

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**ALUMİNYUM TİTANAT/SPİNEL'İN RADYASYON KARŞISINDAKİ  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Görkem ÇEVİKBAŞ**

**Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı**  
**Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı**

**MAYIS 2014**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**ALUMİNYUM TİTANAT/SPİNEL'İN RADYASYON KARŞISINDAKİ  
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Görkem ÇEVİKBAŞ  
(302121003)**

**Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı**

**Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL**

**MAYIS 2014**



İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 302121003 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Görkem ÇEVİKBAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ALUMİNYUM TİTANAT/SPİNEL’ İN RADYASYON KARŞISINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Zuhale ER** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **5 Mayıs 2014**  
**Savunma Tarihi :** **28 Mayıs 2014**



## ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması ile, radyasyon bulunan ortamlarda ve dolayısıyla nükleer teknoloji ve ileri teknolojilerde kullanım imkanı bulunan saf magnezyum alüminat (spinel) ve kütlece belli oranlarda alüminyum titanat katkılı spinel içeren malzemelerin gama, beta ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları incelenmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmanın, konu ilgililerine, yardımcı olması umulur.

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından itibaren ve tez çalışmam süresince değerli bilgi, birikim ve tecrübelerinden yararlanma imkânını bana sağlayan, ayrıca nükleer teknoloji başta olmak üzere daha birçok konuda bakış açımı değiştirmeme ve araştırmalara yönelerek kendimi geliştirmemi sağlayan saygıdeğer hocam Sn. Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, bu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan malzemelerin temininde destek veren Sn.Yrd. Doç. Dr. Tahsin BOYRAZ hocama ve Araş. Görevlisi Umut ÖNEN'e, deney sistemlerinin kurulmasında ve deney aşamalarında desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini paylaşan hocam Dr. Bülent BÜYÜK'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanaklarını kullandıran İTÜ Enerji Enstitüsü ve İTÜ TRİGA Mark Eğitim ve Araştırma reaktör grubuna da teşekkür ederim.

Son olarak eğitim hayatım boyunca beni her yönden destekleyen ve her koşulda arkamda olan annem, babam ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Görkem ÇEVİKBAŞ





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
SEMBOL LİSTESİ .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xviii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Radyasyon Tanımı ve Radyoaktivite .....	5
2.2 Radyasyonun Sınıflandırılması .....	6
2.2.1 Radyasyonun enerjisi.....	6
2.2.2 Radyasyonun türü .....	7
2.2.3 Radyasyonun kaynağı.....	8
2.3 Radyasyonun Madde İle Etkileşim Mekanizmaları .....	10
2.3.1 Alfaların Madde İle Etkileşimi.....	11
2.3.2 Betaların Madde İle Etkileşimi.....	12
2.3.3 X ve Gama Işınlarnın Madde İle Etkileşimi.....	14
2.3.3.1 Fotoelektrik olay.....	17
2.3.3.2 Compton saçılması.....	18
2.3.3.3 Çift oluşumu.....	19
2.3.4 Nötronların Madde İle Etkileşimi.....	19
2.3.4.1 Saçılma etkileşimleri.....	20
2.3.4.2 Nötronların soğurulması.....	22
<b>3. ALUMİNYUM TİTANAT/SPİNEL İÇEREN MALZEMELER.....</b>	<b>23</b>
3.1 Magnezyum Alüminat Spinel .....	24
3.2 Aluminyum Titanat .....	25
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>29</b>
4.1 Çalışılan Malzemelerin Tanıtımı .....	29
4.1.1 Çalışılan alüminyum titanat / spinel malzemeler.....	29
4.2 Deney Düzeneginin Tanıtımı .....	30
4.2.1 Gama deney düzeneginin tanıtımı.....	31
4.2.1.1 Gama kaynakları .....	32
4.2.1.2 Gama detektörü .....	33
4.2.1.3 Kolimatör .....	35
4.2.2 Beta deney düzeneginin tanıtımı .....	37
4.2.2.1 Beta kaynağı.....	38
4.2.2.2 Beta detektörü .....	38
4.2.3 Nötron deney düzeneginin tanıtımı .....	38
4.2.3.1 Pu-Be nötron howitzer kaynağı (Nötron Howitzer, NH-3) .....	38
4.2.3.2 Nötron detektörü .....	40

4.2.3.3 Nötron deney düzeneği .....	40
4.3 Deneylerin Yapılışı .....	41
4.3.1 Gama deneylerinin yapılışı .....	42
4.3.2 Beta deneylerinin yapılışı .....	43
4.3.3 Nötron deneylerinin yapılışı .....	44
<b>5. DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>45</b>
5.1 Gama Radyoizotop Kaynakları İle Yapılan Deney Sonuçları .....	46
5.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneylerin sonuçları.....	46
5.1.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT0 kompozit malzemeleri ile yapılan deney sonuçları .....	46
5.1.1.2 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT5 kompozit malzemeleri ile yapılan deney sonuçları .....	47
5.1.1.3 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT10 kompozit malzemeleri ile yapılan deney sonuçları .....	48
5.1.2 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneylerin sonuçları.....	49
5.1.2.1 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT0 kompozit malzemeleri ile yapılan deney sonuçları .....	49
5.1.2.2 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT5 kompozit malzemeleri ile yapılan deney sonuçları .....	50
5.1.2.3 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT10 kompozit malzemeleri ile yapılan deney sonuçları .....	51
5.2 Beta Radyoizotop Kaynağı İle Yapılan Deney Sonuçları .....	52
5.2.1 Sr-90 beta radyasyon kaynağı kullanılarak SAT0 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları .....	53
5.2.2 Sr-90 beta radyasyon kaynağı kullanılarak SAT5 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları .....	54
5.2.3 Sr-90 beta radyasyon kaynağı kullanılarak SAT10 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları .....	55
5.3 Nötron Deneylerinin Sonuçları .....	56
5.3.1 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak SAT0 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları .....	56
5.3.2 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak SAT5 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları .....	57
5.3.3 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak SAT10 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları .....	58
5.4 Mukayeseli Deney Sonuçları .....	59
5.4.1 Gama deneylerinin mukayeseli değerlendirilmesi .....	59
5.4.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçlarının mukayesesi .....	59
5.4.1.2 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçlarının mukayesesi .....	60
5.4.2 Beta deneylerinin mukayeseli değerlendirilmesi .....	61
5.4.3 Nötron deneylerinin mukayeseli değerlendirilmesi .....	62
5.4.4 Radyasyon tipine göre mukayeseli değerlendirme .....	63
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>67</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>75</b>

## **KISALTMALAR**

<b>GM</b>	: Geiger-Müller
<b>HP</b>	: Hewlett-Packard
<b>IPAQ</b>	: Cep Bilgisayarı
<b>ITER</b>	: Uluslararası Termonükleer Uygulama Reaktörü
<b>İTÜ</b>	: İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>NH-3</b>	: Nötron Howitzer Kaynak
<b>PM</b>	: Polimaster
<b>SAT</b>	: Spinel Alüminyum Titanat
<b>SAT0</b>	: Kütlece %0 Alüminyum Titanat Katkılı Spinel
<b>SAT5</b>	: Kütlece %5 Alüminyum Titanat Katkılı Spinel
<b>SAT10</b>	: Kütlece %10 Alüminyum Titanat Katkılı Spinel
<b>TAEK</b>	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
<b>TRIGA</b>	: Training Research Isotopes General Atomic



## SEMBOL LİSTESİ

<b>Al</b>	: Alüminyum Elementi
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Alüminyum Oksit Bileşiğı
<b>Al<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub></b>	: Alüminyum Titanat
<b>Co-60</b>	: Kobalt-60 Gama Radyoizotopu
<b>Cs-137</b>	: Sezyum-137 Gama Radyoizotopu
<b>E<sub>b</sub></b>	: Atom Elektronunun Bağlanma Enerjisi
<b>E<sub>e</sub></b>	: Yayınlanan Fotoelektronun Enerjisi
<b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></b>	: Borik Asit
<b>hν</b>	: Gelen Foton Enerjisi
<b>hν'</b>	: Saçılan Foton Enerjisi
<b>I</b>	: Etkileşmeden Sonraki Foton Şiddeti
<b>I<sub>0</sub></b>	: Gelen Foton Şiddeti
<b>MBq</b>	: Megabecquerel
<b>mCi</b>	: Milicurie
<b>m<sub>e</sub>c<sup>2</sup></b>	: Elektronun durgun Kütle Enerjisi
<b>MeV</b>	: Mega Elektron Volt
<b>Mg</b>	: Magnezyum Elementi
<b>MgO</b>	: Magnezyum Oksit
<b>MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	: Magnezyum Alüminat (Spinel)
<b>(n , γ)</b>	: Nötron-Gama Soğurma Etkileşimleri
<b>(n , α)</b>	: Nötron-Alfa Soğurma Etkileşimleri
<b>(n , 2n)</b>	: Nötron-2 Nötron Soğurma Etkileşimleri
<b>(n , p)</b>	: Nötron-Proton Soğurma Etkileşimleri
<b>Pb-208</b>	: Kurşun Elementi
<b>Pu-Be</b>	: Plutonyum-Berilyum
<b>Ra<sup>226</sup></b>	: Radyum Elementi
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silisyum Oksit
<b>Sr-90</b>	: Stronsiyum Beta Radyoizotop Kaynağı
<b>Th-232</b>	: Toryum Elementi
<b>TiO<sub>2</sub></b>	: Titanyum Oksit
<b>U-235</b>	: Aktinyum Radyoaktif Serisi
<b>U-238</b>	: Uranyum Radyoaktif Serisi
<b>x</b>	: Soğurucu Malzeme Kalınlığı
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	: Zirkonyum Dioksit
<b>ρ</b>	: Malzeme Yoğunluğu
<b>μ</b>	: Lineer Zayıflatma Katsayısı
<b>μ<sub>m</sub></b>	: Kütle Zayıflatma Katsayısı
<b>μCi</b>	: Mikrocurie
<b>θ</b>	: Gelen Fotonun Geliş Doğrultusundan Sapma Açısı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 3.1</b> : Alüminyum Titanatın Fiziksel Özellikleri (Lakshmanan, 2012) .....	26
<b>Çizelge 4.1</b> : Çalışılan malzemelerin fiziksel özellikleri .....	30
<b>Çizelge 4.2</b> : Co-60 ve Cs-137 Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri (Knoll, 2002). .....	32
<b>Çizelge 4.3</b> : PM1401K Model Sintilasyon Detektörünün Genel Özellikleri .....	33
<b>Çizelge 4.4</b> : Sr-90 Beta Radyoizotop Kaynağının Özellikleri (Görür, 2006) .....	38
<b>Çizelge 4.5</b> : Nötron kaynağının (Nötron Howitzer, NH-3) genel özellikleri (Büyük, 2013). .....	39
<b>Çizelge 5.1</b> : SAT0 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	46
<b>Çizelge 5.2</b> : SAT5 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	47
<b>Çizelge 5.3</b> : SAT10 kompozit malzemelerin Co-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	48
<b>Çizelge 5.4</b> : SAT0 kompozit malzemelerin Cs-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	50
<b>Çizelge 5.5</b> : SAT5 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	51
<b>Çizelge 5.6</b> : SAT10 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	52
<b>Çizelge 5.7</b> : SAT0 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	53
<b>Çizelge 5.8</b> : SAT5 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	54
<b>Çizelge 5.9</b> : SAT10 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	55
<b>Çizelge 5.10</b> : SAT0 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	56
<b>Çizelge 5.11</b> : SAT5 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	57
<b>Çizelge 5.12</b> : SAT10 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	58
<b>Çizelge 5.13</b> : SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	60
<b>Çizelge 5.14</b> : SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	61
<b>Çizelge 5.15</b> : SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	62
<b>Çizelge 5.16</b> : SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri. ....	63





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Radyasyon kaynakları .....	5
Şekil 2.2 : Radyasyonun enerjisine göre sınıflandırılması .....	6
Şekil 2.3 : Radyasyonun türüne göre sınıflandırılması .....	7
Şekil 2.4 : U-238'in bozunum serisi .....	8
Şekil 2.5 : Th-232'nin bozunum serisi .....	9
Şekil 2.6 : U-235'in bozunum serisi .....	9
Şekil 2.7 : Radyasyonun kaynağına göre sınıflandırılması .....	10
Şekil 2.8 : Atomun yüklü bir parçacık ile uyarılması .....	11
Şekil 2.9 : Alfa parçacıklarının madde içerisindeki doğrusal hareketleri .....	12
Şekil 2.10 : Alfa ve Beta parçacıklarının menzilleri .....	13
Şekil 2.11 : Bremsstrahlung radyasyonu .....	13
Şekil 2.12 : Beta parçacıklarının geniş spektrumu .....	14
Şekil 2.13 : Fotonların madde ile etkileşim mekanizmaları .....	15
Şekil 2.14 : Fotonların şiddetinde meydana gelen değişim .....	16
Şekil 2.15 : Fotoelektrik olay .....	17
Şekil 2.16 : Compton saçılması .....	18
Şekil 2.17 : Çift oluşumu .....	19
Şekil 2.18 : Elastik saçılma .....	21
Şekil 2.19 : İnelastik saçılma .....	21
Şekil 2.20 : Fiyon olayı .....	22
Şekil 3.1 : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiO <sub>2</sub> 'nin denge diyagramı .....	27
Şekil 3.2 : Saf alüminyum titanatın mikroyapısı .....	28
Şekil 4.1 : Alüminyum titanat katkılı spinel kompozit malzemeler .....	30
Şekil 4.2 : Gama transmisyon tekniğinin genel şeması .....	31
Şekil 4.3 : Deneyde çalışılan Cs-137 gama radyoizotop kaynak .....	33
Şekil 4.4 : Deneyde çalışılan Co-60 gama radyoizotop kaynak .....	33
Şekil 4.5 : PM1401 model cihaz .....	35
Şekil 4.6 : Cep bilgisayar .....	35
Şekil 4.7 : Deneylerde kullanılan kolimatör .....	36
Şekil 4.8 : Gama deney sisteminin görüntüsü .....	36
Şekil 4.9 : Beta deney düzeneğinin şematik görüntüsü .....	37
Şekil 4.10 : Pu-Be Nötron howitzer (NH-3) nötron kaynağı .....	39
Şekil 4.11 : Nötron Howitzer-3 kaynağının iç yapısı .....	40
Şekil 4.12 : Nötron deney düzeneğinin şematik gösterimi .....	41
Şekil 5.1 : SAT0 kompozitlerin Cs-137 zayıflatma eğrisi .....	47
Şekil 5.2 : SAT5 kompozitlerin Cs-137 zayıflatma eğrisi .....	48
Şekil 5.3 : SAT10 kompozitlerin Cs-137 zayıflatma eğrisi .....	49
Şekil 5.4 : SAT0 kompozitlerin Co-60 zayıflatma eğrisi .....	50
Şekil 5.5 : SAT5 kompozitlerin Co-60 zayıflatma eğrisi .....	51
Şekil 5.6 : SAT10 kompozitlerin Co-60 zayıflatma eğrisi .....	52
Şekil 5.7 : SAT0 kompozitlerin Sr-90 zayıflatma eğrisi .....	53
Şekil 5.8 : SAT5 kompozitlerin Sr-90 zayıflatma eğrisi .....	54

<b>Şekil 5.9</b> : SAT10 kompozitlerin Sr-90 zayıflatma eğrisi .....	55
<b>Şekil 5.10</b> : SAT0 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrisi .....	57
<b>Şekil 5.11</b> : SAT5 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrisi .....	58
<b>Şekil 5.12</b> : SAT10 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrisi .....	59
<b>Şekil 5.13</b> : SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozitlerinin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri .....	60
<b>Şekil 5.14</b> : SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri .....	61
<b>Şekil 5.15</b> : SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozitlerinin Sr-90 beta zayıflatma eğrileri .....	62
<b>Şekil 5.16</b> : SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozitlerinin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri .....	63
<b>Şekil 5.17</b> : Dört radyasyon kaynağı için SAT0 kompozitlerinin mukayeseli zayıflatma eğrileri .....	64
<b>Şekil 5.18</b> : Dört radyasyon kaynağı için SAT5 kompozitlerinin mukayeseli zayıflatma eğrileri .....	64
<b>Şekil 5.19</b> : Dört radyasyon kaynağı için SAT10 kompozitlerinin mukayeseli zayıflatma eğrileri .....	65

## ALUMİNYUM TİTANAT/SPİNEL'İN RADYASYON KARŞISINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

### ÖZET

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, nükleer teknolojide önemli bir yeri olan radyasyonun zırhlanmasına yönelik olarak magnezyum alüminat (spinel) ve alüminyum titanat içeren kompozit malzemeler ile nükleer uygulamalarda üzerinde önemle durulan gama, beta ve nötronlarla transmisyon tekniği kullanılarak çalışılması amaçlanmıştır. Bilindiği üzere gama zırhlanmasında en etkin malzemelerden biri olan kurşun, bu alanda en yaygın kullanıma sahiptir. Ancak kurşunun toksisitesi ve sebep olabileceği çevre sorunları, bu gibi maddelerin teknolojide kullanımından kaçınılmasına çalışılmaktadır. Bu sebeple, yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında, gama radyasyonunun zırhlanmasındaki kurşun kullanımına alternatif olarak spinel ve alüminyum titanat ile çalışılması benimsenmiştir. Öte yandan, beta radyasyonunun zırhlanmasında alüminyum etken bir malzeme durumundadır. Dolayısıyla, deneylerde kullanılan malzemelerin içeriğindeki alüminyum bileşeninin varlığı, alüminyum titanat katkılı spinel malzemelerin beta radyasyonu karşısında sergileyeceği zırhlama kabiliyetini merak konusu yapmıştır. Bu doğrultuda, bu yüksek lisans tez çalışmasında alüminyum titanat katkılı spinel malzemeler kullanılarak beta radyasyonu ile de çalışılmıştır. Ayrıca, nükleer reaktör teknolojisinde önemli yeri olan ve zırhlanması büyük önem arz eden nötronlar da üzerinde durulması gereken bir konudur.

Gama radyasyonu ile yapılan çalışmalarda nükleer uygulamalarda yaygın olarak kullanılan iki gama radyoizotop kaynak olan Cs-137 ve Co-60 radyoizotop kaynakları ile çalışılmıştır. Bu kaynaklardan Cs-137 monokromatik enerjili bir kaynak olup, Co-60 ise yüksek enerji seviyeli ve iki pikli gama radyoizotop kaynağıdır.

Çalışılması planlanan alüminyum titanat katkılı spinel malzemeler, bileşik halinde özel olarak kompozit malzeme teknolojisi ile üretilmiştir. Söz konusu kompozit malzemelerin her biri için gama, beta ve nötron radyasyonu karşısında artan malzeme kalınlığına bağlı olarak gösterecekleri davranışlar ayrı ayrı deneysel olarak incelenmiştir. Malzemelerin bileşimindeki alüminyum titanat katkısının varlığından dolayı yapılan bu deneyler ilk olma özelliği taşımaktadır, bu durum da yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasının özgünlüğünü sağlamaktadır.

Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları ile yapılan deneylerde, çalışılan malzemelere ilişkin elde edilen sonuçlardan hareketle çizilen zayıflatma eğrileri birbirine paralel sonuçlar vermiştir. Ancak, Co-60 gama radyoizotop kaynak için elde edilen değerler, zayıflatma katsayıları açısından Cs-137 gama radyoizotop kaynak için elde edilenlerden daha düşük olmuştur. Bu durum beklenti doğrultusunda olup, sebebi ise Co-60 gama radyoizotop kaynağın ortalama enerji seviyesi 1.25 MeV iken Cs-137 gama radyoizotop kaynağının enerjisinin 0,662 MeV olmasıdır. Sonuç olarak, enerjisi yüksek olan gama radyoizotop kaynak için malzemelerin zayıflatma katsayıları daha düşük olacaktır.

Sr-90 beta radyasyon kaynağı ile yapılan deneylerle çalışılan malzemelere ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerlerinden yola çıkılarak kompozitlerin beta radyasyonuna karşı zayıflatma eğrileri çizilmiştir.

Ayrıca, Pu-Be nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerle, çalışılan kompozit malzemelerin nötronlar karşısındaki zırhlama özelliğinin araştırılması amacı ile deneylere ilişkin elde edilen sonuçlardan hareketle nötronlara karşı zayıflatma eğrileri çizilmiştir.

Gama, beta ve nötron kaynakları ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler göstermiştir ki; çalışılan kompozit malzemeler farklı radyasyon kaynakları karşısında farklı etkinlikler sergilemektedir. Malzeme bileşimindeki artan alüminyum titanat oranı farklı radyasyon kaynaklarının zırhlama açısından değişiklik arz etmektedir. Buradan hareketle, ulaşılan veriler çerçevesinde malzemeye eklenen alüminyum titanat oranının değişmesi, bazı radyasyon kaynaklarında zırhlama açısından olumlu etki yaratırken bazılarında ise zırhlama özelliğinin azalmasına sebep olacak etkiler yarattığına ilişkin sonuçlar gözlenmiştir.

Öz olarak belirtmek istenirse, bu yüksek lisans tezi ile, saf magnezyum alüminat (spinel) ve kütlece belli oranlarda katılan alüminyum titanat içeren malzemelerin gama, beta ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları özgünlük çerçevesinde incelenmiş, zayıflatma katsayıları tayin edilmiş ve mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca alüminyum titanat katkılı spinel kompozit malzemelerin radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğinin yanında, özellikle nükleer reaktörler gibi yüksek sıcaklık dayanımının önem teşkil ettiği koşullarda, malzemelerin sahip olduğu yüksek sıcaklıklara dayanım gibi üstün fiziksel özelliklere sahip olması önemli bir avantaj sağlamıştır. Bu sebeplerden dolayı, çeşitli yönlerden özgün ve uygulamada sadece nükleer teknolojide değil, otomotiv endüstrisi, cam sanayi vb. gibi ileri teknolojilerde de önem teşkil edebilecek bir çalışma yapılmaya çalışılmıştır.

## INVESTIGATION ON BEHAVIOUR OF ALUMINIUM TITANATE/SPINEL COMPOSED MATERIALS AGAINST RADIATION

### SUMMARY

In the present work, the radiation attenuation properties of Aluminum titanate ( $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ ) - Spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) ceramics composites were investigated.  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ - $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  ceramics composites which have different  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$  percentages (0%, 5% and 10%) were produced and performed against radiation sources.

The purpose of this master thesis is to study magnesium aluminate (spinel) and aluminum titanate containing materials, which has an important role in nuclear technology for radiation shielding, using the technique of gamma, beta and neutron transmission, which is important for nuclear applications. As know, lead which has been widely used for gamma shielding, is the most popular component. But now it is trying to escape from its usage in technology, because of the concerns related to the toxicity and the environmental problems associated with lead. Therefore, in this dissertation, as alternatives to using lead for gamma radiation shielding, spinel and aluminum titanate materials were studied. On the other hand, aluminum is an effective material for shielding beta radiation and the components which we use in experiments include aluminum. So shielding ability of this materials against beta radiation, wants to know. Therefore, we were study with beta radiation in this master dissertation. Also, neutrons are of great importance in the nuclear reactor technology and hence neutron shielding must be emphasized as well.

While studying with gamma radiation, two important gamma radioisotope sources, Cs-137 and Co-60, were used. Therefore, experiments with a monochromatic energy source (Cs-137) and with a high energy level and two peaked source (Co-60), both of which are commonly used in nuclear applications, were conducted.

In the experiments magnesium aluminate spinel and aluminium titanate ceramics were tested. Spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) produced by using alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) and magnesia ( $\text{MgO}$ ), and aluminium titanate ( $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ ) produced by using alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) and titania ( $\text{TiO}_2$ ) powders. Starting materials that we use are regarded as 99,9% pure. After the alumina and magnesia were weighed interms of mole ratio (1:1) of spinel, with 1.1 molar ratio mixtures were dispersed in acetone and milled as wet with alumina balls of 10 mm  $\varnothing$  for 3 h. The materials containing  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  were prepared in the same way by wet ball milling.  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$  ceramics were synthesized by reaction sintering of an equimolar mixture of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  powders. The powders were first homogenized by wet ball milling. The resulting mixtures were then sintered at 1550 °C for spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) and 1600 °C for aluminium titanate in air for 2 h.

The magnesium aluminate (spinel) and aluminum titanate containing materials, which were planned to be studied, were produced by the composite material technology (which experienced a significant progress recently). The behaviour of each of these

composite materials with increasing thickness against gamma, beta and neutron radiation were separately studied experimentally. Due to the presence of aluminium titanate contribution in the composition of the material, these experiments has the distinction of being the first, which constitutes the originality of this master thesis.

Magnesium aluminates (spinel) ( $MgAl_2O_4$ ) ceramic material was used in many applications because of its some special features as hardness, strength, density, high temperature, corrosion and radiation resistance.  $MgAl_2O_4$  is a ceramic spinel material with rather high radiation resistance, at least from the point of view of maintaining its original mechanical and elastic properties. One of the most important facilities of spinel is that it has excellent radiation resistance to neutron irradiation and use in nuclear fusion reactors as isolating material so it can be use for first-wall protection or as structural materials where low nuclear activation and good high-temperature performance are required. Since magnesium aluminum spinel is highly resistant to neutron irradiation it is considered to be a candidate material for fusion reactor application such as dielectric windows for radiofrequency heating systems and insulators for magnetic coils.

Aluminium titanate ( $Al_2TiO_5$ ) is a ceramic material consisting of a mixture of alumina ( $Al_2O_3$ ) and titania ( $TiO_2$ ) forming solid solution with stoichiometric proportion of the components:  $Al_2O_3 \cdot TiO_2$  or  $Al_2TiO_5$ . It ( $Al_2TiO_5$ ) has some important properties such as low thermal expansion coefficient, low thermal conductivity, excellent thermal shock resistance, high melting point and non wetting with most metals. In addition to this characteristics good chemical resistance makes the aluminium titanate a suitable material for different technological applications. Because of these, aluminium titanate has wide range of application area. For example they are use in automotive industries as insulate component, spacing rings of catalytic converters, in the foundry crucibles, launders, nozzles, riser tubes, pouring spouts, thermocouples for non-ferrous metallurgy, master moulds glass industries and in nuclear fusion reactors for shielding materials.

Gamma transmission technique is a non-destructive method to measure the object's mass density. Gamma radiation comes from an external gamma source and penetrates the object. The gamma source, detector and the materials are placed on the same axis. The gamma rays cross the materials and reach to the detector which counts the gamma ray intensity.

In the experiments, which were performed with Cs-137 and Co-60 gamma radioisotope sources, from the results obtained by the worked materials, attenuation curves have parallel results. But, the attenuation coefficient values obtained for Co-60 gamma radioisotope source were lesser than the Cs-137 gamma radioisotope source.

That is because the difference of the average energy level of Co-60 gamma radioisotope source is 1.25 MeV; whereas the average energy level of Cs-137 gamma radioisotope source is 0.662 MeV. Consequently, with a high energy gamma radioisotope source will be lower for the material of the attenuation coefficients.

The attenuation curves, plotted using the thickness-relative count results obtained from the experiments with Sr-90 beta radioisotope sources and the materials studied, were plotted.

Moreover, using the results of the experiments in which Pu-Be Neutron Howitzer (NH-3) were used as neutron source, the attenuation curves against neutrons of the materials studied were plotted to investigate the shielding ability of the composites.

As a result of the gamma, beta and neutron experiments, it was observed that composite materials which we studied, gived different results for different radiation sources. The increasing ratio of the aluminum titanate in material composition, gives different results for the changing radiation sources.

In summary, the original contribution of this master dissertation includes, the investigation of the behavior of pure magnesium aluminate spinel and composites which were made by adding of aluminum titanate in weight proportions, against gamma, beta and neutron radiation. The attenuation coefficients of the composites were found by the experiments and compared with the theoratical results. Spinel and aluminum titanate containing materials can be use as an effective radiation shielding material also, particularly under conditions where high temperature resistance is important such as nuclear reactors, physical properties of materials as having a higher heat resistance, have an important advantage.

For these reasons, original of the various aspects and not just in nuclear technology, may also be important in advanced technology such as automotive industry, glass industry, etc. have been studied.





## 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte malzemelerin azalan madde boyutlarının yapısı ile ilgili bilgi sahibi olunabilmektedir. Bilim ve sanayinin hedefleri arasında malzemelerin özelliklerinin incelenmesi, araştırılması ve geliştirilmesi önemli yer tutmaktadır. İncelenecek malzemelerin boyutları küçüldükçe, malzemelerin özellikleri hakkında bilgi elde edebilmek amacıyla başvurulan yöntemlerin başında radyasyon gelmektedir. Bu sebeple radyasyon ile madde etkileşiminin incelenmesi bilim ve teknoloji açısından büyük önem arz etmektedir (Smith, 1996).

Radyasyon-madde etkileşiminin sonucu, malzemelerin nano boyut yapılarına ilişkin başka hiçbir yöntemle elde edilemeyecek nitelikteki bilgiler elde edilebilmektedir. Bu etkileşimlerde kullanılan radyasyon kaynakları olarak X-ışınları, gama ışınları, elektronlar, nötronlar ve yüksek enerjili iyonlar gösterilebilir. Bu sebepten dolayı radyasyon türleri ve madde ile etkileşimleri hakkında bilgi sahibi olunması bu uygulamalarda önem teşkil etmektedir.

Radyasyon uygulamaları ile malzeme yapıları hakkında nano boyutlardaki özelliklerinin açıklanabilmesi malzemelerin sanayide kullanımının yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Bu doğrultuda malzemelerin, farklı alanlarda farklı amaçlar için kullanımına ilişkin, özelliklerinde geliştirilebilme ve değiştirilebilme olanağı mümkündür. Elde edilen bilgi birikimlerin kullanılarak hayata geçirildiği alanlar arasında uçak uzay sanayi, enerji sektörü, nükleer teknoloji, elektronik-bilgisayar uygulamaları, inşaat, maden, tıp yer almaktadır (Şahin, 2006 ve Choo, 1990).

Nükleer teknoloji, insan hayatı için başta enerji sektörü olmak üzere tıp, bilimsel araştırmalar, tarım, sanayi ve arkeometri gibi alanlarda uygulamalarıyla kendini göstermektedir (Tuğrul, 1986).

Nükleer enerji diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında önemli avantajlara sahiptir. Ucuz enerji eldesi, emre amade oluşu, diğer kaynaklara göre birim kütle başına yüksek enerji elde edilmesi başlıca avantajları olarak söylenebilir. Tabi bunlarla birlikte ilk yatırım maliyeti, atıkların kontrolü, radyasyon güvenliği gibi sorunlar da dezavantajları olarak gösterilebilir (Oray, 2007).

Nükleer teknoloji içerisinde önemli yere sahip olan nükleer enerji diğer enerji kaynaklarına göre değerlendirildiğinde ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına karşın reaktör ömrü, yakıt maliyeti ve periyodik bakım maliyetleri hesaba katıldığında hidroelektrik santrallerle birlikte en ucuz enerji üretim tiplerinden biri olmaktadır. Ayrıca, nükleer santrallerin ileri teknoloji ürünü olması, bu santrallere sahip ülkelerdeki kalite standartlarının üst seviyede olmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, nükleer enerji sektörü ülkenin hayat standartlarının her alanda yükselmesine dolaylı yönden yardımcı olmaktadır. Bununla beraber, malzeme sorunları nükleer reaktörlerde her zaman önem arzeden bir konu durumundadır. Ayrıca ekonomiyi ve tercihleri de önemli ölçüde etkilemektedir (Tuğrul, 1998, 2006).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte endüstri ve sanayide malzeme kullanımı da artmıştır. Kullanılan malzemelerin tek başlarında sahip oldukları özellikler ihtiyaçları karşılamaya yeterli olamayınca teknolojinin gelişimi ile birlikte farklı arayışlar başlamıştır. Bu bağlamda farklı malzemeler bir araya getirilerek oluşturulan yeni malzemeler farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilmiştir. Bu şekilde, malzemelerin bir araya getirildiğinde kendilerini oluşturan malzemelerden daha gelişmiş özelliklere sahip yeni malzeme grubuna kompozit malzemeler denilmektedir (Şahin, 2006).

Nükleer teknoloji içinde, diğer endüstrilerde olduğu gibi kompozit malzemeler geniş kullanım alanı bulmaktadır. Başta radyasyon güvenliği olmak üzere diğer bir çok amaçla kompozit malzemeler kullanılmaktadır (Aybers ve Bayülken, 1992).

Son dönemde yaşanan bazı nükleer kazalar (çernobil ve fukushima gibi) normal olmayan koşullar için malzeme özelliklerinin geliştirilmesini, radyasyon güvenliği açısından zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple kompozit malzemelerin hem fiziksel hemde radyasyon özelliklerinin birarada geliştirilmesi önem arz etmektedir. Kompozit malzemeler oluşturulurken içerdikleri malzemeler, malzeme oranları, malzeme parçacık boyutları ve kompozit malzemelerin üretim teknikleri dikkat edilmesi gereken başlıca konular arasında yer almaktadır. Ayrıca kompozit malzemelerin üretim maliyetleri de dikkat edilmesi gereken hususlar arasında sayılabilmektedir (Şahin, 2006).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, magnezyum alüminat (spinel) ve kütlece belli oranlarda alüminyum titanat katkılı kompozit malzemelerinin radyasyon karşısındaki

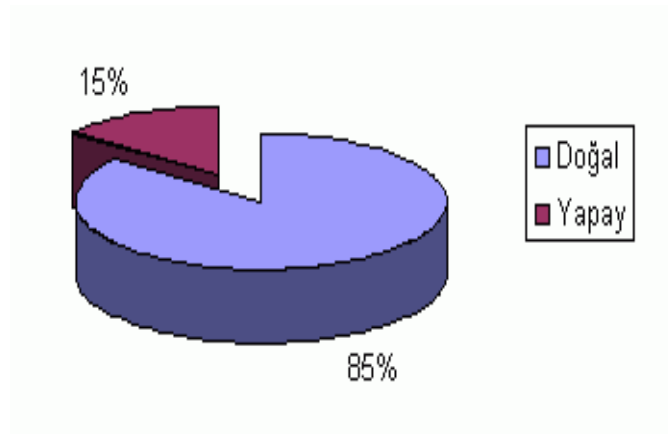
zırhlama özelliklerinin araştırılması ve katılan alüminyum titanatın malzemenin zırhlama özelliklerinde yaratacağı etkinin irdelenmesi amaçlanmıştır.



## 2. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

### 2.1 Radyasyon Tanımı ve Radyoaktivite

Radyasyon; partikül akımı ile veya dalga tabiatına uygun olarak bir maddeye veya ortama enerji transfer edilişi olarak tanımlanmaktadır (Tuğrul, 2012). Dünyadaki tüm canlı ve cansız varlıklar, milyonlarca yıldan beri doğada var olan ve kaçınılmaz olarak etkisi altında kalınan radyasyon ile birlikte yaşamaktadırlar. Maruz kalınan bu radyasyona sebep; havada, suda, toprakta ve hatta insan vücudunda bulunan radyoaktif maddelerin oluşturduğu doğal radyasyon olmaktadır. Bunlara ek olarak, insanlar tarafından endüstri ve tıpta çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere üretilen yapay radyasyon kaynakları da bulunmaktadır. Bununla beraber, genel olarak, doğal radyasyon yapay radyasyona göre günümüzde hayli fazla oranda çevremizde etkin olmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Radyasyon Kaynakları (Url-1).

Radyoaktivite; (çekirdeğinde nötron-proton oranı yüksek olan) kararsız bir çekirdeğin fazla enerjisinden kurtularak kararlı hale gelebilmek için, çeşitli parçacıklar salarak veya ışına yaparak kararlı bir çekirdeğe dönüşmesi olarak ifade edilmektedir (Gören, 2011).

## 2.2 Radyasyonun Sınıflandırılması

Radyasyonun sınıflandırılması üç parametre ile açıklanabilir:

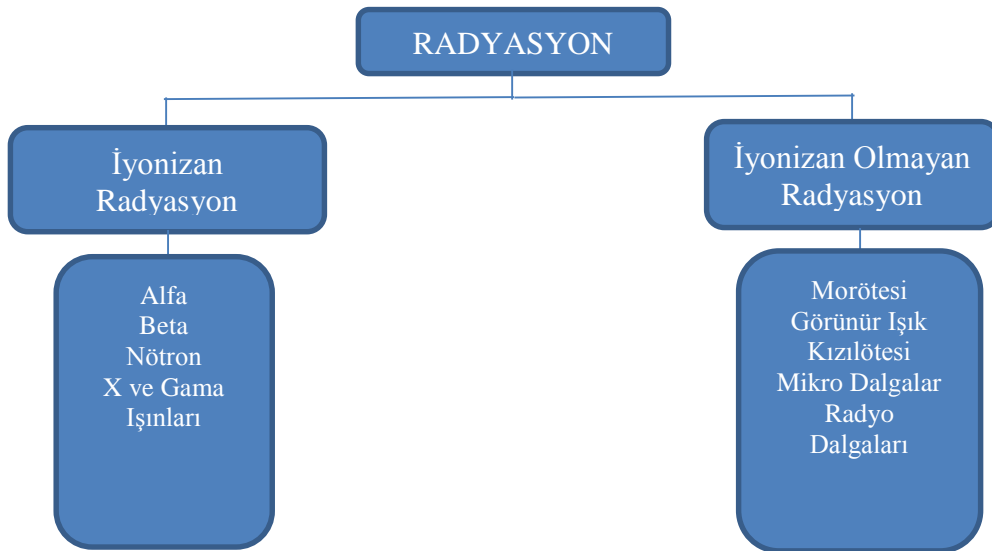
- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

olmaktadır.

### 2.2.1 Radyasyonun enerjisi

Radyasyonun enerjisine göre sınıflandırılması teknolojik bağlamda bir sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma, radyasyonun madde ile etkileşiminde maddeyi iyonize edip, edememesine göre yapılmaktadır.

Yüksek enerjili radyasyon, atomdan elektron kopararak iyonizasyona sebep olan iyonize radyasyon olarak da tanımlanmaktadır (Seyrek, 2007). Düşük enerjili radyasyon ise yeteri kadar enerjisi olmadığı için etkileştiği maddenin atomlarını iyonize edemez ve sadece uyarmakla yetinir. Bu sebeple iyonizan olmayan radyasyon olarak da adlandırılır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Radyasyonun Enerjisine Göre Sınıflandırılması (Tuğrul, 2012).

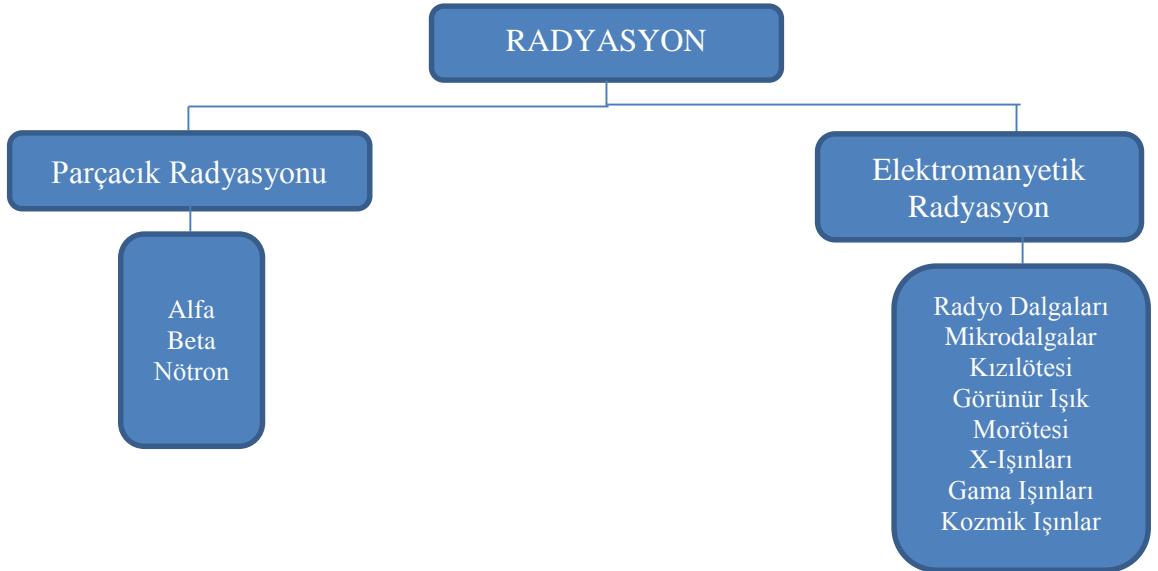
### 2.2.2 Radyasyonun türü

Radyasyon, türüne göre; parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.3). Parçacık radyasyonunu oluşturan alfa, beta ve nötronlar belli bir kütle ve enerjiye sahiptirler. Alfa parçacıkları, yükleri ve kütleleri sebebiyle madde ile etkileşmelerinde enerjilerini çabuk kaybetmekte, bu sebeple giricilikleri ve menzilleri oldukça küçük olmaktadır (Tuğrul, 2012).

Beta parçacıkları oldukça küçük kütleyle sahip olmalarının yanında yükleri alfa parçacıklarının yarısı kadardır. Bu sebeple aynı enerjili alfa parçacıkları ile kıyaslanacak olursa giricilikleri ve menzilleri daha fazla olmaktadır (Tuğrul, 2012).

Nötronlar ise belli kütleyle sahip ancak yükleri olmayan parçacıklardır. Bu nedenle madde ile etkileşmelerinde Coulomb etkisi gözlenmeyeceğinden giricilikleri ve menzilleri en fazla olan parçacık radyasyonu olmaktadır (Tuğrul, 2012).

Elektromanyetik radyasyon enerjinin uzayda dalga tabiatına uygun olarak hareketini ifade etmektedir (Tuğrul, 2012). Enerjileri, yüksüz ve kütsüz fotonlar ile taşınmakta ve hareketleri ışık hızı ile olmaktadır. Nükleer teknoloji için önemli olan girici radyasyon (X ve gama ışınları), elektromanyetik spektrumda dalga boylarına göre küçük dalga boylu bölgede yer alırlar.



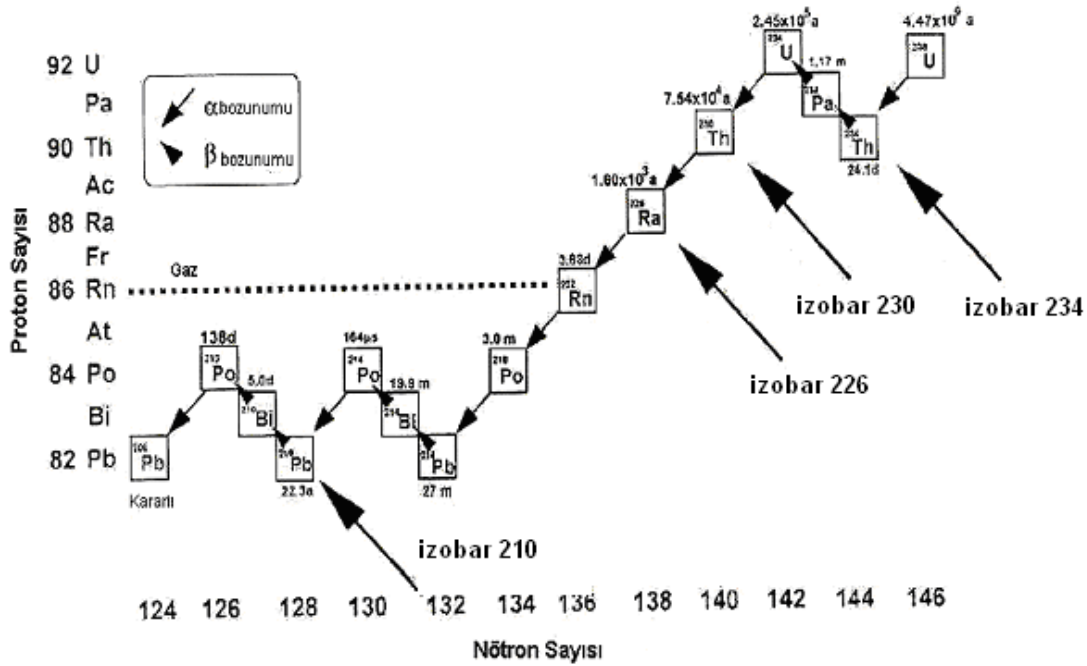
Şekil 2.3: Radyasyonun Türüne Göre Sınıflandırılması (Tuğrul, 2012).

### 2.2.3 Radyasyonun kaynağı

Radyasyon kaynağına göre sınıflandırıldığında; güneş radyasyonu ve kozmik radyasyon ile birlikte dünyanın varoluşundan bu yana süre gelen çok uzun yarı ömürlü radyoaktif elementlerin oluşturduğu doğal radyasyon ile insanlar tarafından çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere üretilenlerin oluşturduğu yapay radyasyon kaynakları olarak iki ana başlıkta toplanabilmektedir.

Doğal radyasyon kaynağının önemli bir bölümünü üç radyoaktif bozunum ailesine mensup radyoaktif çekirdekler oluşturmaktadır (Gezer, 2011). Genellikle ağır çekirdekleri olan doğal radyoizotoplar şu radyoaktif serilere üyedir: Toryum (Th-232), Uranyum (U-238) ve Aktinyum (U-235).

Uranyum serisi, U-238 ile başlar ve art arda parçalanmalarla kararlı Pb-206'ya dönüşür (Şekil 2.4). Toryum serisi ise, adımı aldığı Th-232 ile başlar ve Pb-208 ile son bulur (Şekil 2.5). Üçüncü seri olan Aktinyum serisi de (Şekil 2.6), U-235 ile başlar ve Pb-207'ye dönüşerek biter (Görür, 2006).



Şekil 2.4: U-238'in bozunum serisi (Krane, 1988).





Başlıca tıp ve endüstri alanında kullanılmak üzere üretilen radyoaktif maddeler ise yapay radyasyon kaynaklarını oluşturmaktadır. Yapay radyasyon kaynakları nedeniyle de bir miktar radyasyon dozuna maruz kalınmaktadır. Ancak, doğal radyasyonun aksine, kontrol altında olduğundan alınan doz, doğal kaynaklardan alınan doza oranla oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır (Şekil 2.7).



**Şekil 2.7:**Radyasyonun Kaynağına Göre Sınıflandırılması (Tuğrul, 2012).

### 2.3 Radyasyonun Madde İle Etkileşim Mekanizmaları

Radyasyonun zırhlanması, radyasyonun algılanması ve ölçülmesi, radyasyon güvenliği ve radyasyonun biyolojik etkilerinin incelenmesi radyasyonun madde ile etkileşimi ile ilgili olmaktadır. Radyasyonun tıp ve endüstri başta olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın kullanıma sahip olmasının temelini de radyasyonun madde ile etkileşimi oluşturmaktadır. Madde ile etkileşen radyasyon malzeme bir takım değişikliklere sebep olduğu gibi, radyasyonun enerjisinde de değişim olabilmektedir. Etkileşim sonucu radyasyon enerjisinde meydana gelen kayıp malzemenin zırh özelliği olarak ifade edilmektedir (Knoll, 2000). Malzemelerin gösterdiği radyasyon zırh özellikleri, etkileşime giren radyasyon türüne göre farklılıklar göstermektedir.

Farklı radyasyon türlerinin madde ile etkileşme mekanizmaları da farklı olmaktadır. Bu sebeple, yüklü ve yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimleri ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir.

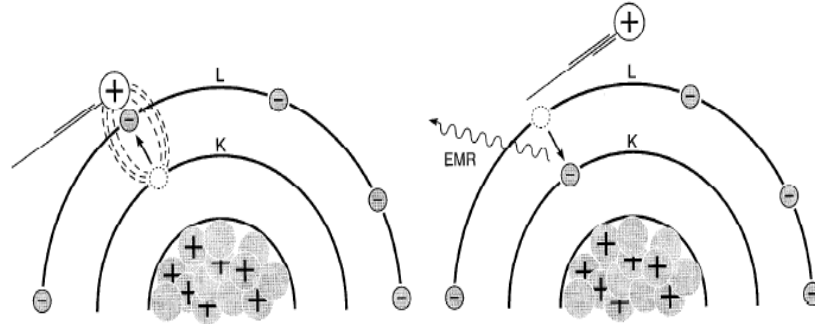
Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimleri, sahip oldukları elektrik yükleri nedeniyle malzeme elektronları ile yaptıkları Coulomb etkileşimi sonucunda meydana gelmektedir.

Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimleri, yüklü parçacıkların aksine elektrik yükleri bulunmadığı için Coulomb kuvvetleri ile gerçekleşmemektedir. Bu sebeple yüksüz parçacık olan fotonların (X ve gama ışınları) ve nötronların madde ile etkileşimlerinin ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

### 2.3.1 Alfaların madde ile etkileşimi

Alfa parçacıkları gibi ağır yüklü parçacıkların malzeme ile etkileşimleri, soğurucu atomların yörünge elektronları ile kendi pozitif yükleri arasında oluşan Coulomb kuvveti dolayısıyla gerçekleşmektedir. Ağır yüklü parçacıkların madde içerisindeki enerji kaybından esas itibariyle inelastik çarpışmalar sorumludur. Bu etkileşimlerde, gelen parçacığın kinetik enerjisi atomun iyonlaşma enerjisinden yeterince büyük ise, enerjisini yolu üzerindeki atomları iyonlaştırarak maddeye aktarmaktadır (Tuğrul, 2012).

Soğurucu bir ortama giren yüklü parçacık ortam elektronları ile etkileşmekte ve enerjisinin önemli bir kısmını kaybetmektedir. Bu etkileşimler sonucunda, soğurucu atomun elektronu uyarılarak bir üst enerji seviyesine çıkabilir ya da elektronu atomdan tamamen kopararak iyonizasyona sebep olabilir. Gelen parçacığın enerjisi, iyonizasyon enerjisinden daha düşük ise soğurucu maddenin atom veya molekülü gelen parçacığın enerjisinin bir kısmını soğurarak daha yüksek bir enerji seviyesine çıkmaktadır. Uyarılan atom daha sonra, foton ışını yayınlamaya başlayarak fazla enerjisini kaybetmekte ve daha düşük enerji seviyesine veya taban durumuna dönmektedir. Şekil 2.8’ de atomun uyarılması şematik olarak gösterilmektedir.

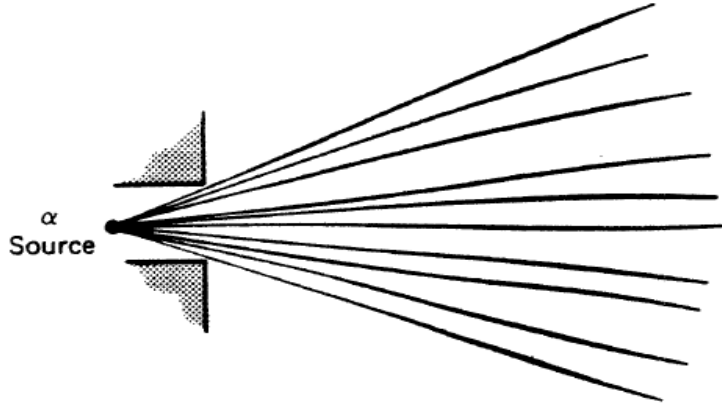


**Şekil 2.8:** Atomun yüklü bir parçacık ile uyarılması (Şahin, 2013).

Ağır yüklü parçacıklar madde içerisinde ilerlerken yavaşlamaktadırlar. Enerji kaybındaki miktar parçacığın kinetik enerjisindeki değişikliğe bağlı olarak değişmektedir.

Ağır yüklü parçacıkların madde ile etkileşim süreçleri boyunca izledikleri yol doğrusal olmaktadır. Çünkü parçacık herhangi bir etkileşim ile çokça saptırılmamakta ve etkileşimler her yönde eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir (Knoll, 2000). Bu

sebeple yüklü parçacıklar verilen bir soğurucu madde içinde belirli bir menzile karakterize edilebilmektedirler. Menzile, ağır ve yüklü parçacıkların malzeme içinde duruncaya kadar kat edebileceği mesafe olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.9’ da alfa parçacıklarının madde içindeki hareketleri verilmektedir.

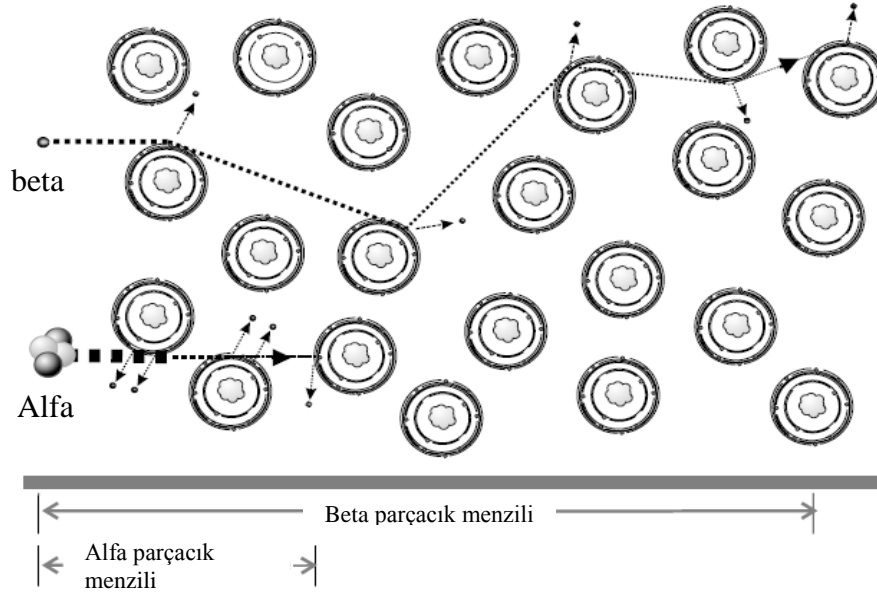


**Şekil 2.9:** Alfa parçacıklarının madde içerisindeki doğrusal hareketleri (Knoll, 2002).

### 2.3.2 Beta parçacıklarının madde ile etkileşimi

Beta parçacıkları hafif ve yüklü parçacıklar olup, madde ile etkileşimleri ağır yüklü parçacıklarda olduğu gibi iyonlaşma ve uyarılmanın yanı sıra ortamdaki çekirdeğin elektrik alanından kaynaklanmaktadır. Beta parçacıkları için aynı enerjili ağır yüklü parçacıklarla karşılaştırıldıklarında, hafif olduklarından hızları daha yüksek olmaktadır. Hızları, bir başka deyişle enerjileri yüksek olan beta parçacıkları bir çekirdek alanından geçtiği zaman, radyasyon yolu ile enerji kaybına uğrayabilirler. Bu enerji Bremsstrahlung ya da frenleme radyasyonu şeklinde görülmektedir. Bu radyasyon, elektronun ivmelenmesinden dolayı ortaya çıkmakta ve çekirdeğin elektriksel çekimi yüzünden izlediği yolda sapma meydana gelmektedir (Knoll, 2002).

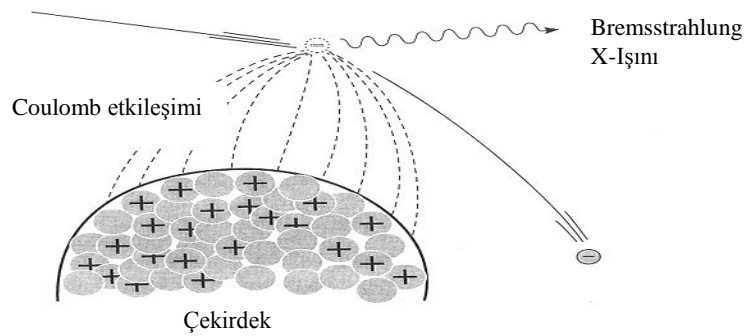
Beta parçacıkları enerjilerinin büyük bir kısmını, ortamın yörünge elektronları ile yaptıkları çarpışmayla kaybetmektedirler. Bu olay Moller ve Bhabha saçılması olarak nitelenmektedir. Moller saçılması elektronun ortamdaki atomun elektronları ile esnek olmayan saçılmasını, Bhabha saçılması ise pozitronların atomun elektronları ile esnek olmayan saçılmasını ifade etmektedir. Bu saçılmalar sonucunda beta parçacıklarının izledikleri yol, alfalar gibi ağır yüklü parçacıkların izledikleri düz yolun aksine, zikzaklı olabilmektedir. Bu sebeple, beta parçacıklarının yolları alfa parçacıklarının yollarına göre daha uzun olmaktadır (Tuğrul, 2012). Alfa ve beta parçacıklarının madde içerisinde izledikleri yol ve menzilleri Şekil 2.10’ da gösterilmektedir.



**Şekil 2.10:** Alfa ve Beta parçacıklarının menzilleri (Powsner, 2006).

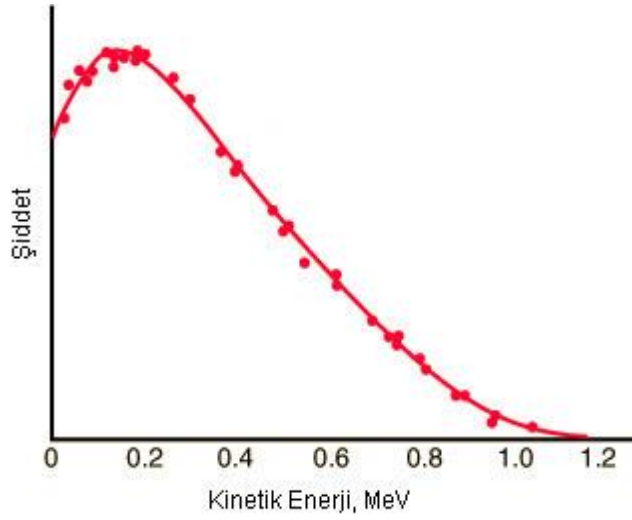
Yüksek enerjili elektron veya pozitron, çekirdek alanından geçerken bremsstrahlung radyasyonu yayınlanmaktadır. Bir atomda meydana gelen bremsstrahlung olayının frekansı beta parçacığının kütlesiyle ters, maddenin atom numarasının karesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır (L'Annunziata, 2003). Bu sebeple, beta radyasyonuna karşı zırhlama hesabı yapılırken bremsstrahlung olayını azaltmak için düşük atom numaralı malzemeler kullanılması tavsiye edilmektedir.

Bremsstrahlung olayı enerjileri 1 MeV'in üzerindeki beta parçacıkları için önem kazanmaktadır. Küçük atom numaralı elementten yapılan bir kap içine konacak beta kaynağından doğabilecek bremsstrahlung ışınlarının önlenmesi için kap etrafı büyük atom numaralı zırh malzemesiyle çevrilmesi gerekmektedir (Das ve Ferbel, 2003). Şekil 2.11'de bremsstrahlung radyasyonunun oluşumu gösterilmiştir.



**Şekil 2.11:** Bremsstrahlung radyasyonu (Şahin, 2013).

Bir beta kaynağı, enerjileri sıfırdan başlayıp karakteristik bir maksimum enerjiye uzanan beta ışınları yayınlamaktadırlar. Bir başka deyişle, beta parçacıkları geniş spektruma sahip olmaktadır (Şekil 2.12) (Görür, 2006). Bu enerji aralığında betaların ortalama enerjileri maksimum enerjilerinin  $\frac{1}{3}$ 'te 1'i olarak kabul edilmektedir. Ancak, beta radyasyonundan korunmada kullanılacak malzemelerin seçimi ve kalınlık tayininde en yüksek enerjili beta parçacığının enerjisi göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 2.12: Beta parçacıklarının geniş spektrumu (Görür, 2006).

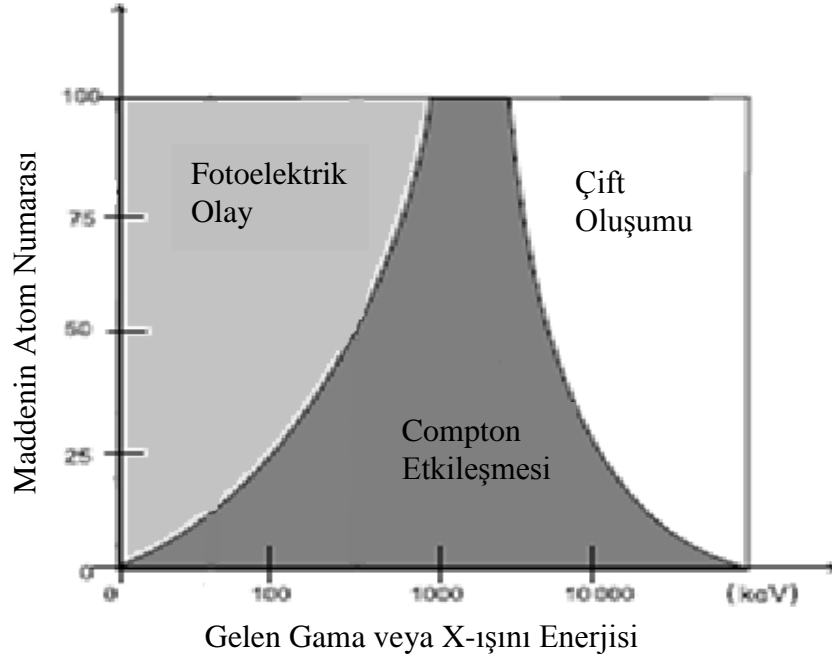
### 2.3.3 X ve gama ışınlarının madde ile etkileşimi

Elektromanyetik radyasyon ailesinden olan X ve gama ışınlarının (fotonlar) madde ile etkileşimleri farklı olmaktadır. Fotonların elektriksel yükleri olmadığı için madde ile etkileşimleri yüklü parçacıklardaki gibi Coulomb etkisi ile gerçekleşmemektedir. Elektromanyetik radyasyonların madde ile etkileşimlerini esas itibariyle enerjileri belirlemektedir. Fotonların madde ile birçok etkileşim mekanizması bulunmasına rağmen, başlıca 3 etkileşim burada önemli olmaktadır (Knoll, 2002).

Bunlar;

- Fotoelektrik olay
- Compton saçılması
- Çift oluşumu

olarak ifade edilebilir. Şekil 2.13'te meydana gelebilecek etkileşim tipinin atom numarası ve foton enerjisine bağlı olarak ilişkisi gösterilmektedir.

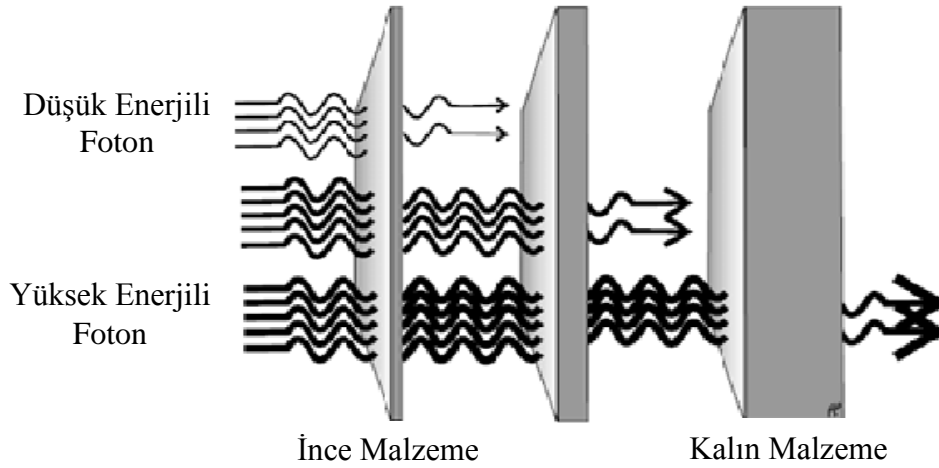


**Şekil 2.13:** Fotonların madde ile etkileşim mekanizmaları (Powsner, 2006).

Şekil 2.13'te de görüldüğü üzere, fotoelektrik olay düşük enerjili (birkaç yüz keV) fotonlarda baskın durum iken çift oluşumu olayı daha yüksek enerjili fotonlarda (minimum 1.02 MeV) etkin olmaktadır. Compton etkileşmesi ise ara enerji aralığında kalarak en olası etkileşme olmaktadır. Etkileşmenin gerçekleştiği malzemenin atom numarası da bu üç olayın meydana gelme ihtimallerinde önem arz etmektedir.

Bütün bu etkileşmelerde gelen foton enerjisinin bir bölümünü veya tamamını elektrona transfer etmektedir. Enerjisinin bir bölümünü elektrona aktaran foton geliş doğrultusundan saparak yoluna devam etmekte, enerjisinin tamamını yitiren foton ise kaybolmaktadır.

Bu etkileşmelerden hareketle fotonların malzemelerin içinde uzun mesafelere nüfuziyet özelliği açıklanabilmektedir. Fotonlar belli kalınlıktaki malzemeyi geçince şiddetlerinde azalma olmaktadır (Şahin, 2013). Şekil 2.14'te soğurucu malzeme kalınlığına bağlı olarak fotonların şiddetlerinde meydana gelen değişim gösterilmiştir.



**Şekil 2.14:** Fotonların şiddetinde meydana gelen değişim (Powsner, 2006).

Fotonların şiddetlerinde meydana gelen bu azalma kalınlığın fonksiyonu olarak eksponansiyel olmaktadır.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

Burada;  $I_0$  gelen fotonların şiddetini,  $x$  soğurucu malzeme kalınlığını ve  $\mu$  lineer zayıflatma katsayısını temsil etmektedir (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Lineer zayıflatma katsayısı, bir etkileşimde veya alınan birim uzunlukta fotonun madde ile etkileşme olasılığı olarak tanımlanmaktadır ve radyasyonun içerisinde geçtiği maddenin yoğunluğu ile radyasyon enerjisine bağlı olarak değişmektedir. Malzemelerin yoğunluk değerleri faz durumlarına göre değişiklik arz edebilmektedir. Bu bağlamda, lineer zayıflatma katsayısının da madde yoğunluğuna bağlı olduğu düşünülürse, bu değer aynı malzemenin farklı fazlarda olanlarının kullanıldığı durumlarda farklılık oluşturur. Bu nedenle, malzemeler birbirleri ile mukayese edilirken lineer zayıflatma katsayıları kullanılamamaktadır. Bu durum lineer zayıflatma katsayısının malzeme yoğunluğuna oranı olarak nitelendirilen kütle zayıflatma katsayısı teriminin malzemeleri birbirleri ile mukayesede kullanımını yaygın kılmış bulunmaktadır. Dolayısıyla kütle zayıflatma katsayısı;

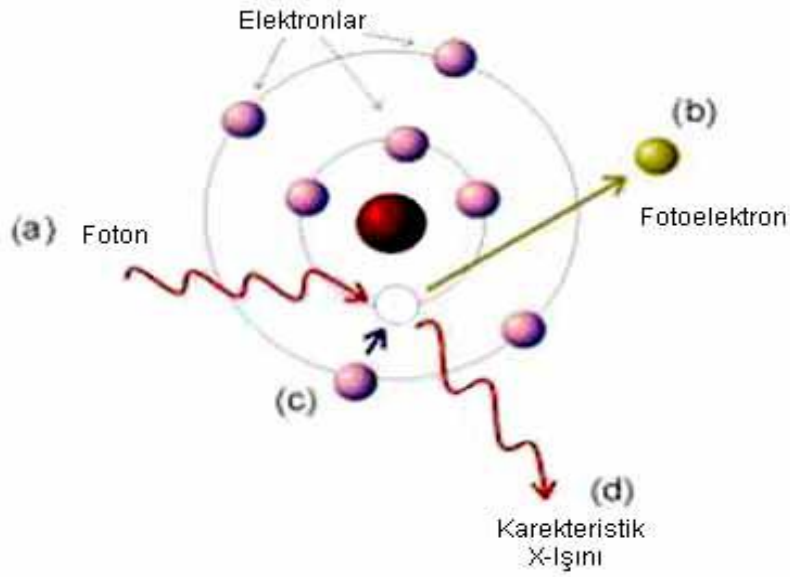
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

olarak ifade edilmektedir (Knoll, 2002). Burada,  $\rho$  malzeme yoğunluğudur. Kütle zayıflatma katsayısı verilen foton enerjilerinde, soğurucu malzemenin fiziksel durumuna göre değişmemektedir.



### 2.3.3.1. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay sürecinde, gelen foton soğurucu madde atomu ile etkileşmeye girerek kendisi kaybolmaktadır. Gelen foton, atomun yörünge elektronlarından birinin enerjilik fotoelektron olarak yayınlanmasına sebep olmaktadır (Knoll, 2000). Etkileşme, serbest elektronlar ile değil atomun elektronlarıyla gerçekleşir ve çoğunlukla iç yörünge elektronları ile gerçekleşir. Yeterli enerjilerdeki gama ışınları için, yayınlanacak fotoelektronlar atomun K yörüngesinden salınmaktadır. Şekil 2.15'te fotoelektrik olay şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.15: Fotoelektrik olay (Seyrek, 2007).

Yayınlanan fotoelektronun enerjisi;

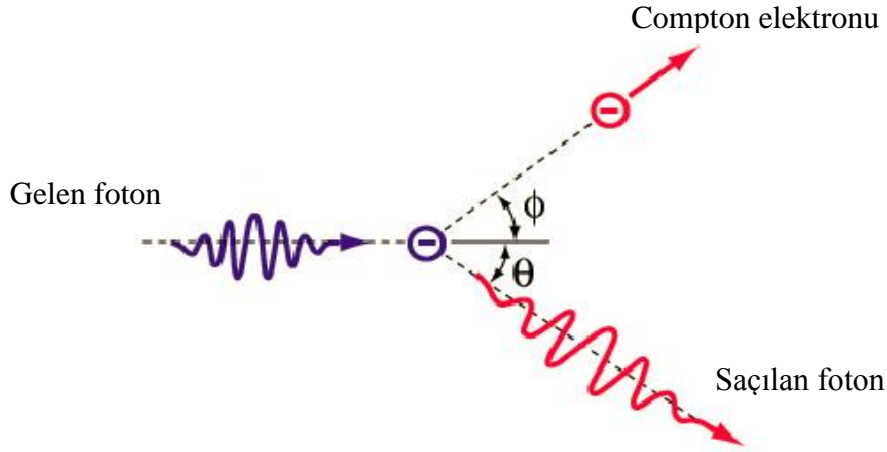
$$E_e = h\nu - E_b \quad (2.3)$$

olarak yazılabilmektedir (Seyrek, 2007). Burada,  $h\nu$  gelen foton enerjisini ve  $E_b$  ise atom elektronunun bağlanma enerjisini ifade etmektedir. Fotoelektron atomun iç yörüngelerinden yayınlandıysa, oluşan boşluk dış yörüngelerden bir elektron tarafından doldurulmaktadır. Bu arada, yörüngelerin bağlanma enerjisi arasındaki fark kadar enerjili X-ışını yayınlanmaktadır.

### 2.3.3.2. Compton Saçılması

Compton saçılması olayı, gelen foton ile soğurucu maddenin elektronu arasında gerçekleşmekte olup X ve gama ışınları için en olası etkileşim türüdür. Bu olayda gelen foton dış yörünge elektronu ile etkileşmektedir.

Compton saçılması olayında, foton, enerjisinin bir kısmını etkileştiği elektrona aktarmaktadır. Atomdan ayrılan bu elektron, Compton elektronu olarak adlandırılmaktadır. Gelen foton ise geliş doğrultusundan bir  $\theta$  açısı kadar sapıtılmaktadır. Bu saçılma açısı, fotondan elektrona aktarılan enerji miktarına bağlı olarak değişmektedir (Seyrek, 2007). Şekil 2.16'da Compton saçılması olayı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.16: Compton saçılması (Seyrek, 2007).

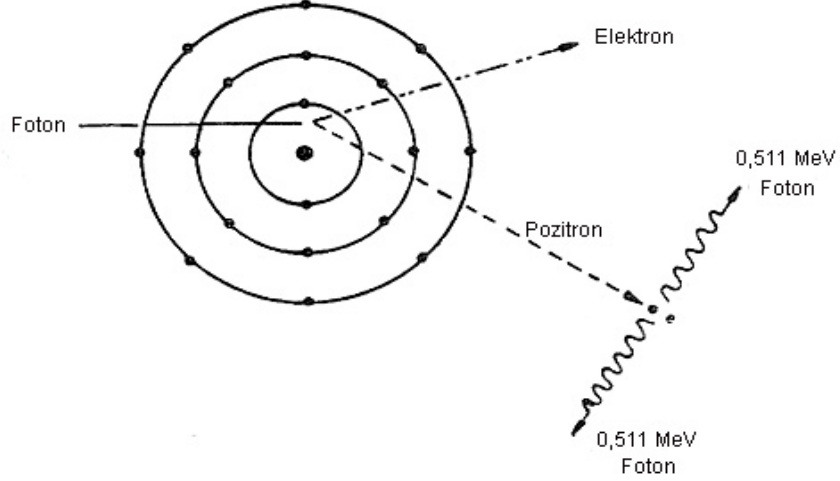
Enerji ve momentum korunumu kanunları, Compton saçılması olayına uygulanarak, enerji transferi ve saçılma açısı ifadeleri;

$$hv' = \frac{hv}{1 + \gamma(1 - \cos \theta)} \quad \text{burada } \gamma \equiv hv / m_e c^2 \quad (2.4)$$

olarak elde edilmektedir (Bilge ve Tuğrul, 1990). Burada,  $hv'$  saçılan fotonun enerjisi,  $m_e c^2$  ise elektronun durgun kütle enerjisidir (0,511 MeV). Küçük  $\theta$  saçılma açılarında, saçılan elektrona transfer edilen enerji değeri de küçük olacaktır. Eşitlikten de anlaşılacağı üzere saçılan fotonun maksimum enerji değeri,  $\theta$  açısının 90 derece olduğu durumda 0,511 MeV olabilecektir.

### 2.3.3.3. Çift oluşumu

Yüksek enerjili bir foton, atom çekirdeğinin yakınından geçerken soğurulabilmekte ve zıt elektrik yüklü parçacıklar olan elektron pozitron çiftinin oluşumuna sebep olabilmektedirler. Bu olaya çift oluşumu adı verilmektedir. Bu olayın gerçekleşmesi için gelen foton enerjisinin 1,02 MeV ve daha fazla olması gerekmektedir (Seyrek, 2007). Şekil 2.17’de çift oluşumu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.17: Çift oluşumu (Seyrek, 2007).

Etkileşmeden sonra, gelen foton yok olarak pozitron elektron çifti oluşmaktadır. Oluşan çift soğurucu madde içerisinde yavaşlatılmaktadır. Elektron atomla serbest elektronlar gibi etkileşirken, pozitron bir yörünge elektronu ile birleşerek anihilasyon radyasyonu oluşturmaktadır. Oluşan anihilasyon radyasyonu sonucu 0,511 MeV’lik iki foton zıt yönlerde salınır. Çift oluşumunun gerçekleşme olasılığı, atom numarasının karesi ile orantılı olmaktadır. Bu bağlamda, kurşun, uranyum gibi yüksek atom numaralı atomlarda daha fazla olasılıkla çift oluşumu meydana gelmektedir.

### 2.3.4 Nötronların madde ile etkileşimi

Nötronlar X ve gama ışınları gibi yüksüz oldukları için madde ile etkileşimleri yüklü parçacıklardaki gibi Coulomb etkileşimi ile gerçekleşmemektedir. Nötronlar bir malzeme içerisinde etkileşmeden birkaç santimetre yol alabilirler ve soğurucu malzemenin çekirdeği ile etkileşirler. Etkileşim sonucunda, bir veya daha fazla ikincil radyasyon oluşumuna sebep olabilir, ya da doğrultusu veya enerjisi değişebilir.

Nötron etkileşmelerinden kaynaklanan ikincil radyasyonların bazıları ağır yüklü parçacıklardır. Bu parçacıklar ya nötronun neden olduğu nükleer reaksiyonlar sonucu oluşur ya da nötron etkileşimleri sonucu enerji kazanan soğurucu maddenin kendi çekirdeğidir (Şahin, 2007).

Nötronların atom çekirdeği ile etkileşimleri başlıca iki grupta toplanabilir.

Bunlar;

- Saçılma Etkileşimleri
- Soğurma Etkileşimleri

olmaktadır.

#### **2.3.4.1. Saçılma etkileşimleri**

Nötronun çekirdek ile yaptığı saçılma etkileşimlerini de ikiye ayırmak mümkündür.

Bunlar;

- Elastik (Esnek) Saçılma
- Esnek olmayan (İnelastik) Saçılma

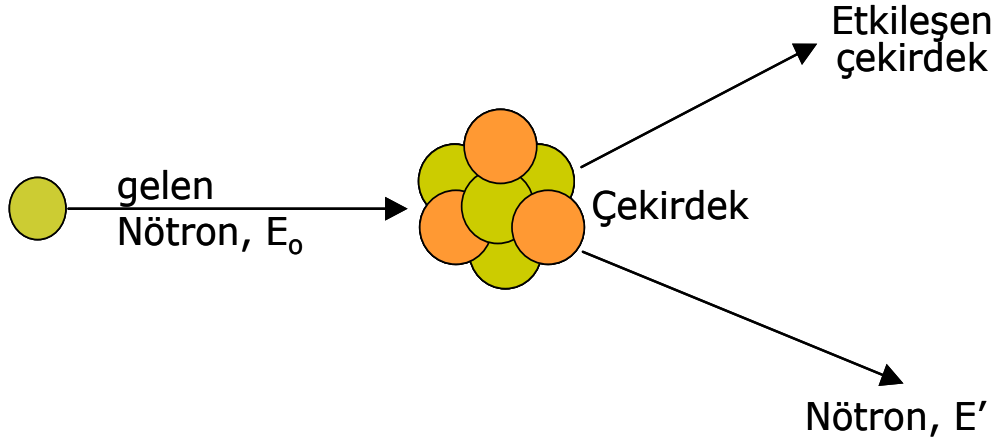
olmaktadır.

#### **Elastik Saçılma**

Elastik saçılma hızlı nötronların yavaşlatılması için en önemli reaksiyon olarak nitelenmektedir. Bu bağlamda termal nükleer reaktörlerde yararlanılan önemli bir nükleer reaksiyondur denebilir (Tuğrul, 2012).

Bu etkileşimde nötron bir atom çekirdeğine çarpar ve kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe aktardıktan sonra, kendi geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuyla çekirdekten uzaklaşır. Elastik saçılmada kinetik enerji korunmakta ve çekirdeğin fiziksel yapısı değişmemektedir.

Nötronların atom çekirdekleri ile yaptıkları elastik çarpışmalar, enerji ve momentum korunum yasalarına uygun bir şekilde meydana gelir (Hüyük, 2009). Şekil 2.18'de nötronun çekirdek ile yaptığı elastik çarpışma gösterilmektedir.

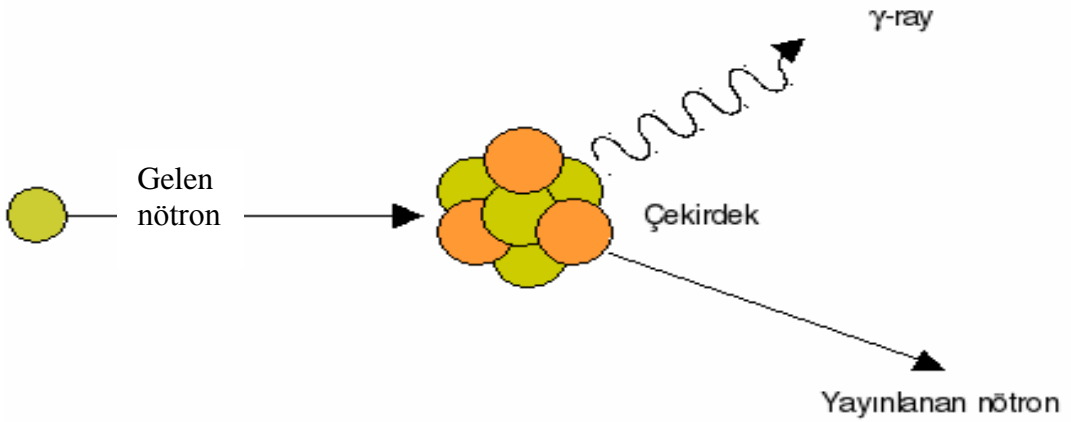


Şekil 2.18: Elastik saçılma (Şahin, 2013).

### İnelastik Saçılma

Hızlı nötron esnek olmayan saçılmaya uğradığında, önce hedef çekirdek tarafından yakalanarak bileşik çekirdek meydana gelmektedir. Nötron kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe vererek geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuda ve başlangıçta sahip olduğu kinetik enerjiden daha küçük bir enerji ile terk etmektedir. Bu durumda, çekirdek uyarılmış durumda kalır ve daha sonra gama veya diğer radyasyon çeşitlerini yayarak bozunabilir (Hüyük, 2009).

İnelastik saçılmanın gerçekleşebilmesi için, nötronun çarpıştığı çekirdeği uyarabilmesi gerekir bu sebeple de enerji değerinin uyarma enerjisinden (1 MeV veya daha fazla) yeterince büyük olması gerekir. Bir başka deyişle, bu enerjilerin üzerindeki nötronlar inelastik saçılmaya uğramaktadırlar. Şekil 2.19'da nötronun çekirdek ile yaptığı inelastik etkileşme gösterilmiştir.



Şekil 2.19: İnelastik saçılma (Şahin, 2013).

### 2.3.4.2 Nötronların soğurulması

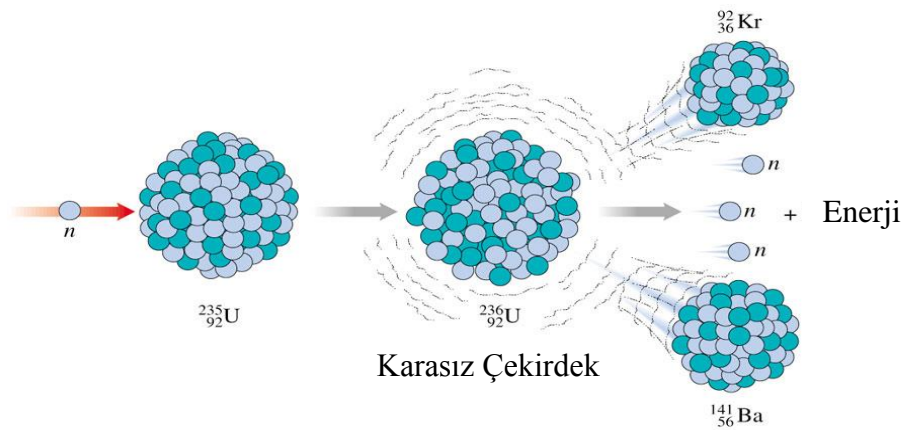
Hedef çekirdeğe gelen nötron, burada çekirdek ile birleşerek hedefin bir radyoizotopunu meydana getirebilir. Bu reaksiyon sonucunda oluşan yeni radyoizotop uyarılmış durumda kalır ve parçacık veya foton yayınlamak için fazla enerjisinden kurtularak taban enerji seviyesine dönmektedirler.

Nötronların çekirdek ile etkileştikten sonra çekirdekten başka parçacıkların atılması olayına soğurma etkileşimi adı verilmektedir (Tuğrul, 2012). Soğurma olayları farklı şekillerde meydana gelebilmektedir. Bunlar,  $(n,\gamma)$ ,  $(n,\alpha)$ ,  $(n,2n)$ ,  $(n,p)$  gibi reaksiyonlardır.

$(n,\gamma)$  reaksiyonunda; nötron hedef çekirdek tarafından soğurulmakta ve atom uyarılmaktadır. Uyarılan atom fazla enerjisini gama fotonu olarak atmaktadır. Olasılığı yüksek bir etkileşimdir.

### Fisyon

Fisyon olayı, termal enerjilerde bir nötronun Uranyum gibi ağır bir element atomunun çekirdeğine çarparak yutulması ve bunun sonucunda bu atomun kararsız hale gelerek daha küçük iki farklı çekirdeğe bölünmesi ve iki veya daha fazla nötronun ortama bırakılması reaksiyonu olmaktadır (Tuğrul, 2012). Bir nötron yutulması ile başlayan fisyon tepkimesi sonucunda, büyük miktarda enerji ile birlikte birden fazla nötron ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.20’de fisyon olayı gösterilmektedir.



Şekil 2.20: Fisyon olayı (Şahin, 2013).

### 3. ALÜMİNYUM TİTANAT / SPİNEL İÇEREN MALZEMELER

Alüminyum, endüstrinin farklı pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünlerin yapımında başarıyla kullanılmaktadır. Bu bağlamda, dünya ekonomisi içinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri alüminyumun tercih edilen özelliklerini oluşturmaktadır.

Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler, uzay ve havacılık sanayii için vazgeçilmez olup, nükleer teknolojide de kullanılmaktadır. Bir başka deyişle, alüminyum günlük hayatımızda kullanıldığı kadar ileri teknoloji alanlarında da önemli uygulama alanları bulmaktadır. İleri teknolojide alüminyum kullanımı daha çok özel alüminyum alaşımları şeklinde olmaktadır.

Alüminyum tabiatta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyumun yoğunluğu ( $2,71 \text{ g/cm}^3$ ), çeliğin yoğunluğunun ( $7,83 \text{ g/cm}^3$ ) üçte biri kadardır. Bazı alüminyum alaşımlarının akma sınırı değerleri 500 MPa değerini geçmektedir ki, bu değer pek çok çelik türünün akma sınırı değerlerinin üzerindedir. Alüminyum alaşımları bu özelliklerinden dolayı, özellikle hafiflik istenen uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar (Akdoğan Eker, 2008).

Korozif ortamlarda alüminyumun yüzeyi bir oksit tabakası ile kaplanarak, alüminyumun korozyona dayanıklılığını sağlar. Bu özelliğinden dolayı alüminyum pek çok korozif ortamda kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarının içindeki diğer elementler alüminyum ile galvanik pil oluşturmaya uygun olduklarından dolayı, korozyon açısından alüminyumun mümkün olduğu kadar saf olarak kullanılması tavsiye edilmektedir. Ancak, mekanik özelliklerindeki dayanım düşüklüğü (zayıflık) nedeniyle uygulamalarda saf Al kullanımı yaygın değildir (Akdoğan Eker, 2008).

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikroyapısına bağlı olarak değişmektedir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinko olmaktadır.

Al-Mg alaşımlarında, esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artmakta, ancak suneelik azalmaktadır. Bununla beraber, denizel korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında tercihan kullanılmaktadır (Akdoğan Eker, 2008).

Al-Mg alaşımları alkali ve tuz içeren korozyon ortamlarına karşı, genellikle saf alüminyumdan daha dayanıklıdır denebilir. Ancak, bu her durumda geçerli olmamaktadır. Artan magnezyum miktarıyla birlikte, interkristalin korozyona ve gerilim çatlağı korozyonuna eğilim artmaktadır. Özellikle % 5'den fazla Mg içeren alaşımlarda bu durum oluşabildiğinden, buğün teknolojiye kullanılan alaşımlarda magnezyumun üst sınırı % 5,5 (AlMg 5) kadar olmaktadır (Akdoğan Eker, 2008).

### **3.1 Magnezyum Alüminat (Spinel)**

Kullanım yerine göre değişik bileşimlerde olmak üzere sentetik olarak üretilen spinel ürünler operasyonel streslere karşı yüksek direnç göstermektedirler. Bilhassa, termal genleşmeyi karşılama ve çatlak gelişimine karşı durma açısından spinel süper bir malzeme olarak nitelenmektedir. Spinel genelde yüksek saflıkta magnezya kaynağıyla yüksek saflıktaki alüminanın karıştırılıp 1700°C'nin üzerinde pişirilmesiyle elde edilmektedir (Clark, 1993 ve Evans, 1993). Magnezyaca zengin spinelin en önemli avantajı yüksek saflıktaki magnezya ile birlikte kullanılabilme ve yüksek performans elde edilme özelliğidir. Alüminaca zengin spinelli refrakter malzemelerde ise alümina oranı %72'den fazla olmaktadır. Bu tür ürünlerde termomekanik streslere ve cüruf penetrasyonuna da direnç fazla olmaktadır (Üstünbaş ve diğ. 1997).

Magnezyum alüminat (spinel), MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>sisteminin tek kararlı bileşiği olup, önemli bir seramik malzeme olarak kabul edilmektedir. Spinel, fiziksel, kimyasal ve termal olarak önemli özelliklere sahip bulunmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı; yapısal, kimyasal, optik ve elektrik endüstrilerinde geniş uygulama alanlarına sahiptir.

Spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) seramikleri; yüksek erime noktası, yüksek sertlik, düşük yoğunluk, mükemmel geçirgenlik, yüksek mukavemet, nispeten düşük genleşme katsayısı, yüksek termal Şok direnci gibi önemli özelliklere sahiptir. 2135 °C erime noktasına sahip olup, asit ve alkalilerin etkilerine karşı yüksek direnç göstermektedir.

Magnezyum alüminat (spinel), mekanik özelliklerinde değişim olmaksızın, geniş sıcaklık aralığındaki nötron radyasyonuna karşı koyabilme yeteneğine sahip



bulunmaktadır (Garner ve diğ, 1993). Bu yüzden spinel kendine özgü radyasyon toleransından dolayı uygulamalarda kendisine yer bulmuştur. Bu bileşik füzyon reaktörlerinde izolasyon ve yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Spinel'in yapısındaki çatlak-boşluk bileşim oranının, radyasyona dayanabilme kabiliyetinde önemli etkisi bulunmaktadır.

Magnezyum alüminat (spinel), füzyon reaktörlerinde radyo-frekanslarının ve manyetik bobinlerin olduğu bölgelerde elektrikçe yalıtkan özelliğinden dolayı buralarda kullanılabilecek en uygun yalıtkan malzeme olarak görülmektedir. Bu malzemenin boyutsal kararlılığı  $2 \times 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup> üzerindeki nötron akısı hasarına karşı hassas değildir (Garner ve diğ, 1993). Yüksek saflıktaki MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spineli mekanik özellikleri ve boyutsal kararlılığı sebebiyle 385-750°C sıcaklık değerleri aralığında nötrona karşı olağanüstü direnç göstermektedir (Garner ve diğ, 1993).

Bu seramiklerin, Uluslararası Termonükleer Uygulama Reaktörü (ITER) gibi nötron radyasyonunun yoğun olduğu yerlerde bazı uygulamalarda kullanımı gerekli görülmüştür. Bu reaktörde kullanılan spinel, akım kesicilerde ve mıknatıslarda yalıtkan olarak kullanılmıştır. Ayrıca, düşük nükleer aktivasyon ve yüksek sıcaklıkta iyi performans gerekli olduğu yerlerde de bu seramikler yapı malzemesi veya koruyucu duvar olarak kullanılabilmektedirler (Toyohiko, 1999).

### **3.2 Alüminyum Titanat**

Alüminyum titanat, alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve titanyum oksitin (TiO<sub>2</sub>)'in uygun oranda karışımı ile katı bir çözelti oluşturan seramik bir malzemedir (Lakshmanan, 2012). Alüminyum oksit ve titanyum oksit karışımının hava atmosferinde, 1350°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısıtılması suretiyle hazırlanmaktadır. Katı çözelti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub>'nin iki ayrı fazında ayrıştığında saf alüminyum titanat 750° C üzerindeki sıcaklıklarda kararsız olmaktadır. Bu nedenle, alüminyum titanat seramikler, katı çözelti yapısını kararlı hale getirmek için genellikle MgO, SiO<sub>2</sub> ve ZrO<sub>2</sub> ile katkılanmaktadır. Ancak ne var ki, düşük mekanik mukavemet ve 1280°C'nin altındaki termodinamik kararsızlığı, bu malzemenin teknolojik kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu sebeple de, mekanik mukavemet kompozit malzemeler hazırlanarak arttırılabilmektedir (Lakshmanan, 2012).

Alüminyum titanat teknolojik uygulamalar için umut verici bir seramik malzeme olarak ortaya çıkmıştır ve bazı önemli özellikleri Çizelge 3.1’de verilmektedir (Lakshmanan, 2012).

**Çizelge 3.1:** Alüminyum Titanatın Fiziksel Özellikleri (Lakshmanan, 2012).

Özellik	Açıklama
Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	3.702
Erime Sıcaklığı (°C)	1860
Isıl iletkenlik,k(W/mK)	1.5 – 2.5
Isıl Genleşme (10 <sup>-6</sup> /°C)	9,2 – 10,2 (Crystallographic)
Sertlik (GPa)	5
Elastik Modülü (GPa)	10 – 20
Bükülme Modülü (GPa)	4 – 20
Isıl Şok Direnci (W/m)	25 – 40
	500

Alüminyum titanattan yapılan malzemelerin uygulama ömürleri oldukça uzun olmaktadır. Termodinamik kararsızlık ve düşük mekanik mukavemet gibi özelliklerinin olması alüminyum titanata yapılan katkıların temelini oluşturmuştur. Bu durum dikkate alındığında üretim aşaması ve oluşan son ürün, özellikleri de etkilemektedir. Katkılanan tüm malzemelerin önemli bir karakteristik özelliği de alüminyum titanatın ısıl ve mekanik özelliklerinde önemli bir düşüş gerçekleştirilmemeleridir (Zaharescu ve diğ, 2003).

Alüminyum titanat birtakım kendine has özelliklerinden dolayı farklı teknolojik uygulamalar için önemli bir malzeme niteliği taşımaktadır. Düşük ısıl iletkenliğine ve iyi kimyasal direncine ek olarak, ihmal edilebilir ısıl genleşme katsayısının yanında yüksek termal şok direncine sahip olması alüminyum titanatı ısıl şoklara karşı dayanıklılık açısından kullanılabilir temel malzeme yapmış bulunmaktadır (Zaharescu ve diğ, 2003). Ayrıca, yüksek erime sıcaklığına sahip olması bu malzemenin yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda önemli bir kullanım alanına sahip olmasını sağlamış bulunmaktadır.

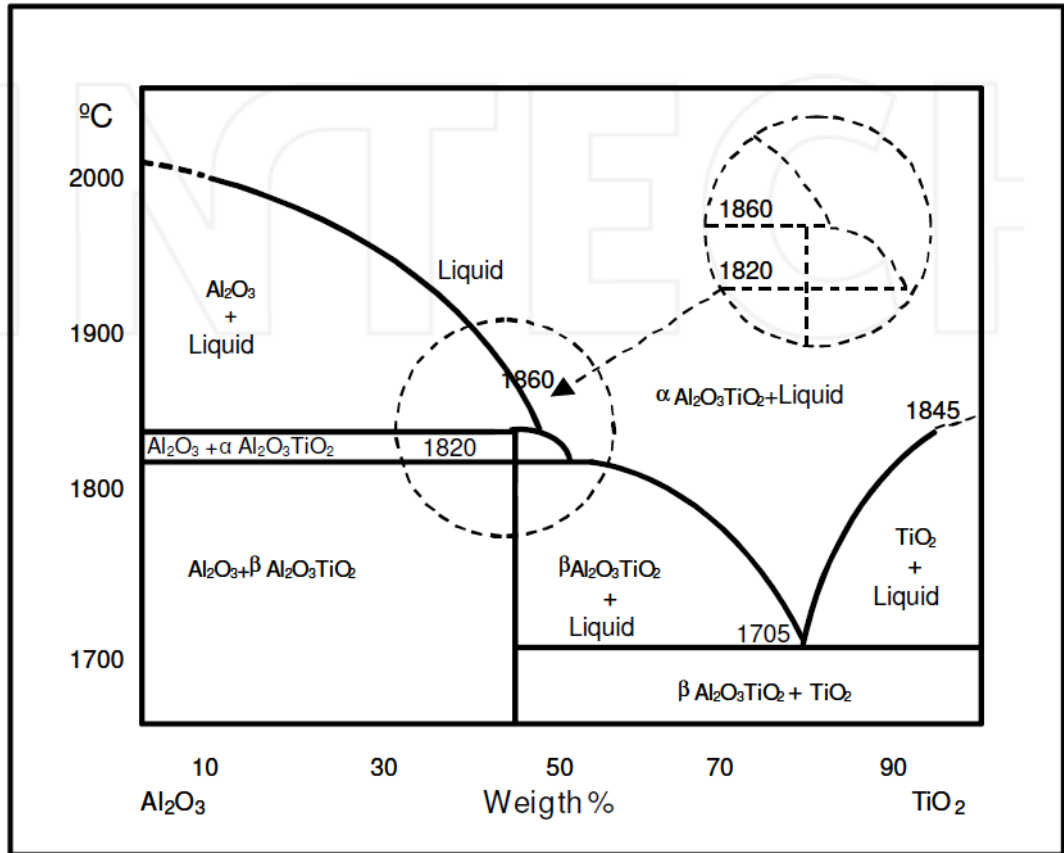
Tüm bu özelliklerinden dolayı alüminyum titanat geniş uygulama alanına sahiptir. Yüksek sıcaklık geçişlerine dayanıklı olmasından dolayı yalıtım maddesi olarak kullanılabilir. Alüminyum titanat seramik malzemelerin yalıtım malzemesi olarak; termal izolasyon paneli, dizel motorlarda kurum partikül filtresi, döküm potaları, elektrik ve elektronik cihazların yüksek ısıl işlem gerektiren aşamalarında ve cam sanayi gibi birçok teknolojik uygulama alanlarına sahiptirler. Ayrıca otomotiv

endüstrisinde ısı kayıplarının minimize edilmek istendiği turbo dönüştürücülerde izolasyon malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Alüminyum titanat bir diğer önemli kullanım alanı olan nükleer reaktörlerde zırhlama malzemesi olarak kendisine yer bulmuş bulunmaktadır (Zaharescu ve diğ, 2003).

Lang ve ark. (1952),  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ 'nin denge diyagramı üzerine çalışarak alüminyum titanatın iki allotropik formunun varlığını bulmuşlardır:

- $\alpha$ -  $Al_2TiO_5$ , yüksek sıcaklık fazı,  $1820^\circ C$ ' de kararlı ve erime noktası  $1860+10^\circ C$ 'dir.
- $\beta$ - $Al_2TiO_5$ , düşük sıcaklık fazı, oda sıcaklığından yaklaşık olarak  $750^\circ C$ 'ye ve  $1300^\circ C$ 'den tersine çevirme sıcaklığı olan  $1820^\circ C$ 'ye kadar olan aralıkta kararlıdır (ara değerlerde kararsızdır ve  $Al_2O_3 + TiO_2$  olarak bileşenlerine ayrılmaktadır).

$Al_2O_3$ - $TiO_2$ 'in denge diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



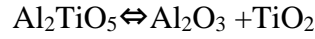
Şekil 3.1:  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ 'nin denge diyagramı (Lang ve diğ, 1952).

Her iki faz arasındaki dönüşüm kendiliğinden ve tersinirdir; soğutma hızının 800 K/h'ten daha fazla olması gerektiğinden,  $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ 'in oda sıcaklığında eldesinin neredeyse imkansız olduğu saptanmıştır (Lang ve diğ, 1952).

Bulgular, 1860°C'de  $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$  ile benzer dönüşüm ortaya koymaktadır. Ancak uyuşmayan bir birleşme olasılığı veya  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$  arasındaki bir katı çözeltili varlığı kesin verilerin elde edilmesindeki zorluklardan dolayı ve sıvı halin yüksek viskozitesi sebebiyle araştırılamamıştır (Lang ve diğ, 1952).

Bu araştırmadan elde edilen ikinci bir önemli nokta, 750°C ve 130°C aralığının  $\beta$ - alüminyum titanat için kararsız bölge olarak önerilmiş olmasıdır. Bu olgu daha sonraki araştırmalarla da teyit edilmiştir (Fonseca ve Baptista, 2003).

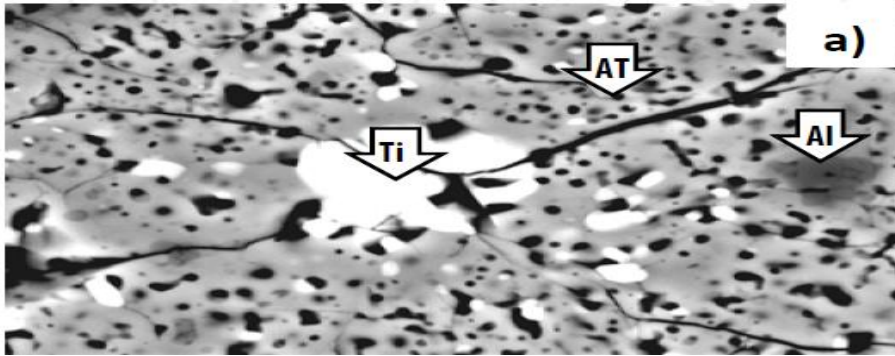
Lang ve diğ. (1952), dinamik dengede karşı oluşum ve ayrışma sürecinin meydana geldiğini ve belirli bir sıcaklık aralığında ayrışmanın teşvik edildiği sonucuna varmışlardır. Örneğin;  $\beta$ -  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$  fazı 1300°C'nin üstünde kararlı iken, bu sıcaklığın altında alüminyum titanat aşağıdaki reaksiyona göre bir dönüşüme uğramaktadır:



XRD yönteminden yararlanılarak alüminyum titanatın yapısal analizi gerçekleştirilmiştir (Lang ve diğ, 1952). XRD sonuçlarından katkısız haldeki alüminyum titanat için, seçilecek sıcaklık ve süre miktarı yüzde yüz  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$  reaksiyonunun gerçekleşmesi açısından önem taşımaktadır.

Alüminyum titanatın saf bileşik halinin, 1450°C'de 3 saat boyunca katılaştırılmış karakteristik mikroyapısı Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

$\text{Al}_2\text{TiO}_5$ 'in gözenekli ve mikro çatlaklı matris yapısı ve tepkimeye girmemiş  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$ ' nin varlığı çok yavaş difüzyon tepkimeleri için kontrol edilmiştir.



Şekil 3.2 :Saf alüminyum titanatın mikroyapısı (Wohlfromm, 1990).

## **4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, kütlece belli oranlarda alüminyum titanat içeren spinel (magnezyum alüminat) kompozit malzemelerin farklı radyasyon tipleri karşısındaki davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kompozit malzemelerin radyasyon karşısında davranışları çerçevesinde malzemenin özelliklerine dayanarak zırh malzemesi olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesine yönelik deney sistemleri tasarlanmıştır. Oluşturulan deney sistemlerinde bir dizi deneysel çalışmalar yapılmıştır (Çevikbaş ve diğ., 2014).

### **4.1 Çalışılan Malzemelerin Tanıtımı**

#### **4.1.1 Çalışılan alüminyum titanat / spinel malzemeler**

Spinel ( $MgAl_2O_4$ ), alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) ve magnezyum oksitten ( $MgO$ ), alüminyum titanat ( $Al_2TiO_5$ ) ise alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) ve titanyum oksit tozlarından ( $TiO_2$ ) üretilmiştir. Kullanılan malzemeler % 99.9 saflıktadır.

$Al_2TiO_5$  eş molarlarda  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$  tozlarının karıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Elde edilen karışımlar daha sonra eritilmeden, spinel için  $1550^\circ C$ 'ye ve alüminyum titanat (AT) için  $1600^\circ C$ 'ye kadar havada iki saat boyunca ısıtılmıştır.

Daha sonra, kütlece % 0, % 5, % 10 oranlarında alüminyum titanat eklenerek SAT karışımları elde edilmiştir (bundan sonra, oluşturulan karışımlar SAT0, SAT5, SAT10 olarak anılacaktır). Karışımlar 200 MPa basınç altında  $30 \times 30 \times 5$  mm halinde numuneler haline getirilmiştir. Çalışılan alüminyum titanat katkılı spinel kompozit malzemelerin genel görüntüsü Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1:** Alüminyum titanat katkılı spinel kompozit malzemeler.

Farklı oranlarda hazırlanan SAT karışımlarının fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’ de verilmektedir.

**Çizelge 4.1:** Çalışılan malzemelerin fiziksel özellikleri.

Malzeme	$\rho$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\rho_{\text{gerçek}}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\rho_{\text{bağıl}}$ , %	Porosity (%)	w.abs. (%)
1700°C					
SAT0	3,46	3,58	96,64	3,352	0,03
SAT5	3,45	3,56	96,91	3,089	0
SAT10	3,44	3,54	97,17	2,824	0

Kompozitlerin kütle yoğunlukları ve gerçek yoğunluklarının her ikisi de artan alüminyum titanat içerikleriyle azalmaktadır. Spinel’in teorik yoğunluğu 3.58 g.cm<sup>-3</sup> iken Al<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub>’ ın yoğunluğu 3.20 g.cm<sup>-3</sup> olmaktadır.

#### 4.2 Deney Düzeneginin Tanıtımı

Bu çalışmada, alüminyum titanat - spinel malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışının incelenmesi ve farklı oranlarda eklenen alüminyum titanatın etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Radyasyon kaynağı olarak kullanılan kaynağa göre uygun deney düzenekleri oluşturulmuştur.

Bunlar;

- Gama deney düzenegi
- Beta deney düzenegi
- Nötron deney düzenegidir.

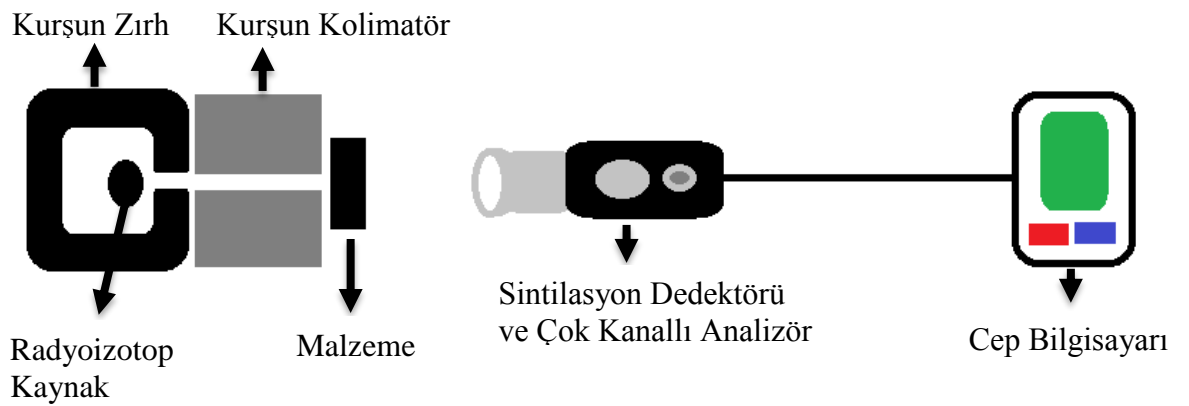
#### 4.2.1 Gama deney düzeneğinin tanıtımı

Gama deney düzeneği oluşturulurken, gama transmisyon tekniği bağlamında deney geometrisi tasarlanmıştır. Gama transmisyon tekniğinde, gama ışınlarının malzemeden geçerek detektörde oluşturduğu radyasyon şiddeti ölçülmektedir (Büyük ve diğ, 2012).

Detektör ve radyoizotop kaynak, malzemelerin iki farklı tarafına aynı eksenli olacak şekilde yerleştirilmiştir (Durmaz ve diğ, 2014). Kaynaktan yayınlanan ışınların malzemeyi geçerek malzemenin diğer tarafındaki detektöre ulaşması sağlanmıştır. Bu şekilde, ulaşan radyasyonun şiddeti, detektörde ölçülmüştür.

Uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken bir husus, ölçülen gama radyasyon şiddetinin, kaynaktan çıkan ve malzemeyi kat ederek doğrudan detektöre ulaşan gama radyasyonu olması gerektiğidir (Tuğrul, 1995). Bir başka deyişle, saçılan radyasyonun ölçülmemesi ve sağlıklı sonuçların elde edilebilmesi için kaynak ve detektörün iyi bir şekilde kolime edilmesi ve zırhlanması gerekmektedir.

Transmisyon tekniğine göre hazırlanan gama deney düzeneği şematik olarak Şekil 4.2' de görülmektedir.



Şekil 4.2: Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Şeması.

Gama transmisyon tekniği uygulanarak yapılan deneysel çalışmalarda uygun deney düzeneği için uygun sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan gama transmisyon sistemi

- Gama Radyoizotop Kaynak
- Detektör
- Çok Kanallı Analizör
- Kolimatör

- Zırh Malzemelerinden

oluşmaktadır.

#### 4.2.1.1 Gama kaynakları

Gama kaynakları ile yapılan deneysel çalışmalarda, endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan ve İTÜ Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı'nda bulunan Co-60 ve Cs-137 gama radyoizotop kaynakları kullanılmıştır. Bu iki radyoizotop, nükleer uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda gama kaynağı olarak sıkça kullanılan radyasyon kaynaklarıdır. Cs-137, yarı ömrü 30,1 yıl olan uzun yarı ömürlü bir yapay radyasyon kaynağıdır ve 0,662 MeV enerjide tek bir foto-piki bulunmaktadır. Çalışılan Cs-137 radyoizotop kaynağın aktivitesi 8,89  $\mu\text{Ci}$ 'dir.

Yine çalışılan bir diğer gama radyoizotop kaynak olan Co-60 gama radyoizotop kaynağı ise 5,23 yıl yarı ömre sahiptir ve 1,17 ve 1,33 MeV enerjilerinde iki fotopike sahiptir. Çalışılan Co-60 ve Cs-137 radyoizotop kaynaklarına ilişkin bilgiler Çizelge 4.2' de verilmiştir.

**Çizelge 4.2:** Co-60 ve Cs-137 Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri (Knoll, 2002).

Gama Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömrü	Enerjisi ( MeV )	Çalışılan Aktivite
Cs-137	30,1 yıl	0,662	8,89 $\mu\text{Ci}$
Co-60	5,23 yıl	1,17 1,33	14,1 $\mu\text{Ci}$

Co-60 ve Cs-137 gama radyoizotop kaynaklarının görüntüleri Şekil 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.





**Şekil 4.3:** Deneyde çalışılan Cs-137 gama radyoizotop kaynak.



**Şekil 4.4:** Deneyde çalışılan Co-60 gama radyoizotop kaynak.

#### **4.2.1.2 Gama detektörü**

Deneyleerde kullanılan gama detektörü, İTÜ Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı'nda bulunan PM1401K model bir cihazdır. Bu cihaz; alfa, beta, gama ölçümü yapabilen, içinde GM, sintilasyon detektörü ve çok kanallı analizör bulunduran kompakt ve gelişkin bir cihazdır. PM1401K model sintilasyon detektörünün genel özellikleri Çizelge 4.3'te verilmektedir.

**Çizelge 4.3:** PM1401K Model Sintilasyon Detektörünün Genel Özellikleri.

Standartlara Uygunluk	IEC 846, ANSI N42.33(2), ANSI N42.34, IEC 62327
<b>Araştırma ve spektrum y kanalı</b>	
Detektör	CsI(Tl)

**Çizelge 4.3 (devam):** PM1401K Model Sintilasyon Detektörünün Genel Özellikleri.

Cs-137 için hassasiyet	<b>200 s<sup>-1</sup> / (µSv/h) (2 s<sup>-1</sup> / (µR/h))</b>
Am-241 için hassasiyet	200 s <sup>-1</sup> / (µSv/h) (2 s <sup>-1</sup> / (µR/h))
Enerji aralığı	0.06 – 3.0 MeV
Sintilasyon spektrumu için kanal sayısı	1024
Kalıcı hafızada tutulabilen spektrum sayısı	100'den fazla
<b>Nötron Araştırma Kanalı</b>	
Detektör	Yavaş nötron sayıcı
Enerji aralığı	0.025 eV – 14 MeV
<b>γ - ölçüm kanalı</b>	
Detektör	GM-sayıcı
Doz oranı	0.1 µSv/h – 100 mSv/h
Enerji aralığı	0.015 – 15 MeV
<b>α ve β – ölçüm kanalı</b>	
Detektör	GM-sayıcı
α-akı yoğunluğu ölçüm aralığı	15 – 10 <sup>5</sup> (1/dk.cm <sup>2</sup> )
β-akı yoğunluğu ölçüm aralığı	6 – 10 <sup>5</sup> (1/dk.cm <sup>2</sup> )
β ölçüm enerji aralığı	0.15 – 3.5 MeV
<b>Fiziksel Parametreler</b>	
Boyutlar	242 x 58x 57 mm
Ağırlık	650 g
<b>Çevresel Karakteristikler</b>	
Sıcaklık	-30 – 50 °C
Nem	%95 (35 °C 'de)
<b>Güç</b>	
Piller	1 adet AA pil
Pil ömrü	600 sa
PC bağlantısı	IRDA, Bluetooth

Çalışmalarda kullanılan PM1401K cihazı Şekil 4.5'te görülmektedir.



**Şekil 4.5:** PM1401K model cihaz.

Çok kanallı analizör bağlantılı olarak ve cihazla uyumlu çalışabilen, özel yazılımı bulunan HP IPAQ cep bilgisayarı, çıkışların alınması için kullanılmıştır. Cep bilgisayarı detektör ile uzaktan ve kablosuz bağlantı kurabilmektedir. Bu sayede ölçümler, nükleer güvenlik açısından uygun bir şekilde (deney düzeneğinden uzakta) alınabilmektedir. Şekil 4.6’da cihaz ile uyumlu çalışabilen cep bilgisayarı gösterilmiştir.



**Şekil 4.6:** Cep bilgisayarı.

#### **4.2.1.3 Kolimatör**

Deneyleerde, kolimatör olarak kurşundan imal edilmiş 7 mm çapında ve 5 cm uzunluğunda ışınlama aralığı bulunan kolimatör kullanılmıştır. Bu sayede uygun gama ışın demeti oluşturulmuştur. Şekil 4.7’de deneysel çalışmalarda kullanılan kolimatör görülmektedir.



**Şekil 4.7:** Deneyleerde kullanılan kolimatör.

Oluşturulan deney düzeneğinde; sayım sistemini oluşturan detektör ve detektör ile aynı eksene yerleştirilmiş içinde radyoizotop kaynak bulunan kolimatör yer almaktadır. Özellikleri incelenecek olan numuneler de detektör ile kolimatör arasına yerleştirilerek deney düzeneğinin bir parçası olmuşlardır. Bunlara ek olarak, deney düzeneği en dışta nükleer güvenliği sağlamak için yerleştirilen koruyucu zırh özelliği gösteren tuğlalar ile tamamlanmıştır. Deney sisteminin bir görüntüsü Şekil 4.8’de verilmiştir.



**Şekil 4.8:** Gama deney sisteminin görüntüsü.

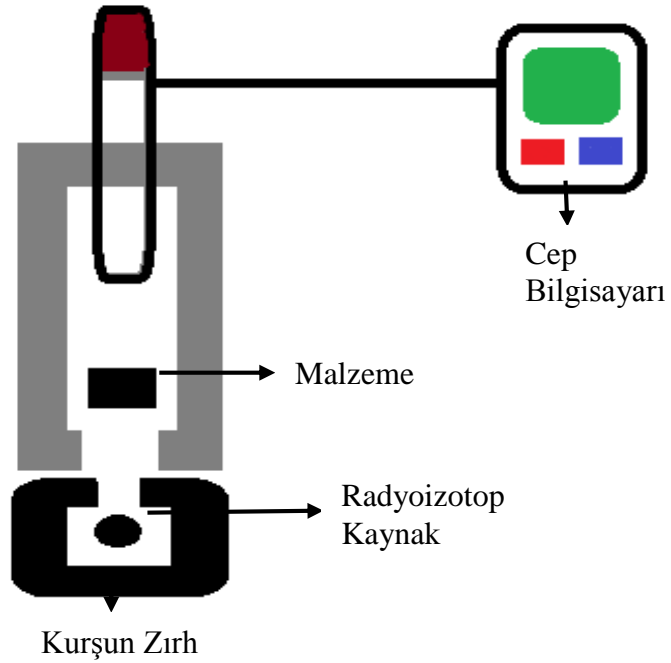
#### 4.2.2 Beta deney düzeneğinin tanıtımı

Beta deney düzeneğinde, yine transmisyon tekniği geometrisi uygulanmıştır. Böylelikle, kaynaktan çıkan beta ışınlarının malzeme tarafından soğurulduktan sonra detektörde oluşturduğu radyasyon şiddeti ölçülmüştür.

Detektör ve radyoizotop kaynak, malzemelerin iki farklı tarafına aynı eksenli olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kaynaktan yayınlanan ışınların malzemeyi geçerek malzemenin diğer tarafındaki detektöre ulaşması sağlanmıştır. Bu şekilde, ulaşan radyasyonun şiddeti, detektörde ölçülmüştür.

Burada da, uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken bir husus, ölçülen gama radyasyon şiddetinin, kaynaktan çıkan ve malzemeyi kat ederek doğrudan dedektöre ulaşan gama radyasyonu olması gerektiğidir (Tuğrul, 1995). Bir başka deyişle, saçılan radyasyonun ölçülmemesi ve sağlıklı sonuçların elde edilebilmesi için kaynak ve detektörün iyi bir şekilde kolime edilmesi ve zırhlanması gerekmiştir.

Transmisyon tekniği prensibine göre hazırlanan beta deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 4.9’ da verilmektedir.



Şekil 4.9: Beta Deney Düzeneğinin Şematik Görüntüsü.

#### 4.2.2.1 Beta kaynağı

Deneysel çalışmalarda İTÜ Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı'nda bulunan Sr-90 beta radyoizotop kaynağı kullanılmıştır. Bu radyoizotop, medikal ve endüstriyel amaçlı olmak üzere bir çok deneysel çalışmalarda beta kaynağı olarak sıkça kullanılan bir kaynaktır. Sr-90, yarı ömrü 28.5 yıl ve maksimum beta enerjisi 0,6 MeV olan bir beta radyasyon kaynağıdır. Çalışılan Sr-90 radyoizotop kaynağına ilişkin bilgiler Çizelge 4.4' te verilmektedir.

**Çizelge 4.4:** Sr-90 Beta Radyoizotop Kaynağının Özellikleri (Görür, 2006).

Beta Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömrü	Enerjisi ( MeV )	Çalışılan Aktivite
Sr-90	28,5 yıl	0,6	2,52 mCi

#### 4.2.2.2 Beta detektörü

Deneylerde beta detektörü olarak, genel özellikleri Çizelge 4.3'te verilen ve Bölüm 4.2.1.2'de tanıtılan PM1401K model çok amaçlı, beta sayımı da yapabilen kompakt cihaz kullanılmıştır.

#### 4.2.3 Nötron deney düzeneğinin tanıtımı

Nötron deneylerinin uygulanmasında, malzemelerin nötron karşısındaki davranışlarının incelenmesi amacı ile hazırlanan deney düzeneğinde nötron transmisyon tekniğinden faydalanılmıştır. Alüminyum titanat katkılı spinel malzemelerin nötron geçirgenliklerinin incelenebilmesi için İTÜ Enerji Enstitüsü'nde bulunan İTÜ TRİGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü imkanları kullanılarak oluşturulan nötron transmisyon deney düzeneği ile deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deneylerde nötron kaynağı olarak Pu-Be nötron kaynağı ve detektör olarak ise gama deneylerinde kullanılan (Bölüm 4.2.1.2.içinde tanıtılan) farklı radyasyon tiplerini ölçebilen kompakt cihaz kullanılmıştır.

##### 4.2.3.1 Pu-Be nötron howitzer kaynağı (Nötron Howitzer, NH-3)

Deneylerde, nötron kaynağı olarak, İTÜ Enerji Enstitüsü'nde bulunan İTÜ TRİGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü bünyesinde bulunan Nuclear Chicago Corporation tarafından üretilen  $1,85 \times 10^5$  MBq (5 Ci) aktiviteli (Pu-Be) Nötron Howitzer-3 (NH-3) kaynağı kullanılmıştır (Yiğit, 1996). Howitzer 61 cm çapında ve

91 cm yüksekliğinde silindirik yapılu çelik kabuk içerisinde. Termal ve epitermal nötronlar için iki adet ışınlama kanalı bulunmaktadır. Kaynağın etrafı yaklaşık 25 cm kalınlığında özel parafin ile kapatılmıştır (Gordus, 1967). Kaynağın nötron akısı  $10^5$  n/cm<sup>2</sup>s ve kaynaktan üretilen nötronların ortalama enerjileri 4 MeV'dir (Yiğit, 1996). Çizelge 4.5'te deneylerde kullanılan nötron kaynağının özellikleri verilmiştir.

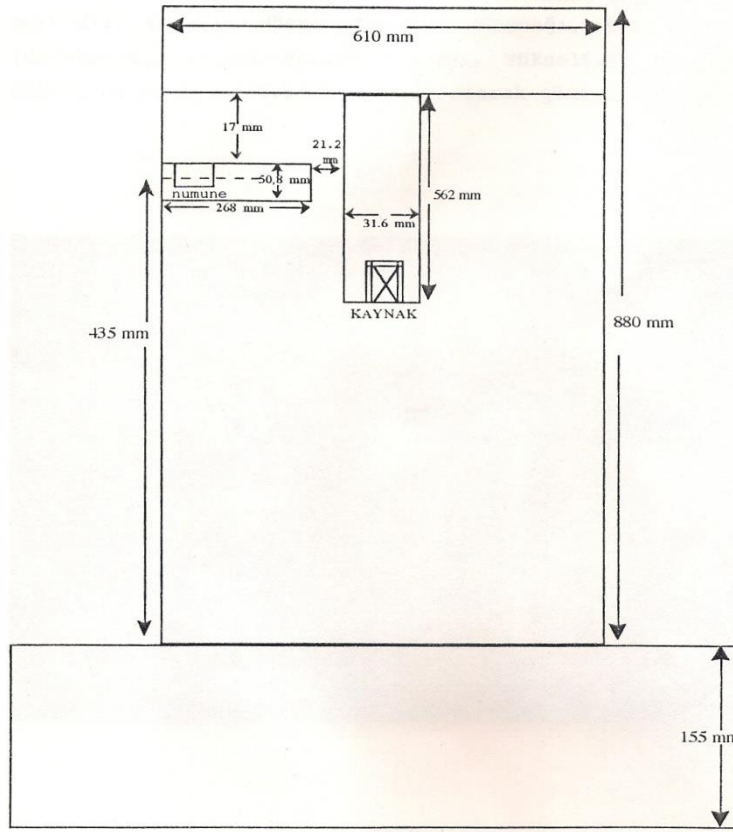
**Çizelge 4.5:** Nötron kaynağının (Nötron Howitzer) genel özellikleri (Büyük, 2013).

Nötron Kaynağı	Pu-Be Nötron Kaynağı
Nötron Kaynağı Tipi	Nuclear Chicago Corporation
Nötron üretim Reaksiyonu	( $\alpha$ ,n)
Aktivite	$1,85 \times 10^5$ MBq (5 Ci)
Nötron Akısı	$10^5$ n/cm <sup>2</sup> s
Üreyen Nötronların Ortalama Enerjisi	4 MeV
Işınlama Kanal Sayısı	2
Howitzer'in boyutları	Ø 61 cm x 91 cm
Parafin kalınlığı	25 cm

Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağının genel görüntüsü Şekil 4.10'da ve iç yapısı ise Şekil 4.11'de görülmektedir.



**Şekil 4.10:** Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı.



**Şekil 4.11:** Nötron Howitzer-3 kaynağının iç yapısı (Yiğit, 1996).

Sistemde, Pu-Be kaynağı üst ortadan 562 mm aşağıda yer almaktadır ve deneyler sırasında kaynağı ışınlama seviyesine çekmek için Howitzer'in üst yüzeyinde bulunan çubuk kullanılmaktadır (Yiğit, 1996).

#### 4.2.3.2 Nötron detektörü

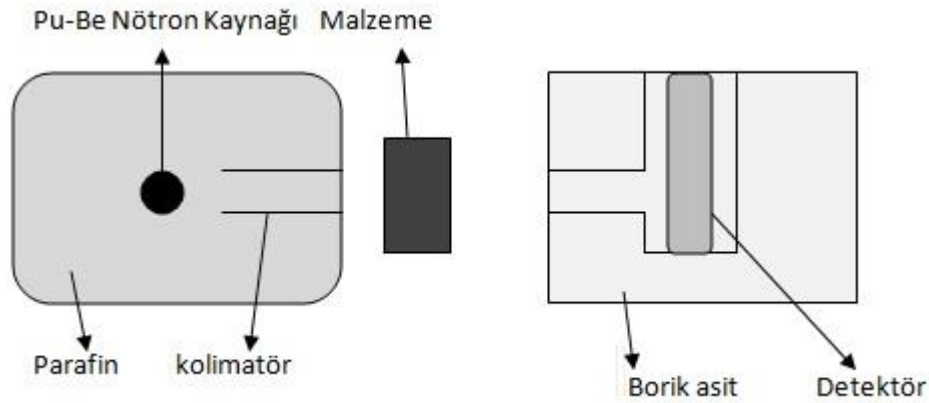
Deneylerde nötron detektörü olarak He-3 detektörü kullanılmıştır. Söz konusu detektör genel özellikleri Çizelge 4.3'te verilen ve Bölüm 4.2.1.2'de tanıtılan PM1401K model çok amaçlı, kompakt cihaz içinde yer almaktadır. He-3 detektörü ile 0.025 eV – 14 MeV enerji aralığındaki nötronların sayımı yapılabilmektedir.

#### 4.2.3.3 Nötron deney düzeneği

Nötron ile yapılan deney çalışmalarında, uygulama elemanları olan nötron kaynağı ve detektör, nötron transmisyon tekniğine uygun biçimde yerleştirilerek deney düzeneği hazırlanmıştır. Sayım sistemini oluşturan detektör, Nötron Howitzer (NH-3) kaynağının ışınlama kanalı ile aynı ekseninde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Nötron kaynağının ışınlama kanalına uygun konumlandırılmış kolimatör vasıtasıyla gelen



ışınların malzeme üzerine yönlendirilmesi ve detektörde sayım oluşturmaları sağlanmıştır. Şekil 4.12’de nötron deney düzeneğinin şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.12: Nötron deney düzeneğinin şematik gösterimi.

### 4.3 Deneylerin Yapılışı

Deney düzenekleri oluşturulduktan sonra temin edilen malzemeler ile deneysel uygulamalara başlanılmıştır. Öncelikle, incelenecek malzemeler olan spinel, % 5 ve % 10 alüminyum titanat katkılı spinel malzemelerin kalınlıklarının ölçümleri yapılmıştır. Elimizde her bir malzeme grubundan farklı kalınlıklarda olmak üzere 3 adet bulunmaktadır.

Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar tablolar halinde işlenmiştir. Grafik çizimlerinde, eğilim ve hata hesaplamalarında Origin 8 bilgisayar programından yararlanılmıştır (Url-2).

Ayrıca, bileşik sonuçların standart sapma değerlerinin hesaplarında nükleer ölçümlerin çoğunda uygulanabilen Eşitlik 4.1 kullanılmıştır (Knoll, 2002).

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots \quad (4.1)$$

Burada u, x,y,z... değişkenlerinden elde edilen bileşik sonucu,  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \dots$  ise sırasıyla x,y,z... değişkenlerinin standart sapmasını temsil etmektedir. Bu hesaplamalar, esas itibariyle Origin 8 ve Windows Excel Bilgisayar programları kullanılarak yapılmıştır.

Deneylerin yapıları radyasyon tipine göre sınıflandırılarak tanıtılacaktır. Buna göre, deneyler:

- Gama deneylerinin yapıları

- Beta deneylerinin yapılışı
- Nötron deneylerinin yapılışı

şeklinde ayrı ayrı bölümler halinde incelenmiştir.

#### **4.3.1 Gama deneylerinin yapılışı**

Gama deneyleri İTÜ Enerji Enstitüsü, Radyoizotop Laboratuvarı'nın imkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlanmadan önce standart kaynak kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Daha sonra deney sisteminin ortam radyasyon sayımı (background), malzeme ve radyoizotop kaynak konulmadan ölçülmüştür. Takiben, deney sistemine radyoizotop kaynak yerleştirilmiş ve (malzeme olmaksızın) başlangıç sayım ( $I_0$ ) değerleri alınmıştır. Her bir sayım ortalama 300 sn'lik periyotlar halinde ve en az 3 kez tekrarlanarak alınmıştır.

Ölçümlere ilk olarak SAT0 olarak adlandırdığımız alüminyum titanat katkısız olan spinel malzeme ile başlanılmıştır. Deney düzeneğine, kaynak ile detektör arasında aynı deney geometrisinde yerleştirilen SAT0'lardan ilkinin radyasyon zayıflatmasının incelenmesi amacıyla ışınlama gerçekleştirilmiştir. Bu işlem ortalama 300sn'lik periyotlar halinde tutarlılığın sağlanması için 3 set olarak tekrarlanmıştır.

Daha sonra SAT0 numunelerinden ikincisi deney sistemine yine aynı konumda diğerinin yanına yerleştirilmiştir. Böylece deney sisteminde aynı malzeme içerikli iki SAT0 örneği yer almıştır. Bu malzeme çifti de aynı periyot ve setler halinde ışınlanmıştır. Amaç malzeme kalınlığının artmasına bağlı olarak radyasyon zayıflamasının değişiminin incelenmesidir. Üçüncü SAT0 malzemenin de sisteme yerleştirilerek aynı aşamaları tekrarlamak suretiyle zayıflamadaki değişimin daha net elde edilmesi sağlanmıştır.

Alınan sayımlardan ortam sayımı (background) çıkarılarak net sayımlara ulaşılmıştır. Takiben, elde edilen net sayım değerlerinin standart sapmaları hesaplanmıştır. Deney düzeneğinde her malzeme kalınlığında alınan sayımlar kaynak varken ve fakat malzeme yokken alınan başlangıç sayımlarına oranlanarak bağıl sayım sonuçlarına ulaşılmıştır. SAT0 numuneleriyle yapılan deneyler sonucunda ulaşılan bağıl sayım değerleri kullanılarak çalışılan gama radyasyon kaynağının şiddetini zayıflatmasının grafiği, bağıl sayım değerleri ve malzemelerin kalınlıklarına bağlı olarak çizilmiştir.

SAT0 için uygulanan deney aşamaları SAT5 ve SAT10 örnekleri için de aynı yöntem ve teknikler uygulanarak hesaplanmıştır. Son olarak SAT0, SAT5 ve SAT10 örneklerinin, bağıl sayım ve kalınlıklarına bağlı radyasyon zayıflatma grafikleri, hepsi aynı grafik üzerinde verilerek kıyaslamaları yapılmıştır.

#### 4.3.2 Beta deneylerinin yapılışı

Beta deneyleri İTÜ Enerji Enstitüsü, Radyoizotop Laboratuvarı'nın imkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlanmadan önce yine standart kaynak kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Daha sonra ortam radyasyon sayımı (background), malzeme ve radyoizotop kaynak deney sistemine konulmadan ölçülmüştür. Takiben, deney sistemine Sr-90 radyoizotop kaynağı yerleştirilerek başlangıç sayım ( $I_0$ ) değerleri alınmıştır. Her bir sayım, ortalama 60 sn'lik periyotlar halinde ve en az 3 kez tekrarlanarak alınmıştır.

Deney ölçümlerine ilk olarak SAT0 olarak adlandırdığımız alüminyum titanat katkısız olan spinel kompozit malzemesi ile başlanılmıştır. Deney düzeneğine, kaynak ile detektör arasında aynı deney geometrisinde yerleştirilen SAT0 numunelerinden ilkinin radyasyon zayıflatmasının incelenmesi amacıyla ışınlama gerçekleştirilmiştir. Bu işlem ortalama 60 sn'lik periyotlar halinde ve tutarlılığın sağlanması için 3 set olarak tekrarlanmıştır. Daha sonra SAT0 numunelerinden ikincisi deney sistemine yine uygun bir konumda diğerinin yanına yerleştirilmiştir. Böylece deney sisteminde aynı malzeme içerikli iki adet SAT0 örneği yer almıştır. Bu malzeme çifti de aynı periyot ve setler halinde ışınlanmıştır. Amaç malzeme kalınlığının artmasına bağlı olarak radyasyon zayıflamasının değişiminin incelenmesidir. Üçüncü SAT0 numunesinin de sisteme yerleştirilerek aynı aşamaları tekrarlamak suretiyle zayıflamadaki değişimin daha net elde edilmesi sağlanmıştır.

Alınan sayımlardan ortam sayımı (background) çıkarılarak net sayımlara ulaşılmıştır. Takiben, elde edilen net sayım değerlerinin standart sapmaları hesaplanmıştır. Deney düzeneğinde her malzeme kalınlığından alınan sayımlar kaynak varken ve fakat malzeme yokken alınan başlangıç sayımlarına oranlanarak bağıl sayım sonuçlarına ulaşılmıştır. SAT0 numuneleriyle yapılan deneyler sonucunda ulaşılan bağıl sayım değerleri kullanılarak çalışılan gama radyasyon kaynağının şiddetini zayıflatmasının grafiği, bağıl sayım değerleri ve malzemelerin kalınlıklarına bağlı olarak çizilmiştir.

SAT0 için uygulanan deney aşamaları SAT5 ve SAT10 örnekleri için de aynı yöntem ve teknikler uygulanarak hesaplanmıştır. Son olarak SAT0, SAT5 ve SAT10 örneklerinin, bağıl sayım ve kalınlıklarına bağlı radyasyon zayıflatma grafikleri, hepsi aynı grafik üzerinde verilerek kıyaslamaları yapılmıştır.

#### **4.3.3 Nötron deneylerinin yapılışı**

Nötron deneyleri, İTÜ Enerji Enstitüsü'nde bulunan İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü olanakları kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak kaynak ile detektör arasına nötron zırhı yerleştirilerek ortam sayımı (background) değerleri ölçülmüştür. Daha sonra nötron deneylerinde kullanılmak üzere borik asit ( $H_3BO_3$ ) ile oluşturulan kolimasyon sistemi, nötron kaynağı ile nötron detektörü arasına yerleştirilerek başlangıç sayım değerleri ( $I_0$ ) alınmıştır. Başlangıç sayımı kaydedildikten sonra SAT0, SAT5 ve SAT10 malzeme gruplarının 3 farklı kalınlık değerleri için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde sayım alma süresi 240 saniye olarak uygulanmıştır.

Alınan sayımlardan ortam sayımı (background) çıkarılarak net sayımlara ulaşılmıştır. Takiben, elde edilen net sayım değerlerinin standart sapmaları hesaplanmıştır. Deney düzeneğinde her malzeme kalınlığından alınan sayımlar kaynak varken ve fakat malzeme yokken alınan başlangıç sayımlarına oranlanarak bağıl sayım sonuçlarına ulaşılmıştır. SAT0 numuneleriyle yapılan deneyler sonucunda ulaşılan bağıl sayım değerleri kullanılarak çalışılan gama radyasyon kaynağının şiddetini zayıflatmasının grafiği, bağıl sayım değerleri ve malzemelerin kalınlıklarına bağlı olarak çizilmiştir.

SAT0 için uygulanan deney aşamaları SAT5 ve SAT10 örnekleri için de aynı yöntem ve teknikler uygulanarak hesaplanmıştır. Son olarak SAT0, SAT5 ve SAT10 örneklerinin, bağıl sayım ve kalınlıklarına bağlı radyasyon zayıflatma grafikleri, hepsi aynı grafik üzerinde verilerek kıyaslamaları yapılmıştır.

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tezinde, spinel (magnezyum alüminat) ve alüminyum titanat içeren özel kompozit malzemelerin çeşitli radyasyon türleri karşısındaki davranışlarının incelenmesi Bölüm 4 içerisinde anlatılan ve detayları açıklanan deney düzenekleri kullanılarak deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi amacıyla, önce Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları kullanılarak, söz konusu kompozit malzemelerin gama ışınları karşısındaki davranışları incelenmiştir. Kompozit malzemelerin yapısında buldukları alüminyum bileşiminden dolayı, beta radyasyonu karşısındaki davranışının sonuçlarını görebilmek amacıyla oluşturulan beta deney düzeneğinde Sr-90 radyoizotop kaynağı kullanılarak ışınlamalar gerçekleştirilerek, beta radyasyonu karşısındaki davranışları gözlenmiştir. Bölüm 3 içerisinde anlatıldığı üzere, çeşitli uygulama alanlarının bulunmasıyla birlikte nükleer reaktörlerin yapılarında çeşitli amaçlarla kullanılabilme imkanı olan bu kompozit malzemelerin nötronlar karşısındaki davranışlarının incelenmesi için Pu-Be nötron kaynağı ile de deneyler gerçekleştirilmiştir.

Böylelikle, spinel (magnezyum alüminat) ve alüminyum titanat içeren bu özel kompozit malzemelerin gama, beta ve nötron radyasyon tipleri karşısındaki davranışları deneysel olarak araştırılmıştır.

Bu bölümde, gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen deneysel değerler, çalışılan her radyasyon tipi için ve her kompozit malzeme grupları için ayrı ayrı çizelgeler halinde bir araya toplanmıştır. Çizelge değerlerinden hareketle malzemelere ait bağıl sayım – kalınlık grafikleri Origin8 bilgisayar programı kullanılarak çizilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, radyasyon tiplerine ve malzeme gruplarına ilişkin olarak aşağıdaki alt bölümlerde verilmektedir.

## 5.1 Gama Radyoizotop Kaynakları ile Yapılan Deney Sonuçları

Gama radyoizotop kaynakları ile transmisyon tekniği uygulanarak gerçekleştirilen deney düzeneği kullanılarak magnezyum alüminat (spinel) ve alüminyum titanat içeren bazı özel kompozit malzemelere ilişkin yapılan deneylerin sonuçları çizelgeler halinde verilmektedir. Deney sonuçlarını içeren çizelge bilgileri kullanılarak her bir kompozit malzeme grupları için Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklarına ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri hesaplanmış ve adı geçen iki gama radyoizotop kaynağı için zayıflatma eğrileri çizilmiştir.

### 5.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneylerin sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde elde edilen ölçüm değerleri, çizelgeler halinde verilmektedir. Kütlece % 0, % 5 ve % 10 alüminyum titanat içeren SAT kompozit malzemelerine ilişkin kalınlık-bağıl sayım değerleri kullanılarak, çalışılan malzemelerin radyasyon zayıflatma değerleri belirlenmiş ve bu değerlere ilişkin ilgili eğriler çizilmiştir. Bu bağlamda, çalışılan kompozit malzemeler olan SAT0, SAT5 ve SAT10'a ilişkin olarak aşağıdaki alt bölümlerde incelenmektedir.

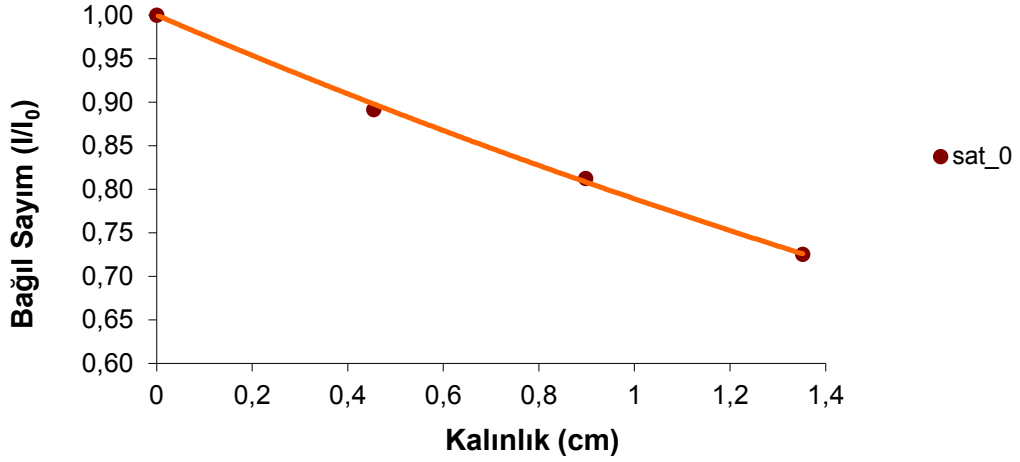
#### 5.1.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT0 kompozit malzemeleri ile yapılan deney sonuçları

Saf magnezyum alüminat (spinel) içeren, alüminyum titanat katkısız SAT0 kompozit malzemelerin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT0 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.1' de verilmektedir.

**Çizelge 5.1** : SAT0 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	794	804	804	800	6	1.000
0.4541	704	723	713	713	10	0.891
0.8979	643	664	643	650	12	0.813
1.3517	583	581	577	580	3	0.725

Çizelge 5.1'deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin SAT0 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafiği çizilerek SAT0 kompozitlerinin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT0 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1: SAT0 kompozitlerin Cs-137 zayıflatma eğrisi.

### 5.1.1.2 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT5 kompozit malzemeleri ile yapılan deneylerin sonuçları

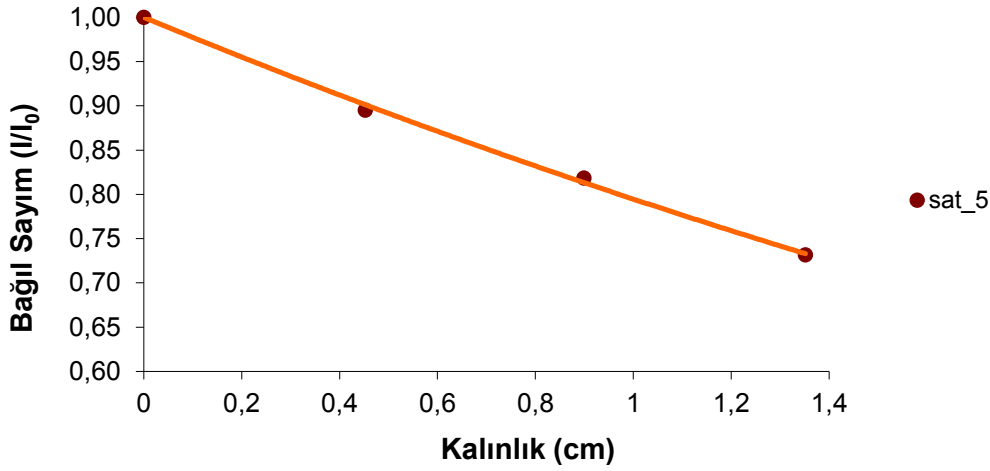
Kütlece yüzde 5 oranında alüminyum titanat içeren ve SAT5 olarak adlandırılan spinel kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık ve bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT5 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.2'de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : SAT5 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	794	804	804	800	6	1.000
0.45255	718	712	718	716	3	0.895
0.89895	662	652	651	655	6	0.818
1.3518	577	593	587	585	8	0.732

Çizelge 5.2'deki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin SAT5 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT5 kompozitlerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrilerine

ulaşmıştır. SAT5 kompozitlerinin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2: SAT5 kompozitlerin Cs-137 zayıflatma eğrisi.

### 5.1.1.3 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT10 kompozit malzemeleri ile yapılan deneylerin sonuçları

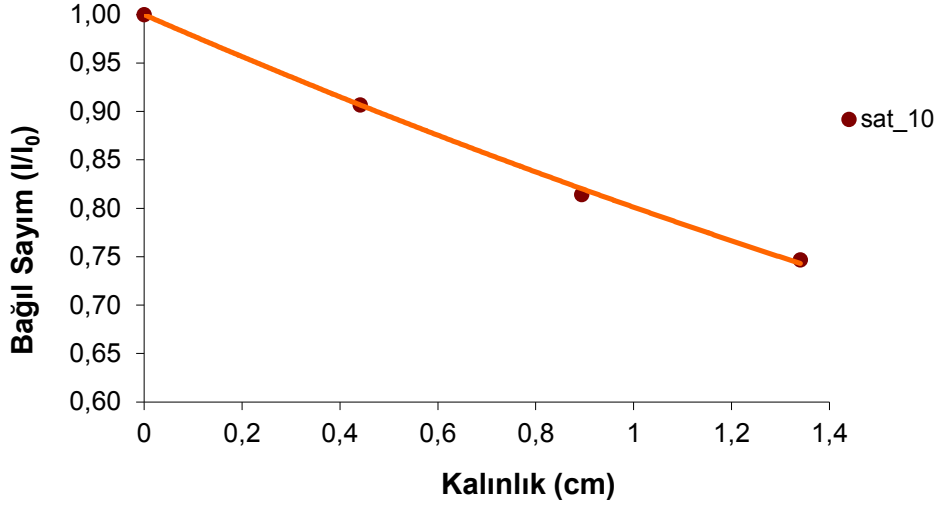
Kütlece yüzde 10 oranında alüminyum titanat içeren ve SAT10 olarak adlandırılan spinel kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık ve bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT10 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.3’ te verilmektedir.

Çizelge 5.3 : SAT10 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	794	804	804	800	6	1.000
0.4413	714	732	730	726	10	0.907
0.894	652	654	649	652	3	0.814
1.3403	593	597	602	598	4	0.747

Çizelge 5.3’teki değerlerden hareketle Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin SAT10 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek kompozitlerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT10 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.3’de görülmektedir.





**Şekil 5.3:** SAT10 kompozitlerin Cs-137 zayıflatma eğrisi.

### 5.1.2 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneylerin sonuçları

Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneyler neticesinde elde edilen veriler çizelgeler halinde verilen, kütlece %0, %5 ve %10 alüminyum titanat içeren SAT kompozit malzemeleri radyasyon zayıflatma değerleri belirlenmiş ve bu değerlere ilişkin ilgili eğriler çizilmiştir. Bu bağlamda, çalışılan malzemeler olan SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelere ilişkin yapılan çalışmalar ve ulaşılan sonuçlar aşağıdaki alt bölümlerde incelenmektedir.

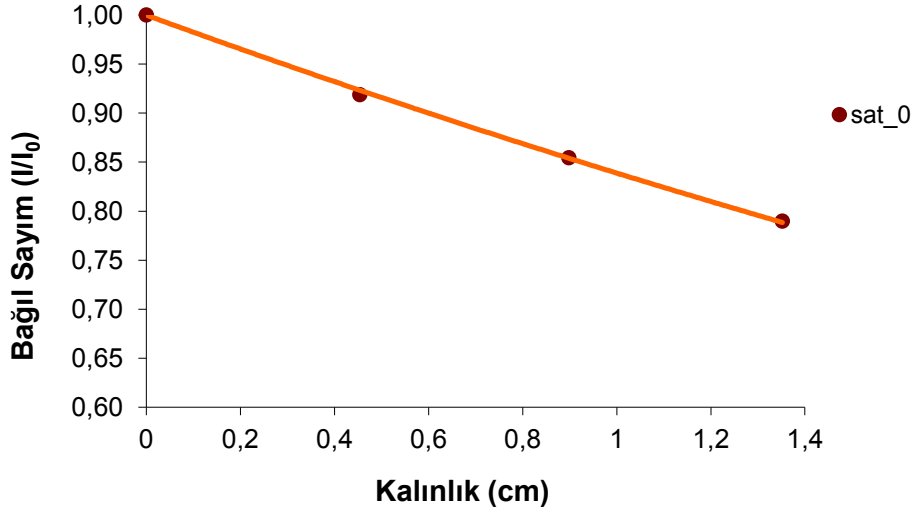
#### 5.1.2.1 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT0 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Saf magnezyum alüminat (spinel) içeren, alüminyum titanat katkısız SAT0 kompozit malzemelerin, Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT0 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.4' te verilmektedir.

**Çizelge 5.4** : SAT0 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	3678	3727	3720	3708	26	1.000
0.4541	3393	3424	3402	3406	16	0.919
0.8979	3153	3155	3198	3169	26	0.855
1.3517	2962	2911	2911	2928	30	0.790

Çizelge 5.4'teki değerlerden hareketle Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin SAT0 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT0 kompozitlerinin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT0 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.4'te verilmektedir.



**Şekil 5.4:** SAT0 kompozitlerin Co-60 zayıflatma eğrisi.

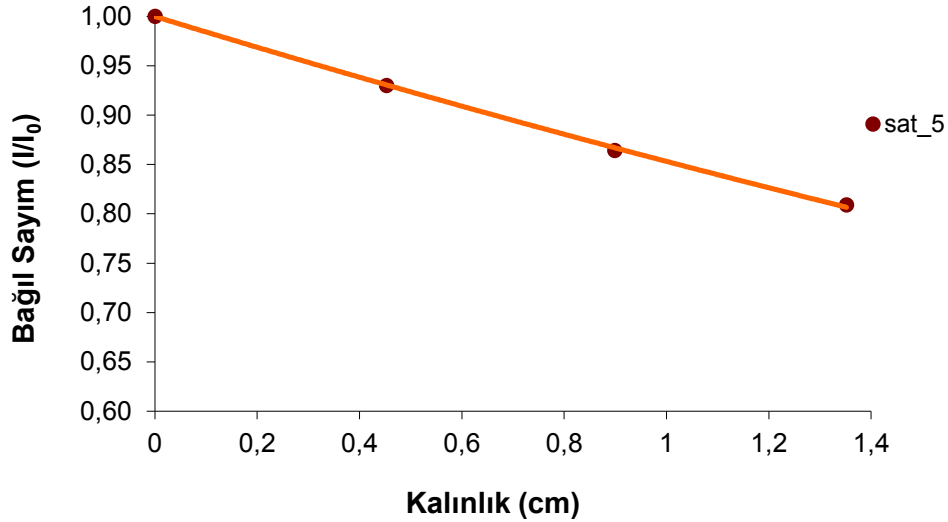
### 5.1.2.2 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT5 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Kütlece yüzde 5 oranında alüminyum titanat içeren ve SAT5 olarak adlandırılan spinel kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık ve bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT5 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.5' te verilmektedir.

**Çizelge 5.5 : SAT5 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.**

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	4328	4296	4351	4325	28	1.000
0.45255	4006	4033	4027	4022	14	0.930
0.8989	3749	3723	3739	3737	13	0.864
1.3518	3488	3507	3501	3499	10	0.809

Çizelge 5.5'deki değerlerden hareketle Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin SAT5 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT5 kompozitlerinin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT5 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.5'te verilmektedir.



**Şekil 5.5: SAT5 kompozitlerin Co-60 zayıflatma eğrisi.**

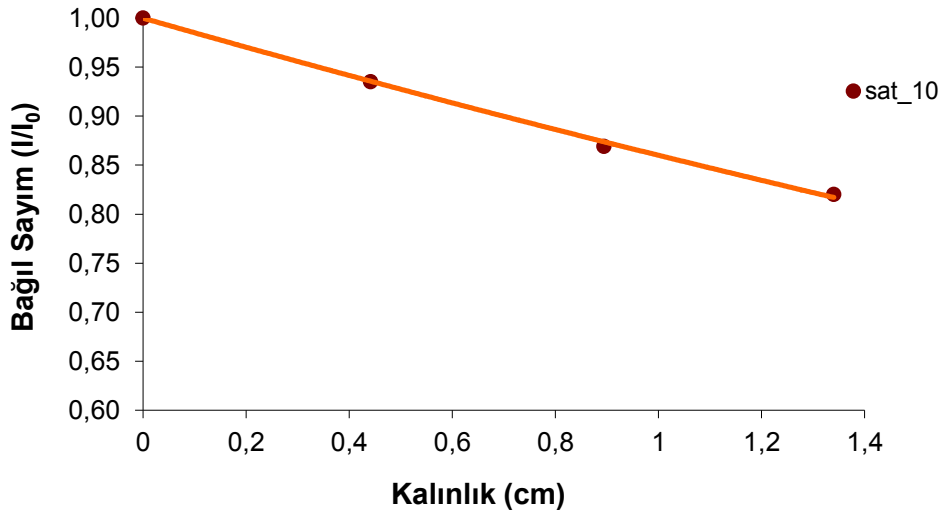
### **5.1.2.3 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı kullanılarak SAT10 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları**

Kütlece yüzde 10 oranında alüminyum titanat içeren ve SAT10 olarak adlandırılan spinel kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık ve bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT10 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.6' da verilmektedir.

**Çizelge 5.6** : SAT10 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	4328	4296	4351	4325	28	1.000
0.4413	4054	4037	4043	4045	9	0.935
0.894	3805	3741	3731	3759	40	0.869
1.3403	3534	3559	3550	3547	12	0.820

Çizelge 5.6'daki değerlerden hareketle Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin SAT10 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT10 kompozitlerinin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısında zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT10 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.6'da görülmektedir.



**Şekil 5.6:** SAT10 kompozitlerin Co-60 zayıflatma eğrisi.

## 5.2 Beta Radyoizotop Kaynağı ile Yapılan Deney Sonuçları

Beta deneyleri, Bölüm 4'te belirtildiği şekilde hazırlanan deney düzenekleri kullanılarak, alüminyum titanat ve spinel içeren kompozit malzemelerin beta radyasyonu karşısındaki davranışlarının incelenmesi amacı ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Sr-90 beta radyasyon kaynağı ile gerçekleştirilerek malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerlerine ulaşılmış ve bu değerler çizelgeler halinde verilmiştir. Kalınlık-bağıl sayım değerleri kullanılarak kompozit malzemelerin beta radyasyon kaynağı karşısındaki zayıflatma eğrileri elde edilmiştir. Bu bağlamda, yapılan

çalışmalarla elde edilen sonuçlar, SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemeleri için aşağıdaki alt bölümlerde ayrı ayrı incelenmektedir.

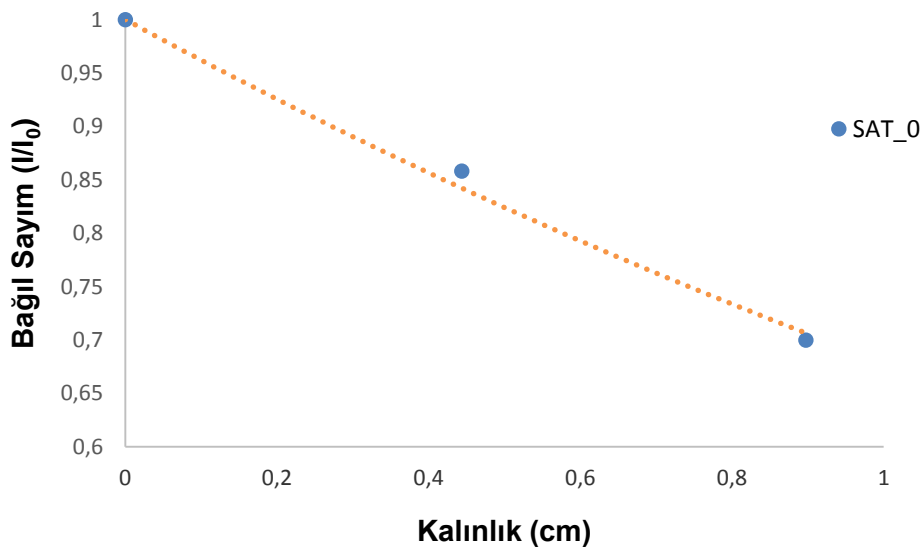
### 5.2.1 Sr-90 beta radyasyon kaynağı kullanılarak SAT0 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Saf magnezyum alüminat (spinel) içeren, alüminyum titanat katkısız SAT0 kompozit malzemelerin, Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT0 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.7’ de verilmektedir.

**Çizelge 5.7 :** SAT0 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	478536	478654	480996	479395	1387	1,000
0,4438	410238	411702	412347	411429	1081	0.8582
0,8976	334218	335069	337443	335577	1671	0.699

Çizelge 5.7’deki değerlerden hareketle Sr-90 beta radyasyon kaynağına ilişkin SAT0 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT0 kompozitlerinin Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısındaki zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT0 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.7’de verilmektedir.



**Şekil 5.7:** SAT0 kompozitlerin Sr-90 zayıflatma eğrisi.

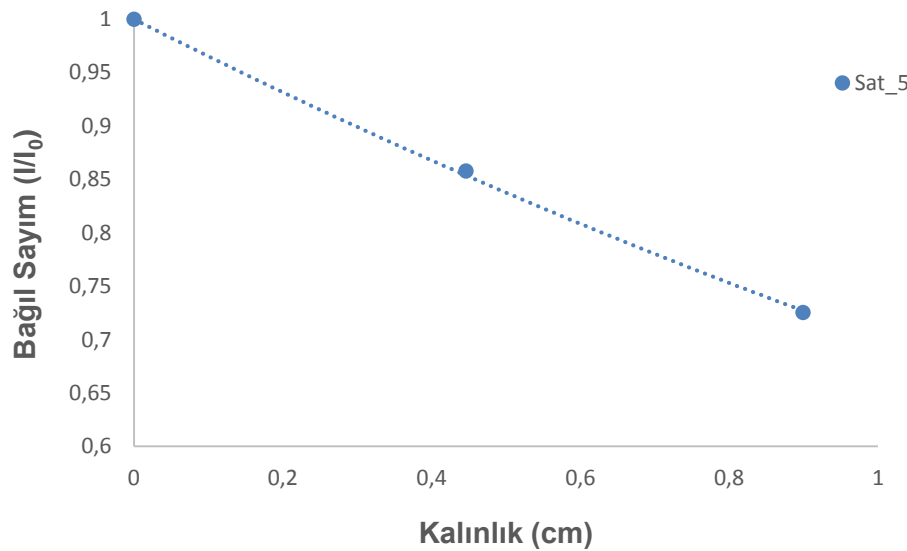
## 5.2.2 Sr-90 beta radyasyon kaynağı kullanılarak SAT5 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Kütlice yüzde 5 oranında alüminyum titanat içeren ve SAT5 olarak adlandırılan spinel kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık ve bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT5 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.8’ de verilmektedir.

**Çizelge 5.8 :** SAT5 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	479697	480580	479547	479941	558	1.000
0.4464	408555	413636	412903	411698	2746	0.8578
0.8992	348169	347618	348522	348103	456	0.7253

Çizelge 5.8’deki değerlerden hareketle Sr-90 beta radyasyon kaynağına ilişkin SAT5 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT5 kompozitlerinin Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısındaki zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT5 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.8’de verilmektedir.



**Şekil 5.8:** SAT5 kompozitlerin Sr-90 zayıflatma eğrisi.

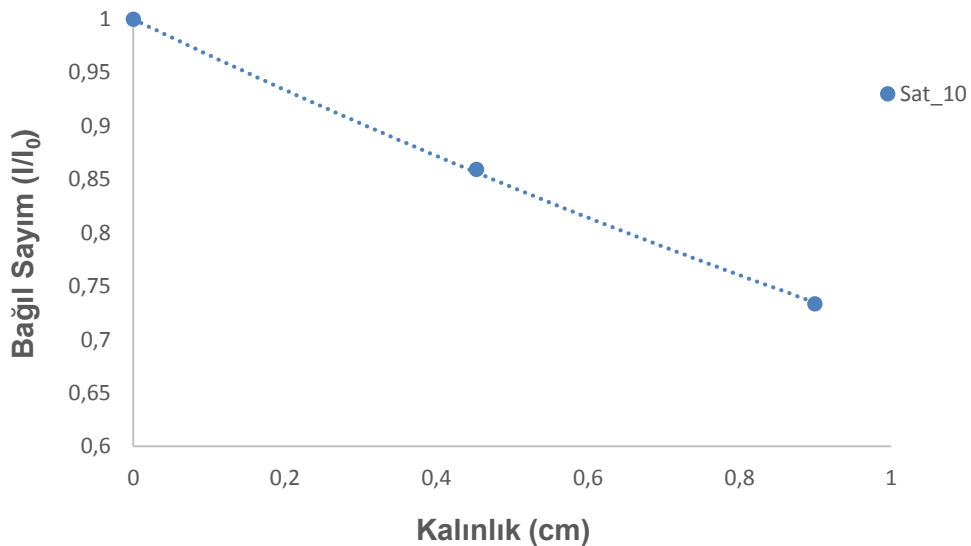
### 5.2.3 Sr-90 beta radyasyon kaynağı kullanılarak SAT10 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Kütlece yüzde 10 oranında alüminyum titanat içeren ve SAT10 olarak adlandırılan spinel kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık ve bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT10 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.9’ da verilmektedir.

**Çizelge 5.9 :** SAT10 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	1.Sayım	2.Sayım	3.Sayım	Ort. Sayım	Std. Sapma	Bağıl Sayım
0	476027	476474	479104	477202	1663	1.000
0.4527	412026	408894	409498	410139	1662	0.8594
0.899	345837	353625	350832	350098	3946	0.7336

Çizelge 5.9’deki değerlerden hareketle Sr-90 beta radyasyon kaynağına ilişkin SAT10 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT10 kompozitlerinin Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısındaki zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT10 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.9’da verilmektedir.



**Şekil 5.9:** SAT10 kompozitlerin Sr-90 zayıflatma eğrisi.

### 5.3 Nötron Deneylerinin Sonuçları

Nötron deneyleri, Bölüm 4’te belirtilen deney düzenekleri kullanılarak, alüminyum titanat ve spinel içeren kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi amacı ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı ile gerçekleştirilerek malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerlerine ulaşılmış ve bu değerler çizelgeler halinde verilmiştir. Kalınlık-bağıl sayım değerleri kullanılarak kompozit malzemelerin nötron kaynağı karşısındaki zayıflatma eğrileri elde edilmiştir. Bu bağlamda, yapılan çalışmalarla elde edilen sonuçlar, SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerine ilişkin olarak gruplar halinde aşağıdaki alt bölümlerde verilmektedir.

#### 5.3.1 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak SAT0 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

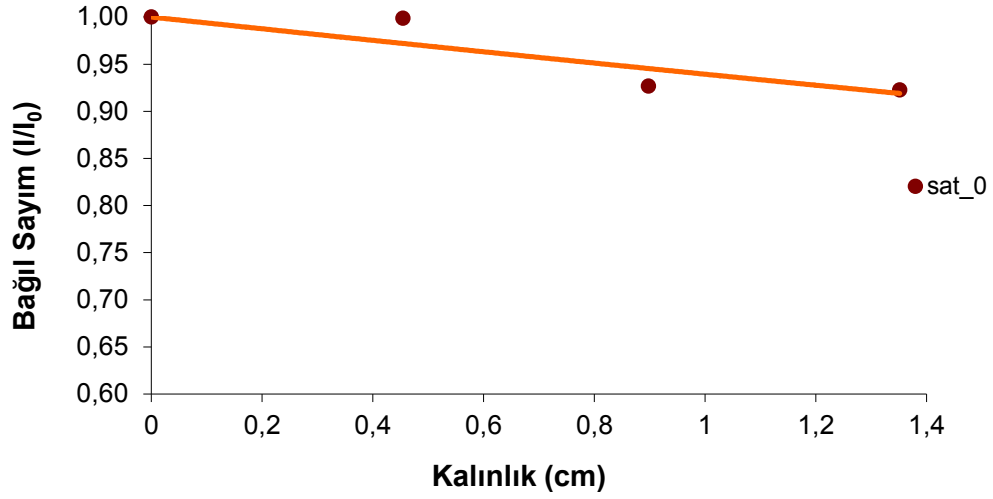
Saf magnezyum alüminat (spinel) içeren, alüminyum titanat katkısız SAT0 kompozit malzemelerin, Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık-bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT0 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.10’ da verilmektedir.

**Çizelge 5.10 :** SAT0 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	Ort. Sayım	Bağıl Sayım
0	12948	1.000
0.4541	12933	0.999
0.8979	12002	0.927
1.3517	11946	0.923

Çizelge 5.10’deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin SAT0 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT0 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT0 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.10’da verilmektedir.





**Şekil 5.10:** SAT0 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrisi.

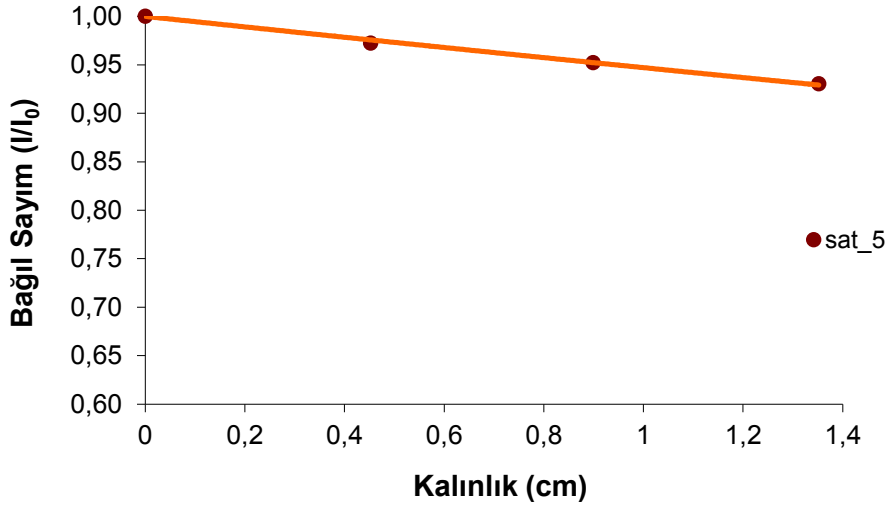
### 5.3.2 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak SAT5 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Kütlece yüzde 5 oranında alüminyum titanat içeren ve SAT5 olarak adlandırılan spinel kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık ve bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT5 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.11’ de verilmektedir.

**Çizelge 5.11 :** SAT5 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	Ort. Sayım	Bağıl Sayım
0	12948	1.000
0.4525	12591	0.972
0.8989	12330	0.952
1.3518	12046	0.930

Çizelge 5.11’deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin SAT5 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT5 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısında zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT5 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.11’de verilmektedir.



**Şekil 5.11:** SAT5 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrisi.

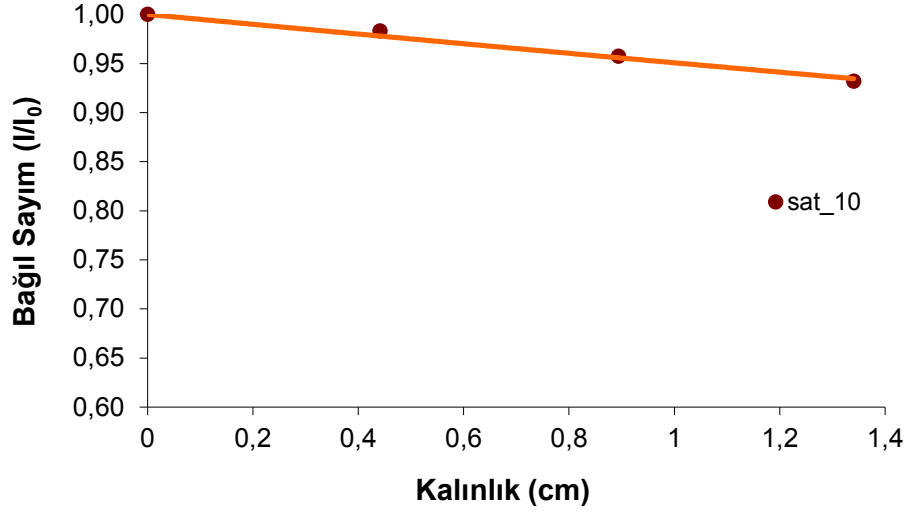
### 5.3.3 Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı kullanılarak SAT10 kompozit malzemeler ile yapılan deneylerin sonuçları

Kütlece yüzde 10 oranında alüminyum titanat içeren ve SAT10 olarak adlandırılan spinel kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla malzemelerin kalınlık ve bağıl sayım değerleri elde edilmiştir. SAT10 kompozit malzemelerine ilişkin elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.12’ de verilmektedir.

**Çizelge 5.12 :** SAT10 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

Kalınlık (cm)	Ort. Sayım	Bağıl Sayım
0	12948	1.000
0.4413	12731	0.983
0.894	12398	0.958
1.3403	12065	0.932

Çizelge 5.12’deki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin SAT10 kompozit malzemelerin kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek SAT10 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki zayıflatma eğrisine ulaşılmıştır. SAT10 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrisi Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12: SAT10 kompozitlerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrisi.

#### 5.4 Mukayeseli Deney Sonuçları

Ayrı ayrı bölümler halinde verilen gama, beta ve nötron radyasyon kaynakları ile yapılan deneylerin sonuçları, malzemelerin kendi aralarında mukayeselerinin yapılabilmesi amacı ile bir arada verilmesi bu alt bölümde benimsenmiştir.

Böylece her biri için ayrı grafikler oluşturulan SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin, Cs-137 ve Co-60 gama radyasyon kaynaklarına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrileri, alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisini daha belirgin halde görebilmek için ortak bir grafik üzerinde verilmiştir.

Bu durum beta ve nötron radyasyon kaynakları için de gerçekleştirilmiş olup malzeme örneklerinin radyasyon zayıflatma eğrileri aynı grafik üzerinde farklılıkların görülebilmesi amacıyla çizilmiştir.

##### 5.4.1 Gama deneylerinin mukayeseli değerlendirilmesi

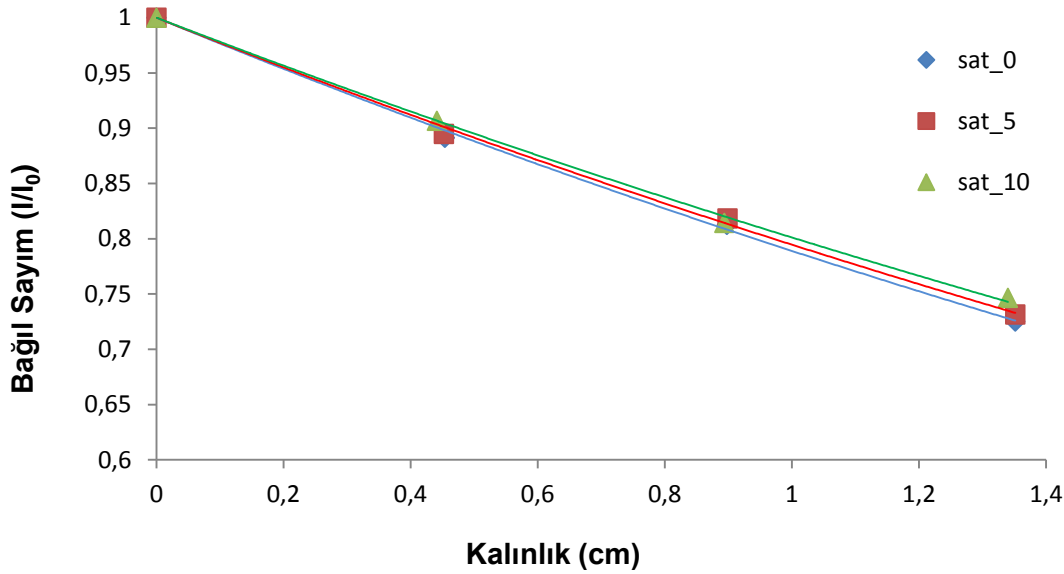
###### 5.4.1.1 Cs-137 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçlarının mukayesesi

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin her biri için elde edilen kalınlık-bağıl sayım değerleri aynı çizelge de işlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.13' te verilmektedir.

**Çizelge 5.13 :** SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

SAT0		SAT5		SAT10	
Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım	Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım	Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım
0	1,000	0	1,000	0	1,000
0,4541	0,891	0,4525	0,895	0,4413	0,907
0,8979	0,813	0,8989	0,818	0,894	0,814
1,3517	0,725	1,3518	0,732	1,3403	0,747

Çizelge 5.13'teki değerlerden hareketle, Cs-137 gama radyasyon kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrileri, alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisini daha belirgin halde görebilmek için tek bir grafik olarak verilmiştir. SAT kompozit malzemelerinin Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.13'te görülmektedir.



**Şekil 5.13:** SAT0,SAT5 ve SAT10 kompozitlerinin Cs-137 gama zayıflatma eğrileri.

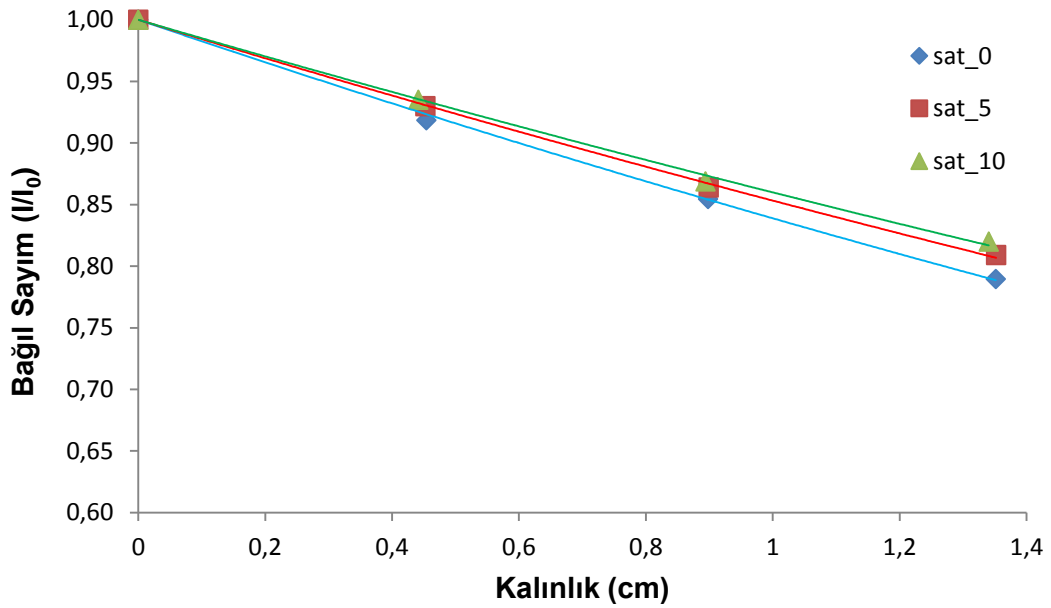
#### 5.4.1.2 Co-60 Gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deney sonuçlarının mukayesesi

Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelemesi amacıyla SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin her biri için elde edilen kalınlık-bağıl sayım değerleri aynı çizelge üzerinde işlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.14' te verilmektedir.

**Çizelge 5.14 :** SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

SAT0		SAT5		SAT10	
Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım	Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım	Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım
0	1,000	0	1,000	0	1,000
0,4541	0,919	0,4525	0,930	0,4413	0,935
0,8979	0,855	0,8989	0,864	0,894	0,869
1,3517	0,790	1,3518	0,809	1,3403	0,820

Çizelge 5.14'teki değerlerden hareketle Co-60 gama radyasyon kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrileri, alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisini daha belirgin halde görebilmek için tek bir grafik olarak verilmiştir. Kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.14'te verilmektedir.



**Şekil 5.14:** SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozitlerinin Co-60 gama zayıflatma eğrileri.

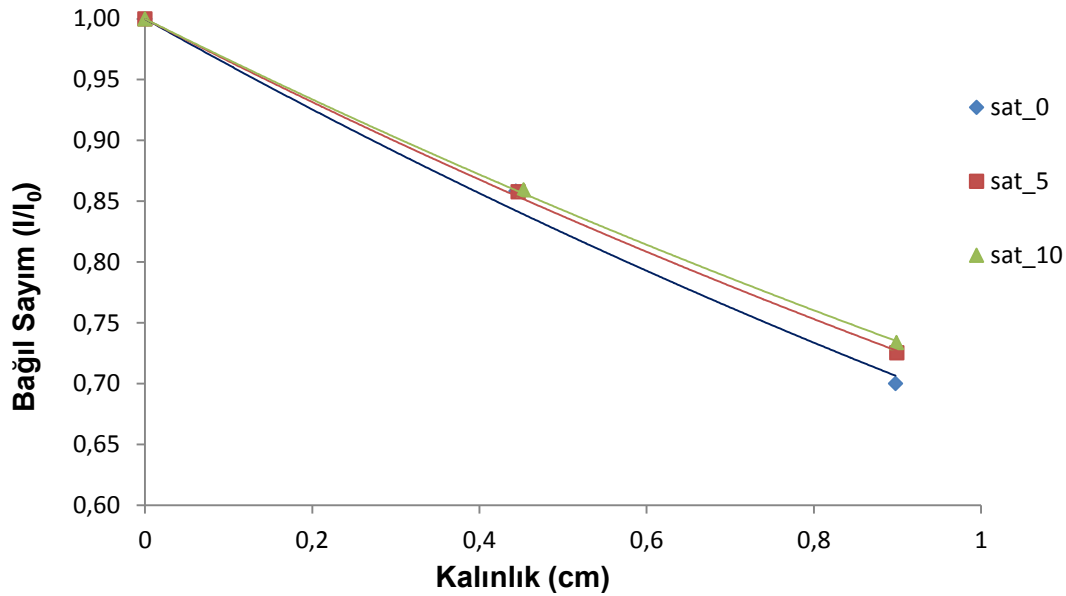
#### 5.4.2 Beta deneylerinin mukayeseli değerlendirilmesi

Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin her biri için elde edilen kalınlık-bağıl sayım değerleri aynı çizelgede verilmiştir. Elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.15' te verilmektedir.

**Çizelge 5.15 :** SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyasyon kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

SAT0		SAT5		SAT10	
Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım	Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım	Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım
0	1,000	0	1,000	0	1,000
0,4438	0,858	0,4464	0,858	0,4527	0,859
0,8976	0,700	0,8992	0,725	0,899	0,734

Çizelge 5.15'teki değerlerden hareketle Sr-90 beta radyasyon kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrileri, alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisini daha belirgin halde görebilmek için tek bir grafik üzerinde verilmiştir. Kompozit malzemelerin Sr-90 beta radyoizotop kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.15'te görülmektedir.



**Şekil 5.15:** SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozitlerinin Sr-90 beta zayıflatma eğrileri.

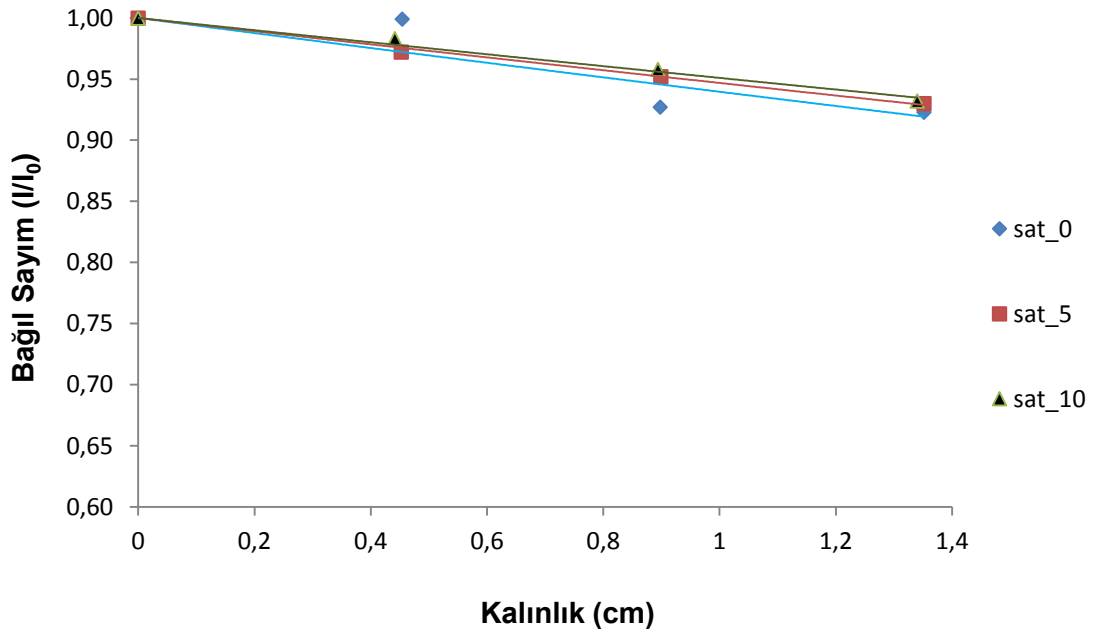
#### 5.4.3 Nötron deneylerinin mukayeseli değerlendirilmesi

Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı karşısındaki radyasyon zayıflatma davranışının incelenmesi amacıyla SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin her biri için elde edilen kalınlık-bağıl sayım değerleri aynı çizelgede verilmiştir. Elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.16' da görülmektedir.

**Çizelge 5.16 :** SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağı için kalınlık-bağıl sayım değerleri.

SAT0		SAT5		SAT10	
Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım	Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım	Kalınlık (cm)	Bağıl Sayım
0	1,000	0	1,000	0	1,000
0,4541	0,999	0,4525	0,972	0,4413	0,983
0,8979	0,927	0,8989	0,952	0,894	0,958
1,3517	0,923	1,3518	0,930	1,3403	0,932

Çizelge 5.16'daki değerlerden hareketle Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrileri, alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisini daha belirgin halde görebilmek için tek bir grafik olarak verilmiştir. Kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin zayıflatma eğrileri Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

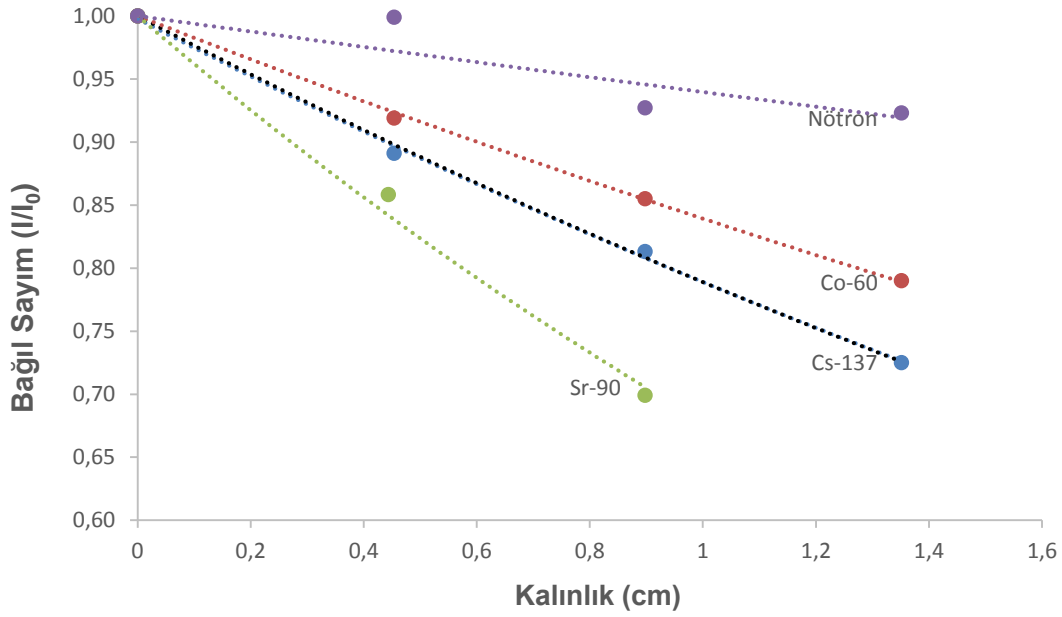


**Şekil 5.16:** SAT0, SAT5 ve SAT10 kompozit malzemelerin Pu-Be nötron howitzer (NH-3) zayıflatma eğrileri.

#### 5.4.4. Radyasyon tipine göre mukayeseli değerlendirme

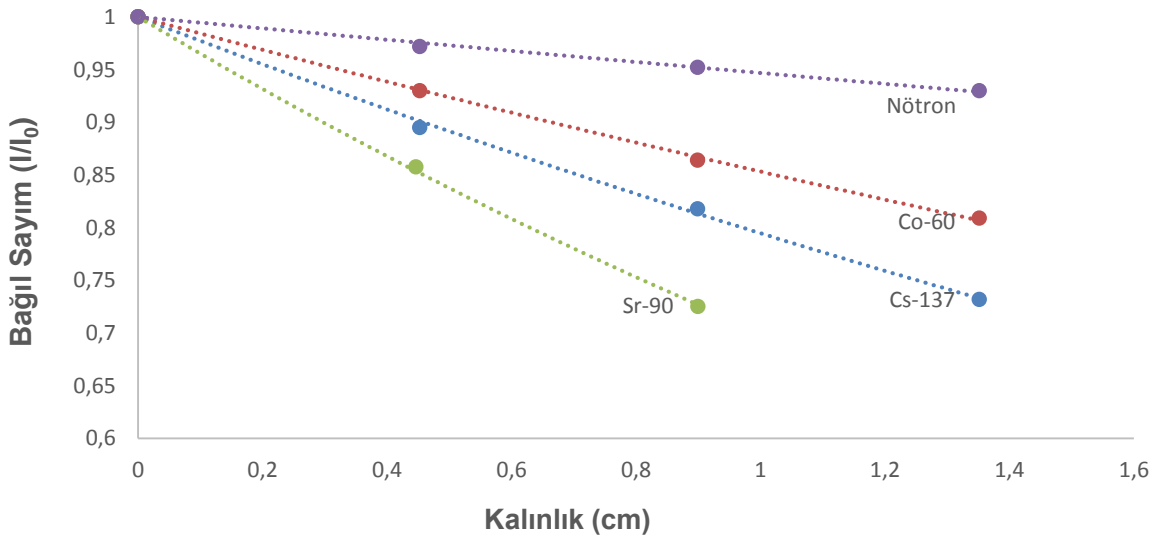
Üç farklı radyasyon tipi ve 4 radyasyon kaynağı kullanılarak alüminyum titanat/spinel kompozit malzemeler için yapılan deneylerle elde edilen sonuçlar radyasyon tipine göre değerlendirilmesi de yapılmıştır. Bu bağlamda, Çizelge 5.13 –Çizelge 5.16'daki

değerlerden hareketle mukayese grafikleri çizilmiştir. Şekil 5.17’de SAT0 için çizilen mukayese grafiği görülmektedir.



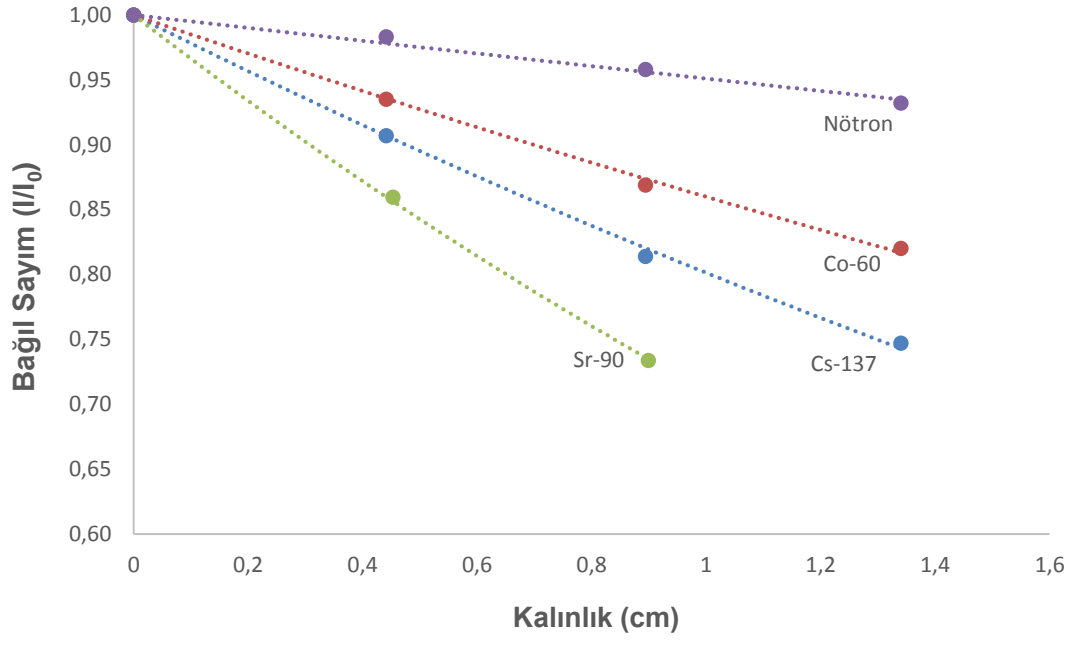
**Şekil 5.17:** Dört radyasyon kaynağı için SAT0 kompozitlerinin mukayeseli zayıflatma eğrileri.

Çizelge 5.13 – Çizelge 5.16’deki değerlerden hareketle SAT5 ve SAT10 için çizilen mukayese grafikleri, sırasıyla Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da görülmektedir.



**Şekil 5.18:** Dört radyasyon kaynağı için SAT5 kompozitlerinin mukayeseli zayıflatma eğrileri.





**Şekil 5.19:** Dört radyasyon kaynağı için SAT10 kompozitlerinin mukayeseli zayıflatma eğrileri.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezinde, magnezyum alüminat spinel ve kütlece % 0, % 5, % 10 oranlarında alüminyum titanat içeren özel kompozit malzemelerin çeşitli radyasyon türleri karşısındaki davranışlarının incelenmesine çalışılmıştır. Bir başka deyişle, nükleer teknoloji ve farklı özel amaçlarla kullanılabilen özel bir kompozit malzeme olan spinel (magnezyum alüminat) ve alüminyum titanatın gama, beta ve nötronlarla etkileşimi sonucunda zayıflatmasına ilişkin bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

Deneyle, transmisyon tekniği prensibi çerçevesinde konuşlandırılan deney düzenekleriyle yapılmıştır. Ancak, saçılma etkisinin elimine edilebilmesi için uygun kolimatör ve zırh malzemeleri kullanılmıştır.

Gama radyasyonu ile yapılan deneysel çalışma iki farklı radyasyon kaynağı ile gerçekleştirilmiştir. Bunlardan biri tek enerji piki olan Cs-137 ve diğeri de iki enerjide piki olan Co-60 gama radyoizotopudur. Böylelikle mono ve çoklu pik enerji yayını yapılan gama radyasyon kaynağı ile çalışılmış olmaktadır.

Beta radyasyonu ile çalışmada, beta radyasyon kaynağı olarak önemli bir kaynak olan Sr-90 beta radyoizotop kaynağı kullanılmıştır. Sr-90 yüksek enerjili bir radyoizotop kaynak olduğundan çalışılan malzemenin yüksek beta enerjisine karşı davranışının incelenmesi hedeflenmiştir.

Nötron kaynağı olarak da ( $\alpha, n$ ) reaksiyonu çerçevesinde nötron üreten bir kaynak olan Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) nötron kaynağı kullanılmıştır. Böylelikle, yapılan çalışmalar sonucunda her üç radyasyon tipi ile de yapılan deneylerle çalışılan kompozit malzemenin davranışı belirlenebilmiştir.

Gama radyasyonu ile yapılan deneyler çerçevesinde Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları kullanılarak yapılan deneylerde, çalışılan malzemelere ilişkin elde edilen sonuçlardan yararlanılarak çizilen zayıflatma eğrileri birbirine benzer sonuçlar verdiği görülmüştür (Şekil 5.1 –Şekil 5.6).

Cs-137 gama radyasyon kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrileri; alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisine bakıldığında, SAT0'a göre SAT5 ve SAT10'un Cs-137 gama radyasyon kaynağı karşısında daha az etkin olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.13). Ancak, aradaki farkın çok da fazla olmadığı söylenebilir.

Co-60 gama radyasyon kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrilerinin Cs-137 gama radyasyon kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrilerinde olduğu gibi, alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisine bakıldığında SAT0'a göre SAT5 ve SAT10'un Cs-137 gama radyasyon kaynağı karşısında daha az etkin olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.14). Ancak, aradaki farkın burada da çok fazla olmadığı söylenebilir.

Öte yandan, Cs-137 gama radyoizotop kaynak ile elde edilen değerler, zayıflatma katsayıları açısından Co-60 gama radyoizotop kaynak için elde edilen zayıflatma katsayılarına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Çizelge 5.1- Çizelge 5.6 ). Bir başka deyişle, çalışılan özel kompozit malzemelerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağından yayınlanan ışınları, Co-60 gama radyoizotop kaynağından yayınlanan ışınlarla göre daha etkin şekilde tutabildiği anlaşılmaktadır. Bu husus, Cs-137 gama radyoizotop kaynağından yayınlanan ışınların daha düşük enerjili olması nedeniyle beklenti doğrultusundadır.

Sr-90 beta radyasyon kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrilerinin alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisine bakıldığında (Şekil 5.7 - Şekil 5.9); SAT0'a göre SAT5 ve SAT10'un Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısında daha az etkin olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.15).

Pu-Be nötron howitzer (NH-3) kaynağına ilişkin radyasyon zayıflatma eğrilerinin alüminyum titanatın malzemelerdeki farklı oranının etkisine bakıldığında (Şekil 5.10 - Şekil 5.12); SAT0'a göre SAT5 ve SAT10'un Sr-90 beta radyasyon kaynağı karşısında daha az etkin olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.16).

Üç farklı radyasyon tipi ve 4 radyasyon kaynağı ile deneylerle elde edilen sonuçlar radyasyon tipine göre değerlendirilmesi açısından da irdelenmiştir . Şekil 5.17 – Şekil 5.19 mukayeseli grafiklerinden görüldüğü üzere, en etkin zayıflatma etkisi eğrisi beta radyasyonu için elde edilmiştir. Onu gama radyasyonu takip etmektedir. Nötronlara karşı için zayıflatma etkisi eğrisi ise en düşük olmaktadır. Bu sonuçlar, beklenti

doğrultusundadır. Zira, beta parçacıklarının malzeme içindeki menzili gama radyasyonuna göre daha kısadır. Dolayısı ile alüminyum titanat/spinel malzeme de beta radyasyonuna karşı gama radyasyonuna göre daha etkindir. Çalışılan kompozit malzemenin içeriğinde nötronlara karşı yüksek absorbanlığı olan bir eleman bulunmadığından, nötronlara karşı en düşük zayıflatma etkisi elde edilmiştir. Bu durum da yine beklenti doğrultusunda olmaktadır.

Öz olarak; bu yüksek lisans çalışmasıyla, nükleer teknoloji ve ileri teknolojilerde kullanım sahası bulan magnezyum alüminat (spinel) ve kütlece % 0, % 5, % 10 oranlarında alüminyum titanat içeren özel kompozit malzemelerin (sırasıyla SAT0,SAT5 ve SAT10) gama, beta ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışları yapılan deneylerle gözlenmiştir. Bu bağlamda, gama kaynağı olarak Cs-137, Co-60 radyoizotop kaynakları ve beta kaynağı olarak Sr-90 ve nötron kaynağı olarak ta Pu-Be Nötron Howitzer (NH-3) kullanılarak yapılan deneyler sonucunda ulaşılan sonuçlarla incelenebilmiş ve rasyonel olarak değerlendirilebilmiştir.



## KAYNAKLAR

- Aybers, N., Bayülken, A.** (1992). Nükleer Reaktörlerin Güvenliği, *İTÜ Rektörlüğü*, İstanbul.
- Bilge, A.N., Tuğrul A.B.** (1990). Endüstriyel Radyografinin Esasları, *İTÜ Rektörlük Ofset Atölyesi*, İstanbul.
- Büyük, B., Tuğrul, A.B., Akarsu, A.C., Addemir, A.O.** (2012). Investigation of Behaviour of Titanium Diboride Reinforced Boron Carbide–Silicon Carbide Composites against Cs-137 Gamma Radioisotope Source by Using Gamma Transmission Technique. *Acta Physica Polonica A*, 121, 135-138.
- Büyük, B.** (2013). *Tungsten, Titanyum, Bor İçeren Bazı Malzemelerin Gama ve Nötron Radyasyonu Karşısındaki Davranışının İncelenmesi, Xcom Bilgisayar Programı İle İrdelenmesi ve Yeni Bir Radyasyon Zırh Malzeme Önerisi*, (doktora tezi), İTÜ, İstanbul.
- Choo, V.K.S.** (1990). Fundamentals of Composite Materials. *Knowen Academic Press Inc.* Delaware, ABD.
- Çevikbaş, G., Tuğrul, A.B., Önen, U., Boyraz, T., Büyük, B.** (2014). An Investigation of Aluminium Titanate/Spinel Composites Behaviour in Radiation, *APMAS-2014*, Muğla, Türkiye.
- Das, A., Ferbel, T.** (2003). Introduction to Nuclear and Particle Physics. *World Scientific Publishing*, Singapur.
- Durmaz, H., Tuğrul, A.B., Büyük, B.** (2014). Evaluation of Gamma Penetration Through Plain Carbon Steels, *Acta Physica Polonica A*, 125, 469-472.
- Eker, A.** (2008). *Aluminyum ve Aluminyum Alaşımları Ders Notları*, YTÜ, İstanbul.
- Fonseca, A. P., Baptista, J.** (2003). *Reactive Sintering of Aluminum Titanate*, Venezuela.
- Garner, F.A., Hollenberg, G.W.** (1993). Dimensional Stability, Optical and Elastic Properties of MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Spinel Irradiated in FFTF to Very High Exposures, *Sixth International Conference on Fusion Reactor Materials*, Stresa, Italy.
- Gezer, F.** (2011). *Fosfojips'in Doğal Radyoaktifliğinin Belirlenmesi*, (yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Gordus, A.A.** (1967). Quantitative Non-destructive Neutron Activation Analysis of Silver in Coins. *Archaeometry*, 10, 78-86.
- Gören, E.** (2011). *Adana İçme Sularında Tritiyum Aktivitesinin Belirlenmesi*, (yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.

- Görür, Ş.** (2006). *Çevresel Radyoaktivite İle Bu Çevrede Yaşayanlara Ait Diş Örneklerindeki Radyoaktivite Arasındaki İlişkinin Araştırılması*, (yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Hüyük, T.** (2009). *Yeni Bir Nötron Detektörü Tasarımı İçin Simülasyon Çalışmaları – NEDA*, (yüksek lisans tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Knoll G.F.** (2000). *Radiation Detection and Measurement*, (Üçüncü sürüm), University of Michigan.
- Knoll G.F.** (2002). *Radiation Detection and Measurement*, University of Michigan.
- Krane, K. S.** (1988). *Introductory Nuclear Physics*, Oregon State University.
- Lankshmanann.** (2012). *Reactive Sintering of Aluminum Titanate*, Venezuela.
- Lang, S., Fillmore, C., Maxwell, L.** (1952). The System Berillia-Alumina-Titania: Phase Relations and General Physical Properties of Three Components Porcelains, *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, 48, 301-321.
- L'Annunziata, M.F.** (2003). *Handbook of Radioactivity Analysis*, (İkinci sürüm), ABD.
- Oray, O.** (2007). *Nükleer Enerji ve Çevre*. (bitirme ödevi), İTÜ, İstanbul.
- Powsner R.A., Powsner E.R.** (2006). *Essential Nuclear Medicine Physics*. Blackwell Publishing, (İkinci sürüm), Massachusetts.
- Seyrek, E.** (2007). *Radyoizotopların Üretimi ve Radyoterapide Kullanılması*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Smith W.F.** (1996). *Materials science and engineering*, Mcgraw-Hill, ABD.
- Şahin, L.** Parçacıklar ve Radyasyonun madde ile etkileşmesi. Alındığı tarih: 28.03.2013, adres: <thm.ankara.edu.tr/tac/YAZOKULU/yazokulu4/der\_snotlari/Latife\_sahin.doc>
- Şahin, N.** (2006). *Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayıncılık*, Ankara.
- Toyohiko, Y.** (1999). *Effects of Neutron Irradiation on the Mechanical Properties of Magnesium Aluminate Spinel Crystal and Polycrystals*, Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology, Japan.
- Tuğrul, A. B.** (1986). Arkeometride Nükleer Tekniklerin Kullanımı, TÜBİTAK Arkeometri Ünitesi, *VI. Ulusal Arkeometri Kolokiyumu, TÜBİTAK Yayınları 622*, 12-29.
- Tuğrul, A. B.** (1995). A New Approach For Calculating The Geometry Factor For Flow Measurements With Radioactive Tracers, *Kerntechnik*, 60, 265-266.
- Tuğrul, A. B.** (1998). *Tahribatsız Muayene Metotları Ders Notları*. İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Tuğrul, A. B.** (2006). *Enerji Ekonomisi ve Politikaları Ders Notları*, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Tuğrul, A. B.** (2012). *Radyasyon Fiziği Ders Notları*. İTÜ Enerji Enstitüsü.
- Üstünbaş, S., İnel, İ., Albayrak, M.** (1997). Refrakterin Parlayan Yıldızı: Spinel, 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye.



**Wohlfromm, H., Moya, T. S., Pena, P.** (1990). Effect of  $ZrSiO_4$  and  $MgO$  Additions on Reaction Sintering and Properties of  $Al_2TiO_5$  Based Materials, *J. Mater. Sc*, 25, 3753 – 3764.

**Yiğit, Z.** (1996). *Endüstriyel Atık Malzemesi Olan Kağıt ile Bor Elementi Kullanılarak Nötron Zırhlamasında Etkili bir Zırh Geliştirilmesi*, (yüksek lisans tezi), İTÜ, İstanbul.

**Zaharescu, M., Crisan, M., Preda, M., Fruth, V., Preda, S.** (2003).  $Al_2TiO_5$ -Based Ceramics Obtained By Hydrothermal Process, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 5, 1411–1416.

**Url-1** <<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184>> alındığı tarih: 10.03.2014.

**Url-2** <<http://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin&PID=1703>> alındığı tarih: 20.04.2013.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Görkem ÇEVİKBAŞ

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Demirköy/KIRKLARELİ – 29.04.1989

**E-Posta:** grkmcevikbas@gmail.com

**Lisans:** Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

### **Mesleki Deneyim ve Ödüller:**

2011 – 2012 Pedagojik Formasyon Eğitim Sertifikası, YTÜ

2011 – 2012 İN-KA Çeşitli Fuar ve Organizasyon Çalışmaları

2013 – C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı, ÇSGB

2012 – 2014 Besttech Bilişim San. Tic. Ltd. Şti.

### **Yayın ve Patent Listesi:**

#### **TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR**

**Çevikbaş, G., Tuğrul, A.B., Önen, U., Boyraz, T., Büyük, B., 2014, An Investigation of Aluminium Titanate/Spinel Composites Behaviour in Radiation, APMAS-2014, Muğla.**