....	55
<b>Şekil 32.</b> Molecular Devices SpectraMax M5 Spektrofotometresi .....	56
<b>Şekil 33.</b> X-ışını ölçüm sisteminin genel görünüşleri.....	57
<b>Şekil 34.</b> X-ışınları soğurma ölçümleri için kullanılan deney geometrisi .....	59
<b>Şekil 35.</b> <sup>55</sup> Fe radyoaktif kaynağı için örnek spektrum .....	60
<b>Şekil 36.</b> <sup>241</sup> Am radyoaktif kaynağı için örnek spektrum.....	60
<b>Şekil 37.</b> Üleksit katkılı polietilen örneklerin optik geçirgenlik eğrileri .....	61
<b>Şekil 38.</b> Barit katkılı polietilen örneklerin optik geçirgenlik eğrileri .....	61
<b>Şekil 39.</b> <sup>55</sup> Fe radyoaktif kaynağı için lineer soğurma katsayısının % katkıya göre değişimi .....	63
<b>Şekil 40.</b> <sup>241</sup> Am radyoaktif kaynağı için lineer soğurma katsayısının % katkıya göre değişimi .....	63

## TABLolar DİZİNİ

## Sayfa No:

<b>Tablo 1.</b> Alçak yoğunluklu polietilenin özellikleri .....	9
<b>Tablo 2.</b> Bor elementinin özellikleri .....	11
<b>Tablo 3.</b> Dünya ve Türkiye bor rezervleri ve ömürleri (Miçillioğlu, 2010; Addemir, 2002; Köse vd., 2002).....	12
<b>Tablo 4.</b> Üleksit'in özellikleri (URL-6, 2014) .....	15
<b>Tablo 5.</b> Barit mineralinin özellikleri (Ayan 1979) .....	16
<b>Tablo 6.</b> X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri .....	33
<b>Tablo 7.</b> Radyasyon tipleri ve özellikleri .....	40
<b>Tablo 8.</b> Dedektör çeşitleri ve enerji rezülosyonu (keV FWHM).....	46
<b>Tablo 9.</b> Si ve Ge'un bazı özellikleri (URL-5, 2004) .....	47
<b>Tablo 10.</b> Numunelerin uyarılmasında kullanılan radyoizotop kaynaklar ve özellikleri .....	58
<b>Tablo 11.</b> Lineer soğurma katsayıları $\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) .....	62

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

PE	: Polietilen
AYPE	: Alçak Yoğunluklu Polietilen
OYPE	: Orta Yoğunluklu Polietilen
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LAYPE	: Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen
XRD	: X-ışını Kırınım Cihazı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
UV-Visible	: Görünür Bölge
EDXRF	: Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans Spektrometre
DMA	: Dinamik Mekanik Analizi
MFI	: Erime Akış İndeksi
c	: Işık Hızı
$\lambda$	: Dalgaboyu
$\nu$	: Frekans
$\mu$	: Lineer Soğurma Katsayısı
I	: Soğurulup Geçen Fotonun Şiddeti
$I_0$	: Gelen Fotonun Şiddeti
$\omega$	: Floresans Verimi
e+	: Pozitron
x	: Kalınlık
Å	: Ångström
$\tau$	: Fotoelektrik Soğurma Katsayısı
$\sigma$	: Saçılma Soğurma Katsayısı
R	: Dedektör Rezölasyonu
W	: Yarı Maksimumda ki Puls Genişliği
V	: Ortalama Genişlik

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Maddenin en küçük yapı taşı olan atomların bir zincirin halkalar gibi birbirine bağlanarak oluşturduğu büyük molekül yapılı sentetik maddelere plastik (polimer) adı verilir. Plastik terimi genelde sanayide kullanılan bir terimdir, bilimsel olarak polimer ile aynı anlama gelir. Plastikler, belirli bir biçimde şekillendirilen veya kalıplanan yapay bir malzeme grubudur. Alüminyum, bakır gibi birçok metal türü olduğu gibi polietilen, naylon gibi birçok da plastik türü bulunmaktadır.

Plastikler, temel olarak üç gruba ayrılırlar. Bunlar termoplastikler, termoset plastikler ve polimer alaşımlarıdır. Termoplastik denilince ısıtılıp tekrar soğutulduğunda eski şeklini alabilen, termoset ise ısıtılıp soğutulduğunda eski şeklini alamayan, bozulan maddeler olarak anlaşılır. Polietilen malzemeler termoplastik sınıfına girmektedirler. Genellikle bütün polietilenler dayanıklı, bükülebilir malzemelerdir ve özellikleri kabaca yağlı kösele veya meşin özelliklerine yakındır. Elektriksel özellikleri ile asit ve bazların çoğuna, tuzlara, solventler dışında birçok organik malzemelerle eriyiklere kimyasal dirençleri mükemmeldir. Fakat oldukça düşük sıcaklıklarda yumuşamaya başlayarak mekanik özelliklerini kaybederler ve bu sebeple 60 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmamalıdır. Üretim esnasında 290 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kimyasal bozulma başlayabileceği dikkate alınmalıdır. Polietilenlerin özellikleri büyük çapta molekül ağırlığına bağlıdır. Molekül ağırlığı arttıkça daha sert ve daha rijit ürünler elde edilir (Evans, 1970).

Yüz yılımızın son çeyreğinden itibaren plastik malzemelerin tüm dünyada ve ülkemizde kullanım alanları, buna bağlı olarak tüketim miktarları yüksek artış göstermiştir. Bu artışın temelinde plastik malzemelerin düşük spesifik ağırlıkları, kolay işlenebilirlikleri, dielektrik özellikleri ve kimyasallara karşı dayanıklılıkları yatmaktadır. Plastik malzemelerin kullanımındaki yüksek artışına paralel olarak artan araştırma çalışmalarıyla plastik malzemelerin termal ve mekanik özellikleri her geçen gün iyileşmekte ve farklı katkı maddeleriyle gerek malzeme özellikleri yönünden, gerekse birim maliyet yönünden plastik malzemelerin önemi her geçen gün artmaktadır (Ertürk, 2007).

Bugünlerde polietilenler sağlamlığı, kullanışlılığı ve limitsiz uygulama potansiyeline sahip olması sebebiyle hemen hemen her sektörde kullanılmaktadırlar. Kısaca değinmek gerekirse sera örtüsü, ambalaj filmi, ev eşyası, oyuncak ve naylon torba gibi birçok alanları sıralayabiliriz. Bu sebeple polietilen malzemelerin özelliklerini çok iyi belirleyip, polietileni bu özellikler üzerinde ve kullanım alanlarında daha verimli hale getirmek gerekir.

Plastik hammaddeler çeşitli yöntemlerle ürünlere dönüştürülürken nihai ürünün, önceleri sadece maliyetleri azaltmak adına, günümüzde aynı zamanda da kalitesini iyileştirmek (var olan fiziksel, ısıl, elektriksel ve mekanik özelliklerini amaca uygun hale geliştirmek) için şekillendirme esnasında ana plastiğe bir takım katkı ve/veya dolgu maddeleri ilave edilmektedir (Şahin, 2009).

Polietilen (naylon) ürünlerine katkı maddeleri dünyada olduğu gibi ülkemizde de yıllardır kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada dolgu maddesi olarak bor ve barit mineralleri tercih edildi. Ülkemizde bor, dünya üzerindeki bor minareli rezervinin % 72'ine sahip olması, 200'den fazla bor türevinin, 250 dolaylarındaki kullanım alanlarında yaygın olarak kullanılması ile önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de barit yatakları ise dünya standartlarına göre gerek renk özellikleri gerekse tenör ve içerdiği yabancı maddeler bakımından yüksek kaliteli olarak bilinmektedir.

Bu çalışmada alçak yoğunluklu polietilen malzemesine farklı oranlarda bor ve barit minerali katkısı yapılarak elde edilen katkılı polietilen örneklerinin optik geçirgenlikleri incelendi ve lineer soğurma katsayılarının belirlendi.

## **1.2. Literatür Özeti**

Polietilen malzemelere farklı dolgu maddeleri katkılanarak elde edilen örneklerin mekaniksel özellikleri, termal ve elektriksel iletkenliği üzerinde pek çok çalışma yapılmış ve ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmaların kısa özeti aşağıda verilmiştir.

M. Rusu ve arkadaşları, çinko tozu katkılayarak elde ettikleri yüksek yoğunluklu polietilen bileşiklerini mekanik ve termal özellikleri açısından karakterize etmişlerdir. Elde ettikleri bileşikler genel olarak katkılanmamış polimerlere kıyasla zayıf mekanik özellikler sergilemiş, yoğunlukları ve sertlikleri daha fazla olmuştur. Termal dağılımı ve termal iletkenliği artmış ve öz ısı ise azalma göstermiştir (Rusu vd., 2001).

W. Thonruang ve arkadaşları, grafit, karbon fiber, grafit ve karbon fiber karışımlarını yüksek yoğunluklu polietilene katkı yaparak elde ettikleri örneklerin elektriksel iletkenliklerini ve mekaniksel özelliklerini araştırmışlardır. Katkı tiplerinin ve bileşiklerin etkilerini elektriksel iletkenlik, kompozit morfolojisi ve mekanik özellikleri açısından incelemişler ve yapı-özellik ilişkilerini belirlemek için bu etkiler arasında korelasyon yapmışlardır. Yüksek yoğunluklu polietilen-grafit bileşiklerine karbon fiberin eklenmesinin aynı katkı konsantrasyonlarında yüksek yoğunluklu polietilen-grafit bileşiğine göre iletkenliği artırdığını belirlemişlerdir (Thonruang vd., 2002).

M. Kim ve S. Lee, alçak yoğunluklu polietilen filmlerine nişasta katkılayarak elde ettikleri malzemelerin mekanik özelliklerini ölçmüşler ve yerli patates nişastası içeren polietilen filmlerle karşılaştırmışlardır. XRD ve SEM ölçümlerini gerçekleştirerek nişasta katkılanmasının kristalleşmeyi etkilemediğini gözlemlemişlerdir (Kim ve Lee, 2002).

D. Kumlutaş ve arkadaşları, yüksek yoğunluklu polietilen bileşiklerine alüminyum katkısı yaparak elde ettikleri kompozit malzemenin termal iletkenlik etkisini katkı konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak araştırmışlardır. Elde edilen sonuçları deneysel sonuçlarla, var olan teorik sonuçlarla ve deneysel modellerle karşılaştırmışlardır. Termal iletkenliği değiştirilmiş bir sıcak tel tekniği ile ölçmüşlerdir. Sonuç olarak nümerik sonuçların, deneysel değerlerin ve bütün modellerin küçük tanecik içeriğinde birbirlerine göre yakın değerlerde olduğunu göstermişlerdir. Tanecik içeriği % 10'dan daha büyük olduğunda termal iletkenlik etkisinin üstel olarak arttığını tayin etmişlerdir (Kumlutaş vd., 2003).

I. Krupa ve arkadaşları, alçak yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu polietilene grafit katkılayarak elde ettikleri malzemelerin elektriksel iletkenliğini, termal iletkenliğini ve mekaniksel özelliklerini araştırmışlardır. DSC ölçümlerinde katkıların, polietilen matrislerin kristallik derecesinde önemli bir etki etmediğini göstermişlerdir. Ölçüm sonuçlarına göre bileşiklerde grafit içeriğinin artmasıyla termal iletkenliğin lineer olmayacak bir şekilde arttığını belirlemişlerdir. Katkılı yüksek yoğunluklu polietilenin termal iletkenliği, kristallik derecesinin yüksek olduğundan dolayı bütün konsantrasyon aralıklarında katkı alçak yoğunluklu polietilenin termal iletkenliğinden yüksek olduğunu göstermişlerdir (Krupa vd., 2004).

A. S. Luyt ve arkadaşları, alçak yoğunluklu polietilen ve lineer düşük yoğunluklu polietilene farklı bakır tozu içerikleri katkılayarak eriyik karıştırma yöntemi



ile hazırlanan bileşiklerin termal ve elektriksel iletkenlikleri ile mekaniksel özelliklerini incelemişlerdir. Bakır tozu taneciklerinin dağılımları hem düşük hem de yüksek bakır içeriklerinde kısmen homojen olduğunu göstermişlerdir. DSC sonuçları bakır tozu içeriğinin bu bileşiklerdeki alçak yoğunluklu polietilen ve lineer düşük yoğunluklu polietilenin erime sıcaklıklarına çok az etki ettiğini tayin etmişlerdir. Bileşiklerin termal ve elektriksel iletkenlikleri, saf polietilen matrise göre daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Genel olarak, elde edilen bileşiklerin katkı yapılmamış polimerlere kıyasla zayıf mekaniksel özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir (Luyt vd., 2006).

W. Zhou ve arkadaşları, bor nitrid ile güçlendirilmiş yüksek yoğunluklu polietilen bileşiklerin termal iletkenliğini, yüksek yoğunluklu polietilenin içinde bor nitrid taneciklerinin özel bir dağılım durumu altında araştırmışlardır. Bileşiklerin termal iletkenliği üzerinde bor nitrid içeriğinin, yüksek yoğunluklu polietilenin tanecik büyüklüğünün ve sıcaklığın etkilerini tartışmışlardır. Bileşiklerin termal iletkenliğinin katkı içeriğinin artmasıyla arttığını ve Maxwell-Eucken ve Bruggeman modellerindeki öngörülerden belirgin olarak saptığını belirlemişlerdir. Yüksek yoğunluklu polietilenin tanecik büyüklüğünün, bileşiklerin termal iletkenliği üzerinde etkisi olduğunu göstermişlerdir. Bunun sebebinin ise yüksek yoğunluklu polietilenin farklı boyutu aynı bor nitrid içeriğinde birim hacim başına farklı yüzeyler arası bir alan içinde olduğunu açıklamışlardır. Katkılandırılmış büyük yüksek yoğunluklu polietilen tanecikli bileşiklerin küçük yüksek yoğunluklu polietilen tanecikli bileşiklere göre daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir (Zhou vd., 2007).

C. Ge ve arkadaşları, polietilen tereftalik ve barit nano kompozitlerini doğrudan erime bileşik yöntemi ile hazırlamışlar ve malzemelerin homojenlik dağılım yapısını, alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ile incelemişlerdir. Dinamik mekaniksel özelliklerini ve kristalleşme üzerinde polietilen tereftalik-barit yüzeyler arası etkileşim etkilerini DMA ve DSC yöntemi ile araştırmışlardır (Ge vd., 2009).

T. K. Dey ve M. Tripathi, silikon tanecikleri (silisyum tozu) ile güçlendirilmiş yüksek yoğunluklu polietilen bileşiklerinin termal iletkenliğini ve termal genleşme katsayısını araştırmışlardır. Kompozit malzemeleri uygun hacimsel orandaki bileşikler ile karıştırarak, kalıplara dökerek ve sıcak pres uygulayarak üretmişlerdir. Yüksek yoğunluklu polietilenin silisyum tozu ile birleşmesiyle bileşiklerin hem termal dengesinin hem de termal iletkenliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla bileşiklerin termal genleşmesi lineer olarak artarken, yüksek yoğunluklu

polietilen içindeki silisyum içeriğinin artmasıyla termal genişmede önemli bir azalma olduğunu belirlemişlerdir. Bileşiklerin etkin termal iletkenliği ve termal genişmesi için elde edilen sonuçları çeşitli teorik modellerin ışığında tartışmışlardır (Dey ve Tripathi, 2010).

W. Zhou, termal iletken bir lineer alçak yoğunluklu polietilene alüminyum nitrid katkılandırması yaparak elde ettiği bileşikleri sıcak pres kalıbında hazırlamıştır. DSC sonuçlarına göre katkılanan alüminyum nitridin lineer alçak yoğunluklu polietilenin kristallik derecesini azalttığını, erime sıcaklığına etki etmediğini, termal iletkenliğini artırdığını ve termal iletkenliğin artan sıcaklıkla yavaşça azaldığını gözlemlemiştir. Elde edilen bileşiklerin yüksek katkı konsantrasyonlarında çok düşük elektrik iletkenliğine ve yüksek elektriksel yalıtım özelliklerine sahip olduğunu belirlemiştir. (Zhou, 2011).

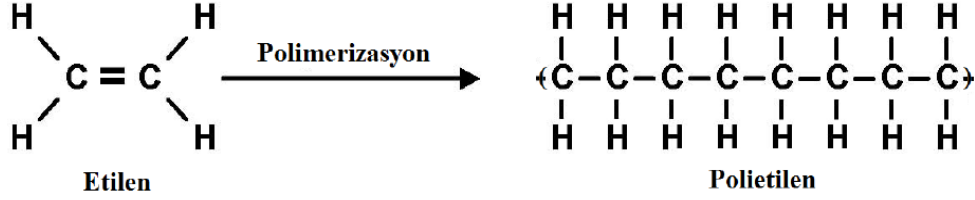
Y.K. Shin ve arkadaşları, bor nitrid katkılı yüksek yoğunluklu polietilen bileşiklerde termal özellikler üzerinde tanecik büyüklüğünün ve bor nitrid içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Bileşiklerin termal iletkenliklerinin ve termal difüzyon hızlarının bor nitrid içeriğine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Aynı miktardaki bor nitrid içerikli bileşiklerde bor nitridin tanecik büyüklüğünün artmasıyla termal iletkenliğin ve termal difüzyon hızının arttığını belirlemişlerdir. Farklı boyuttaki bor nitrid taneciklerini içeren bileşiklerin tek boyuttaki bor nitrid taneciklerini içeren bu bileşiklerden daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğunu tayin etmişlerdir. Bileşiklerin özgül ısı kapasitelerinin de ayrıca bor nitrid içeriği ve tanecik büyüklüğü ile etkilendiğini göstermişlerdir. Bileşiklerin etkin termal iletkenliklerini tahmin etmek için birkaç teorik model uygulamışlar ve tahmin edilen bu değerleri elde edilen deneysel değerlerle karşılaştırmışlardır (Shin vd., 2013).

### **1.3. Polietilen Malzemeler**

#### **1.3.1. Polietilen**

Etilen, petrokimya endüstrisinin başlıca ürünlerinden bir tanesidir. Etilenin polimerizasyonu sonucu oluşan bir polimer olan polietilen, plastik ürünleri arasında dünyada en yaygın kullanımı olan polimer türüdür. Çok çeşitli ürünlerde kullanılan bir termoplastik olup termoplastik ailesinin en eski polimerlerinden biridir. İsmi

monomer haldeki etilenden alır. Etilen kullanılarak polietilen üretilir. Etilenin polimerizasyonu Şekil 1’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Etilenin polimerizasyonu

Polietilen, beyazca, yarı geçirgen, yumuşatılabilen ve kimyasal mukavemeti yüksek bir polimerdir. Plastik endüstrisinde genelde ismi kısaca PE olarak kullanılır. 2010 yılı itibariyle Avrupa’da ki plastik talebinin % 29’unu polietilen sağlamıştır (Çengel, 2013; URL-1, 2014).



Şekil 2. Polietilen

### 1.3.2. Polietilenin Çeşitleri ve Özellikleri

Polietilenler termoplastik ailesinin en eski polimerlerinden biri olup önceleri sadece alçak yoğunluklu üretilirken gelişim göstermiş ve yüksek yoğunluklu, lineer, orta yoğunluklu olmak üzere üç yeni polietilen türü aileye eklenmiştir. Yeni türlerin eklenmesi, yani polietilenin iyileştirilmesi ile oyuncaktan, ev eşyasına bidonlardan, poşetlere kadar pek çok alanda dayanıklılık, sağlamlık, kolay işlenebilme ve dielektrik

özelliklerinin üstünlüğü ile günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Cengiz, 2012; URL-2, 2014; URL-3, 2014).

Piyasada yoğunluklarına göre polietilenler:

- Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)
- Orta Yoğunluklu Polietilen (OYPE)
- Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)
- Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen (LAYPE)

Her dört polietilen türünde de monomer etilen olup, polimer molekülünün değişik yapıları ortaya çıkmaktadır. Polimer molekülünü meydana getiren zincir şeklindeki makro moleküllerin değişik dallanma durumları polietilenin çeşitliliğini sağlar. Örneğin LAYPE'de dallanma yok denecek kadar az, YYPE'de biraz fazla, OYPE'de daha fazladır. AYPE'de ise dallanma maksimum düzeydedir. Dallanmanın uzun veya kısa oluşu polimer özelliklerini etkiler ve bu polimer zincirindeki dallanmalar kristalliğin derecesini tayin eder.

Lineer ve yüksek yoğunluklu polietilende dallanma çok az olup molekül yapısı doğrusaldır. Dallanmanın az olduğu molekül yapılarında kristalinite genellikle daha fazladır. Polimer içindeki kristallik arttıkça sertlik ve mukavemet artar, mekanik ve kimyasal özellikler iyileşir ve sıvı ile gazlara karşı dayanıklılık artar.

Piyasada satılan PE özellikle şeffaf olanıdır. Şeffaflık derecesiyle yoğunluğun ilgisi vardır. Yoğunluk arttıkça şeffaflık artar. Şeffaflık arttıkça da yumuşama sıcaklığı yükselir.

Polietilen malzemelerin özellikleri:

- Hafiflik ve kullanım kolaylığı
- Esneklik
- İyi kaynak özellikleri
- Dayanıklılık ve Sağlamlık
- Basınç altında ek yerlerinden çıkma ve kopma olmaması
- Çatlamaya karşı direnç
- Sıfır korozyon
- Kimyasal etkilere karşı direnç
- Düşük sürtünme
- Dielektrik özellikleri bakımından üstünlük
- Kolay işlenebilirlik

Polimerleri en iyi tanımlayan özelliği o polimerin ortalama molekül ağırlığıdır. Ortalama molekül ağırlığı, yaklaşık olarak erime indeksiyle belirlenir. Erime indeksi molekül ağırlığıyla ters orantılıdır. Yüksek molekül ağırlıklı polietilenin sertliği ve sağlamlığı daha fazla, erime akış indeksleri (MFI) daha düşüktür. Genellikle bütün polimerler için geçerli olan kurala göre, yüksek molekül ağırlığı, düşük erime akış indeksi ile eşdeğerdir. Polimerlerin molekül ağırlıkları Gel Permeation Chromotography (GPC) cihazı ile ölçülür. Bu cihaz teknolojinin son ürünlerinden biri olup çalıştırılması çok özeldir (URL-4, 2014).

### **1.3.3. Polietilenin Uygulama Alanları**

Polietilen film olarak ambalaj sanayinde, çeşitli malzemelerin saklanması, kırılmaması, su almaması ve korunması amacıyla kullanılır. Enjeksiyon kalıplama hem yüksek hem alçak yoğunluklu polietilen şekillendirilmesinde kullanılan bir üretim tekniğidir. Alçak yoğunluklu polietilen yumuşaklığın önemsendiği yerlerde, yüksek yoğunluklu polietilen ise sertlik ve yüksek direnç isteyen yerlerde kullanılır. Polietilenden kalıplama işlemi ile deterjan ve çeşitli kimyasal malzemeler için şişeler ve kaplar yapılır. Polietilen yalıtkan özellik gösterdiğinden kablo ve tel kaplamalarında da kullanılmaktadır. UV ışınları polietileni etkilediğinde kablo izolasyonu için polietilene % 2 – 5 oranında karbon siyahı katılarak, polietilenden yapılan izolasyonun dayanıklı olması sağlanır. Korozyona karşı dayanıklıdırlar. Bu şekliyle polietilen tel, kablo (telefon kablosu vb.) izolasyonun da ve boru üretiminde kullanılır (Demirci, 2009).

Polietilen üretimi yapan firmaları ve ürünlerin ticari isimleri; Türkiye’de PETKİM *Petilen*, İngiltere’de ICI firması *Alkathene*’yi, SHELL *Carlona*’yı, BAKELITE *Bakelite*’yi, A.B.D.’de DuPONT firması *Alathon*’u, Almanya’da BASF *Lupolen*’i, DYNAMIT NOBEL *Trolen* olarak sıralanabilir (Friedrich, 1930; Kricheldorf, 2005).

### **1.3.4. Alçak Yoğunluklu Polietilen**

AYPE bir otoklavda veya boru tipi tubular reaktörde, etilen monomerlerinin 1200 – 3000 atm basınç ve 130 – 350 °C sıcaklıkta, organik peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir.

AYPE üretmek için yüksek basınç proseslerinde katalizör olarak, oksijen veya peroksit katalisti kullanılır. Polietilen üretmek için gerekli saf etilen, pompalar yardımıyla 150 MPa'a basılarak 190 °C'de ki tubuler reaktörde beslenir. Aynı anda reaktöre katalist eklemesi de yapılır. Reaksiyon bir çözelti içinde gerçekleşir. Buradan çıkan karışım yüksek basınç separatörüne gelir. Burada reaksiyona uğramış etilen polietilen olarak düşük basınç separatörüne yollanırken, reaksiyona girmeyen etilen sisteme geri beslenmek üzere önce kompresöre, oradan tubular reaktöre yollanır. Düşük basınç separatöründen çıkan ürün ekstrudera beslenir. Ekstruderda kalıplanan ürün, önce soğutulur sonra kurutulur (Cengiz, 2012; URL-2, 2014).

**Tablo 1.** Alçak yoğunluklu polietilenin özellikleri

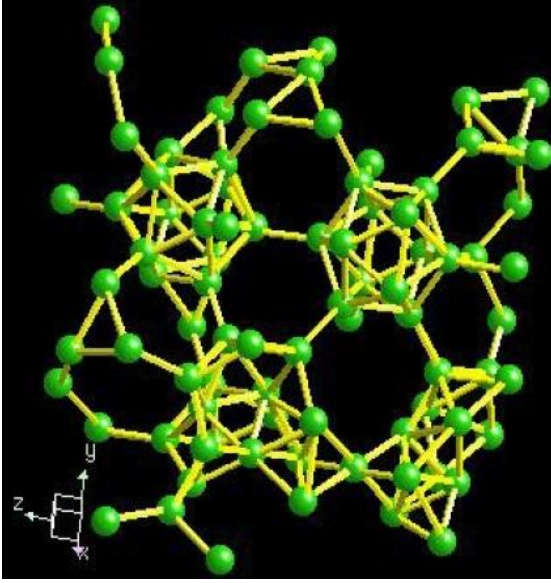
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	0,91 – 0,93
Elastiklik Modülü	0,1 – 0,26
Erime Noktası (°C)	98 – 120
Dayanma Gücü / MPa	4,1 – 1,6

Alçak yoğunluklu polietilen günümüzde, ağır hizmet torbası, sera örtüsü, ambalaj filmi, kablo kılıflama, ev eşyası, oyuncak, boru, hortum, tüp, şişe, kumaş ve metal kaplamaları, rotasyonlar, kalıplama maddeleri, her çeşit streç ve şirink film, poşet, peçete için naylon torba vs. üretiminde kullanılır (URL-2, 2014).

## 1.4. Bor Mineralleri

### 1.4.1. Bor

Bor, periyodik tabloda B simgesiyle gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81, yoğunluğu 2,84 g/cm<sup>3</sup>, ergime noktası 2300 °C ve kaynama noktası 2550 °C olan, metalle ametal arası yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir. Genellikle doğada tek başına değil, başka elementlerle bileşikler halinde bulunur. Oksijenle bağ yapmaya yatkın olması sebebiyle pek çok değişik bor – oksijen bileşimi bulunmaktadır. Bu bileşimlerin genel adı borattır. Bor, hexagonal bir yapıya sahiptir (Yılmaz, 2002).



Şekil 3. Bor'un kristal yapısı

#### 1.4.2. Bor Mineralinin Çeşitleri ve Özellikleri

Bor, element olarak doğada  $B^{10}$  ve  $B^{11}$  olarak adlandırılan iki ayrı kararlı izotoptan oluşmaktadır. Bu izotopların tabiatta bulunma oranları sırasıyla % 19,1 – 20,3 ve % 79,7 – 80,9'dur.  $B^{10}$  izotopu, çok yüksek termal nötron tutma özelliği gösterir. Böylelikle nükleer malzemeler ve nükleer enerji santrallerinde kullanılabilir. Bor, element olarak çok çeşitli bileşik yapma kapasitesine ve nötronları absorbe etme özelliğine sahip olup, bu nedenle sanayinin vazgeçilmez ham maddelerinden biridir.

Bor mineralleri, yapılarında farklı oranlarda bor oksit ( $B_2O_3$ ) içeren doğal bileşiklerdir. Doğada yaklaşık 230'dan fazla bor minerali mevcut olup, bunların ticari öneme sahip olan başlıcaları; tinkal ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ), kolemanit ( $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ ), kernit ( $Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$ ), üleksit ( $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$ ), pandemit, borasit, szaybelit ve hidroborasittir. Türkiye'de yaygın olarak bulunan bor mineralleri ise; tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bu mineraller, öncelikle fiziksel işleme tabi tutularak zenginleştirilir (konsantre bor), daha sonra rafine edilerek çeşitli bor kimyasallarına dönüştürülür.



**Şekil 4.** Bor mineralleri

Bor mineralleri iki şekilde bulunur. Bunlardan birincisi kristal şekli olup parlak ve siyah renklidir. Çok sert olan bu şeklin kristal yapısı tespit edilememiştir. Ancak birbirine sıkıca bağlanmış üç boyutlu bor atomlarından meydana gelmiş gibidir. İkincisi ise, daha az yoğun olan şekilsiz hali olup yeşilimsi, sarı, tatsız ve kokusuz bir tozudur.

**Tablo 2.** Bor elementinin özellikleri

Atom Ağırlığı (g/mol)	10,82
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,84
Erime Noktası (°C)	2300
Kaynama Noktası (°C)	4002

#### 1.4.3. Dünya ve Türkiye Bor Rezervleri

Yüksek tenörde ki bor cevheri çok kolay ve ekonomik olarak çıkarılmakta ve işlenmektedir. Öyle ki; atık barajlarında mevcut sulu atıkların B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü bile, borun lokomotifli konumundaki ülkelerin işlettikleri cevher ve göl sularındaki B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenöründen çok daha yüksektir. Bu bakımdan, bor cevheri ülkemiz açısından daha verimli değerlendirilmesi gereken önemli bir potansiyeldir.

Ülkemiz, % 100 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında dünya bor üretiminde ABD'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Ham cevher üretiminde Türkiye dünya üretiminin yarısından fazlasını gerçekleştirmektedir. 1988 – 2000 yılları arası Türkiye'nin ham cevher üretimi devamlı olarak ABD'den fazla olmuştur.



Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'dadır. Rezerv açısından bakıldığında B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazda 363 milyon ton görünür, 522 milyon ton muhtemel olmak üzere toplam dünya bor rezervi 885 milyon tondur. Türkiye'nin bor rezervi 224 milyon ton görünür, 339 milyon ton muhtemel olmak üzere toplam 563 milyon tondur. Dünya toplam bor rezervinde Türkiye'nin payı % 64, görünür rezervde % 62 olmaktadır. ABD ise 40 milyon ton görünür, 40 milyon ton muhtemel rezervle dünya toplam bor rezervinin % 9'una, görünür rezervin de % 11'ine sahiptir. Dünya ve Türkiye'nin bor rezervleri ve ömürleri Tablo 3'te verilmektedir (Miçillioğlu, 2010).

**Tablo 3.** Dünya ve Türkiye bor rezervleri ve ömürleri (Miçillioğlu, 2010; Addemir, 2002; Köse vd., 2002)

	Görünür Ekonomik Rezerv	Muhtemel Rezerv	Toplam Rezerv	Toplam Rezervdeki Pay (%)	Rezerv Ömrü (Yıl)
Türkiye	224.000	339.000	563.000	64	389
ABD	40.000	40.000	80.000	9	55
Rusya	40.000	60.000	100.000	11	69
Çin	27.000	9.000	36.000	4	25
Şili	8.000	33.000	41.000	5	28
Bolivya	4.000	15.000	19.000	2	13
Peru	4.000	18.000	22.000	2	15
Arjantin	2.000	7.000	9.000	1	6
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	2	10
Toplam	363.000	522.000	885.000	100	610

#### 1.4.4. Bor Mineralinin Uygulama Alanları

Dünyada bor tüketimi bölgesel olarak değişmektedir. Bor minerali Kuzey Amerika'da cam, Avrupa'da deterjan ve Latin Amerika ve Asya'da seramik endüstrisinde kullanılmaktadır. Bor minerallerinin kullanım alanı ve miktarında ABD ve Batı Avrupa'da farklılıklar gözlenmektedir. ABD'de bor tüketiminin % 68'i cam, % 5'i deterjan, % 3,5'i seramik, % 3,5 tarım ve % 3,5 alev geciktirici endüstrisinde yapılmaktadır. Avrupa'da boratların en büyük kullanım alanı deterjan sanayidir.

Avrupa’da tüketimin % 35’i deterjan, % 23’ü cam, % 10’u seramik ve % 2’si tarım endüstrisinde.

Türkiye’de boratların tüketimi çok düşük seviyede olup, dünya tüketiminin %1 – 2’si civarındadır. 2000 yılı itibariyle Türkiye’de borun % 27’si demir – çelik, % 12’si cam ve cam elyafı, % 38’i seramik ve firit, % 12’si deterjan, % 5’i kimya ve % 6’sı diğer sektörlerde tüketilmiştir.

Cam sanayisinde; bor erimiş haldeki cam ara mamülüne katıldığında onun vizkozitesini artırıp, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükselttiğinden ısıya karşı izolasyonun gerekli görüldüğü cam mamüllerine katılarak kullanılmaktadır.

Seramik sanayisinde; borla kaplanan emaye onun paslanmasını önlemesi ve seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılması açısından kullanılmaktadır.

Temizleme ve beyazlatmada; sabun ve deterjanlarda, mikrop öldürücü, su yumuşatıcı, beyazlatıcı etkisi nedeniyle kullanılmaktadır.

İnşaat ve çimento sanayisinde; çimento için dayanıklılık artırıcı ve izolasyon özelliği sağlaması açısından kullanılmaktadır (daha sağlam, depreme-ısıya dayanıklı binaların yapılmasında, yalıtımda). Ayrıca bor katkılı çimentonun diğer çimentoya göre daha dayanıklı olduğu ve daha hızlı soğuduğu kanıtlanmış ve bu özelliği sebebiyle yol çalışmalarında kullanımı önem kazanmıştır.

Yanmayı önleyici/geciktirici madde olarak ise; bor, erime noktasının çok yüksek olması ve bu nedenle yanmaya karşı oldukça dayanıklı olması sebebiyle yanmayı önleyici/geciktirici madde olarak kullanılmaktadır.

Nükleer uygulamalarda; borun nötron soğurma gücünün çok yüksek olması sebebiyle atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titanbor alaşımları kullanılmaktadır. Reaktör aksamları, nötron soğurucular, reaktör kontrol çubukları, nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı olarak kullanılmaktadır.

Enerji sektöründe; hidrojen üretimi ve depolamasında, motor yakıtı ve motor yakıtı katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Enerji ile ilgili araştırmalar ve projeler henüz deney aşamasında olmakla birlikte ancak temiz bir çevreyle birlikte düşünülebilecek gelişimin ve üretimin içinde yerini alacaktır.

Tarım alanında; bor mineralleri bitki örtüsünün gelişmesini arttırmak veya önlemek maksadıyla kullanılmaktadır. Bor, değişken ölçülerde birçok bitkinin temel besin maddesidir.

Makine ve metalurjide; bor kimyasalları yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz bir sıvı oluşturma özelliğinden dolayı, koruyucu bir cüruf oluşturucu ve erimeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır. Özellikle çeliğin sertliğini artırıcı madde olarak kullanılmaktadır. Bor, makine/metalurji sanayisinde demir esaslı malzemelerden yapılan makine parçalarında elemanların aşınmaya, yüzey basıncına, korozyona karşı dirençli olması için yüzeylerinin sertleştirilmesinde kullanılmaktadır.

Sağlık sektöründe; BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) (Bor Nötron Yakalama Tedavisi) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesinde kullanılmakta ve sağlıklı hücrelere zararının minimum düzeyde olması nedeniyle tercih nedeni olabilmektedir.

21. Yüzyılın petrolü olarak nitelenen bor madenleri, Türkiye'nin tek stratejik önemi olan maden varlığıdır. Yerine ikamesi olmayan bor madenleri uzay teknolojisinden enerji sektörüne, nükleer teknolojiye savunma sanayisine kadar çok geniş bir alanda kullanılan madendir (Yenialaca, 2009).

#### 1.4.5. Üleksit

Üleksit, tek tek büyük kristallerden ziyade ipek gibi lif demetlerini teşkil ederler. Beyaza çalan şeffaf bir mineral olup görünüşüne de uygun olarak “pamuk gülü” diye adlandırılmaktadır. Üleksit soğuk suda az, sıcak suda daha fazla, asit içinde ise kolayca erir. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde, dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır.  $B_2O_3$  içeriği ise % 43'tür.



Şekil 5. Üleksit

**Tablo 4.** Üleksit'in özellikleri (URL-6, 2014)

Sertlik	2,5
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	1,96

## 1.5. Barit Mineralleri

### 1.5.1. Barit

Genellikle beyaz renklidir, fakat sarı esmer, pembe, açık yeşil, açık mavi, gri ve siyah renkli olanlarına da rastlanmaktadır. Atom ağırlığı 137,06 olan baryum elementi yer kabuğunda bol miktarda bulunmaktadır. Kimyasal bileşimi BaSO<sub>4</sub> şeklinde olup, % 65,70 BaO, % 34,30 SO<sub>3</sub> içerir (Ayan, 1979). Barit suda hemen hemen hiç erimez. Soğuk asit içinde erimeyen barit kaynayan sülfürik asit içinde eriyebilir. Barit metalik olmayan minerallerin en ağırıdır (Coşkun, 2010). Barit genellikle kireç taşlarında ki kurşun – çinko damarlarında, sıcak kaynak yataklarında ve hematit cevheriyle birlikte oluşur.



**Şekil 6.** Barit minerali

Yüksek yoğunluğu, kimyasal etkilere dayanıklılığı, x ve  $\gamma$  ışınlarını absorblayıcı özelliğiyle dikkat çeken barit pahalı olmayan bir mineraldir. Ülkemizde ikincil mineral olarak kurşun, çinko, fluorit, demir, bakır ve gümüş cevherleri içerisinde bulunmaktadır.

**Tablo 5.** Barit mineralinin özellikleri (Ayan 1979)

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	4,2 – 4,3
Sertlik	2,5 – 3,5
Erime Noktası (°C)	1580
pH Değeri	8 – 10
Özgül Ağırlığı (kg/dm <sup>3</sup> )	3,9 – 4,6

### 1.5.2. Dünya ve Türkiye Barit Rezervleri

Dünyada barit rezervi 180 – 200 milyon ton olduğu belirtilmiştir. Başlıca rezervler ABD (70 milyon ton) ve Almanya'dadır (7 milyon ton). Türkiye'de bulunan barit yataklarının dünya standartlarına göre gerek tenör gerekse de içerdiği yabancı maddeler bakımından yüksek kaliteli olduğu belirtilmiştir. Türkiye'de özel ve devlet sektörüne ait ruhsatları bulunan Konya, Antalya, İçel, Kütahya, Kocaeli, Eskişehir, Kayseri, Muş, Sivas, İzmir, Trabzon ve Gümüşhane illerine dağılmış barit rezervleri bulunmaktadır. Türkiye'de barit yatakları henüz sistematik bir araştırılmaya tabi tutulmamış yarma ve sondajlarla bloke edilmemiştir (Dolak, 2010).

### 1.5.3. Barit Mineralinin Uygulama Alanları

Baritin kullanım alanları, sondajlık, dolguluk ve kimyasal olarak üç grupta toplanabilir. Bunların da dünya pazarında tüketimi sırasıyla % 90 sondaj, % 7 kimya ve % 3 dolgu sektörüdür.

Baritin ilk kullanımı, yüksek özgül ağırlığı ve beyaz özelliğinden dolayı boya, kâğıt ve cam endüstrilerinde olmuştur, 1926 yılından sonra baritin petrol ve doğal gaz aramalarında kullanılmaya başlamasından itibaren barite olan talep hızla artmıştır. Barit esas olarak petrol sondajlarında çamurun ağırlaştırılmasında kullanılır. Bu çamur sondaj sırasında kat edilen formasyonlara ait kalıntıların yukarı çıkarılmasında, matkap ve tijlerin yağlanmasında, sondaj deliği duvarlarının sağlamlaşmasında ve petrol beklenen seviyelere yaklaşıldığında basınçlı gaz gelişimini dengelemeyi sağlamada kullanılır. Dünyada kullanılan baritin % 90'ı petrol endüstrisinde tüketilmektedir. Petrol sondajlarında sarf edilen baritin miktarı, geçilen formasyonların geçirgenliği ve rastlanan gaz basıncı ile ilişkilidir.

Barit katkı maddesi olarak kâğıt, tual, lastik ve ebonit sanayinde de kullanılmaktadır. Cam endüstrisinde parlaklığı artırmak, mercek ve TV tüpleri üretiminde, plastik sanayinde de plastiğe matlık vermek amacıyla kullanılırken tarım ilaçları üretiminde de inert madde olarak kullanılmaktadır.

Baritin önemli kullanım alanlarından birisi de boya sanayisidir. Yağlı boya üretiminde beyazlatıcı pigment ve inceltici olarak barit kullanılırken kaliteli boya üretiminde sabit beyaz ya da litopon kullanılır. Barit, alevinin yeşil renk vermesinden dolayı havai fişek üretiminde de kullanılır.

## **1.6. Elektromanyetik Spektrumlar**

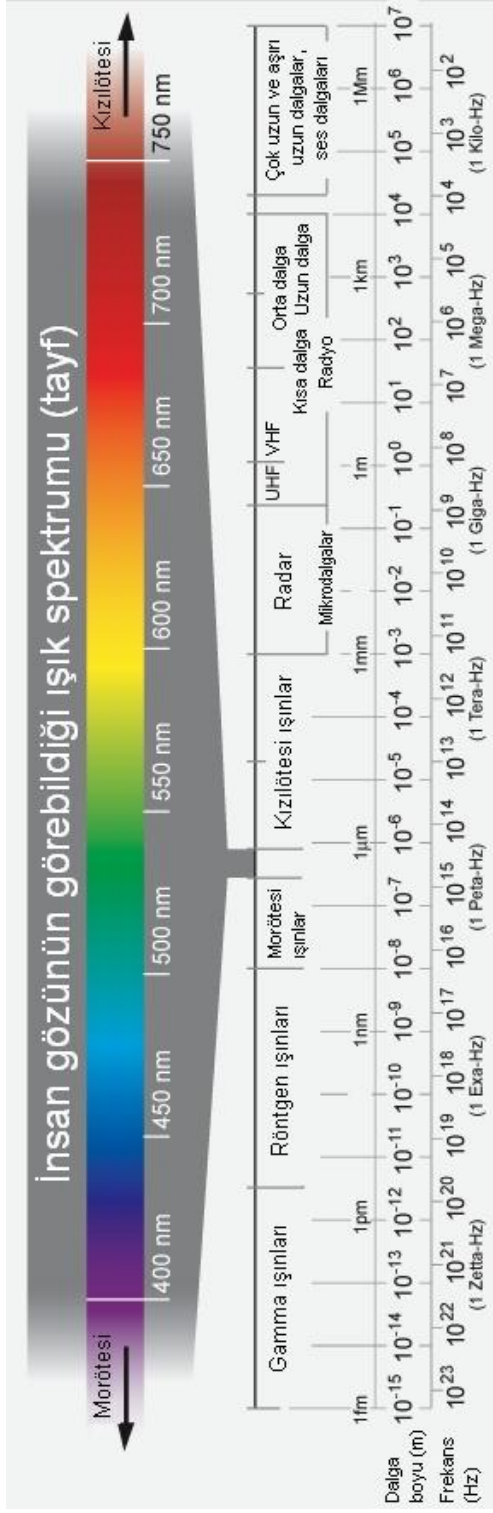
Işığın renklerinin dalga boylarına göre dizilişi anlamında kullanılan spektrum, en genel manada, parçacık ve fotonların enerjilerine, frekanslarına, dalga boylarına veya saçılma açılarına göre şiddet dağılımlarının oluşturduğu desenler olarak tanımlanır.

### **1.6.1. Elektromanyetik Dalgaların Spektrumu**

Bütün elektromagnetik dalgalar boşlukta ışık hızı (c) ile yayıldıklarından frekansları ( $\nu$ ) ve dalga boyları ( $\lambda$ ) birbirlerine,

$$c = \lambda \nu \quad (1)$$

ifadesi ile bağlıdır. Bütün radyasyon şekilleri ivmeli yükler tarafından oluşturulduğundan bir dalga boyu çeşidi ile bitişiğindeki arasında keskin bir ayırım bulunmamaktadır. Elektromanyetik spektrumu gösteren elektromanyetik dalgaların çeşitli tipleri dalga boyları ve frekanslarına göre Şekil 7'de verilmiştir. Dalga tiplerine verilen isimler, basitçe, dalganın içinde bulunduğu spektrum bölgesini tanımlamaya uygun olarak verilmişlerdir.



**Şekil 7.** Elektromanyetik radyasyonlar ve çeşitleri

### **1.6.1.1. Radyo Dalgaları**

Bu tür dalgalar, iletken tellerden geçen ivmeli yüklerin sonucudur. Dalga boyları birkaç mm'den 10 km'ye kadar değişen dalgalardır. LC titreşkenleri gibi elektronik cihazlar vasıtasıyla meydana gelirler. Radyo dalgaları; mikrodalgalar, TV ve FM, kısa, orta ve uzun dalga olarak çeşitli bölgelere ayrılırlar.

### **1.6.1.2. Mikrodalgalar (Kısa Dalgaboylu Radyo Dalgaları)**

1 mm ile 30 cm arasında değişen dalga boylarına sahiptirler ve elektronik cihazlarla meydana getirilirler. Kısa dalgaboylu radyo olduklarından dolayı, havacılıkta kullanılan radar sistemleri ile maddenin atomik ve molekül parametrelerinin incelenmesi için çok uygundur. Mikrodalga fırınlar, bu dalgaların evimizdeki ilginç uygulamasını temsil eder.

### **1.6.1.3. Kızıl Ötesi Dalgalar (Isı Dalgaları)**

1 mm'den görünür ışığın en uzun dalga boyu olan  $7 \times 10^{-7}$  m'ye kadar değişen dalga boylarına sahiptirler. Sıcak cisimler ve moleküller tarafından oluşturulan bu dalgalar, çoğu maddeler tarafından kolayca soğurulurlar. Bir maddenin soğurduğu kızılötesi enerjisi ısı şeklinde kendini gösterir. Çünkü madde tarafından soğurulan bu enerji vasıtası ile, atomların titreşim ve öteleme hareketleri artar. Dolayısıyla da maddede bir ısı artması meydana gelir. Kızıl ötesi radyasyonun, fizik tedavi, kızılötesi fotoğrafçılığı ve titreşim spektroskopisini içeren pratik ve bilimsel uygulamaları vardır.

### **1.6.1.4. Görünür Dalgalar**

Elektromanyetik dalgaların en bilinen şekli olarak, insan gözünün görebildiği spektrum kısmı olarak tanımlanabilir. Işık, atom ve moleküllerdeki elektronların yeniden düzenlenmeleri ile oluşur. Görünür ışığın çeşitli dalga boyları, mordan ( $\lambda \approx 4 \times 10^{-7}$  m) kırmızıya kadar ( $\lambda \approx 7 \times 10^{-7}$  m) değişen renklerle sınıflandırılır. Gözün duyarlılığı dalga boyunun bir fonksiyonudur. Duyarlılık  $5,6 \times 10^{-7}$  m (sarı – yeşil) civarındaki bir dalga boyunda maksimum olmaktadır.



#### **1.6.1.5. Morötesi (Ultraviyole) Dalgalar**

$4 \times 10^{-7}$  m ile  $6 \times 10^{-8}$  m arasındaki dalga boyu aralığını kapsar. Morötesi ışınlar güneş yarıklarının başlıca nedenidir. Güneşten gelen mor ötesi ışının çoğu, üst atmosferdeki veya stratosferdeki atomlar tarafından yutulur. Böylece büyük miktarlardaki morötesi ışınların insanlar üzerinde zararlı etkiler yapması engellenmiş olur. Stratosferin önemli bir bileşeni, morötesi radyasyonun oksijenle tepkimeye girmesi sonucunda oluşan ozon ( $O_3$ )'tür. Bu tabaka öldürücü yüksek enerjili morötesi radyasyonu ısıya dönüştürür ve sonuçta stratosfer tabakası ısınır.

#### **1.6.1.6. X-ışınları**

$10^{-8}$  m ile  $10^{-13}$  m aralığında dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalardır. X-ışınlarının en genel kaynağı, bir metal hedefi, bombardıman esnasında yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıdır. X-ışınları tıpta bir tanı aracı olarak ve belirli kanser türlerinin tedavisinde kullanılır. Aynı zamanda kristal yapının incelenmesinde de kullanılırlar.

#### **1.6.1.7. Gama ( $\gamma$ ) Işınları**

Radyoaktif çekirdekler tarafından ( $^{60}\text{Co}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  gibi) ve belirli nükleer tepkimeler süresince yayılan elektromagnetik dalgalardır. Dalga boyları  $10^{-10}$  m ile  $10^{-14}$  m arasındadır. Bu ışınlar yüksek derecede girginlik özelliğine sahiptirler. Bu nedenle canlı dokular tarafından soğurulduğunda ciddi zararlar oluştururlar. Tedbir olarak bu tür radyasyonun yanında çalışanlar, kalın kurşun tabaka benzeri iyi soğurucu maddelerle korunmalıdır.

#### **1.6.1.8. Kozmik Işınlar**

Enerjileri oldukça büyük ve girginliği yüksek olan ışınlardır. Uzaydan atmosfere her saniyede, yaklaşık  $10^9$  eV enerjili ve hemen hepsi proton olan  $2 \times 10^8$  civarında kozmik ışın parçacıkları gelir. Bunlar atmosferdeki azot ve oksijen gibi atomlarla etkileşerek ikincil parçacıklar meydana getirirler.

Uzaydan gelen kozmik ışın parçacıklarının hemen hepsi deniz seviyesinde kaybolur. Yeryüzündeki kozmik ışın dozu ikincil parçacıklardan meydana gelir. Çok enerjik protonlar atmosfere girdiğinde müyon, elektron, foton ve bazı nötronların bulunduğu yüz milyonlarca parçacıklı bir sağanak hasıl ederler. Kozmik ışınlardan korunmak için kalın beton duvarlı yapılar gerekir.

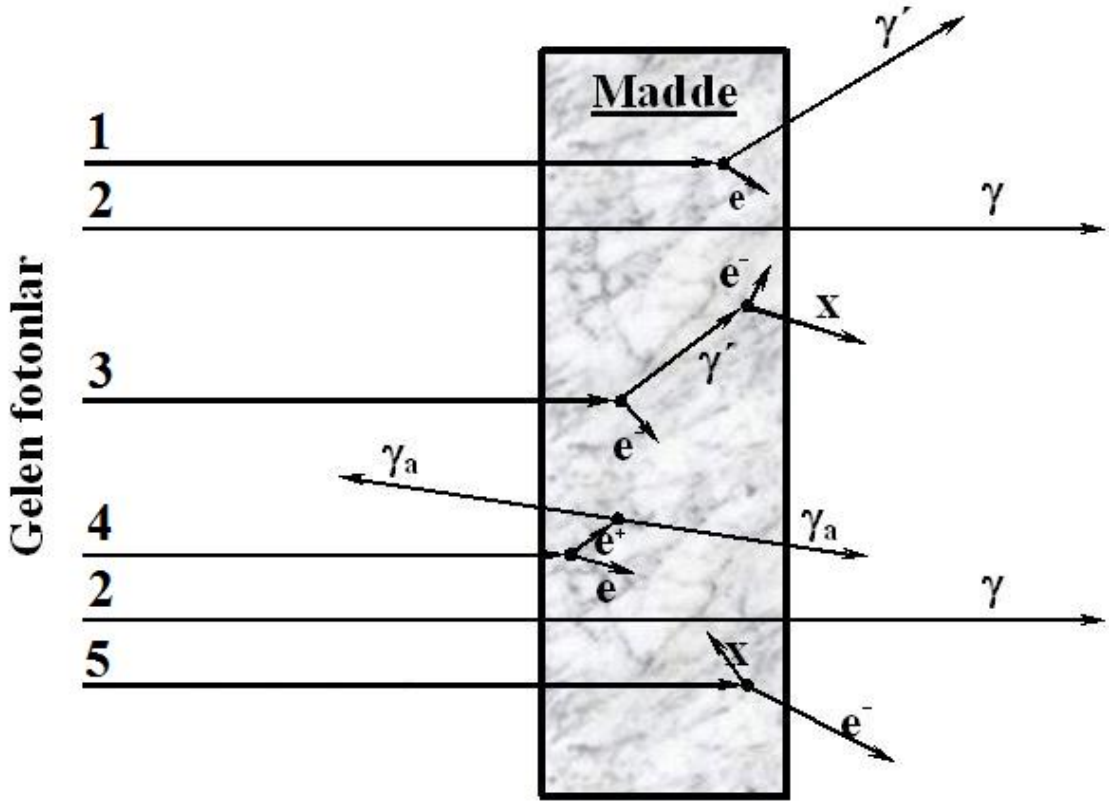
### 1.7. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Tek renkli (monokromatik) bir X veya gama ışını demeti herhangi bir maddeden geçirilecek olursa demetin şiddetinde bir azalma olur.  $I_0$  şiddetinde bir X veya gama ışını demetinin  $dx$  kalınlığındaki bir maddeyi geçtikten sonraki şiddeti  $I$  ise, gelen X veya gama ışını demetinin şiddeti, maddenin  $dx$  kalınlığı ve ışın demetinin içinden geçtiği maddenin cinsine bağlı olarak,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

ile verilmektedir. Burada,  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) lineer soğurma katsayısı olup birim kalınlık başına düşen soğurulma olarak tarif edilmektedir.

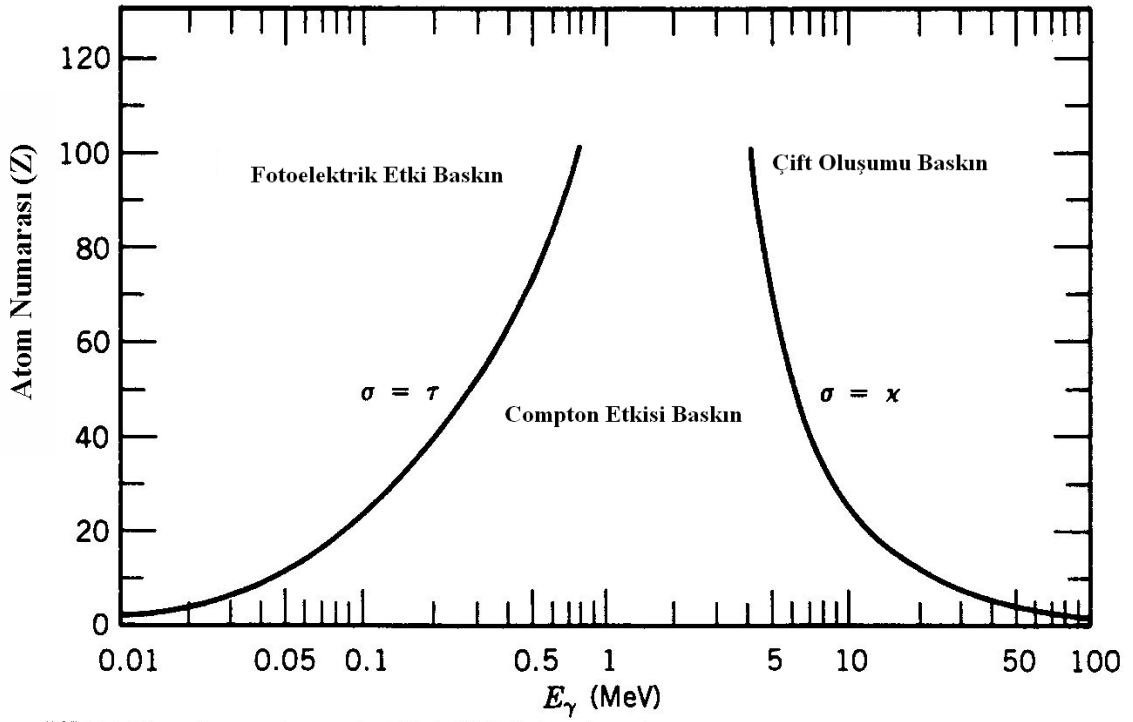
Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucunda Şekil 8'de gösterilen olaylar meydana gelir. Bunlar, Compton saçılması (1), Koherent saçılma (2), Compton saçılmasından sonra saçılan fotonun fotoelektrik etkisiyle X-ışınları oluşumu (3), Çift oluşumu (4) ve Fotoelektrik olaydır (5).



Şekil 8. Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşimi

### 1.7.1. Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulması

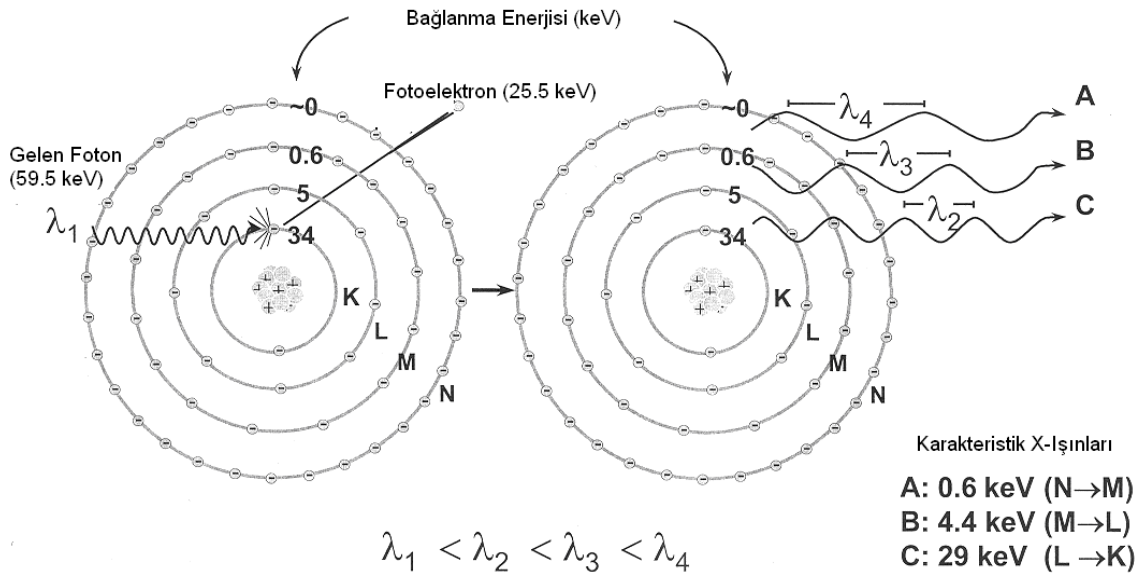
Madde içerisine giren bir foton, madde atomunun bağlı elektronları, serbest elektronları ve çekirdeği ile etkileşir. Elektromanyetik radyasyonun soğurulması çeşitli olaylar sonucu gözlenmekle beraber bu olayların en baskın olanları fotoelektrik olay, saçılma (Compton ve Koherent) olayı ve çift oluşumdur. Bu olayların meydana gelme ihtimaliyeti foton enerjisi ile değişmektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, fotoelektrik olay 0,01 MeV ile 0,5 MeV arasında etkin iken, saçılma olayı 0,1 MeV ve 0,5 MeV arasında daha etkin davranır. Çift oluşum olayı ise 1,02 MeV'den başlar ve artan foton enerjisi ile artar.



**Şekil 9.** Elektromanyetik radyasyon etkileşmelerinin soğurucunun atom numarasına ve radyasyonun enerjisine göre değişimi

#### 1.7.1.1. Fotoelektrik Olay

Madde üzerine düşen fotonun madde atomunun bağlı elektronlarından bir tanesine tüm enerjisini verip bu elektronun yörüngesinden ayrılıp serbest hale gelmesi olayına fotoelektrik olay, serbest hale gelen elektrona da fotoelektron denilmektedir. Serbest bir elektron foton soğuramaz ve fotoelektron haline gelemez. Çünkü bu durumda momentum ve enerji korunamaz. Ancak bağlı bir elektron bir foton soğurabilir ve fotoelektron haline gelebilir. Çünkü bu durumda atom geri teper ve momentum korunur. Bu işlem sırasında foton tamamen soğurulur. K kabuğu elektronlarından birinin sökülmesi ile oluşan bir fotoelektrik olay Şekil 10'da şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 10.** Fotoelektrik olay

$$E_{fe} = h\nu - E_b \quad (3)$$

ile verilir. Burada  $E_b$ , K kabuğunun bağlanma enerjisi,  $h\nu$  gelen fotonun enerjisidir. Fotonun  $h\nu$  enerjisi elektronun bağlanma enerjisine yaklaştıkça fotonun soğurulma ihtimali artar. Fotonun  $h\nu$  enerjisi  $E_b$  bağlanma enerjisinden uzaklaştıkça fotoelektrik olayın meydana gelme ihtimali azalır.

K kabuğunda oluşturulan boşluk, atomun üst tabaka elektronları tarafından doldurulur. Bu işlem sonucu, iki tabakanın bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip bir foton yayımlanır ve bu foton karakteristik X-ışını fotonu olarak adlandırılır.

Oluşan karakteristik X-ışını her zaman atomu terk etmez, bazen bu foton atomun dış kabuklarındaki elektronlardan birisini sökerek yok olur. Bu olaya Auger olayı, sökülen elektrona da Auger elektronu denir. Böylece, meydana getirilen bir boşluk için her zaman bir karakteristik X-ışını yayımlanmaz. Meydana getirilen boşluk başına X-ışını yayınlanma ihtimali floresans verim ( $\omega$ ) olarak tanımlanır. Floresans verim 0 ile 1 arasında değerler alır. Küçük atom numaralı elementler için Auger elektronu yayınlanma ihtimali, büyük atom numaralı elementlerinkine oranla daha büyüktür. Büyük atom numaralı elementler için karakteristik X-ışını yayınlanma ihtimali ise küçük atom numaralı elementlere göre daha büyüktür. Bunun sebebi, küçük atom numaralı atomlarda

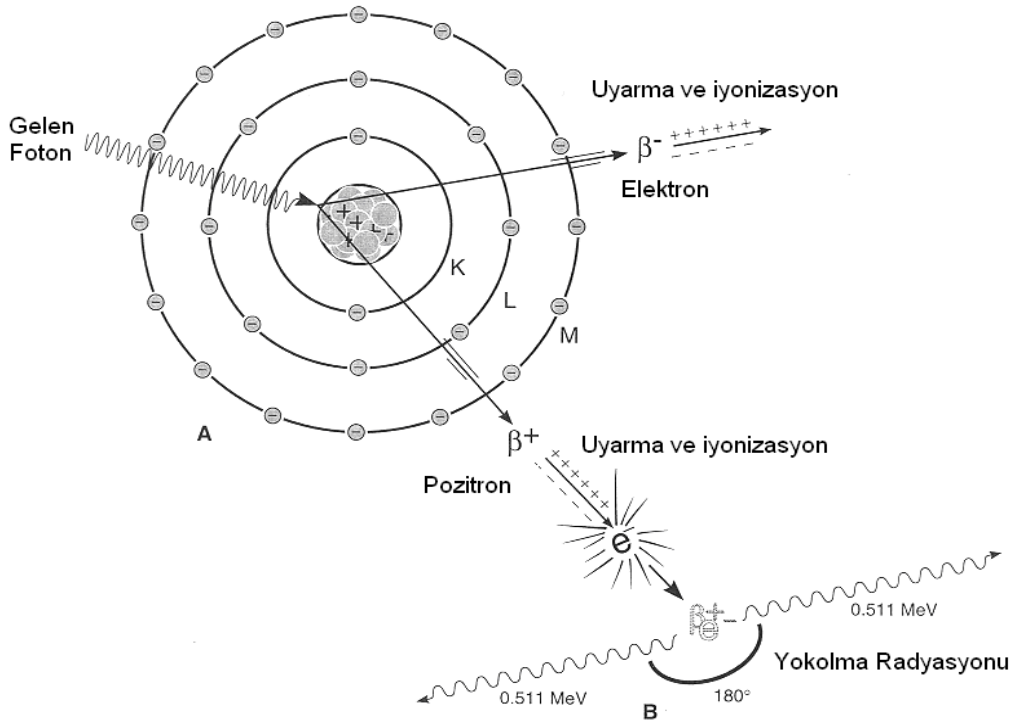
iç kabuklar arası elektron geçişinden yayımlanan foton enerjisinin, dış kabukların soğurma kıyılarına, büyük atom numaralı elementlerinkinden çok yakın olmasıdır.

### 1.7.1.2. Çift Oluşumu

Çift oluşumu, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektronla ( $e^-$ ) bir pozitrona ( $e^+$ ) dönüşmesi olayıdır.

$$\gamma \text{ fotonu} \rightarrow e^- + e^+ \quad (4)$$

Elektron ve pozitronun kütleleri birbirine eşit fakat zıt işaretlidir. Aynı zamanda bu olay çekirdek etrafında oluştuğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Yani, hem yük hem çizgisel momentum ve hem de toplam enerji korunmuş olur. Bu olay Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu olay için eşik enerjisi  $m_0c^2 = 0,511 \text{ MeV}$ 'dir. Bu nedenle çift oluşum olabilmesi için foton enerjisinin en az  $1,02 \text{ MeV}$  olması gerekir (Bertin, 1975). Çift oluşumun karşıtı ise, bir elektron ile bir pozitronun yan yana gelerek bir foton çifti oluşturmak suretiyle yok olmasıdır. Bu olayın çekirdek etrafında olma zorunluluğu yoktur.



Şekil 11. Çift oluşumu

## 1.7.2. Elektromanyetik Radyasyonun Saçılması

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi olaylarından biri olan saçılmayı, saçılan ışının enerjisine göre koherent ve inkoherent saçılma olarak iki gruba ayırabiliriz.

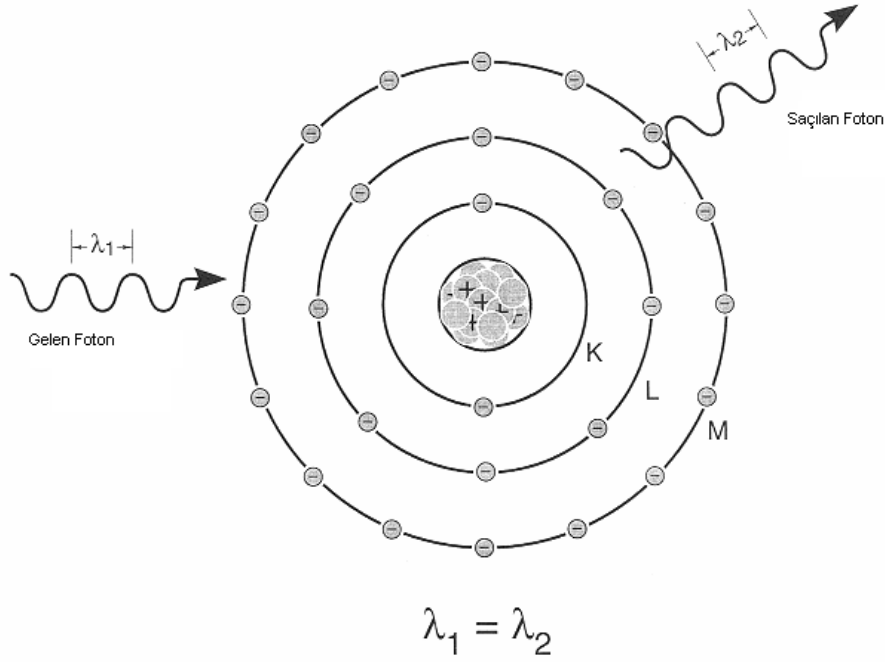
### 1.7.2.1. Koherent Saçılma

Bir atom üzerine gelen fotonların enerji kaybı olmaksızın saçılmalarına koherent saçılma denir. Bu saçılma olayında gelen ve saçılan fotonların fazları arasında bir ilişki vardır. Atom tarafından saçılan radyasyonun toplam şiddeti her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamından faydalanılarak bulunur. Koherent saçılma olarak adlandırılan dört tip saçılma vardır. Bunlar Rayleigh saçılması, Delbrück saçılması, nükleer rezonans saçılma ve nükleer Thomson saçılmasıdır.

#### 1.7.2.1.1. Rayleigh Saçılması

Bir koherent saçılma olayı olan Rayleigh saçılması, 0,1 MeV ve daha aşağı enerjilerde, fotonların atoma sıkı bağlı elektronlar tarafından saçılmasıdır. Rayleigh saçılması, elektronun etkileşmeden sonra başlangıç konumuna döndüğü saçılma olarak da tanımlanır. Bununla birlikte bu saçılma, Şekil 12’de ki gibi gelen foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde elektronun atomdan sökülecek kadar enerji almadığı hallerde meydana geldiği için düşük foton enerjilerinde ve büyük  $Z$ ’li ağır elementlerde meydana gelme ihtimaliyeti daha fazladır.

Rayleigh saçılma tesir kesiti  $Z^2$  ile orantılı olup koherent saçılmanın en çok görülen çeşidi olduğu için genellikle koherent saçılma tesir kesitiyle eşdeğer anlamda kullanılır.



**Şekil 12.** Rayleigh saçılması

#### 1.7.2.1.2. Delbrück Saçılması

Bu saçılmaya elastik nükleer potansiyel saçılma adı da verilmekte olup fotonun, çekirdeğin oluşturduğu Coulomb alanından saçılmasıdır. Delbrück saçılma, çekirdeğin Coulomb alanında yaratılan gerçek olmayan elektron – pozitron çiftlerinden fotonların saçılmasından dolayı elastik foton atom saçılma genliğine yapılan katkıdır.

#### 1.7.2.1.3. Nükleer Rezonans Saçılma

Nükleer rezonans saçılma, fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu gözlenir. Bu olayda çekirdek iki nükleer enerji seviyesi arasındaki farka eşit enerjiye sahip olan bir fotonun soğurulmasıyla uyarılır. Bunu çekirdeğin uyarılmaktan kurtulması takip eder (Çevik, 1994).



#### **1.7.2.1.4. Nükleer Thomson Saçılması**

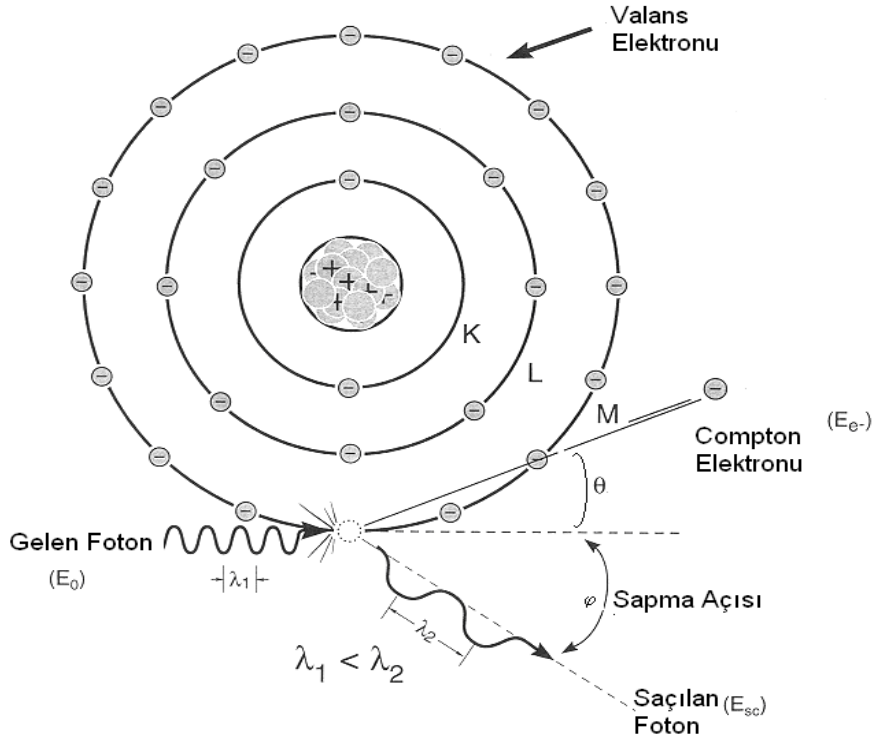
Bu saçılma olayı tamamen gelen fotonla çekirdek arasında meydana gelir. Klasik olarak, bir tek yük sistemi olarak düşünülebilen çekirdek gelen dalga tarafından salındırılır. Çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğundan bu etki çok küçüktür.

#### **1.7.2.2. İnkohherent Saçılma**

Gelen foton ile saçılan foton arasında enerji farkı meydana geliyorsa bu tür saçılmaya inkohherent saçılma denir. Yani gelen ve saçılan fotonların dalga boyları ve fazları birbirinden farklıdır. İnkohherent saçılma, Compton saçılması, Raman saçılması ve Nükleer saçılma olmak üzere üç gruba ayrılır. Bunların arasında en etkin olanı Compton saçılmasıdır.

##### **1.7.2.2.1. Compton Saçılması**

Compton saçılması, ışığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren ilginç olaylardan biridir. Bu saçılmada, bir fotonun genellikle başlangıçta durgun olan serbest elektronlardan veya bağlanma enerjisi, foton enerjisine kıyasla küçük olan elektronlardan enerji kaybetmesi olarak bilinir. Bu işlemde, gelen foton serbest bir elektronla etkileşerek daha düşük bir enerji ile saçılır ve geri kalan enerji geri tepen elektron tarafından alınır. Bir atomda elektronlar gevşekçe bağlı ve gelen fotonların enerjileri nispeten büyük olduğunda, fotonların atomun bağlı elektronları tarafından saçılmalarını da Compton saçılması olarak düşünebiliriz. Bu olay Şekil 13'te gösterilmiştir.



**Şekil 13.** Compton saçılması

Enerji ve momentumun korunumu bağlantılarını ve enerjinin rölativistik eşitliği kullanıldığında,

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos \varphi) \quad (5)$$

ifadesi elde edilir. Burada  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$  saçılan ve gelen fotonun dalga boyları arasındaki farktır.  $h$  Planck sabiti,  $m_0$  elektronun kütlesi,  $c$  ışık hızı ve  $\varphi$  ise fotonun saçılma açısıdır.  $h/m_0c = 2,43 \times 10^{-13}$  m ise Compton dalgaboyu olarak adlandırılmaktadır.

Eşitlik (5) kullanılarak saçılan fotonun enerjisi,

$$E' = \frac{E}{1 + \alpha(1 - \cos \varphi)} \quad (6)$$

ifadesiyle verilir. Geri tepen elektronun kinetik enerjisi ise,

$$K = \frac{\alpha E(1 - \cos \varphi)}{1 + \alpha(1 - \cos \varphi)} \quad (7)$$

ile verilir. Burada  $E$  gelen foton enerjisi,  $\alpha=E/m_0c^2$  olup ince yapı sabitidir. Gelen foton, saçılan foton ve geri tepen elektron daima bir düzlemde olduğundan  $\theta$  ve  $\varphi$  arasındaki bağıntı ise,

$$\cot \varphi = (1 + \alpha) \tan \frac{\theta}{2} \quad (8)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $\theta$ , geri tepen elektronla gelen fotonun yönü arasındaki açıdır.

Fotoelektrik olay genellikle K ve L tabakalarına ait elektronlarda baskın olmasına rağmen, Compton olayı dış tabaka elektronlarında daha baskındır. Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda baskın olarak meydana gelir.

#### **1.7.2.2. Raman Saçılması**

Raman saçılması ikinci mertebeden bir olay olarak da düşünülmektedir. Birinci adımda  $h\nu$  enerjili bir foton soğurulur ve atom bir a durumundan n durumuna uyarılır. İkinci adımda, atom  $h\nu'$  enerjili bir foton yayımlar ve uyarılmış n durumundan son b durumuna döner. Atomun son durumu başlangıçtaki durumundan farklı ise saçılma koherent değildir ve bu olay Raman saçılması olarak bilinir.

#### **1.7.2.3. Nükleer Saçılma**

İnkoherent saçılma olarak da gözlenen nükleer saçılma, fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu oluşur. Bu saçılmanın inkoherent katkısı oldukça küçüktür.

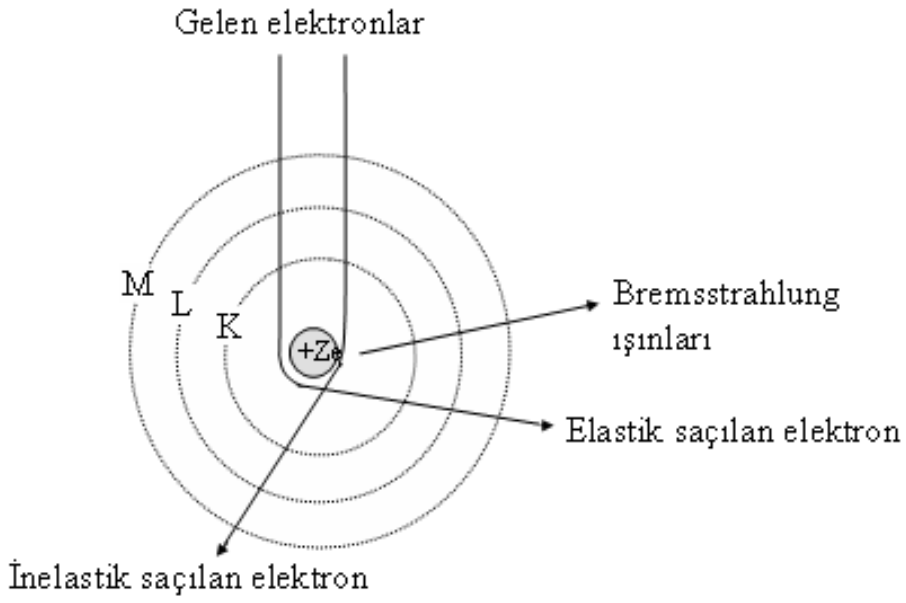
### **1.8. Karakteristik X-Işınlarnın Oluşumu ve Enerji Seviyeleri**

X-ışınları  $10^{-5} - 10^2 \text{ \AA}$  aralığında kısa dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalardır. Bunlar yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomun iç yörüngelerinde oluşan boşluklara elektron geçişlerinden meydana gelirler. Yüksek enerjili elektronların madde içersinde adım adım yavaşlaması neticesinde meydana gelen X-ışınlarına, sürekli X-ışınları veya Bremsstrahlung ışınları adı verilmektedir.  $\beta$

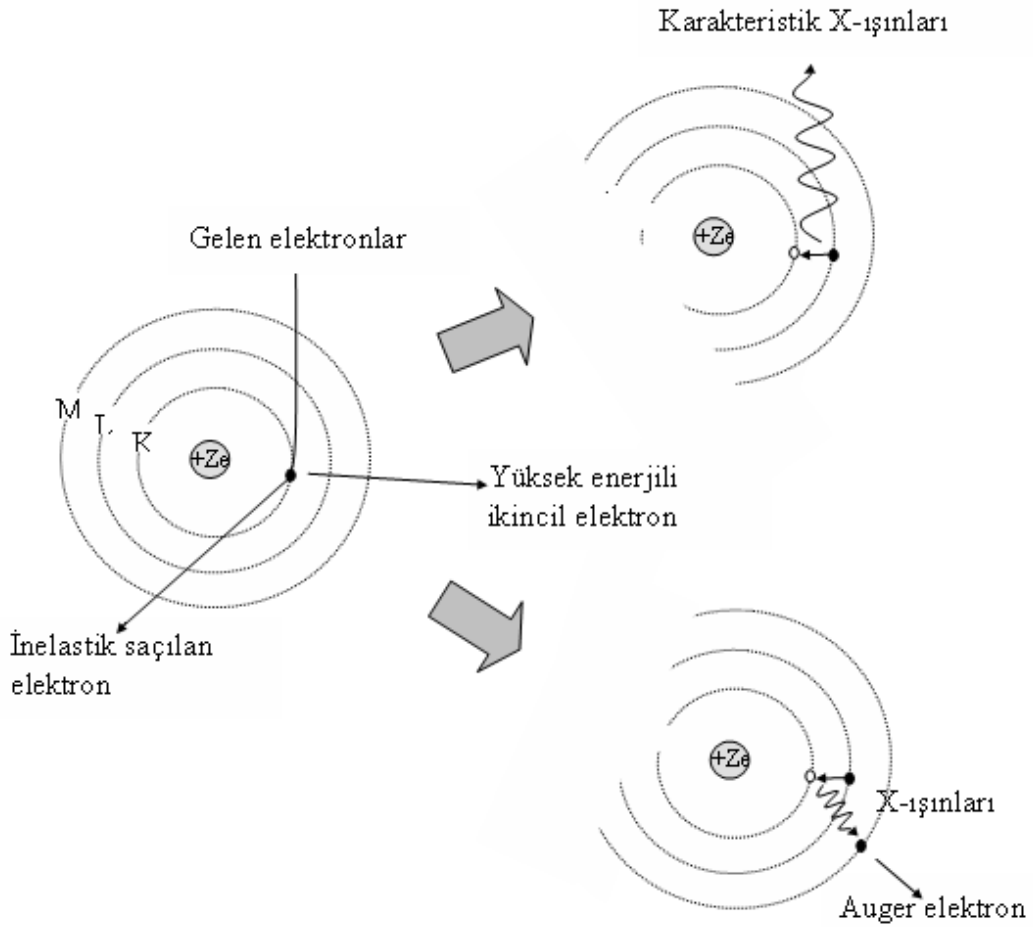
ışınları, iç dönüşüm elektronları, Compton geri tepme elektronları ve Auger elektronları sürekli X-ışını spektrumu verirler.

Atomun bağlı iç yörünge elektronları, hızlandırılmış elektronlarla, protonlarla, nötron ve  $\alpha$ -parçacıklarıyla, X-ışını tüpünden yayınlanan X-ışınları ile radyoizotop kaynak tarafından yayımlanan fotonlarla ve sekonder X-ışınları gibi uyarıcılarla dış yörüngelere uyarılması neticesinde çekirdeğe yakın bir kabukta meydana gelen boşluk daha dış kabuklardaki elektronlarca  $10^{-12}$ – $10^{-14}$  s içerisinde doldurulur. Bu geçişten bir foton yayınlanır. İç tabakalar arasındaki elektron geçişlerinden yayınlanan bu fotona, o elementin karakteristik X-ışını fotonu veya karakteristik X-ışını adı verilmektedir. Şekil 14’te pozitif yüklü çekirdek tarafından elektronların elastik ve inelastik saçılmaya uğratılması ve Bremsstrahlung ışınlarının üretilmesi, Şekil 15’te ise karakteristik X-ışınlarının üretilmesi ve Auger elektronunun meydana gelmesi gösterilmiştir.

Bir foton tarafından, atomun K tabakasından bir elektron söküldüğünde meydana gelen boşluk L, M, N, ... üst tabakalarındaki elektronlar tarafından doldurulur. Bu boşluk L tabakasından doldurulursa meydana gelen karakteristik X-ışını  $K_{\alpha}$ , diğer üst tabaka elektronları tarafından doldurulursa  $K_{\beta}$  X-ışını olarak adlandırılır. L karakteristik çizgileri de benzer şekilde meydana gelir. K kabuğundaki boşluk diğer kabukların alt kabuklarındaki elektronlar tarafından doldurulduğunda yayımlanan fotonlar Siegbahn ve International Union of Applied and Pure Chemistry (IUAPC) gösterimlerine göre Tablo 6’da gösterilmiştir (Jerkins vd., 1991). Şekil 16’da ise atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik X-ışını yayımlanması şematik olarak gösterilmiştir. Burada, (a.) soğurulmayı, (b.) karakteristik X-ışını yayımlanma ihtimaliyetini, (c.) herhangi bir karakteristik X-ışını çizgisinin yayımlanma yüzdesini temsil etmektedir.



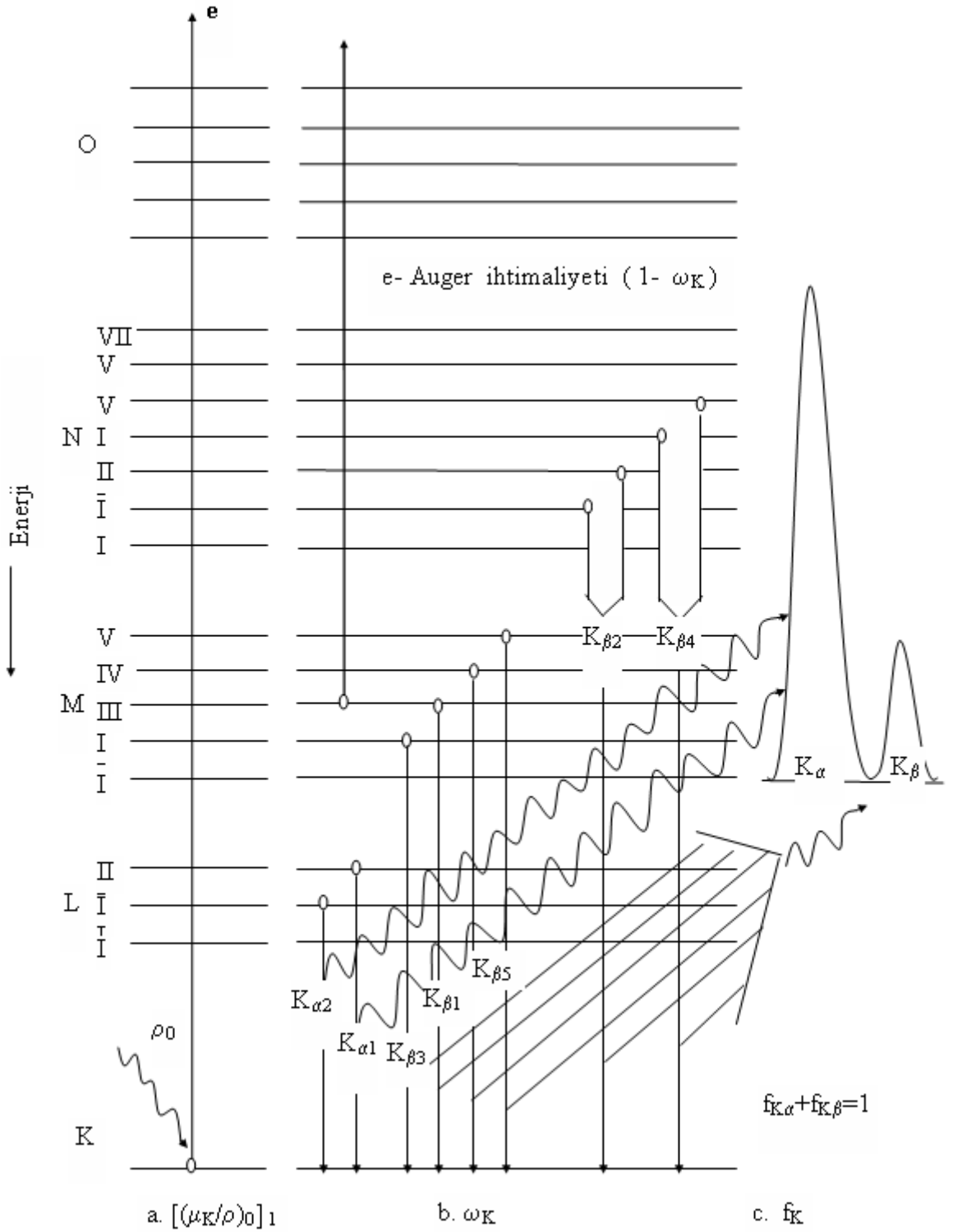
**Şekil 14.** Elektronların elastik ve inelastik saçılması ve Bremsstrahlung ışınlarının üretilmesi



**Şekil 15.** Karakteristik X-ışınlarının ve Auger elektronunun meydana gelmesi

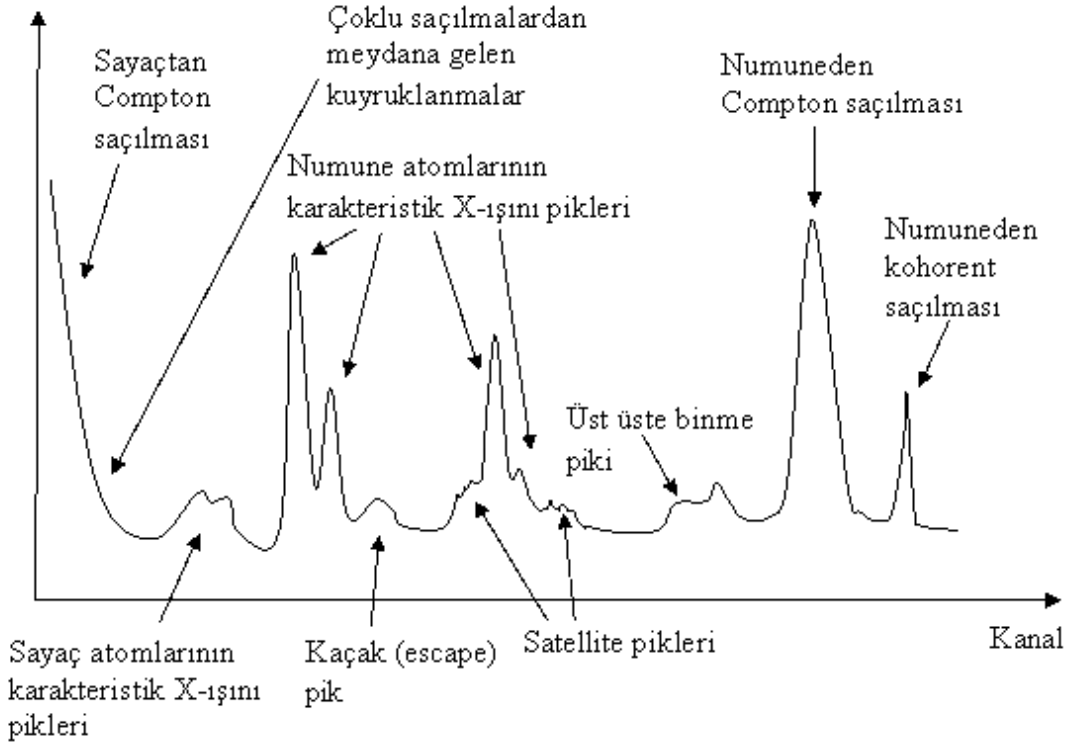
**Tablo 6.** X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri

Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC
$K_{\alpha 1}$	K-L <sub>III</sub>	$L_{\beta 17}$	L <sub>II</sub> -M <sub>III</sub>
$K_{\alpha 2}$	K-L <sub>II</sub>	$L_{\gamma 1}$	L <sub>II</sub> -N <sub>IV</sub>
$K_{\beta 1}$	K-M <sub>III</sub>	$L_{\gamma 2}$	L <sub>I</sub> -N <sub>II</sub>
$K_{\beta 2}$	K-N <sub>III</sub>	$L_{\gamma 3}$	L <sub>I</sub> -N <sub>III</sub>
$K_{\beta 2}$	K-N <sub>II</sub>	$L_{\gamma 4}$	L <sub>I</sub> -O <sub>III</sub>
$K_{\beta 3}$	K-M <sub>II</sub>	$L_{\gamma 4'}$	L <sub>I</sub> -O <sub>II</sub>
$K_{\beta 4}$	K-N <sub>V</sub>	$L_{\gamma 5}$	L <sub>II</sub> -N <sub>I</sub>
$K_{\beta 4}$	K-N <sub>IV</sub>	$L_{\gamma 6}$	L <sub>II</sub> -O <sub>IV</sub>
$K_{\beta 5}$	K-M <sub>V</sub>	$L_{\gamma 8}$	L <sub>II</sub> -O <sub>I</sub>
$K_{\beta 5}$	K-M <sub>IV</sub>	$L_{\gamma 8}$	L <sub>II</sub> -O <sub>6</sub>
$K_{\beta 5}$	K-N <sub>III</sub>	$L_{\gamma 13}$	L <sub>I</sub> -P <sub>II</sub>
$L_I$	L <sub>III</sub> -M <sub>I</sub>	$L_{\gamma 13}$	L <sub>I</sub> -P <sub>III</sub>
$L_{\alpha 1}$	L <sub>III</sub> -M <sub>V</sub>	$L_{\eta}$	L <sub>II</sub> -M <sub>I</sub>
$L_{\alpha 2}$	L <sub>III</sub> -M <sub>IV</sub>	$L_{\lambda}$	L <sub>III</sub> -M <sub>I</sub>
$L_{\beta 1}$	L <sub>II</sub> -M <sub>IV</sub>	$L_S$	L <sub>III</sub> -M <sub>III</sub>
$L_{\beta 2}$	L <sub>III</sub> -N <sub>V</sub>	$L_t$	L <sub>III</sub> -M <sub>II</sub>
$L_{\beta 3}$	L <sub>I</sub> -M <sub>III</sub>	$L_U$	L <sub>II</sub> -N <sub>IV</sub>
$L_{\beta 4}$	L <sub>I</sub> -M <sub>II</sub>	$L_v$	L <sub>II</sub> -N <sub>VI</sub>
$L_{\beta 5}$	L <sub>III</sub> -O <sub>IV,V</sub>	$M_{\alpha 1}$	M <sub>V</sub> -N <sub>VII</sub>
$L_{\beta 6}$	L <sub>III</sub> -N <sub>I</sub>	$M_{\alpha 2}$	M <sub>V</sub> -N <sub>VI</sub>
$L_{\beta 7}$	L <sub>III</sub> -O <sub>I</sub>	$M_{\beta}$	M <sub>IV</sub> -N <sub>VI</sub>
$L_{\beta 7}$	L <sub>III</sub> -N <sub>VI-VII</sub>	$M_{\gamma}$	M <sub>III</sub> -N <sub>V</sub>
$L_{\beta 9}$	L <sub>I</sub> -M <sub>V</sub>	$M_{\xi 1}$	M <sub>V</sub> -N <sub>III</sub>
$L_{\beta 10}$	L <sub>I</sub> -M <sub>IV</sub>	$M_{\xi 2}$	M <sub>IV</sub> -N <sub>II</sub>
$L_{\beta 15}$	L <sub>III</sub> -N <sub>IV</sub>		



**Şekil 16.** Atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik X-ışını yayımlanmasının şematik olarak gösterimi

## 1.9. X-Işını Spektrumlarının İncelenmesi



Şekil 17. İdeal bir X-ışını spektrumu

Şekil 17’de görüldüğü gibi X-ışını spektrometresiyle elde edilen bir spektrumda, incelenen elementin karakteristik piklerinden başka piklerde meydana gelebilir. Bunlar aşağıda açıklanmaktadır.

### 1.9.1. Koherent Saçılma Pikleri

Uygun bir deney geometrisiyle uyarıcı kaynaktan çıkan birincil fotonların doğrudan doğruya sayacı görmeleri önlenmesine rağmen spektrumda uyarıcı kaynak ışınlarının enerjilerine karşılık gelen enerjide spektrum pikleri meydana gelmektedir. Bu pikler kaynak ışınlarının numuneden koherent bir şekilde yani enerjilerini kaybetmeden aynı fazlı olarak saçılması neticesinde meydana gelmektedir.

### 1.9.2. Compton Pikleri

Uyarıcı kaynaktan çıkan ve numuneden Compton saçılmasına uğrayarak bir miktar enerji kaybeden fotonlara ait pik, koherent saçılma pikinin düşük enerji



bölgesinde meydana gelir. Numunenin iç kısmında meydana gelen karakteristik X-ışınlarının da bir veya birkaç Compton saçılmasına uğramaları mümkündür. Ayrıca sayaca ulaşan fotonlar da sayaç kristalinde Compton saçılmasına uğrayabilirler. Numune ve sayaçtaki saçılmalardan ve sayaçtaki tuzaklamalardan dolayı gerek Compton pikinin gerekse diğer piklerin düşük enerjili yamaçları, yüksek enerjili yamaçlarına kıyasla daha az diktir. Sayaçta meydana gelen Compton saçılmasından dolayı spektrumun en düşük enerjili kısmında yüksek temel saymalı bir bölge meydana gelir.

Bununla birlikte yine sayaç içi Compton'larından, üst üste binmelerden ve tamamlanmamış yük toplanmalarından dolayı spektrumda bir baştan diğer başa bir temel sayma meydana gelir.

### **1.9.3. Karakteristik X-Işını Pikleri**

Uyarılma sonucu numuneden yayımlanan karakteristik X-ışını pikleri, kolimatör ve kaynak maddesinin karakteristik X-ışını piklerine bağlı olarak koherent saçılma tepesinin düşük enerjili tarafında meydana gelir. Dedektöre gelen X-ışınları, ölü tabakadaki sayaç atomlarını uyarabilir. Buradan yayımlanan sayaç atomlarının karakteristik çizgileri, numuneden gelenler gibi sayılırlar ve sayaç maddelerinin karakteristik çizgileri olarak kaydedilirler.

### **1.9.4. Auger Pikleri**

Uyarılmış bir atomun yayımladığı karakteristik X-ışını yine aynı atomun daha dıştaki kabuklarından elektron sökebilir. Numunenin Auger elektronlarının spektrumu soğurulan X-ışını tepesinin düşük enerji kısmında yer alır. Bu olay elektronları daha az bağlanma enerjisi ile bağlı bulunan düşük atom numaralı elementlerde, büyük atom numaralılarından daha da çok meydana gelir.

### **1.9.5. Üst üste Binme (Pile-Up) Pikleri**

İki foton aynı anda veya elektronik sistemin puls ayırma zamanından daha kısa bir zaman aralığı ile sayaca gelirse sistem bu iki foton için tek puls verir. Bu pulsün büyüklüğü bunu meydana getiren foton pulslarının ayrı ayrı büyüklüklerinin toplamına;

iki puls arasındaki zaman ne kadar küçükse o kadar yaklaşır. İkinci veya daha yüksek mertebelerden de üst üste binme etkileri, keskin piklerin genişlemesine ve kaymasına sebep olur.

### 1.9.6. Kaçak (Escape) Pikleri

Sayaca gelen herhangi bir foton sayaç atomunun iç kabuklarından bir elektron sökününce bu fotoelektron elektron–delik çiftleri meydana getirerek ilerlerken bu atomun kendi karakteristik X-ışını da yayımlanır. Eğer bu olay sayaç yüzeylerine yakın bölgelerde olursa bu karakteristik ışın başka etkileşmelere girmeden sayaçtan kaçabilirler. Dolayısıyla sayaç gelen fotonu geliş enerjisinden daha düşük enerjili bir foton olarak sayar. Böylece oluşan kaçak pikler asıl piklerin düşük enerjili tarafında yer alırlar.

Kaçak pik alanının asıl pik alanına oranı, asıl piklerin düşük enerjili bölgelerinden sayaç maddesinin soğurma kıyılarına yaklaştıkça artar.

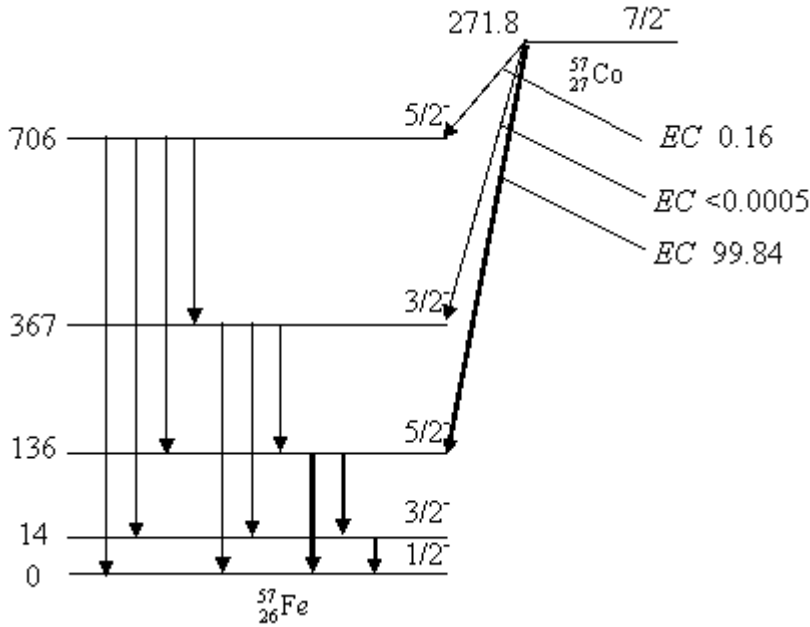
### 1.9.7. Satellite Çizgileri

Auger olayının bir başka neticesi de geride kalan iki kere iyonlaşmış, yani iç kabuklarında iki boşluk oluşmuş bir atomdur. Atomda önce K kabuğunda bir boşluk oluştuğunu, bunun L'den gelen elektronla doldurulduğunu ve bu esnada  $K_{\alpha}$  fotonunun yayımlandığını, bu fotonun L kabuğundan bir başka elektron koparmasıyla Auger olayının vuku bulduğunu düşünelim. Böylece L kabuğunda iki boşluk oluşur. İki kere iyonlaşmış atom sadece Auger olayında meydana gelmez. Birincil ya da ikincil fotonlarla veya elektronlarla da atom aynı anda iki kere iyonlaştırılabilir. Ancak bir X-ışını halinin yarı ömrünün  $\sim 10^{-16}$  s gibi çok kısa ve uyarıcı demetteki elektron yoğunluğunun hedef atomdakine kıyasla az olmasından dolayı elektronlarla iyonlaştırmada, aynı atom için art arda iki kez çarpışma ve iki kez iyonlaşmış halde bulunma hemen hemen mümkün değildir. İki kere iyonlaşmış atomlardan yayımlanan çizgilerin dalga boyları, bir kere iyonlaşmış atomlardan yayımlanan çizgilerin dalga boylarından birazcık farklıdır. Bu tür çizgiler Satellite veya non–diyagram çizgileri olarak adlandırılmaktadır.

## 1.10. Gama Işınları

Atomik X-ışını geçişlerine benzer şekilde,  $\gamma$  ışınları bir çekirdekteki uyarılmış seviyelerden geçişlerle üretilir. Böyle uyarılmış seviyeler çekirdeğin radyoaktif bozunmasında ve nükleer reaksiyonlarda oluşabilir.

Uyarılmış nükleer seviyelerle üretilen radyoaktivite şeklinin bir örneği Şekil 18'de gösterilmektedir. Bu durumlarda  $\gamma$  ışını geçişleri  $\beta$  veya  $\alpha$  geçişlerinin bazı biçimlerinden önce gelir. Bu bozunmalarda kimyasal elementte değişiklik meydana gelir. İlk ve son çekirdek sırasıyla ana ve ürün olarak adlandırılır.  $\gamma$  ışınları genellikle ürüne geçişlerin sonucu olsa da radyoaktif kaynak genellikle ana adıyla gösterilir.



Şekil 18. Elektron yakalama bozunmasının bir örnek olarak  $^{57}\text{Co}$ 'ın bozunma şeması

## 1.11. Atomun Uyarılması

Uyarma, atomdan elektron söküp, iyonlaşma meydana getiren olaya denir. Uyarılan atom yörünge elektronlarının yeniden düzenlenmesinde genellikle bir foton salar, bu fotona karakteristik X-ışını fluoresans fotonu denir ve her element için enerjileri farklıdır. Bu ışınların spektrumlarına X-ışını fluoresans spektrumu denir. Bilinmeyen bir numune içindeki elementlerin analizinde en iyi vasıta bu karakteristik ışınımlardır. Eğer bir madde X-ışınları ile bombardıman edilip uyarılıyorsa bu ışınlar

birincil ışınlar, atom tarafından yayınlanan fluoresans ışınlarla ise ikincil veya karakteristik X-ışınları denir.

### 1.11.1. Radyoizotop Kaynaklar

X-ışını analizinde genellikle radyoizotop kaynaklar kullanılır. Radyoizotop kaynaklar, X-ışını spektrometrik uygulamalarında dört temel özellikleri ile karakterize edilebilirler:

- a) Radyoaktif bozunma ve yayımlanan radyasyonun tipi, ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  yayımlama, K veya L elektronu yakalama)
- b) Yayımlanan radyasyonun enerjisi,
- c) Kaynak aktivitesi,
- d) Kaynağın yarı-ömrü,

Radyoaktif bozunma, radyoaktivite özelliğine sahip olan atomların kararsız çekirdeklerinin parçalanmasıyla yeni bir çekirdek oluşması ve atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayımlanması olayıdır.

Sonuç olarak kararsız bir atom, kararlı hale gelinceye kadar bir seri dönüşüme uğrar ve böylece meydana gelen seriye bozunma zinciri denir. Bu bozunma sırasında dışarı radyoaktif parçacıklar ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) ve  $\gamma$ -ışını yayınlanır. Tablo 7'de bozunma sonucu yayımlanan radyasyon tipleri ve özellikleri verilmiştir.

Radyoizotopların aktivitesi, radyoaktif atomların bozunması (parçalanması) ile orantılıdır. Bir kaynağın aktivitesi, saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanır ve bu Bekerel olarak isimlendirilir. Bekerel (Bq) yerine SI birim sisteminde Curie (Ci) kullanılır. Bir Ci  $3,7 \times 10^{10}$  Bq'dir.

**Tablo 7.** Radyasyon tipleri ve özellikleri

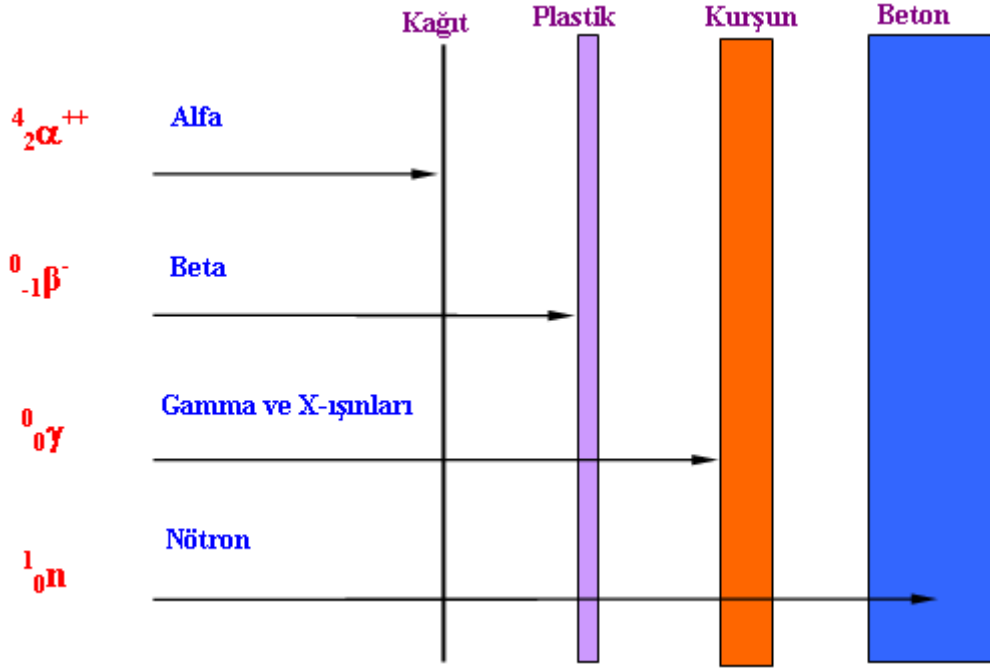
Radyasyon Tipleri	Özellikleri
Gama Işınımı	Atom çekirdeğindeki fotonlar tarafından yayılan elektromagnetik dalgalarıdır.
Beta Işınımı	Atom çekirdeğinden yayılan ve elektron olarak adlandırılan çok yüksek hızlı taneciklerdir.
Alfa Işınımı	Atom çekirdeğinden yayılır, iki proton ve iki nötron içermektedir.
Nötronlar	Atomun çekirdeğinden çarpışmalar ve fisyon tepkimeleri sonucunda yayılan nötr taneciklerdir.
X-ışınları	Elektronların enerji seviyelerindeki değişimden yayımlanan elektromagnetik dalgalarıdır. Atom çekirdeğinden yayılmazlar.

Yayımlanan ışınların sayısı zamanla azalır. Bir radyoizotop atomun  $t$  süre sonundaki bozunanlarının sayısı,

$$N = N_0 e^{-0,693t/T_{1/2}} \quad (9)$$

eşitliği ile bulunur. Burada  $T_{1/2}$  radyoizotop için yarı ömürdür ve bu yarı ömür süresi sonunda kaynaktaki esas yayımlanmaların sayısı yarıya iner. Radyoizotop kaynak bir, iki yarı ömürlük süreden sonra genellikle yenilenir. Radyoizotop kaynakların fiziksel boyutları küçüktür.

Şekil 19'da yayımlanan radyasyonların çeşitli maddelerdeki girme mesafeleri verilmiştir. Ayrıca temel haldeki bir element ise radyasyona tabi tutularak aynı  $Z$ 'ye sahip fakat kararsız elementler (radyoizotoplar) oluşturulabilir ve bunlarda radyoaktif kaynak olarak kullanılabilirler.



**Şekil 19.** Radyasyonlar ve çeşitli maddelerdeki girme mesafeleri

Radyoizotopların emniyetli kullanımı için uluslar arası standartlar vardır. Birçok ülkede sağlık bakanlığı veya atom enerjisi yetkilileri bu işi yürütmektedir. Her bir organizasyonun radyoaktif maddeleri kullanabilmek için bir lisansa sahip olması gerekir. Uluslararası Radyoloji Komisyonu insanın sağlıklı yaşayabilmesi için alabileceği yıllık radyasyon dozunu  $3,6 \times 10^{15}$  Bq olarak belirlemiştir.

### 1.12. Soğurma

İnsanoğlu sürekli olarak gerek doğal gerekse yapay radyasyon kaynakları tarafından ışınlanmaktadır. Bu kaynaklardan alfa tanecikleri gibi madde içine nüfuz oranı düşük radyasyonların yanı sıra gama ışınları gibi madde içerisinde daha uzun yollar katedebilen elektromagnetik radyasyonlar da yayımlanmaktadır. Dünyamıza dış uzaydan gelen kozmik ışınlar ya da nükleer silah patlamaları sonucu yoğun bir şekilde yayımlanan gama ışınları göreceli olarak daha yüksek enerjili ışınlardır. İnsan sağlığı açısından düşünüldüğünde, sürekli maruz kalındığında bu ışınların pek çok hastalığa (özellikle genetik hastalıklara) sebep olabileceği bilinmektedir. Bu bakımdan, özellikle vaktimizin çoğunu geçirdiğimiz yaşam alanlarımızda kullanılan yapı malzemelerinin soğurma özelliklerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır (Damla, 2009).

Belli bir enerjiye sahip fotonlar Z atom numaralı bir maddeyle etkileştiğinde bu fotonların bir kısmı maddenin diğer tarafına geçerken bir kısmı ise soğurulur. Bu soğurma olayı fotonların soğurucu maddenin atomları ile etkileşmesi sonucu oluşur ve genellikle iki farklı yolla gerçekleşir.

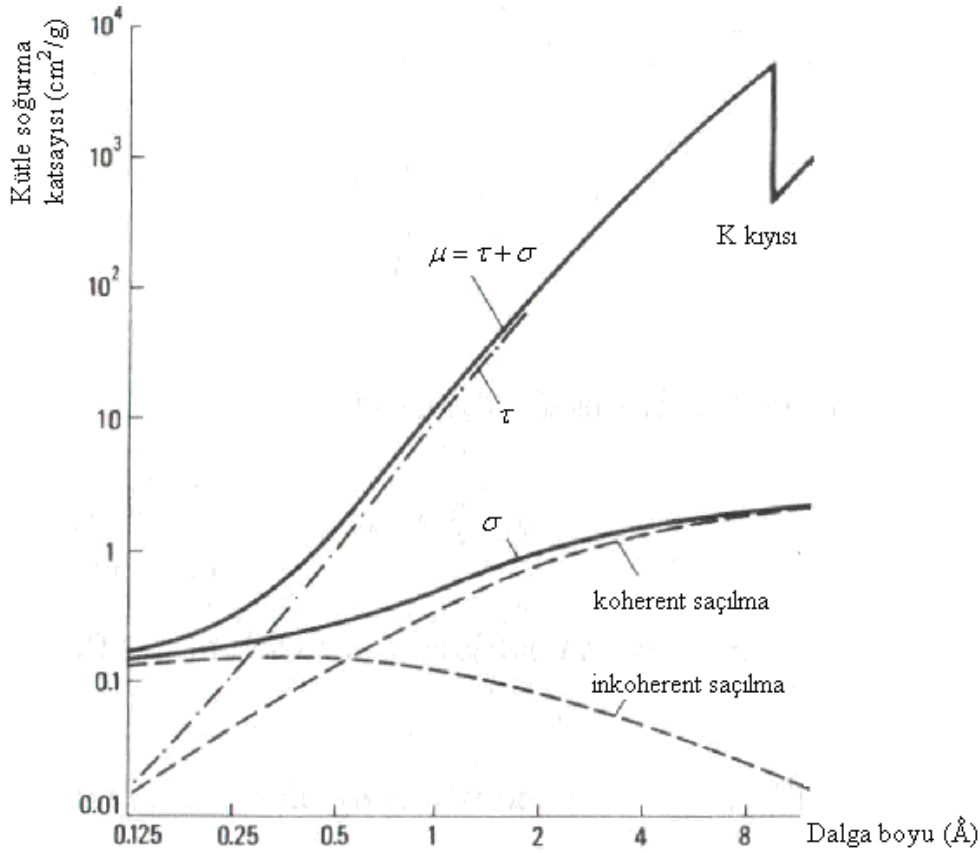
a) Gerçek soğurma (fotoelektrik soğurma), fotonların atomlarla etkileşmesi sonucu elektronik geçişlere sebep olması ile gerçekleşir.

b) Fotonların atomlardan saçılması ile gerçekleşen soğurma. Saçılan fotonlar, gelen fotona oranla daha uzun dalgaboyuna (inkoherent saçılma sonucunda) veya aynı dalgaboyuna sahip olur (koherent saçılma sonucunda).

Bu etkiler dikkate alındığında toplam soğurma katsayısının,

$$\mu = \tau + \sigma \quad (10)$$

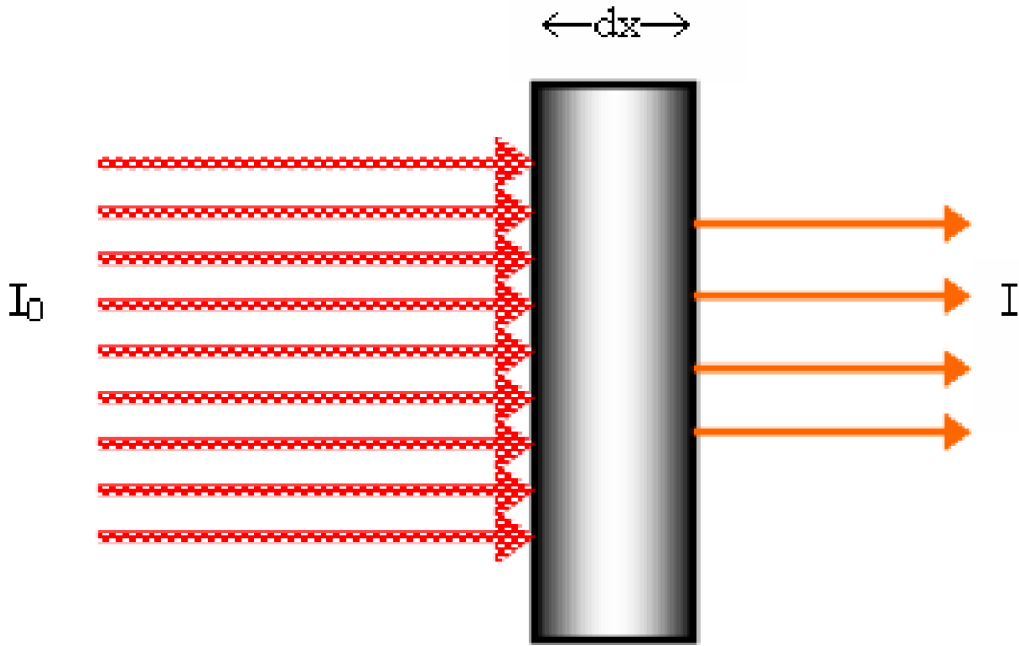
şeklinde olması gerektiği açık bir şekilde görülmektedir. Burada  $\tau$  fotoelektrik soğurma katsayısı iken,  $\sigma$  ise saçılma soğurma katsayısıdır.



Şekil 20. Mg'un kütle soğurma katsayılarının dalga boyu ile değişimi

0,1 keV ile 100 keV aralığındaki enerji bölgesinde fotoelektrik soğurma katsayısı saçılma soğurma katsayısından çok daha büyüktür ve toplam soğurma katsayısına katkısı % 95'in üzerindedir. Bundan dolayı bu enerji aralığında yapılan deneylerde elde edilen fotoelektrik soğurma katsayısı sonuçları toplam soğurmayı yeteri kadar yansıtmaktadır. Magnezyum elementinin kütle soğurma katsayısının dalga boyu ile değişimini gösteren grafik Şekil 20'de verilmektedir. Grafikte, yukarıda bahsettiğimiz enerji aralığına karşılık gelen dalga boylarında toplam soğurmaya fotoelektrik etkinin ve saçılmanın katkıları açık bir şekilde görülmektedir (Tertian ve Claisse, 1982).

### 1.12.1. Lineer Soğurma Katsayıları



**Şekil 21.** Elektromanyetik radyasyonun  $dx$  kalınlıklı bir maddeden geçerken soğurulması

Soğurma olayı ilk kez Röntgen tarafından izah edilmiştir. Buna göre,  $I_0$  şiddetli bir fotonun (x-ışını,  $\gamma$ -ışını, vs.) soğurucu bir maddenin  $dx$  kalınlığındaki sonsuz ince bir tabakasından geçerken şiddetinde  $dI$  kadar bir azalma olur ve bu azalma soğurucunun kalınlığı ile orantılıdır.

$$dI = -I \mu dx \quad (11)$$



$$dI = -\mu I dx \quad (12)$$

$$dI_0/I = -\mu dx \quad (13)$$

Burada  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) lineer soğurma katsayısıdır ve birim kalınlık başına düşen enerji soğurma kesri olarak tanımlanır. Lineer soğurma katsayısı, soğurucunun atom numarasına ( $Z$ ) ve gelen fotonun enerjisine bağlıdır. Denklem 13'ün sonlu bir  $x$  kalınlığı üzerinden integralini alırsak,

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\int_0^x \mu dx \quad (14)$$

$$\ln I - \ln I_0 = -\mu x \quad (15)$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (16)$$

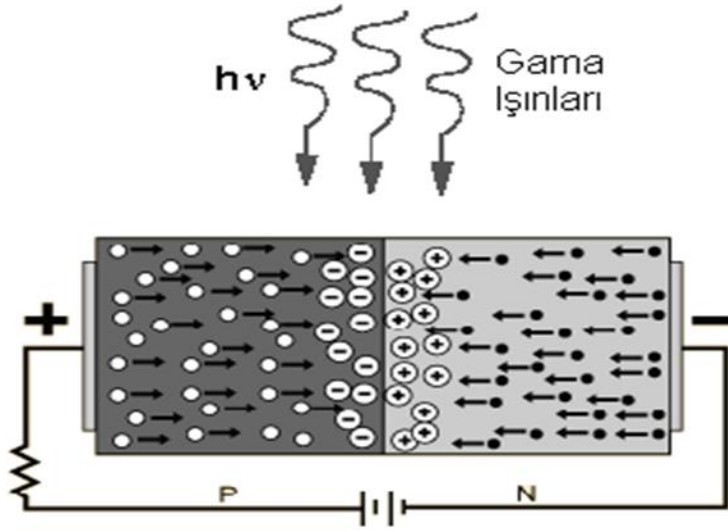
Lambert Beer yasası olarak bilinen ifade elde edilmiş olur. Buradan da lineer soğurma katsayısı,

$$\mu = x^{-1} \ln(I_0 / I) \quad (17)$$

olarak bulunur.

### 1.13. Yarıiletken Dedektörler ve Çalışma Prensipleri

Yarıiletken dedektörler, negatif yük (elektron) veya pozitif yük (boşluk) taşıyıcıları fazla olan  $n$  ve  $p$  tipi materyaller temas ettirilerek elde edilir. Ters besleme altında dedektörde, elektron ve boşluk arınmış bir hassas bölge oluşur. Dedektör veriminin yüksek olması için derin bir hassas bölge, derin hassas bölge elde etmek için de oldukça saf madde gerekir. Bir foton, eklem içinden geçtikçe, bir elektron valans bandından iletim bandına yükseltilir ve elektron-boşluk çifti üretilmiş olur. İçerdeki elektrik alan, elektronları eklem pozitif, boşlukları da negatif tarafa doğru sürükler. Bu da bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana getirir. Şekil 22'de yarıiletken dedektörlerin basit şematik gösterimi verilmiştir (Damla, 2009).



Şekil 22. Yarıiletken dedektör şeması

Karakteristik X-ışınları hem enerjileri birbirlerine yakın hem de genel olarak düşük enerji bölgesinde yer almaktadırlar. Bundan dolayı, dedektör seçiminde bu enerji bölgesindeki verimi ve ayırma gücü (rezülasyon) çok iyi olan yarıiletken dedektörler tercih edilmektedir. Bir dedektörün rezülasyonu veya spektrumun yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM), o dedektörün kullanıldığı enerji aralığındaki enerjiyi tam olarak ifade eder. Şekil 23'te görüldüğü gibi dedektör rezülasyonu genellikle  $R$  ile gösterilir ve,

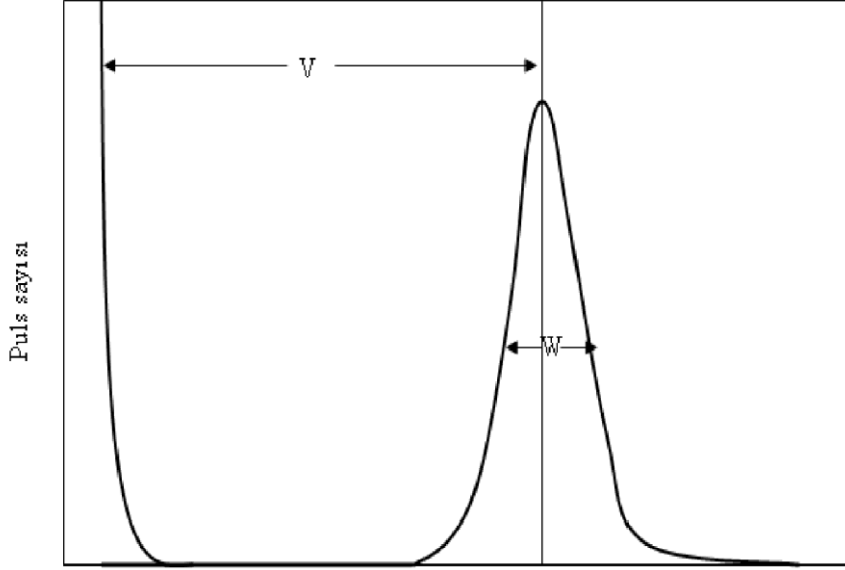
$$R = \frac{W}{V} \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $W$  yarı maksimumdaki puls genişliği ve  $V$  ise ortalama genişliktir.

Bir pikin yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) ise;

$$FWHM = W \times E \quad (19)$$

şeklinde verilmektedir. Burada  $E$ , elektron volt cinsinden foton enerjisidir. Tablo 8'de çeşitli dedektör tipleri için yarı maksimumdaki enerji genişlikleri (FWHM) foton enerjisine (keV) karşı verilmiştir.



**Şekil 23.** Dedektörlerin ayırma güçleri

**Tablo 8.** Dedektör çeşitleri ve enerji rezölasyonu (keV FWHM)

Dedektör	5,9 keV	122 keV	1332 keV
Orantılı sayaçlar	1,2	----	----
X-ray NaI(Tl)	3,0	12,0	----
3" x 3" NaI(Tl)	----	12,0	60
Si(Li)	0,16	----	----
Planar Ge	0,18	0,5	----
Coaxial Ge	----	0,8	1,8

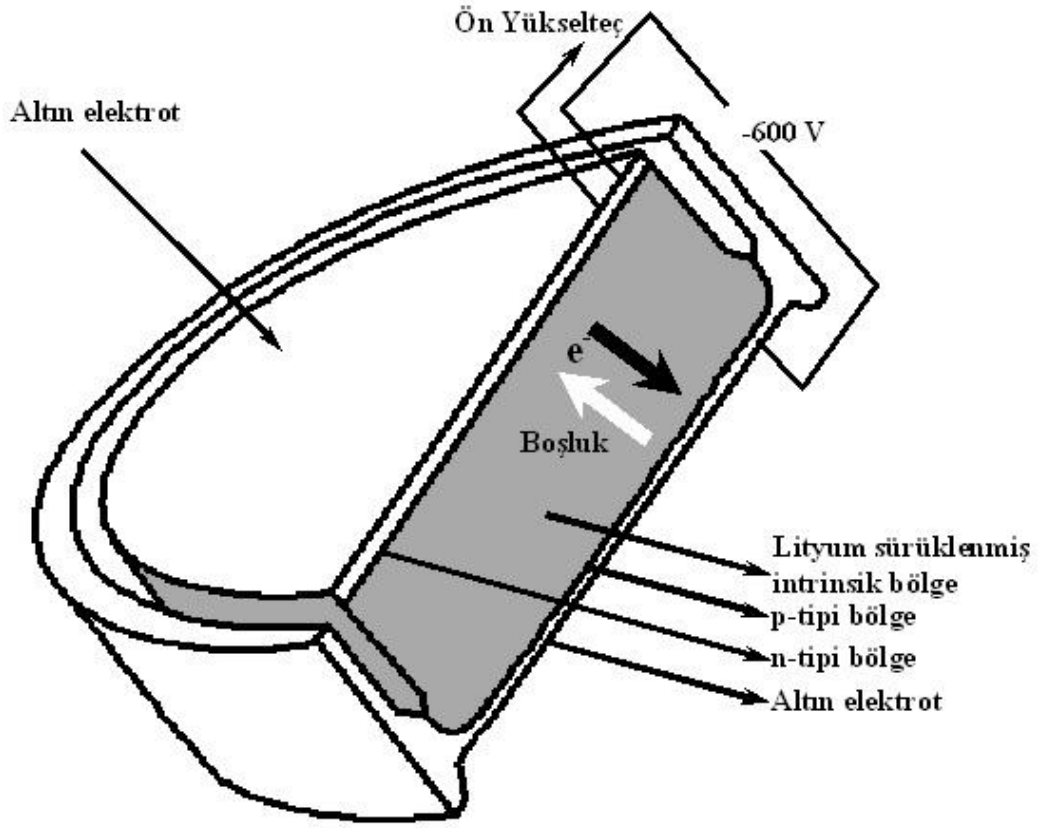
Rezölasyonu en iyi olan dedektörler yarıiletken dedektörlerdir. Yarıiletken dedektörlerde en fazla Si ve Ge kullanılmaktadır. Tablo 9’da Si ve Ge’un bazı özellikleri verilmiştir. Çalışmamızda, karakteristik X-ışınlarının veya düşük enerjili gama ışınlarının şiddetleri ölçülmektedir. İncelenen elementlere ait spektrumlar Si(Li) dedektörleri ve buna bağlı elektronik sistem kullanılarak elde edilmiştir. Si(Li) dedektörler, birkaç keV’den 150 keV’e kadar olan enerji bölgesini içine alan, X-ışını floresans, X-ışını mikroanaliz, PIXE, EXARFS, X-ışını kırınımı ve Mössbauer gibi uygulamaları kapsayan Lityum sürüklenmiş katıhal sayaçlarıdır. Lityum sürüklenmiş katıhal sayacı pozitif ve negatif (p-tipi ve n-tipi) bölgeleri arasında intrinsik (i-tipi) bölgesine sahip bir kristalden ibarettir. Dolayısıyla böyle bir sayaç p-i-n tipi bir diyottur.

Sürüklenme bölgesi p-tipi silisyuma veya germanyuma uygun şartlar altında lityum sürüklenerek elde edilmiştir. Sayaç yüzeyinin ince p-tipi tabakası aktif değildir. Algılama işlemine katkısı olmayan bu tabakaya ölü tabaka denir. Dedektörün iki önemli özelliği alanı ve kalınlığıdır. Sayım için önemli bir faktör olan geometrik verimlilik, dedektör alanı arttıkça artar. Kullandığımız sayacın aktif alanı 30 mm<sup>2</sup> ve kalınlığı 3 mm'dir. Elektrotlar, lityum sürüklenmesiyle elde edilmiş silisyum yüzeyine yaklaşık 200 Å kalınlığında altın buharlaştırılmasıyla elde edilir. Dedektör, en uygun ayırma gücü elde etmek ve gürültüyü azaltmak için sıvı azot sıcaklığında (-196 °C) tutulmalıdır. Bunun için sayaç, 30 lt sıvı azot alabilecek bir devar kabına yerleştirilmiştir. Dedektör, dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmesini önlemek için 30 µm kalınlığında berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır.

**Tablo 9.** Si ve Ge'un bazı özellikleri (URL-5, 2004)

Özellikler	Si	Ge
Atom numarası	14	32
Atom ağırlığı	28,09	72,6
Yoğunluk (300 K'de-g/cm <sup>3</sup> )	2,33	5,33
Dielektrik sabiti	12	16
Yasak enerji aralığı (300 K'de-eV)	1,115	0,665
Yasak enerji aralığı (0 K'de-eV)	1,165	0,746
İntrinsik taşıyıcı yoğunluğu (300 K'de-cm <sup>-3</sup> )	1,5×10 <sup>10</sup>	2,4 ×10 <sup>4</sup>
İntrinsik direnci (300 K'de- ohm.cm)	2,3×10 <sup>10</sup>	47
Elektron serbestliği (300 K'de-cm <sup>2</sup> /V.s)	1350	3900
Elektron serbestliği (77 K'de-cm <sup>2</sup> /V.s)	2,1×10 <sup>4</sup>	3,6 ×10 <sup>4</sup>
Delik serbestliği (300 K'de-cm <sup>2</sup> /V.s)	480	1900
Delik serbestliği (77 K'de-cm <sup>2</sup> /V.s)	1,1×10 <sup>4</sup>	4,2×10 <sup>4</sup>
Enerji başına elektron-delik çifti (300 K'de-eV)	3.62	----
Enerji başına elektron-delik çifti (77 K'de-eV)	3.76	2.96
Fono faktörü (77 K'de)	0.084	0.08

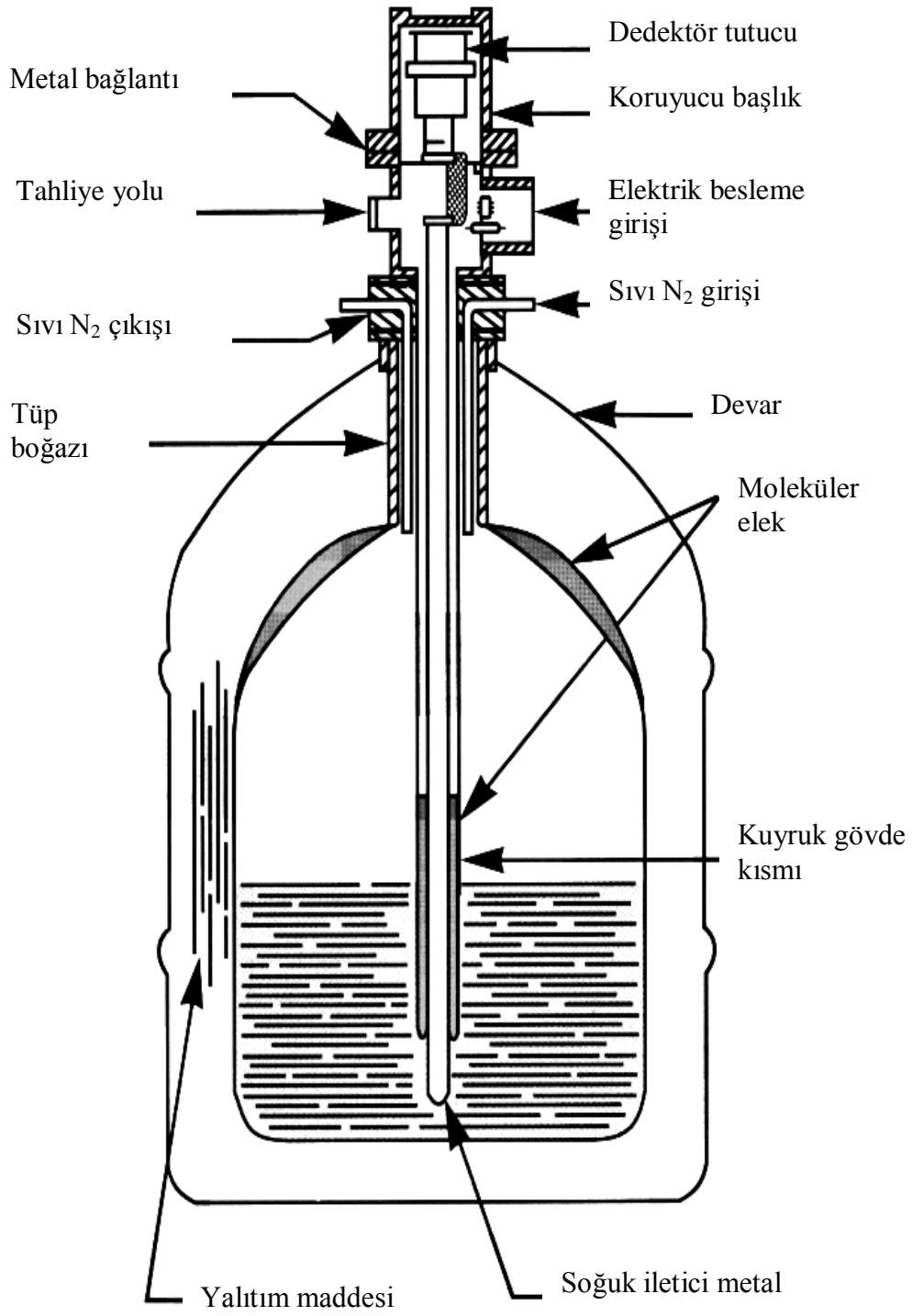
E enerjili bir foton sayacın aktif bölgesine düştüğünde silisyum atomlarını iyonlaştırır. Foton, enerjisinin tamamını fotoelektronlara verir. Fotoelektron, enerjisi bitinceye kadar yolu boyunca elektron-boşluk çifti meydana getirerek sayaç içinde hareket eder. Şekil 24'te elektron ve boşluk hareketi ile dedektörün şematik gösterimi görülmektedir.



**Şekil 24.** Si(Li) dedektör kesiti

Si(Li) dedektörüne yaklaşık olarak 600 V'lık ters besleme potansiyeli uygulanır. Meydana gelen elektrik alan, fotonların oluşturduğu elektron-boşluk çiftlerini toplar. Ters beslenmeden dolayı elektronlar n-tipi bölgeye, boşluklar ise p-tipi bölgeye yönelirler. p-tipi ve n-tipi bölgelerde elektrik alan vasıtasıyla toplanan yükler, akım pulsundan potansiyel pulsuna dönüştürülür. Deney sisteminde kullanılan elektronik sistem vasıtasıyla potansiyel puls, puls yükseklik analizöründe enerjisine karşılık gelen kanala yerleştirilir.

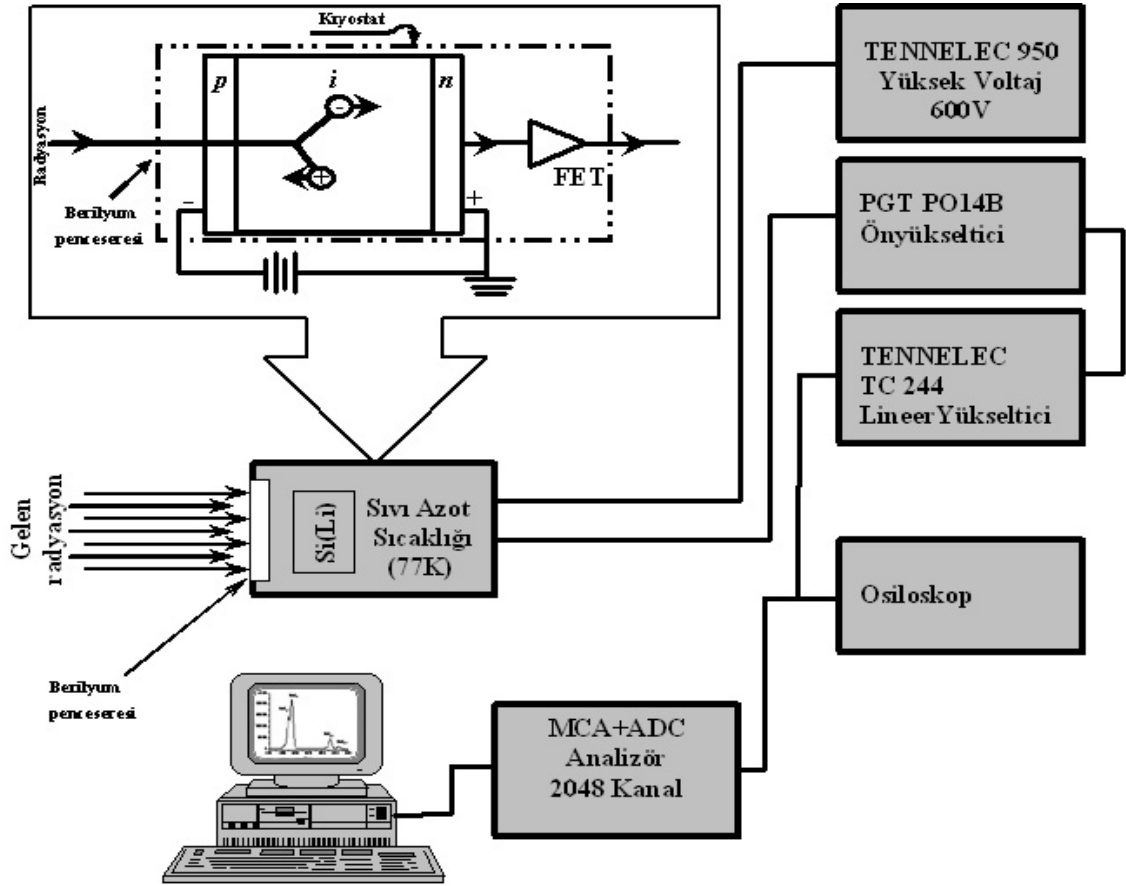
Dedektör, Şekil 25'te görüldüğü gibi sıvı azot devarının içine bağlanmış olan bir vakum odasına monte edilmiştir. Böylece dedektörün hassas yüzeyi rutubetten ve diğer kirleticilerden korunmuştur.



Şekil 25. Kriyostat ve bölümleri

## 1.14. Sayma Sistemi

Sayma sistemi bir dedektör, ön yükseltici, yükseltici, analog sayısal dönüştürücü, puls yükseklik analizörü, osiloskop ve bir yüksek voltaj kaynağından oluşmaktadır. Şekil 26’da sayma sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 26. X ve gama ışınları ölçüm sisteminin blok diyagramı

### 1.14.1. Yüksek Voltaj Kaynağı

Dedektörde meydana gelen yükleri toplamak için bir yüksek voltaj dedektör üzerine uygulanmalıdır. En iyi çalışma voltajı genellikle üretici firma tarafından belirlenir ve küçük bir dedektör için birkaç yüz voltajdan büyük bir dedektör için 4000 V'un üstüne kadar değişebilir (Debertin vd., 1988).

### 1.14.2. Ön Yükseltici

Modern bir yarıiletken dedektör sistemi ile birlikte yüke hassas ön yükseltici kullanılır. Elektronik gürültüyü minimize etmek için, genellikle bir alan-etkili transistör (FET) olan ön yükselticinin girişi dedektörle aynı tarzda soğutulur, yani sıvı azot kaynama sıcaklığında muhafaza edilir. Ön yükseltici çalışmasını iyileştirmek için FET'in sıcaklığı oda sıcaklığında olan dedektörün dış muhafazasından içeriye biraz ısı sızmasına izin verilerek dedektörden daha sıcak tutulabilir. Ön yükseltici dedektörden gelen yük pulsunu voltaj pulsuna dönüştürür. Buradan çıkan pulsların yükseklikleri veya genlikleri dedektörde toplanan yük miktarı ile orantılı olmalıdır. Dolayısıyla eğer fotonun bütün enerjisi dedektörde soğurulmuşsa fotonun enerjisiyle orantılı olmalıdır.

### 1.14.3. Yükseltici

Bir yükselticinin iki ana görevinden birincisi ön yükselticinin çıkış puls genliklerini ayırt ederek sayılma için uygun seviyelerini yükseltmek, ikincisi ise pulsları, puls genliği ve X-ışını fotonu arasındaki orantılı ilişkiyi tamamen sürdürerek işleme uygun bir forma sokmaktır.

Modern sistemler için maksimum çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu yükseltici hem unipolar çıkış (yani, sinyalin pik kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (yani, sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü (signal-to-noise) oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir. Kullanıcının bilerek seçmesi gereken başka bir yükseltici denetimi puls genişliğini belirleyen "Shaping time" sabitidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi ayırma gücü, genellikle sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabileceği için daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri daha fazla rastgele toplanmaya da neden olur. Bundan dolayı, eğer sistem 2000 s<sup>-1</sup>'lik sayma hızlarında çalıştırılabilecekse daha kısa zaman sabitleri kullanılabilir.

### 1.14.4. Analog Sayısal Dönüştürücü

Analog sayısal dönüştürücünün (ADC) amacı yükselticiden gelen analog pulsu, onun genliğiyle ve dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle orantılı bir tam sayıya



çevirmektir. Bu işleme de analogu sayısala dönüştürme işlemi denir. Sayılmış olan her bir puls yüksekliği kadar sayı analizörün hafızasında biriktirilir. Sonuçta bu bilgi bir enerji spektrumu olarak ekrana aktarılır.

#### **1.14.5. Çok Kanallı Analizör (MCA)**

Çok kanallı analizör, sayısal hale getirilmiş pulsları kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Gerçekte, her bir kanal depolamak için kullanılan bir kutudur ve X-ışını spektrumunda kesin olarak kalibre edilmiş sayısal enerji aralığı olan bir enerji aralığına düşen pulsları sayar. Kalibrasyon işlemi standart kaynaklar kullanılarak ölçüme başlamadan önce yapılmalıdır.

#### **1.15. Dedektör Verimi**

EDXRF sistemi ile yapılan çalışmalarda dedektör veriminin bilinmesi gerekir. Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır.

Dedektör verimliliğinin tayini için kalibre edilmiş kaynaklara ihtiyaç vardır. Bu kaynakların bozunmalarında foton yayımlama ihtimali değerleri bilinmelidir. Dedektör verimliliğini etkileyen faktörleri kolimatör faktörü, dedektör maddesi, dedektörün hassas bölgesi, imalat faktörü ve kıyılarından kaçmalar şeklinde sıralayabiliriz.

##### **1.15.1. Dedektör Verimliliğinin Ölçülmesi**

Verim tayini için genelde nokta kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynak homojen olarak foton yayımlayamayacağından bu durum dedektör verimini etkiler. Bunun için kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir.

Bir dedektörün bir enerjideki verimi, dedektörden sabit bir uzaklıkta bulunan standart kaynaktan birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısını bilmekle tayin edilebilir. Bu şekilde elde edilen verim bütün geometri ve soğurma faktörlerini içine almaktadır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Numunelerin Hazırlanması

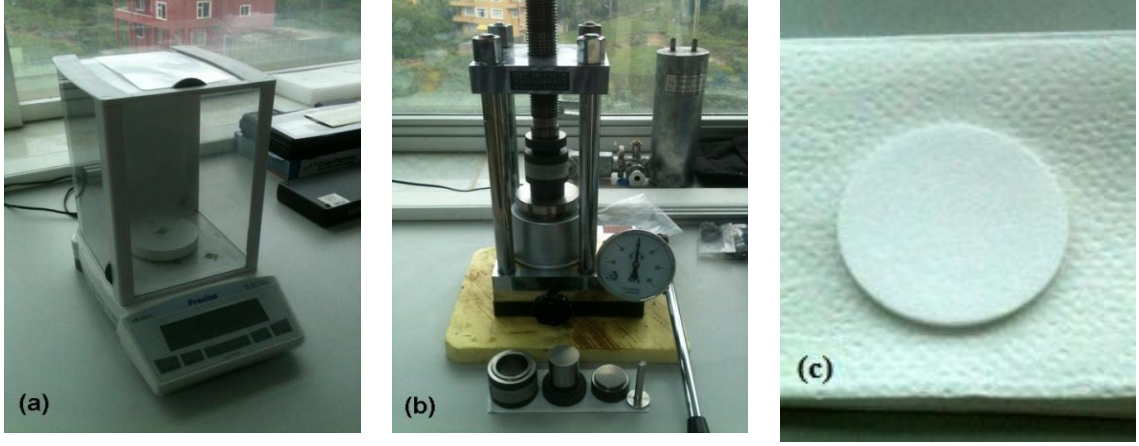
AYPE türü polietilen 5 kez 2 ayrı ince elekten geçirilip pamuksu kısımlarından arındırıldı. Daha sonra polietilen, üleksit ve barit etüvde 30 dk süreyle 60 °C sıcaklıkta kurutuldu.



**Şekil 27.** Etüv

Örnekler sırasıyla katkısız polietilen ve %1, %2, %3, %4, %5, %10 oranlarında üleksit katkılı polietilen olarak toplam 7 örnek 4'er g şeklinde hazırlandı ve homojen karışmasını sağlayabilmek için 1'er saat süreyle porselen havanda karıştırıldı.

Homojen karışım içerisinde alınan 3 adet 1,2 g'lık örnekler pres makinesinde 40 mm çapında peletler halinde yaklaşık 30 MPa basınçta ve 1 dk süre bekletilerek basıldı.



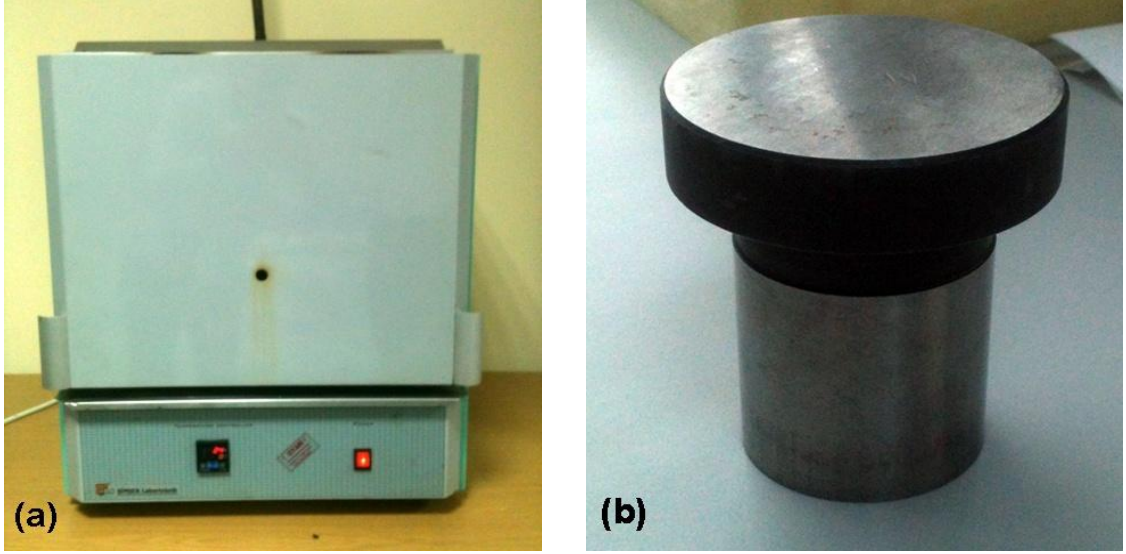
**Şekil 28.** a. Terazi, b. Press makinesi, c. Örnek pelet

Hazır hale gelen örnekler için alüminyum kapların alt kısımları kullanılarak Şekil 29’da ki gibi kalıplar yapıldı. Pelet halindeki örnekler kalıpların içerisine konularak kül fırınında eritme işlemini gerçekleştirmek üzere hazır hale getirildi.



**Şekil 29.** Örnek kalıplar

Kül fırınında 190 °C sıcaklıkta yaklaşık 60 dk süre boyunca eritme işlemi gerçekleştirildi. Sonra çıkarılan her bir kalıbın üzerine pres makinesinin Şekil 30b’de görülen aparatı ile sıcak halde iken basınç uygulandı. Son olarak örnekler oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı ve 0,90 mm ile 1,50 mm arasında değişen kalınlıklarda örnekler elde edildi.

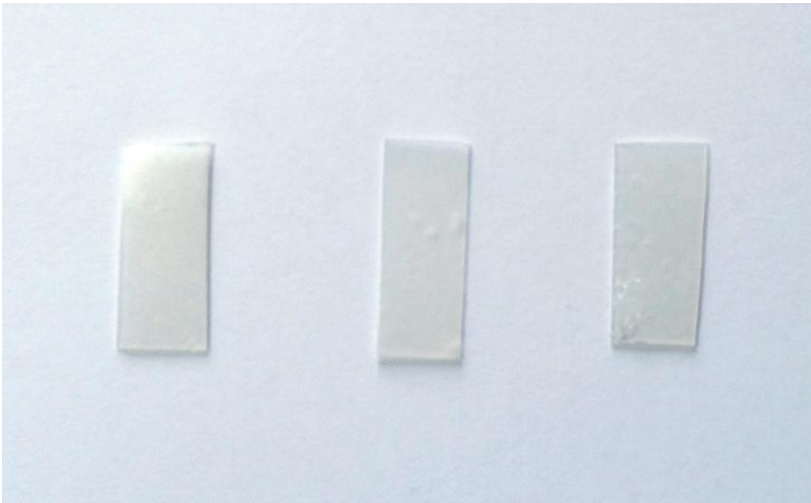


**Şekil 30.** a. Kül fırını, b. Press makinesi aparatı

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Optik Özelliklerin İncelenmesi

Pelet haline gelen örnekler Şekil 31’de ki gibi (1,5x3,5 cm boyutlarında) dikdörtgen şeklinde kesilip optik ölçüm için hazır hale getirildi. Örneklerin optik ölçümleri için Şekil 32’de gösterilen Molecular Devices SpectraMax M5 spektrofotometresi kullanıldı. Ölçümler UV-Visible dalga boyu aralığında gerçekleştirildi. Her örnek için ölçüm üç kez tekrarlandı. Böylece sayımlardaki hatalar en aza indirilmeye çalışıldı. Bu ölçümlerin ortalamaları grafik çizimleri için kullanıldı.



**Şekil 31.** Optik ölçüm için hazır hale gelen örnekler



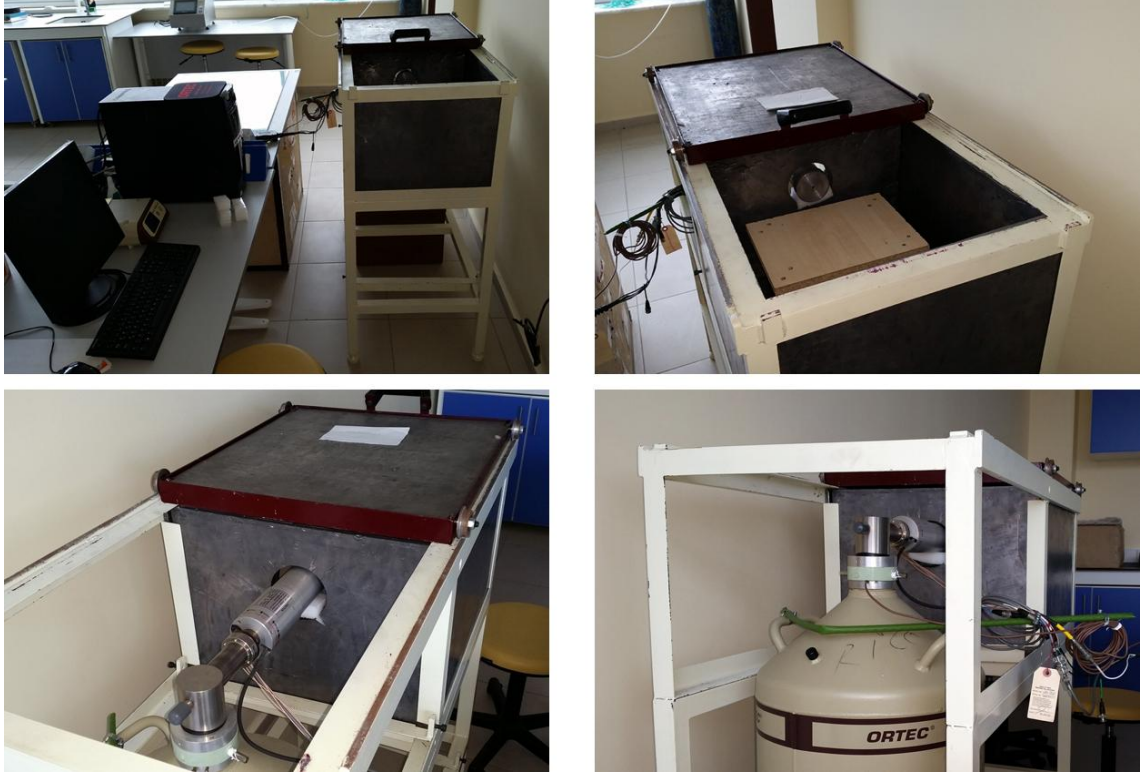
**Şekil 32.** Molecular Devices SpectraMax M5 Spektrofotometresi

## **2.2.2. Lineer Soğurma Katsayılarının Ölçümleri**

### **2.2.2.1. Deney Sistemi**

Deney sisteminde Ortec marka Si(Li) dedektör,  $^{55}\text{Fe}$  (5,9 keV) ile  $^{241}\text{Am}$  (59,54 keV) radyoizotop kaynakları, ön amplifikatör, amplifikatör, yüksek voltaj güç kaynağı, ADC (Analog-Sayısal Dönüştürücü), MCA (çok kanallı analizör) ve bilgisayar kullanıldı. Elektronik gürültünün azaltılması amacı ile dedektör  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sıvı azot içerisine daldırılmış ve termal denge sağlanmıştır. Ölçümleri gerçekleştirdiğimiz deneyin ölçüm sisteminin genel görünüşleri Şekil 33'te verilmektedir.





Şekil 33. X-ışını ölçüm sisteminin genel görünüşleri

#### 2.2.2.2. Deney Geometrisi, Numunelerin Uyarılması ve Gama Işınlarnın Sayılması

Elde edilen bor ve barit mineral katkılı polietilen örneklerin lineer soğurma katsayılarının belirlenmesinde en önemli aşamalardan birini, örneklerin uygun geometride soğurma ölçümlerinin yapılması teşkil etmiştir. Bu ölçümler, doğrudan uyarma yöntemine göre hazırlanan deney geometrisi (transmisyon geometrisi) kullanılarak yapılmıştır. Kullandığımız deney geometrisi Şekil 34'te gösterilmektedir. Bu deney düzeneğinde soğurma katsayılarını ölçeceğimiz örnekler, 10 mCi'lik  $^{241}\text{Am}$  radyoizotop kaynağından yayımlanan 59,54 keV'lik enerjili ve 100 mCi'lik  $^{55}\text{Fe}$  radyoizotop kaynağından yayımlanan 5,9 keV enerjili gama fotonlarına maruz bırakıldı. Her örnek için ölçüm üç kez tekrarlandı. Böylece sayımlardaki hatalar en aza indirilmeye çalışıldı. Bu ölçümlerin ortalamaları lineer soğurma katsayılarının hesaplanması için kullanıldı. Kullanılan radyoizotop kaynakların özellikleri Tablo 10'da verilmektedir.

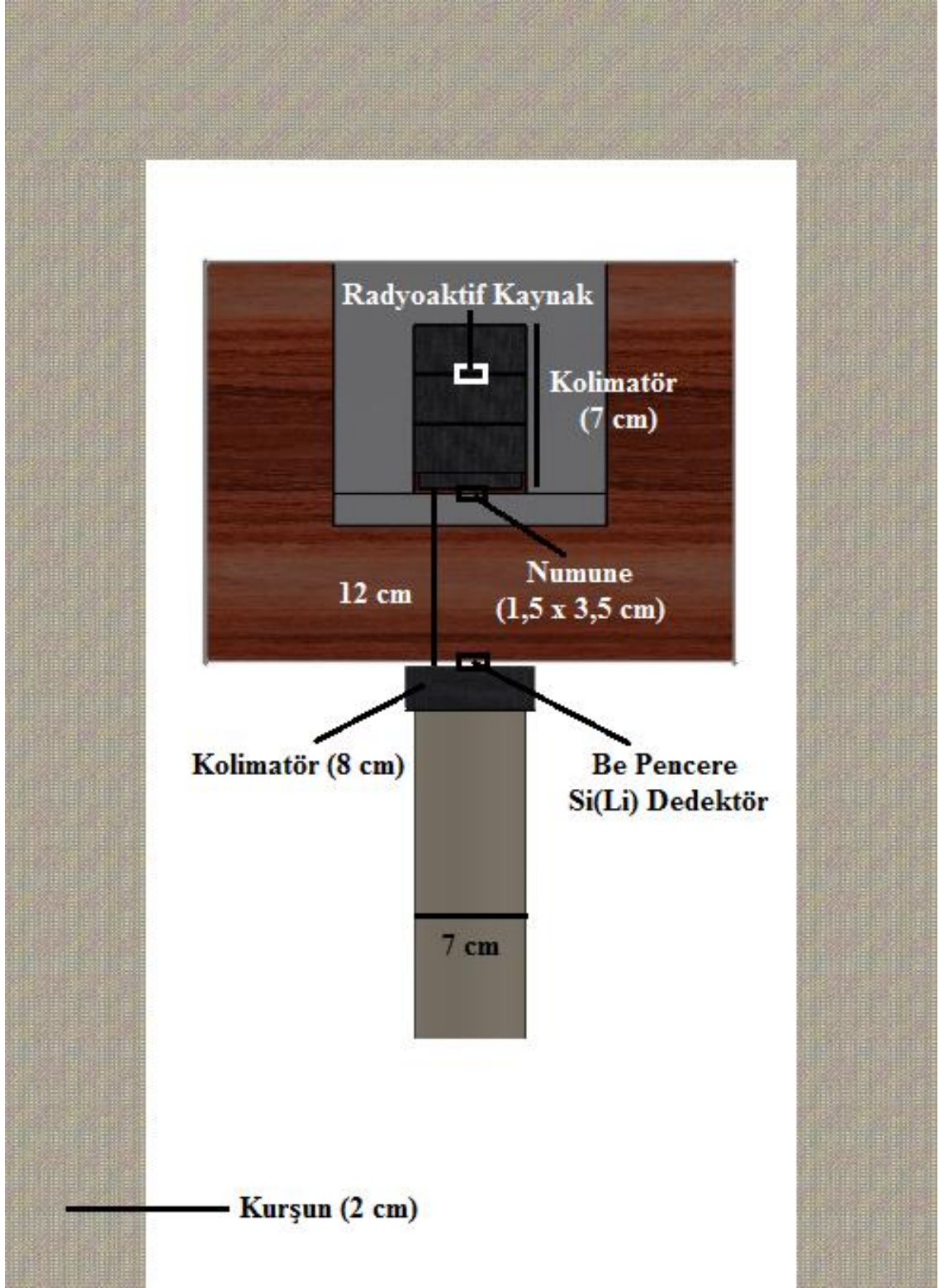
**Tablo 10.** Numunelerin uyarılmasında kullanılan radyoizotop kaynaklar ve özellikleri

Radyoizotop ve Yarı Ömrü	Bozunma Tipi	Parçacık Enerjileri ve Geçiş İhtimaliyeti		Elektromanyetik Geçişler	
		Enerji (MeV)	Geçiş İhtimaliyeti	Foton Enerjisi (MeV)	Foton Yayımlanma İhtimaliyeti
Fe-55 (2,69 yıl)	EC	-	100%	(0,0059-0,0065) Mn K X-ışınları (0,059)	28%
Am-241 (433 yıl)	$\alpha$	5,443 5,486	13% 85%	Np L X-ışınları	36% 38%

Kaynaklardan Compton saçılmasına uğrayan gama ışınları uygun bir kolimatör kullanılarak paralel bir demet halinde dedektör penceresine (Be pencere) düşecek şekilde kolime edilmiştir. Ayrıca, istenmeyen küçük açılı saçılmaları en aza indirmek ve numune yerleştirmek için, her biri üzerinde 2 mm çaplı delikler bulunan üç kurşun kolimatör, dedektör ile kolimatör arasına konulmuştur.

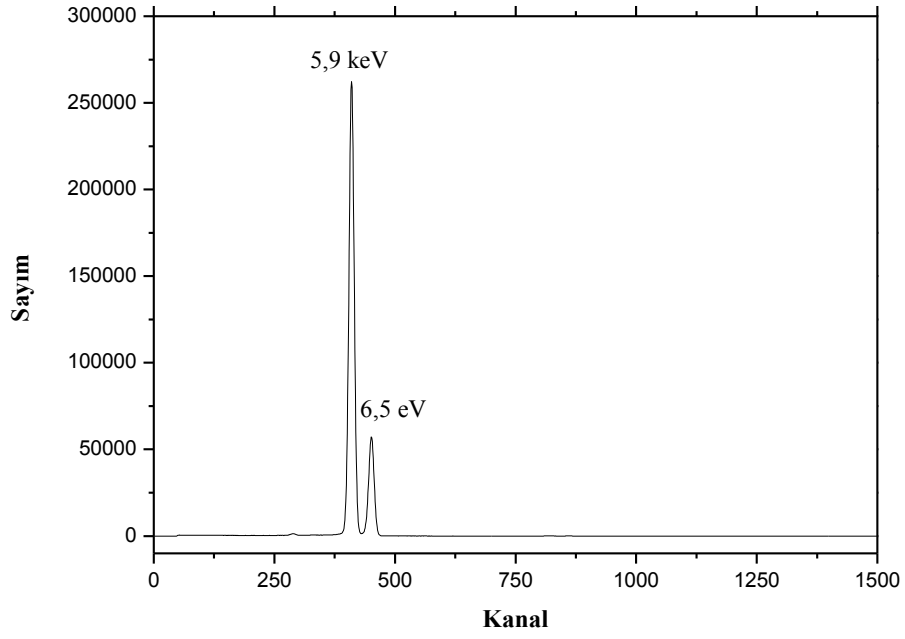
Radyoaktif kaynaklardan yayımlanan radyasyondan korunmak için dedektörü çevreleyen 4 cm kalınlıkta kurşun koruyucu konulmuştur. Kaynak ile Berilyum pencere arası uzaklık 12 cm'dir.

Kaynaklardan yayımlanan gama ışınlarını saymak için 5,9 keV'de yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 0,16 keV olan Ortec marka Si(Li) dedektör kullanılmıştır. Elde edilen örneklerin 5,9 keV enerjideki spektrum örneği Şekil 35'de, 59,54 keV enerjideki spektrum örneği ise Şekil 36'da verilmiştir.

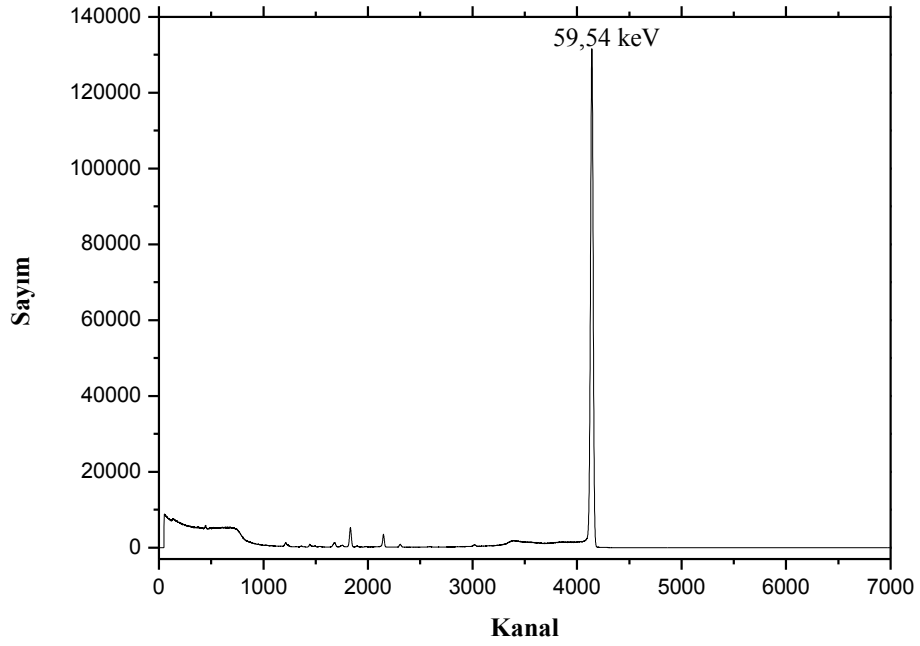


**Şekil 34.** X-ışınları soğurma ölçümleri için kullanılan deney geometrisi





Şekil 35.  $^{55}\text{Fe}$  radyoaktif kaynağı için örnek spektrum

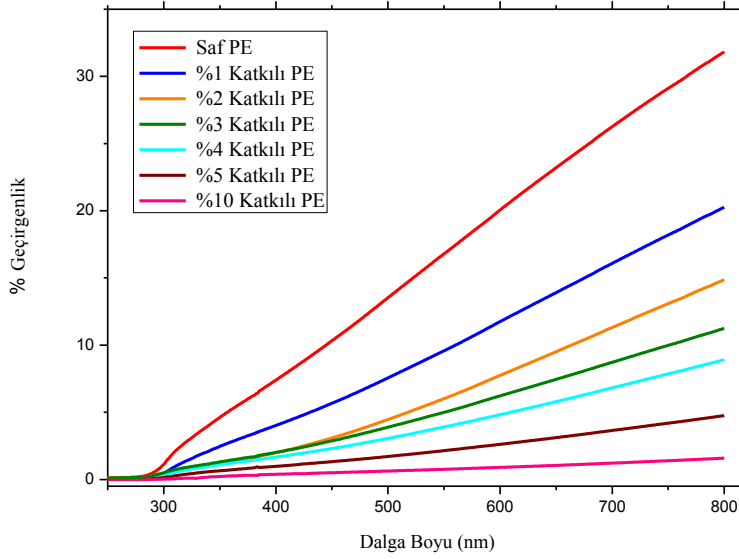


Şekil 36.  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynağı için örnek spektrum

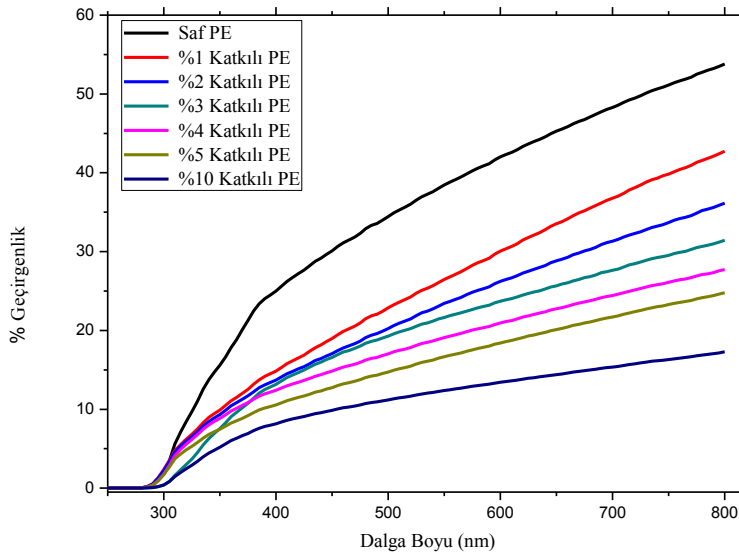
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Optik Özelliklerin İncelenmesi

Molecular Devices SpectraMax M5 spektrofotometresi kullanılarak ölçülen örneklerin optik geçirgenlik eğrileri Şekil 37 ve Şekil 38’de verilmiştir.



Şekil 37. Üleksit katkılı polietilen örneklerin optik geçirgenlik eğrileri



Şekil 38. Barit katkılı polietilen örneklerin optik geçirgenlik eğrileri

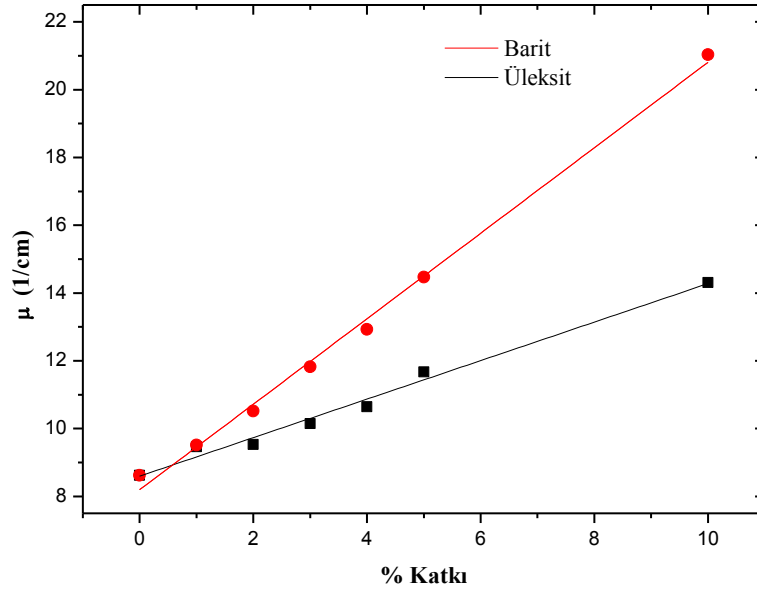
## 3.2. Soğurma Katsayıları

### 3.2.1. Lineer Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi

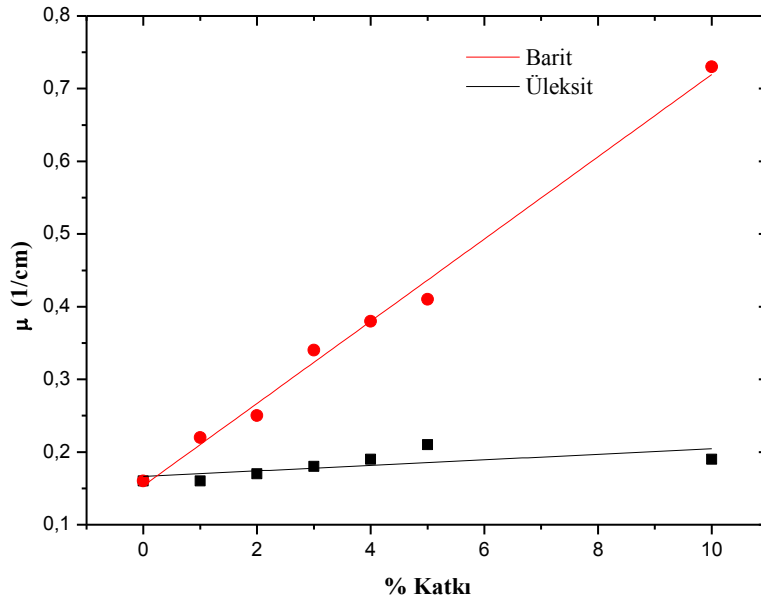
Ortec marka Si(Li) dedektör kullanılarak ölçülen örneklerin  $^{55}\text{Fe}$  radyoaktif kaynağı ve  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynağı için lineer soğurma katsayısı değerleri Tablo 11'de ve % katkıya karşılık lineer soğurma katsayılarının değişimi ise Şekil 39 ve Şekil 40'da verilmiştir.

**Tablo 11.** Lineer soğurma katsayıları  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ )

Enerji (keV)	$\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )			
	5,95		59,54	
	Üleksit	Barit	Üleksit	Barit
Katkısız	8,623±0,458		0,163±0,014	
%1	9,462±0,256	9,511±0,135	0,161±0,015	0,217±0,011
%2	9,533±0,120	10,520±0,233	0,173±0,012	0,253±0,016
%3	10,155±0,165	11,823±0,762	0,188±0,013	0,342±0,024
%4	10,646±0,152	12,935±0,246	0,186±0,015	0,378±0,029
%5	11,672±0,170	14,474±0,510	0,209±0,016	0,406±0,031
%10	14,312±0,348	21,037±0,299	0,190±0,014	0,726±0,039



Şekil 39.  $^{55}\text{Fe}$  radyoaktif kaynağı için lineer soğurma katsayısının % katkıya göre değişimi



Şekil 40.  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynağı için lineer soğurma katsayısının % katkıya göre değişimi

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Saf polietilen ve %1 ile %10 arasında değişen bor ve barit mineral katkı polietilen örneklerinde optik geçirgenlik eğrileri Şekil 37 ve Şekil 38’de verildi. Buna göre saf polietilen ve katkı polietilen örneklerinde optik şeffaflık değerleri katkı oranına bağlı olarak artmaktadır. Bunun yanında Şekil 37 ile Şekil 38’de ki spektrumlar kıyaslandığında optik geçirgenlik spektumu eğrileri aynı mekanizmaya sahip olmasına rağmen spektrumun görüntülerinde farklıklar gözükmemektedir. Yani katkı oranına bağlı olarak Şekil 37’de verilen spektrumların optik geçirgenlik değerleri exponansiyel olarak artarken Şekil 38’de ki spektrumda belli bir katkı oranında spektrumda bir doyum eylemi söz konusudur. Bunun nedeni barit minerali katkısının kristal yapıyı sabit bir duruma geçirmesinin göstergesidir. Nitekim bu sonuçlar optik geçirgenlik ve lineer soğurma katsayısı spektrumlarında da bu durumu göstermektedir. Ayrıca spektrumlardan da gözükteğü gibi bor ve barit minerallerinin katkısıyla polietilen örneklerinde optik şeffaflık değerlerinin 300 nm dalga boyundan başladığı gözlenmektedir. Yani mineraller polietilen örneklerin sadece kristal yapılarını etkilemektedirler.

Lineer soğurma katsayılarının belirlenmesinde ise <sup>55</sup>Fe radyoaktif kaynağı için üleksit ve barit katkılanarak elde edilen örneklerin lineer soğurma katsayısı değerlerinin % katkı arttıkça arttığı gözlemlendi. <sup>241</sup>Am radyoaktif kaynağı için üleksit katkılanarak elde edilen örneklerin lineer soğurma katsayısı değerlerinin % katkı arttıkça çok fazla değişmediği ve barit katkılanarak elde edilen örneklerin ise lineer soğurma katsayısı değerlerinin % katkı arttıkça arttığı gözlemlendi. Ölçümlerde ortaya çıkan toplam hatanın %1,2 ile %9,4 arasında değiştiği tayin edildi. Bu hataların dedektörde numune yokken ve numune varken yapılan ölçümlerde şiddetin alan hesabından gelen hata ve numune kalınlıklarının ölçümünden gelen hata olarak belirlendi.

## 5. ÖNERİLER

Laboratuvar koşullarında elde edilen bu örneklerin gelişmiş tekniklerle homojenlik ve kalınlık bakımından daha hassas üretim koşullarında elde edilmesi faydalı olacaktır. Ayrıca çeşitli bor minerallerinin bu yapılarda katkı malzemesi olarak kullanılması yani yeni özellikli polietilenlerin elde edilmesi ve incelenmesi kullanım alanının genişlemesine ve böylece sanayiye kazandırılmasına fayda sağlayacağı düşünülebilir.

Elde edilen bu katkılı polietilen örneklerin kullanım alanlarına göre tarımda solarizasyon (toprak dezenfektasyonu) ve elektronik aygıtlar için termal iletkenlik katsayılarının belirlenmesine ihtiyaç vardır.

Günümüzde tüketicilerin daha kaliteli, sağlıklı, tazeye yakın özelliklere sahip ve raf ömrü uzun gıdaları talep etmesi, ambalajlama uygulamalarında yeni arayışlara ve gelişmelere yol açmıştır. Tüketicilerin daha az işlenmiş ve doğal özellikleri daha az zarar görmüş gıdaları tercih etmelerinin yanı sıra; yapılan çalışmalar sonucunda “aktif ve akıllı ambalajlama” olarak adlandırılan çağdaş ambalajlama teknolojilerinde bu katkılı polietilen örneklerinin kullanılması faydalı olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- Addemir, O., 2002.** Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiye'nin Durumu. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 3-4 Ekim 2002, 15-21.
- Ayan, M., 1979.** Dünyada Barit ve Geleceği. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Dergisi, 59 s.
- Bertin, E.P., 1975.** Principles and Practica of X-Ray Spectrometric Analysis. Plenum Press, Second Edition, ISBN: 978-0306308093, 1080 s.
- Cengiz, İ., 2012.** Polietilen ve Polipropilen Esaslı Ürünlerin, Plastik Enjeksiyon İşlem Parametreleri ve Termodinamik Yöntemlerle Isı Yayılımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, Türkiye, 113.
- Coşkun, A., 2010.** Ağır Betonlarda Barit Agregasının Kullanımı ve Beton Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Türkiye, 65.
- Çengel, Ö., 2013.** Peroksitlerin Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE) Üzerine Etkisi, Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, Türkiye, 70.
- Çevik, U., 1994.** Doğu Karadeniz Dip Tortularının X - Işını Floresans Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 52.
- Damla, N., 2009.** Türkiye'deki Bazı İnşaat Malzemelerinde Doğal Radyoaktiflik Seviyelerinin ve Kütle Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 127.
- Debertin, K. and Hemler, R. G., 1988.** Gamma and X-Ray Spektrometry With Semiconductor Detectors. 94-100 s. Elsevier Science Publishers, New York, U.S.A.
- Demirci, M., 2009.** Polietilen-Evoh Harmanlarının Hazırlanması ve Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 127.
- Dey, T.K. and Tripathi, M., 2010.** Thermal properties of silicon powder filled high-density polyethylene composites. Thermochemica Acta, 502, 35-42.
- Dolak, İ., 2010.** Nadir Toprak Elementleri İçeren Barit ve Fluorit Cevherinin Değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye, 118.

- Ertürk, A.T., 2007.** PE Malzemelerde CaCo<sub>3</sub> Katkısının Termal ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 117.
- Evans, V., 1970.** Korozyona Karşı Plastikler. 10-13 s. Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 59.
- Friedrich, M.E.P. and Marvel, C.S., 1930.** The Reaction Between Alkali Metal Alkyls And Quaternary Arsonium Compounds. Journal of the American Chemical Societ., 52 (1), 376-384.
- Ge, C., Ding, P., Shi, L. and Fu, J., 2009.** Isothermal Crystallization Kinetics and Melting Behavior of Poly(ethylene terephthalate)/Barite Nanocomposites. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 47, 655-668.
- Jerkins, R., Manne, R., Robin, R. and Senemaud, C., 1991.** Nomenclature, Symbols, Units and Their Usage in Spectrochemical Analysis, Nomenclature System for X-Ray Spectroscopy. X-Ray Spect., 20,149.
- Kim, M. and Lee, S., 2002.** Characteristics of crosslinked potato starch and starch-filled linear low-density polyethylene films. Carbohydrate Polymers, 50, 331-337.
- Köse, H., Ediz, N. ve Erdoğan, N., 2002.** Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye için Önemi I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 3-4 Ekim 2002, 275-284.
- Kricheldorf, H.R., Nuyken, O. and Swift, G., 2005.** Handbook of Polymer Synthesis. ISBN: 0-8247-8514-2, 984 s.
- Krupa, I., Novak, I. and Chodak, I., 2004.** Electrically and thermally conductive polyethylene/graphite composites and their mechanical properties. Synthetic Metals, 145, 245-252.
- Kumlutaş, D., Tavman, İ.H. and Çoban, M.T., 2003.** Thermal conductivity of particle filled polyethylene composite materials. Composites Science and Technology, 63, 113-117.
- Luyt, A.S., Molefi, J.A. and Krump, H., 2006.** Thermal, mechanical and electrical properties of copper powder filled low-density and linear low-density polyethylene composites. Polymer Degradation and Stability, 91, 1629-1636.
- Miçillioğlu, S., 2010.** Lactuca Sativa Bitkisi Kullanılarak Bor Konsantrasyonu Yüksek Suların Arıtılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 82.
- Rusu, M., Sofian, N. and Rusu, D., 2001.** Mechanical and thermal properties of zinc powder filled high density polyethylene composites. Polymer Testing, 20, 409-417.



- Shin, Y.K., Lee, W.S., Yoo, M.J. and Kim, E.S., 2013.** Effect of BN filler on thermal properties of HDPE matrix composites. *Ceramics International*, 39, S569-S573.
- Şahin, T., 2009.** Mikro Taneli Ham Kolemanit ile Polipropilen Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Yurtiçi Tüketim Miktarının Arttırılması. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü BOREN, Ç0227.
- Tertian, R. and Claisse, F., 1982.** Principles of Quantitative X-rayc FluorescenceAnalysis. Heyden&Son Ltd., London, UK.
- Thongruang, W., Spontak, R.J. and Balik, C.M., 2002.** Correlated electrical conductivity and mechanical property analysis of high-density polyethylene filled with graphite and carbon fiber. *Polymer*, 43, 2279-2286.
- Yenialaca, Ç., 2009.** Bor ve Kullanım Alanları. Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Ankara, Türkiye, 35.
- Yılmaz, A., 2002.** Her Derde Deva Hazinemiz Bor. TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Ankara, Türkiye.
- Zhou, W., 2011.** Thermal and dielectric properties of the AlN particles reinforced linear low-density polyethylene composites. *Thermochimica Acta*, 512, 183-188.
- Zhou, W., Qi, S., An, Q., Zhao, H. and Liu, N., 2007.** Thermal conductivity of boron nitride reinforced polyethylene composites. *Materials Research Bulletin*, 42, 1863-1873.
- URL-1, 2014.** <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics---the-facts-2011.aspx> (26.05.2014)
- URL-2, 2014.** <http://www.kimyaturk.net> (26.05.2014)
- URL-3, 2014.** <http://www.polimernedir.com> (26.05.2014)
- URL-4, 2013.** [http://www.plastfam.com.tr/pdf/Polietilen\\_Nedir.pdf](http://www.plastfam.com.tr/pdf/Polietilen_Nedir.pdf) (06.05.2013)
- URL-5, 2004.** <http://jan.ucc.nau.edu/~wittke/Microprobe/Course%20Overview.html> (15.06.2004)
- URL-6, 2014.** <http://www.mta.gov.tr/v2.0/madenler/mineraller/index.php?id=uleksit> (28.05.2014)

## **ÖZGEÇMİŞ**

20.09.1986 yılında Sivas'ın Suşehri ilçesinde doğdu. İlk ve ortaokulu Keşap Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu'nda, liseyi de Giresun Lisesi'nde okudu. Lisans öğrenimini Rize Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde 2012 yılında tamamladı. Aynı yıl Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Tezli Yüksek Lisans'a başladı. Halen öğrenimine devam etmekte olup İngilizce bilmektedir.

Emrah KULOĞLU