

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN GRANİTLERİN GAMA VE NÖTRONLARI
ZAYIFLATMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman ÖZYURT

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN GRANİTLERİN GAMA VE NÖTRONLARI
ZAYIFLATMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Osman ÖZYURT
302111015**

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY

OCAK 2015

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 302111015 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, "Osman ÖZYURT", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN GRANİTLERİN GAMA VE NÖTRONLARI ZAYIFLATMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. Filiz BAYTAŞ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yar. Doç. Dr. Zuhale ER

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 12 Aralık 2014

Savunma Tarihi : 23 Ocak 2015

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de üretilen ve yaygın olarak kullanılan granit malzemelerin gama ışını ve nötronları zayıflatma özellikleri incelenmiştir.

Tez çalışmam boyunca bana her türlü yardımı eden, karşılaştığım sorunlarda her türlü destediğini esirgemeyen, her sorunuma cevap bulan ve sabır ve özverisini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY’a en içten dileklerle sonsuz teşekkür ederim.

Nötron zayıflatma katsayısı çalışmasında yardımlarını eksik etmeyen değerli hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Bülent BÜYÜK’e teşekkürü bir borç bilirim. XRF ölçümlerinde her türlü yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım Burhan Doğan’a teşekkürlerimi borç bilirim. İTÜ TRİGA Mark-II Reaktörü’nde nötron çalışmalarında emeği geçen tüm personele teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bütün hayatım boyunca beni her konuda her zaman destekleyen ve bugünlere gelmem de en büyük pay sahibi olan değerli Annem, Babam ve Ablama en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2014

Osman ÖZYURT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
SEMBOLLER.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxv
SUMMARY.....	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. RADYASYON VE RADYASYONDAN KORUNMA	3
2.1 İyonizan Radyasyon Türleri.....	4
2.1.1 Alfa bozunumu	4
2.1.2 Beta bozunumu	5
2.1.3 Gama ışınları	5
2.1.4 X ışınları	6
2.1.5 Nötronlar	6
2.2 Radyasyondan Korunma.....	7
2.2.1 Radyasyonun biyolojik etkileri	7
2.2.2 Radyasyondan korunmanın önemi	8
2.2.3 Radyasyondan korunma yöntemleri	8
2.2.3.1 Zaman	9
2.2.3.2 Mesafe	9
2.2.3.3 Zırhlama.....	10
3. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ.....	13
3.1 Ağır yüklü parçacıklar	13
3.2 Hafif yüklü parçacıklar	14
3.3 Yüksüz parçacıklar	15
3.3.1 Gama ışınının madde ile etkileşimi	15
3.3.1.1 Klasik saçılma	15
3.3.1.2 Fotoelektrik olay	17
3.3.1.3 Compton saçılması	19
3.3.1.4 Çift oluşumu	20
3.3.1.5 Fotoayırışma	21
3.3.2 Nötronların Madde ile Etkileşimi.....	21
3.3.2.1 Elastik saçılma	22

3.3.2.2 Elastik olmayan saçılma.....	24
3.3.2.3 Nötron soğurma etkileşimleri.....	24
3.3.3 Gama ışını ve nötronların malzeme içerisinde zayıflaması.....	27
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
4.1 Deneyde Kullanılan Granit Numuneler.....	31
4.2 Deney Düzeneklerinin Tanıtılması.....	32
4.2.1 Gama ölçüm sistemi.....	32
4.2.1.1 Gama ışını kaynakları.....	34
4.2.1.2 Gama dedektörü ve çok kanallı analizör.....	35
4.2.2 Nötron ölçüm sistemi.....	36
4.2.2.1 Nötron kaynağı.....	36
4.2.2.2 Nötron dedektörü.....	38
4.3 Granit Numunelerinin Kimyasal Analizleri.....	39
4.4 Deneyin Yapılışı.....	41
4.5.WINXCOM ve NCNR Analizleri.....	42
5.DENEY SONUÇLARI.....	45
5.1 Gama Radyasyonu Sonuçları.....	45
5.1.1 Deneysel olarak bulunan sonuçlar.....	45
5.1.2 Gama radyasyonu teorik sonuçları.....	54
5.1.3 Gama radyasyonu teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	54
5.2 Nötron Sonuçları.....	57
5.2.1 Deneysel olarak bulunan sonuçlar.....	58
5.2.2 Nötronlar için elde edilen teorik sonuçların ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.....	67
6. GENEL SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

ICRP	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
NIST	: National Institutes of Standards and Technology
NCNR	: NIST Nötron Araştırma Merkezi (NIST Center for Neutron Research)
NİST	: National İnstitute of Standart and Technology
IEA	: Uluslar arası Enerji Ajansı
CNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırmalar Merkezi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
XRF	: X- Işınları Floresans Spektrometresi
YTK	: Yarı Tabaka Kalınlığı
mfp	: Ortalama Serbest Yol
DNA	: Deoksiribonükleik Asit
EPA	: United States Enviromental Protection Agency

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması (Krane, 1988; L'Annunziata, 2003).....	7
Çizelge 3.1 : Çeşitli çekirdeklerin nötron ile çarpışmaları sonucu kaybettikleri maksimum kinetik enerji (L'Annunziata,2004)	23
Çizelge 4.1 : Deneyde kullanılan granit numuneleri	32
Çizelge 4.2 : Gama ışını kaynaklarının özellikleri.....	34
Çizelge 4.3 : Elektronik sistemin genel özellikleri	35
Çizelge 4.4 : Bazı nötron kaynaklarının yarı ömür ve ortalama enerji değerleri.....	37
Çizelge 4.5 : Ölçümlerde kullanılan nötron dedektörünün bazı teknik özellikleri	39
Çizelge 4.6 : XRF sistemi teknik özellikleri.....	40
Çizelge 4.7 : XRF Ölçüm sonuçları (%).....	41
Çizelge 4.8 : Tüm granitlerin yoğunluk değerleri	43
Çizelge 5.1 : Aksaray Pembe granitinin farklı gama enerjileri için sayım ve bağıl sayım değerleri	46
Çizelge 5.2 : Aksaray Pembe granitinin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, ortalama serbest yol değerleri.....	46
Çizelge 5.3 : Aksaray Yaylak granitinin farklı gama enerjileri için sayım ve bağıl sayım değerleri	47
Çizelge 5.4 : Aksaray Yaylak granitinin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, ortalama serbest yol değerleri.....	47
Çizelge 5.5 : Balaban Yeşil granitinin farklı gama enerjileri için sayım ve bağıl sayım değerleri	48
Çizelge 5.6 : Balaban Yeşil granitinin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, ortalama serbest yol değerleri.....	48
Çizelge 5.7 : Bergama Gri granitinin farklı gama enerjileri için sayım ve bağıl sayım değerleri.....	49

Çizelge 5.8 : Bergama Gri granitinin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, ortalama serbest yol değerleri.....	49
Çizelge 5.9 : Çanakkale Gri granitinin farklı gama enerjileri için sayım ve bağıl sayım değerleri.....	50
Çizelge 5.10 : Çanakkale Gri granitinin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, ortalama serbest yol değerleri.....	50
Çizelge 5.11 : Giresun Vizon granitinin farklı gama enerjileri için sayım ve bağıl sayım değerleri.....	51
Çizelge 5.12 : Giresun Vizon granitinin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, ortalama serbest yol değerleri.....	51
Çizelge 5.13 : Hisar Yaylak granitinin farklı gama enerjileri için sayım ve bağıl sayım değerleri.....	52
Çizelge 5.14 : Hisar Yaylak granitinin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, ortalama serbest yol değerleri.....	52
Çizelge 5.15 : Kozak granitinin farklı gama enerjileri için sayım ve bağıl sayım değerleri.....	53
Çizelge 5.16 : Kozak granitinin lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı, ortalama serbest yol değerleri.....	53
Çizelge 5.17 : WINXCOM programı ile elde edilen sonuçlar	54
Çizelge 5.18 : Teorik, deneysel sonuçlar ve mutlak fark değerleri	55
Çizelge 5.19 : Türkiye’de yaygın olarak kullanılan inşaat malzemelerinin gama zayıflatma katsayılarının, granit zayıflatma katsayıları sonuçları ile karşılaştırılması	57
Çizelge 5.20 : Aksaray Pembe graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri	58
Çizelge 5.21 : Balaban Yeşil graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri ..	59
Çizelge 5.22 : Bergama Gri graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri	60
Çizelge 5.23 : Çanakkale Gri graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri..	61
Çizelge 5.24 : Giresun Vizon graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri..	62
Çizelge 5.25 : Hisar Yaylak graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri....	63
Çizelge 5.26 : Kozak graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri	64
Çizelge 5.27 : Aksaray Yaylak graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri	65
Çizelge 5.28 : Granitlerin toplam makroskopik tesir kesitleri, yarı tabaka kalınlıkları ve ortalama serbest yol değerleri.....	67

Çizelge 5.29 : Nötronlarla elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar68

SEMBOLLER

μ	: Lineer zayıflatma katsayısı
μ_m	: Kütle zayıflatma katsayısı
Cs	: Sezyum Elementi
Co	: Kobalt Elementi
n	: Nötron
eV	: Electron Volt
Pu-Be	: Plütonyum Berilyum
He	: Helyum elementi
α	: Alfa parçacığı
β	: Beta parçacığı
γ	: Gama ışını
Br	: Brom elementi
Kr	: Kripton elementi
²³⁵ U	: Uranyum elementi
²⁵² Cf	: Kaliforniyum
O	: Oksil
OH	: Hidroksil
Z	: Atom numarası
e	: Elektron
e ⁺	: Pozitron
SiO ₂	: Silisyum oksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
K ₂ O	: Potasyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
FeO	: Demir(II) Oksit
Fe ₂ O ₃	: Demir (III) Oksit
TiO ₂	: Titanyum dioksit
S	: Kükürt elementi
MnO	: Mangan(II) Oksit
Cl	: Klor elementi
Sr	: Stronsiyum elementi
Ba	: Baryum elementi
V	: Vanadyum elementi
Rb	: Rubidyum elementi
Zr	: Zirkonyum elementi
Th	: Toryum elementi
Zn	: Çinko elementi
Pb	: Kurşun elementi
MnO	: Mangan(II) Oksit
Cl	: Klor elementi
Sr	: Stronsiyum elementi

Ba	: Baryum elementi
V	: Vanadyum elementi
Rb	: Rubidyum elementi
Zr	: Zirkonyum elementi
Th	: Toryum elementi
Zn	: Çinko elementi
Pb	: Kurşun elementi
E_γ	: Gama ışını enerjisi
h	: Plank sabiti (6,62x10 ⁻²⁷ erg.s)
c	: Işık hızı(3x10 ¹⁰ cm/s)
λ	: Dalga boyu
m₀	: Parçacığın durgun kütlesi
p	: Momentum
E	: Toplam enerji
E_{pe}	: Fotoelektronun enerjisi
Γ	: Spesifik gama sabiti
C_nH_{n+2}	: Parafin
H	: Hidrojen
Li	: Lityum elementi
H₂O	: Su
D₂O	: Ağır su
°C	: Santigrat
¹³⁷Ba	: Baryum elementi
⁶⁰Ni	: Nikel elementi
ρ	: Yoğunluk
Σ	: Toplam tesir kesiti
Z_{eff}	: Etkin atom numarası

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Radyasyonun enerjisine göre sınıflandırılması (Tuğrul, 2012).....	4
Şekil 2.2 : Alfa bozunumu (Url-2)	4
Şekil 2.3 : Radyoaktif bozunma süreci.....	5
Şekil 2.4 : Gama ve X ışınlarının enerji spektrumları (Baltacıoğlu, 1995)	6
Şekil 2.5 : Radyasyondan korunmanın 3 temel yolu (Akyıldırım, 2011))	8
Şekil 2.6 : Doz miktarının mesafeyle değişimi (Radyasyondan Korunma ve Sağlık Fiziği, 2012)	10
Şekil 2.7 : Ölçümlerde kullanılan nötron dedektörünün bazı teknik özellikleri(Yılmaz, 2011)	11
Şekil 3.1 : Yüklü parçacıkların havadaki spesifik enerji kaybı (Knoll, 2002).....	14
Şekil 3.2 : Klasik saçılma şeması.....	16
Şekil 3.3 : Etkileşim türlerinin gama ışını ve enerjisi ve soğurucu maddenin atom numarasıyla ilişkisi (Baltacıoğlu, 1995)	16
Şekil 3.4 : Fotoelektrik olay şeması	18
Şekil 3.5 : Compton saçılması şeması	19
Şekil 3.6 : Wilson hücresinde elektron pozitron çifti görüntüsü (Ragheb, 2013).....	20
Şekil 3.7 : Nötron ile çekirdek arasında gerçekleşen elastik saçılmanın şeması	22
Şekil 3.8 : Elastik olmayan saçılma.....	24
Şekil 3.9 : (n, α) reaksiyonu için bazı örnekler (Martin, 2006)	25
Şekil 3.10 : (n,2n) reaksiyonu için bazı örnekler (Martin, 2006).....	25
Şekil 3.11 : (n,p) reaksiyonu için bazı örnekler (Martin, 2006).....	26
Şekil 3.12 : Filyon olayı (Url-3)	26
Şekil 3.13 : Bazı elementler için lineer zayıflatma katsayıları (Ragheb, 2007)	27
Şekil 3.14 : Dar demet geometrisi.....	29
Şekil 4.1 : Deneyde kullanılan granit örnekleri	32
Şekil 4.2 : Ölçüm düzeneğinin temsili şeması	33
Şekil 4.3 : Dar demet deney düzeneği	33

Şekil 4.4 : Kullanılan radyoizotopların bozunum şeması (Akyıldırım, 2011)	34
Şekil 4.5 : Deneyleerde kullanılan ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoizotopları.....	34
Şekil 4.6 : MAESTRO 32 yazılımının ekran görüntüsü	35
Şekil 4.7 : Nötron ölçüm sistemi	36
Şekil 4.8 : Pu-Be nötron kaynağının reaksiyonu (Harvey, 2010).....	37
Şekil 4.9 : Deneyleerde kullanılan Pu-Be nötron kaynağı (Hovitzer).....	37
Şekil 4.10 : Nötron ölçümlerinde kullanılan dedektör.....	38
Şekil 4.11 : $^3_2\text{He}(n,p)^3_1\text{H}$ reaksiyonu (Knoll, 2002).....	38
Şekil 4.12 : Aksaray Yaylak granit kayacının XRF spektrumu	39
Şekil 5.1 : Aksaray Pembe graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.....	46
Şekil 5.2 : Aksaray Yaylak graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.....	47
Şekil 5.3 : Balaban Yeşil graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi	48
Şekil 5.4 : Bergama Gri graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi	49
Şekil 5.5 : Çanakkale Gri graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.....	50
Şekil 5.6 : Giresun Vizon graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.....	51
Şekil 5.7 : Hisar Yaylak graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi	52
Şekil 5.8 : Kozak graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi	53
Şekil 5.9 : Farklı gama enerjileri için deneysel ve teorik sonuçlar	56
Şekil 5.10 : Aksaray Pembe granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi	58
Şekil 5.11 : Balaban Yeşil granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi ..	59
Şekil 5.12 : Bergama Gri granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi	60
Şekil 5.13 : Çanakkale Gri granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi..	61
Şekil 5.14 : Giresun Vizon granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi .	62
Şekil 5.15 : Hisar Yaylak granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi....	63
Şekil 5.16 : Kozak graniti granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi ...	64
Şekil 5.17 : Aksaray Yaylak granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi	65

Şekil 5.18 : Nötronlar için bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.....	66
Şekil 5.19 : Nötronlar için teorik ve deneysel sonuçları karşılaştırmalı grafiği	68
Şekil 5.20 : Granitlerin gama ve nötron için zayıflatma katsayılarının karşılaştırılması	69

TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN GRANİTLERİN GAMA VE NÖTRONLARI ZAYIFLATMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu Yüksek Lisans tezinde Türkiye’de üretilen granitlerin foton zayıflatma katsayıları ve toplam makroskopik tesir kesitleri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Günümüzde nükleer teknolojinin kullanım alanlarının artmasıyla birlikte radyasyondan korunmanın önemi bir kat daha önem kazanmıştır. Zırhlama radyasyondan korunmanın en önemli metotlarından biridir. Bu durumda yapı malzemelerinin radyasyon zayıflatma özelliklerinin araştırılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada yapılarda yalıtım ve dekoratif özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılan granitlerin gama ve nötron radyasyonlarını zayıflatma özellikleri incelenmiştir.

Çalışmamızda yerli üretim olan 8 farklı granit numune incelenmiştir. Bunlar, Giresun Vizon, Aksaray Pembe, Bergama Gri, Çanakkale Gri, Kozak, Aksaray Yaylak, Hisar Yaylak ve Balaban Yeşil granit numuneleridir. Çalışmanın deneysel bölümünde, gama ve nötron geçirgenlik tekniği prensibine uygun olarak, dar demet geometrisinde çalışılmıştır. Gama ölçümlerinde radyasyon kaynağı olarak ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoizotoplarından yararlanılmıştır. Böylece 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV enerji değerlerinde çalışılmıştır. Gama ölçümleri, NaI (TI) sintilayon dedektörü ve çok kanallı analizörden oluşan dijital gama spektrometre sisteminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda nötron ölçümleri için İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, TRIGA Mark-II Reaktör holünde bulunan Pu-Be nötron kaynağı kullanılmıştır. Nötron ölçümleri, farklı granit kalınlıkları için Polimaster marka dedektörle alınmıştır.

Deney sonuçlarını sınamak amacıyla granit blokların gama radyasyonu için kütle zayıflatma katsayıları WINXCOM bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. Nötronların teorik hesabı Nötron Araştırma Merkezi'nin internet ortamında yayınladığı NCNR uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Nötron ve gama radyasyonu teorik hesapları için gerekli olan kimyasal analiz işlemi XRF tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve hesaplamalı olarak elde edilen sonuçlar mukayeseli olarak değerlendirilmiş ve uyum içinde oldukları görülmüştür.

INVESTIGATION OF GAMMA AND NEUTRON ATTENUATION PROPERTIES FOR GRANITES PRODUCED IN TURKEY

SUMMARY

Radiation protection is an essential topic in human life, as the radiation become to be used in a variety of fields with the development of technology. Besides the applications of radiation benefit in many areas such as medicine, industry, agriculture etc, it damages cells, living tissues which should be protected. There are three major methods for radiation protection namely shielding, time and distance. The first one is the largely used method especially for critical and crucial buildings such as medicine or nuclear facilities. In addition, in areas where people are likely to encounter ionizing radiation, it is often necessary to supply shielding to decrease the exposure. Lead and tungsten which are heavy elements are ideal material for radiation shielding. In contradiction they cannot be used directly in building constructions because of durability and economic problems. In this study different granite samples, which are produced in Turkey were investigated. The granites were gathered from local dealers. These are polished granite tiles ready to use in public and commercial buildings. The shielding properties of these granites were studied for gamma ray and neutrons.

In radiation physics, measuring the probability of all possible interactions between photon and medium is essential. Linear attenuation coefficient is the basic way of explaining the interactions between the medium and photon. The linear attenuation coefficient magnitude depends on the atomic number, the density of shielding materials and the incident photon energy. Composite materials may be preferred because of their chemical resistance, physical durability, portability and so on. Linear attenuation coefficient of a material for a given specific gamma energy can be determined both experimentally with using narrow beam geometry and theoretically by using WinXCOM or XCOM. In literature various natural rocks (building construction materials) were studied by many scientists in terms of their gamma shielding properties.

In this study different granite samples such as Giresun Vizon, Aksaray Pink, Bergama Grey, Çanakkale Grey, Kozak, Aksaray Yaylak, Hisar Yaylak and Balaban Green, which are produced in Turkey were investigated. These granites which are polished tiles are commonly used in public and commercial buildings. The granite tiles measured 10 cm x 10 cm and their masses varied from 0.44 to 0.64 kg. The thickness of granite tiles are between 1,67 cm and 2,31 cm.

Theoretical calculations for photon attenuation coefficients require the chemical compositions of granite samples. In briefly XRF is an analytical method to determine the chemical composition of all kinds of materials. X-rays produced by a source which is generally X-ray tube and irradiate the sample. The elements in the sample will emit fluorescent X-ray radiation with discrete energies that are characteristic

values for elements. The size of grinded granite samples which were used in the XRF measurements, are smaller than 2 mm. For XRF measurements, homogeneous mixture of grinded granites were packed in the small zip lock bags. XRF measurements were accomplished at chemical analysis laboratory of Turkish Atomic Energy Authority (CNAEM). The brand of the system for XRF measurements is Olympus and its model is Innov-X system. The measurements were accomplished in soil analysis mode. This mode benefits for heavy elements in light materials. For minimizing the measurements errors, the measurements were repeated for 3 times and the average values were taken into account.

Penetrating gamma rays through material is the basic of gamma transmission technique. The detector and the gamma source are placed at the opposite sides of material on the same axis. Gamma ray intensity comes from the source counted by the detector. The distance between the source and detector is 100 mm and the holes of collimators are 7 mm. Granite samples placed between the detector and the source at same distances. Cs-137 and Co-60 gamma radioisotopes were used in the experiments where their half lives are 30.1 and 5.23 years, respectively. Cs-137 radioisotope has single energy peak at 0,662 MeV, Co-60 gamma source emits two major energy peaks at 1.17 and 1.33 MeV. NaI(Tl) scintillation detector and multichannel analyzer were used in the experiments.

Pu-Be neutron source was used for calculating total macroscopic cross section. Pu-Be sources emit fast neutrons, where neutrons are produced mainly through the ${}^9\text{Be}(\alpha,n){}^{12}\text{C}$ reaction with a relatively small contribution from the self-multiplication effect due to the neutron induced fission on Pu isotopes and (n,2n) reactions on ${}^9\text{Be}$ and the other nuclides present in the source construction materials. In this study the neutron transmission technique was used to investigate total macroscopic cross sections. The experiment system was established in the hall of ITU TRIGA Mark-II Training and Research Reactor. The experiment system included neutron source (howitzer) and the detector. The neutron howitzer was obtained from Nuclear Chicago Corporation. The activity of Pu-Be neutron source is 5 Ci and the neutron flux is almost 10^6 n/cm² s. Average energy of Pu-Be neutron source is about 4.5 MeV. Howitzer includes the paraffin wax for slow down the fast neutrons. The reason behind this is to increase the probability of interactions.

In the experiments measurements were taken three times for minimizing the errors. The calibration of multi channel analyzer was done with energy peaks of Co-60 ve Cs-137. The software Maestro 32 gives the results as net area. Net area means that the background counts are not included. In addition the software supplies the error values of measurements. All measurements were accomplished with an error which were less than %5. Measurements durations were determined to keep the errors less than %5. Measurement durations were determined as one hour for Co-60 energy peaks, half an hour for Cs-137 energy peaks for an error less than %5. Time intervals were 10 s for measurements of neutron flux. Total durations were 60 s. According to the technical documents of the detector, the distance between the granite and the detector was smaller than 10 cm.

The mass attenuation coefficients for gamma rays were achieved theoretically with WinXCOM. NIST (XCOM) database supplies the mass absorption coefficient values for wide range of elements and composite materials. XCOM is a 16 byte dos application on the other hand WinXCOM is 32 byte windows platform. WinXCOM is a software that can supply total or partial mass attenuation coefficients between the

energies 1 keV to 100 GeV for any elements, compounds and mixtures. The total macroscopic cross sections were calculated with an application which is called NCNR. NIST Center for Neutron Research provides an application which used for theoretical calculation of neutron macroscopic cross sections on the internet environment. This application can be applied to elements and mixtures. In this application resonance absorptions were not included. This application requires 3 basic data. These are chemical compositions and densities of material and the wavelength of the flux of neutron source.

According to the results if incident photon energy increases the attenuation coefficients decreases. The gamma ray mass attenuation coefficients and neutron macroscopic cross sections were calculated computationally by using WinXCOM and NCNR programs respectively. According to the experimental results linear attenuation coefficients vary between 0.173 cm^{-1} (Aksaray Yaylak) and 0.223 cm^{-1} (Giresun Vizon) for 0.662 MeV, 0.133 cm^{-1} (Çanakkale Gri) and 0.168 cm^{-1} (Giresun Vizon) for 1.17 MeV, 0.129 cm^{-1} (Çanakkale Gri) and 0.158 cm^{-1} (Bergama Grey) for 1.33 MeV. At different energy levels, different granites have the highest value of attenuation coefficient, that is, Aksaray Pink is for 1.33 MeV, Canakkale Grey is for 0.662 MeV and Giresun Vizon is for 1.17 MeV. Computational and experimental results show a good agreement.

In neutron measurements 3 different thickness values were used in measurements to calculate relative counts. Relative counts vs thickness was plotted by using Origin 8 software. The total macroscopic cross sections vary between 0.041 cm^{-1} (Bergama Grey) and 0.056 cm^{-1} (Giresun Vizon). According to the results, computational and experimental consequences indicate a good correlation.

1. GİRİŞ

Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. İnsanlar ve diğer canlılar yaşamları boyunca uzaydan gelen kozmik radyasyonlar ve yer kabuğu kökenli Uranyum, Toryum ve Potasyum gibi doğal radyoaktif elementler sebebiyle her an radyasyon ortamı içinde yaşamaktadırlar. Bunun yanında tıpta ve endüstride kullanılan radyoaktif maddeler, nükleer denemeler, nükleer santrallerdeki sızıntı ve kazalar da insanların maruz kaldığı radyasyon seviyesinin artmasına neden olmaktadır.

Gelişen teknolojiye paralel olarak radyasyonun kullanım alanları da zenginleşmiş ve buna bağlı olarak radyasyondan korunma konusu daha da önem kazanmıştır. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP), Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve benzeri bağımsız kuruluşlar, iyonlaştırıcı radyasyondan korunma ile ilgili olarak tavsiye niteliğinde yayınlar yapmaktadırlar. Bu tavsiyelerin yaptırım gücü olmamasına rağmen, ülkeler bu tavsiyeleri kendi koşullarına göre uyarlayarak yürürlüğe koymaktadırlar.

Radyasyondan korunmanın üç temel kuralı vardır. Bunlar; olabildiğince kısa sürelerde radyasyona maruz kalmak, radyasyon kaynağından mümkün olduğunca uzaklaşmak ve zırhlamadır. Zırhlama, radyasyondan korunacak sistemle radyasyon kaynağı arasında engel (soğurucu) konulması esasına dayanmaktadır. Bu bağlamda, farklı malzeme türlerinin radyasyona karşı zırhlama amaçlı olarak kullanımının araştırılması önem arz etmektedir. Malzemelerin zırhlama özellikleri incelenirken öncelikle zayıflatma katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Radyasyondan korunma ve zırhlama konusunda önemli bir parametre olan zayıflatma katsayısı deneysel ve teorik yöntemlerle belirlenebilmektedir.

Doğal taşlar grubunda mermerden sonra ikinci önemli taş granittir. Gerek bulunuşları, gerek oluşum şekilleri, gerekse de birlikte buldukları maden yatakları bakımından granitler yer bilimcilerin ilgisini çeken, önemli bir magmatik kayalık topluluğudur. Plütonik magmatik kökenli bir kayalık olan granit, asidik bir bileşime sahiptir (Uyanık, 2008). Grinin çeşitli tonlarında renklere sahip olan granitler,

genellikle dış kaplama ve yer döşemesinde kullanılmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe kullanılan granit, iyi cila alma, renk çekiciliği ve sağlamlığı sayesinde aynı zamanda figür işlemeciliğinde de kullanılmaktadır. Ülkemizdeki önemli rezervler Ordu, Rize, Trabzon, Balıkesir, Kırklareli, Kırşehir, Bolu, İzmit, Çanakkale ve İzmirde bulunmaktadır. Parlak görünümü ve dayanıklılığı ile genellikle gelişmiş ülkelerde tercih edilen granitin kullanımı son zamanlarda ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır (Çetin, 2010). Doğal taşlar arasında yüksek miktarlardaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K içerikleri nedeniyle granitler radyolojik yönden ön plana çıkmaktadır.

Binalar dışarıdan gelen kozmik ve karasal orijinli radyasyona karşı koruyucu etkiye sahip olmalarına rağmen, yapı malzemelerindeki radyonüklid içeriğine bağlı olarak bina içi radyoaktivite bina dışındaki değere göre fazla olabilmektedir. İnsanlar, zamanlarının büyük bir kısmını (%80) kapalı ortamlarda geçirdiğinden, bina içindeki radyasyon seviyesinin bilinmesi, bina içinde maruz kalınan içsel ve dışsal radyasyon dozunun hesaplanması için gereklidir (Zikovskiyand Kennedy 1992). Granitlerin binalarda özellikle dekoratif amaçlı kullanımı oldukça yaygın olup bu çerçevede diğer yapı malzemeleri gibi radyonüklid içerikleri yönünden incelenmelerine yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Papaefthymiou, 2008; Pavlidou ve diğ., 2006; Örgün ve diğ., 2005; El-Dine ve diğ. 2001).

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, yapı ve dekorasyon malzemesi olarak yaygın kullanımı olan granitlerin gama ve nötronları zayıflatma özelliklerinin deneysel ve teorik olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışılan granit türleri Türkiye'de üretilen ve daha önce bir başka çalışmada radyolojik ve mineralojik özellikleri incelenen malzemelerdir (Çetin, 2010; Çetin ve diğ., 2010a; Çetin ve diğ., 2010b). Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, söz konusu granitler gama ve nötron geçirgenlik teknikleri çerçevesinde incelenerek bu radyasyonları zayıflatma özellikleri irdelenmiştir.

2. RADYASYON ve RADYASYONDAN KORUNMA

Radyasyon enerjinin ortamda parçacık veya elektromanyetik dalga olarak aktarımıdır (Çetin, 2010). Temelde radyasyon ortamda taşınma şekline göre kategorize edilir. Doğada elementlerin atomları kararlı veya kararsız yapıya sahiptirler. Kararlı çekirdeklerde genel olarak nötron sayısının proton sayısına oranı 1,50 civarında olmaktadır. Kararlı çekirdekte protonlar ile nötronlar arası nükleer kuvvet dengede bulunmaktadır. Kararsız atomlarda ise aksi bir durum söz konusudur. Kararsız atomlar kararlı yapıya geçmek için enerji transferinde bulunurlar. Bu transfer dışarı salınan elektromanyetik dalga veya hızlı parçacıklardır (Çetin, 2010).

Parçacık radyasyonu, belli bir enerjiye ve kütleyle sahip parçacıklar ile tanımlanır. Dalga formunda transfer olan radyasyon ise belli bir enerjiye sahip ama kütleyle sahip değildir. Mikrodalga, radyo dalgaları ve görünür ışık dalga tipi radyasyona birer örnektir. Bu radyasyon tipi ışık hızında (3×10^8 m/s) ilerler. Bu radyasyon çeşitleri madde ile etkileşimlerine göre iki gruba ayrılır. Bu iki grup, 'iyonlaştırıcı' ve 'iyonlaştırıcı olmayan' radyasyonlardır (Şekil 2.1).

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon madde ile etkileşime girdiğinde iyon (yükli parçacık) oluşumu gözlenmez. Görünür ışık, mikrodalgalar ve radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyona birer örnektir. Etkileşime girdiği maddede iyonlar (yükli parçacıklar) oluşturan radyasyon tipine iyonlaştırıcı radyasyon denir. İyonlatırıcı radyasyon genel olarak alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X ışınları, gama ışınları ve nötronlar olarak beş çeşittir. İyonlaşma olayı, canlı dokularda ve DNA'da bulunan genler dâhil herhangi bir maddede meydana gelebilmektedir. Bu durumda iyonlaştırıcı radyasyon canlılar için tehlike arz etmektedir (Taşkın, 2006). Bu bölümde, iyonlaştırıcı radyasyon türleri kısaca tanıtıldıktan sonra radyasyondan korunma yöntemlerine değinilecektir.

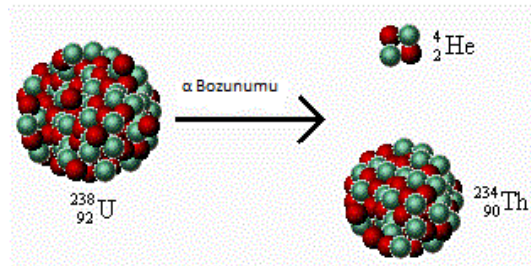


Şekil 2.1 Radyasyonun enerjisine göre sınıflandırılması (Tuğrul, 2012).

2.1 İyonizan Radyasyon Türleri

2.1.1 Alfa bozunumu

Bazı kararsız atomlar kararlı hale geçmek için alfa parçacığı salınımı yaparlar. Alfa parçacığı pozitif yüklü iki proton ve iki nötrondan oluşan bir helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir. Alfa parçacığı genelde uranyum, radyum ve polonyum gibi ağır radyoaktif maddelerin bozunmalarında ortaya çıkar. Alfa parçacıkları çok enerjili olmalarına rağmen ağır parçacıklar olmalarından dolayı çok kısa mesafelerde enerjilerinin çoğunu kaybederler (Epa, 2012). Alfa parçacıkları ağır olmaları ve enerjilerini hızlı kaybetmelerinden dolayı giricilikleri çok düşük olup ince folyo, kağıt ve bir kaç cm'lik hava ile kolaylıkla durdurulabilirler. Derinin dış katmanını geçecek yeterli enerjiye sahip değildirler. Dolayısı ile dış radyasyon açısından tehlike arz etmezken herhangi bir yolla vücut içerisine girmesi tehlike arz etmektedir (Togay, 2002). Şekil 2.2'de alfa bozunumu görülmektedir.



Şekil 2.2 Alfa bozunumu (Url-2).

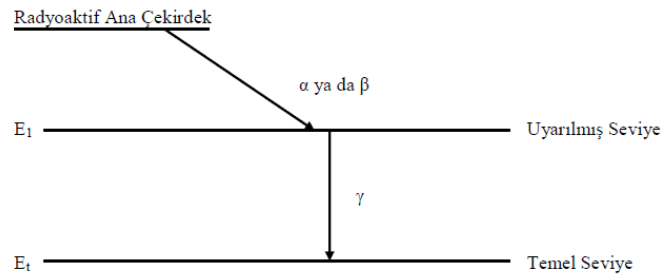
2.1.2 Beta bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığının sebebi nötron proton sayılarının oranından kaynaklanıyorsa çekirdek beta ışınımı yapacaktır. Eğer nötron sayısı proton sayısından fazla ise çekirdek içindeki bir nötron bir protona dönüşecektir. Bu dönüşüm sonrası β^- parçacıkları ve anti nötrino salınımı gerçekleşir. Tam tersi bir durum varsa bir proton bir nötrona dönüşerek pozitron (β^+) ve nötrino ortaya çıkar (Çetin, 2010).

Beta parçacıkları belli bir yük ve kütleyle sahip olmalarından dolayı madde içerisinde ilerleme esnasında iyonlaşmaya sebep olurlar. Alfa parçacıklarına göre daha girici olmalarına rağmen oluşturdukları iyonlaşma daha azdır. Başlıca sebebi alfa parçacıklarına göre daha hafif olmalarıdır. Beta parçacıklarını zırlamak için ince bir alüminyum levha yeterli olacaktır (Taşkın, 2006).

2.1.3 Gama ışınları

Kararsız atomlar kararlı atoma geçmeleri sırasında ilk olarak parçacık (α ve β parçacığı) yayınımları yaparlar. Bu parçacık yayınımlarından sonra yeni çekirdek halen fazla enerjiye sahip ise elektromanyetik radyasyon (foton) yayınımları yaparak temel enerji seviyesine düşmeye çalışır (Földiak, 1986). Beta ışınlarına kıyasla gama ışınlarının malzemeye nüfuz etme kabiliyetleri daha fazladır (Çetin, 2010). Şekil 2.3'te gama yayınımları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Radyoaktif bozunma süreci.

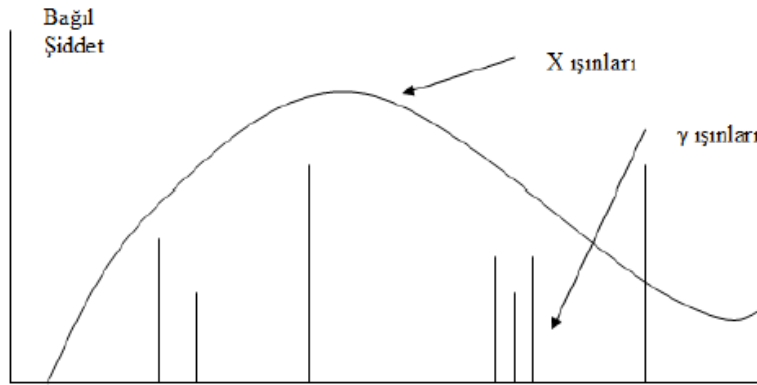
Gama ışınları alfa ve beta parçacıkları ile kıyaslandığında maddeye nüfuz etme kabiliyetleri yüksekken iyonlaşmaya sebep olma yetileri çok daha azdır. Birkaç santimlik kurşunla bile sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Gama ışınları yüksüzdür, elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler (Köklü, 2006).

2.1.4 X-ışınları

X-ışınları diğer bir adıyla röntgen ışınları elektromanyetik radyasyon ailesindedir. Bir atoma dışardan herhangi bir yolla gelen yüksek enerjili elektron atomun dış yörüngesinde bulunan elektronu kopartır. Yüksek enerjili bölgeden (iç yörüngelerden) bir elektron kopan elektronun yerine geçerek boşluğu doldurur. Yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçen elektron fazla enerjisini X-ışını olarak yayımlar (Köklü, 2006).

X-ışınları yapay olarak da elde edilebilirler. Tüp içerisinde ısıtılan katot elektron yayımlar. Bu elektronlar yüksek gerilimle hızlandırılarak anoda çarptırılır. Duran elektronların kaybettikleri enerjileri X-ışını olarak yayımlanır (Togay, 2002).

X-ışınları gama ışınları ile kısa dalga boyu ve giriciliklerinin fazla olması gibi benzer özelliklere sahiptirler. X-ışınları ve gama ışınlarının yayındıkları yerler birbirinden farklıdır. X-ışınları atomların elektron uzayında yayınlanırken gama ışınları çekirdekten yayımlanırlar. X-ışınları sonsuz sayıda dalga boyuna sahip olabildikleri için sürekli enerji spektrumuna sahipken gama ışınları belli dalga boylarına sahip olup enerji grafikleri çizgiseldir (Karagöz, 2010). Şekil 2.4'te X-ışınları ve gama ışınlarının enerji spektrumları gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Gama ve X-ışınlarının enerji spektrumları (Baltacıoğlu, 1995).

2.1.5 Nötronlar

Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Nötron bozunumu iki şekilde gerçekleşir. Bunlar gecikmeli nötron bozunumu ve kendiliğinden nötron bozunumudur. Genelde fisyon ürünleri olan çekirdekler gecikmeli nötron bozunumu yaparlar. Ana çekirdek alfa veya beta bozunması yaptıktan sonra kararsız yavru çekirdek ortaya çıkar. Yavru

çekirdek genelde gama ışınımı yapacak kararsız bir atomun izotopudur. Yavru çekirdek nötron salınımı yaparak beklenen yavru çekirdeği oluşturur. Buna örnek olarak ^{87}Br 'nin ^{87}Kr 'ye dönüşmesi verilebilir (Denklem 2.1).



Kendiliğinden gerçekleşen fisyon olayı genellikle çok fazla enerjiye sahip ağır çekirdeklerde görülür. Bu ağır çekirdekler daha küçük çekirdekler meydana getirir. Ana çekirdeğin türüne göre salınan nötron sayısı değişmektedir. Kendiliğinden gerçekleşen fisyon olaylarında iki veya dört nötron salınımı olabilmektedir. Alfa ve beta bozunmaları bu süreci takip eder. Bu ağır çekirdeklere ^{235}U ve ^{252}Cf birer örnektir (Martin, 2006).

Nötronlar sahip oldukları enerjiye göre beş grupta toplanabilirler. Çizelge 2.1'de nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması verilmektedir.

Çizelge 2.1: Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması (Krane, 1988; L'Annunziata, 2003).

Sınıflandırma adı	Nötron enerjisi
Soğuk	10^{-3} eV
Yavaş (termal) (epitermal)	$10^{-3} - 0,4$ eV 0,4 – 100 eV
Orta dereceli	100 eV – 200 keV
Hızlı	200 keV – 10 MeV
Görelî	≥ 10 MeV

2.2 Radyasyondan Korunma

2.2.1 Radyasyonun biyolojik etkileri

İyonlaştırıcı radyasyonun hücre üzerine etkileri temelde iki farklı şekilde olur. Doğrudan etki olarak adlandırılan etki radyasyonun hücre moleküllerini bölmesi işlemidir. Dolaylı etki ise iyonlaşma yolu ile olmaktadır. Oksil (O) ve hidroksil (OH) gibi aktif radikallerin oluşmasına neden olabilmektedir.

Bu iki etki incelendiğinde kimyasal kirlenme ile ortak noktaları olduğu görülecektir. Başka bir deyişle, nükleer radyasyonun etkileri kimyasal kirlenmeden çok farklı değildir. Herhangi iki yolla (doğrudan ve dolaylı etki) meydana gelen kimyasal

etkiler sonucu protein sentezinin iyi yapılamaması, DNA moleküllerinin bozulması ve gen mutasyonu gibi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Kromozom iplikçğinde kopma durumları görülebilmektedir. Bu durumda üç sonuç meydana gelebilmektedir:

1. Kopan parçalar aynı şekilde birleşip eski formunu oluşturabilir.
2. Parçalar birleşemez ve sonuç olarak hücre ölür.
3. Kopan parçalar birleşmesi gerektiğinden farklı bir şekilde birleşir ve yeni bir kromozom formu oluşur, bu form yavru hücrelere yansır.

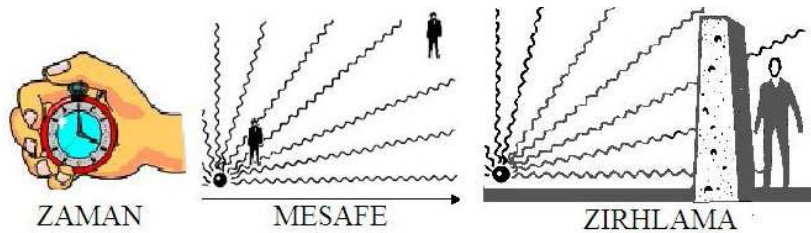
Mutasyonun üreme hücresinde meydana gelmesi durumunda kısırlık vakaları görülebilmektedir. Üreme organları zigot oluşturabilme durumlarında ise yeni kromozom formları doğacak çocuğa aktarılmaktadır. Hücrenin kontrol dışı fazla hızlı üremesi kanser olarak adlandırılmaktadır. Kanser yapıcı maddeleri radyasyonun aktif hale getirdiği düşünülmektedir (Aybers ve Bayülken, 1992).

2.2.2 Radyasyondan korunmanın önemi

Nükleer radyasyonun canlı hücreye kalıcı veya kalıcı olmayan zarar verdiği ilgili kuruluşlar tarafından açıkça belirtilmiştir (ICRP, 1993, 1996). Daha öncede değinildiği gibi radyasyon, zarar vermekle kalmayıp gelecek nesilleri de etkileyebilmektedir. Bu nedenle radyasyon kaynaklarının neden olduğu doz miktarları sürekli takip edilmeli ve sağlığa zarar vermeyecek mertebelerde olmasına dikkat edilmelidir. Endüstri, tıp ve bilimsel çalışmalar için kullanılan radyasyon kaynakları dünyaya radyasyon yaymaktadır. Bu çerçevede günümüz teknolojisinin gereği olan bu radyasyondan korunma yöntemleri önem arz etmektedir.

2.2.3 Radyasyondan korunma yöntemleri

Radyasyondan korunmanın başlıca metotları zaman, mesafe ve zırhlama (Altınsoy ve Baydoğan, 2012). Şekil 2.5’de bu üç korunma yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Radyasyondan korunmanın üç temel yolu (Akyıldırım, 2011).

2.2.3.1 Zaman

Maruz kalınan radyasyon miktarı kişinin radyasyon kaynağı yakınında geçirdiği zamanla doğru orantılıdır. Gama ve X-ışınlarının daha etkin olduğu dış ışınlamalarda radyasyona maruz kalınan zaman azaltılarak kişinin radyasyona maruziyeti azaltılmış olur. Radyasyona maruz kalan maddenin aldığı doz;

$$\Delta X = \Gamma \frac{A}{R^2} \Delta t \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

ΔX : Alınan doz miktarını,

Γ : spesifik gama ışını sabitini,

A: kaynağın aktivitesini,

R: maddenin kaynağa olan uzaklığını,

Δt : geçen süreyi temsil etmektedir.

Denklem 2.2'de görüleceği üzere alınan doz miktarı geçen süre ile doğru orantılıdır (Krane, 1988).

2.2.3.2 Mesafe

Yüklü parçacıkların havada aldıkları mesafe kısadır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi malzeme içerisinde fazla yol katedmeden durdurulurlar. Gama ışını ve nötron için aynı durum söz konusu değildir. Gama ışını ve nötronun girciliği çok yüksek olup mesafe ile ters orantılıdır. Yani şiddeti gittikçe azalmaktadır. Alınan doz miktarı mesafeyle ters kare bağlantısına göre azalacaktır (Eaves, 1964). Ters kare bağıntısı;

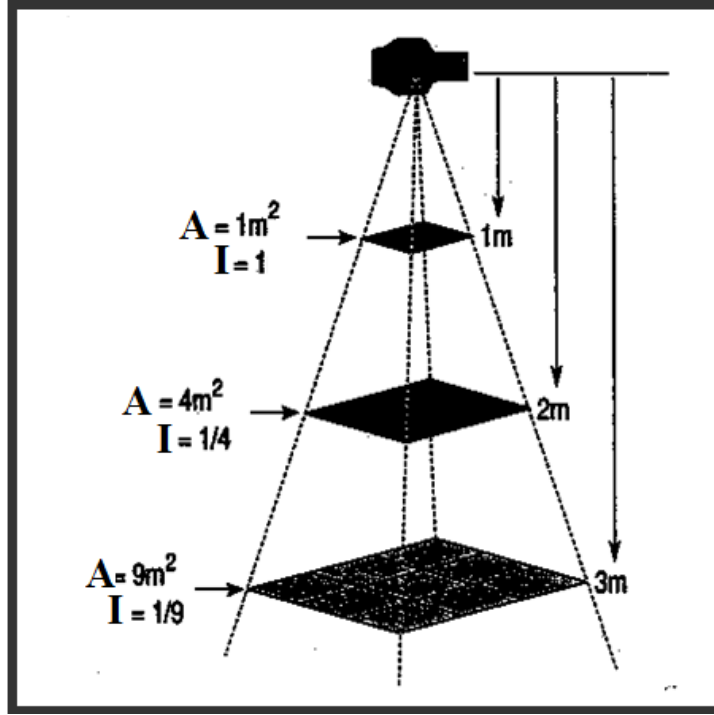
$$D_2 = D_1 \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2 \quad [D_1 < D_2] \quad (2.3)$$

olarak verilmektedir. Burada;

D_1 : radyasyon kaynağına x_1 mesafesindeki doz hızını,

D_2 : radyasyon kaynağına x_2 mesafesindeki doz hızını,

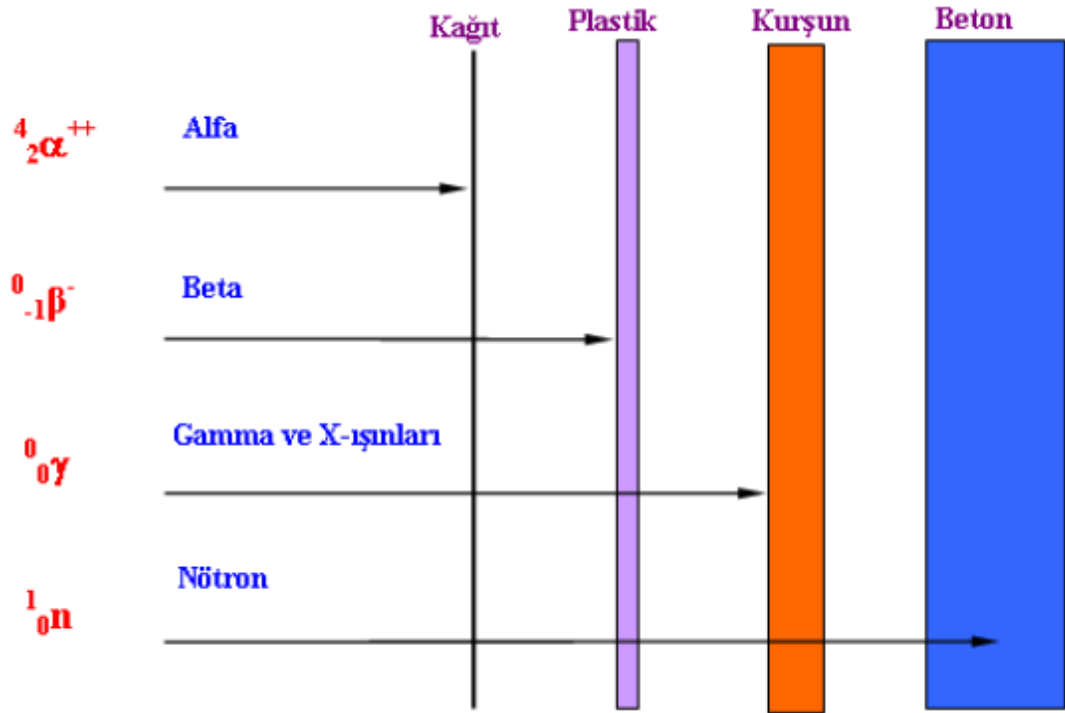
Denklem 2.3'den anlaşılacağı üzere radyasyon kaynağına olan uzaklık iki katına çıkartıldığında alınan doz miktarı dörtte birine düşecektir (Altınsoy ve Baydoğan, 2012). Şekil 2.6'de doz miktarının mesafeye bağlı düşüşü gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Doz miktarının mesafeye değişimi (Altınsoy ve Baydoğan, 2012).

2.2.3.3 Zırlama

Zırlama radyasyon kaynağından yayımlanan radyasyondan korunmak istenen canlı veya cansız sistem ile radyasyon kaynağı arasına yerleştirilen engeldir. Burada amaçlanan radyasyonu bu ara malzeme ile durdurmak veya makul seviyelere indirebilmektir. Radyasyonun tipine ve enerjisine göre malzeme ile yaptığı etkileşimler değişmektedir (Lowenthal ve Airey, 2001). Zırlama işlemi radyasyon çeşitlerinin farklı etkileşimleri ve geometrik dizaynından dolayı kompleks bir işlemdir (Martin, 2006). Şekil 2.7'de genel olarak radyasyon çeşitlerine göre zırlama malzemeleri gösterilmiştir.



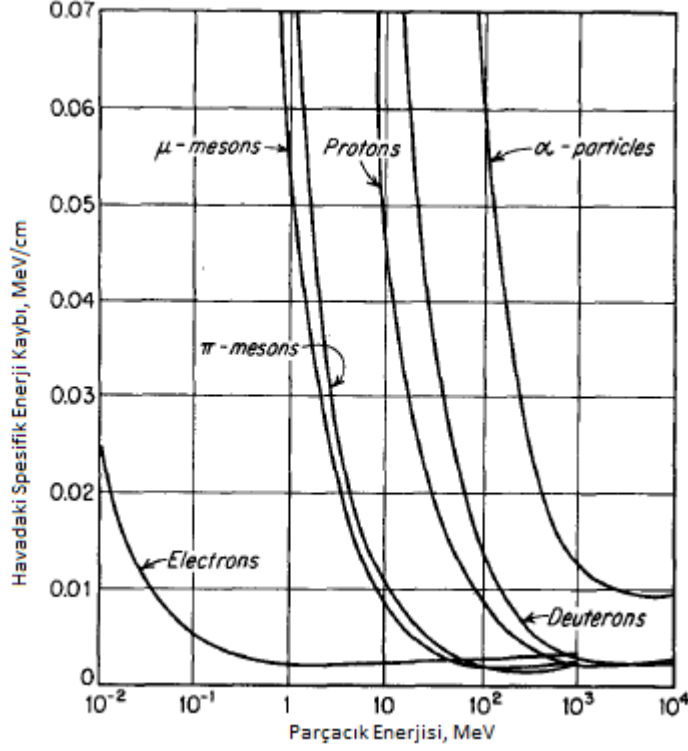
Şekil 2.7 Radyasyon çeşitlerine göre zırh malzemeleri (Yılmaz, 2011).

3. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

Etkileşim mekanizması radyasyonun tipine göre değişmektedir. Elektriksel olarak yüklü parçacıklar girdikleri ortamı doğrudan iyonize ederken nötr parçacıklar ikincil radyasyon oluşturarak dolaylı iyonizasyona sebep olurlar. Doğrudan iyonizasyona sebep olan parçacıklar kendi içlerinde iki gruba ayrılır. Bunlar ağır parçacıklar ve hafif parçacıklardır. Ağır parçacıklara proton, döteron ve alfa parçacıkları hafif parçacıklara da elektron ve pozitronlar örnek olarak verilebilir. Yüksüz radyasyona örnek olarak, elektromanyetik radyasyon olan foton ve parçacık olan nötron gösterilebilir (Şahin, 2010).

3.1 Ağır Yüklü Parçacıklar

Alfa parçacıkları gibi ağır parçacıklar, soğuruldukları atom ile pozitif ve negatif yükler arasında oluşan coulomb kuvveti dolayısıyla etkileşime girerler. Doğrudan atomların çekirdekleri ile etkileşime girmeleri mümkünken bu olay çok nadir gerçekleşir. Radyasyon dedektörleri temelde elektron ile oluşan etkileşimi dikkate alırlar. Yüklü parçacığın etkileşime girdiği elektron düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine geçmekle birlikte yeterli enerji durumu söz konusu olduğunda yörüngeden çıkıp iyonizasyon gerçekleştirebilir. Malzeme içerisinde ilerleyen yüklü parçacık aynı anda birçok elektronla etkileşime girerken yaptığı enerji transferiyle hızı düşer. Enerjisinin bitmesine yakın izlediği yol düzleşir, bunun sebebi direk bir çarpışmadan ziyade birden çok elektronla arasında oluşan kuvvete maruz kalmasıdır (Knoll, 2002). Şekil 3.1’de yüklü parçacıkların havadaki spesifik enerji kaybı verilmiştir.



Şekil 3.1 Yüklü Parçacıkların havadaki spesifik enerji kaybı (Knoll, 2002).

3.2 Hafif Yüklü Parçacıklar

Hafif yüklü parçacıkların madde ile etkileşmesi ağır yüklü parçacıklar ile benzerdir. Bu tür parçacıkların etkileşimi iyonlaşma ve uyarılmayı içermektedir. Bu etkileşimler ortamdaki çekirdeğin elektrik alanından kaynaklanmaktadır (Günaydın, 2014).

Elektron eksi yüklü iken pozitronlar ise pozitif yüklüdür. Enerjileri yüksek olan beta parçacıkları malzeme içerisinde ilerlerken malzemenin elektronlarıyla etkileşim halinde oldukları için enerji kaybına uğrarlar. Bu yüklü parçacık tarafından kaybedilen enerji Bremsstrahlung ya da frenleme radyasyonu denilen sürekli X-ışını spektrumu şeklinde yayımlanır. Bu radyasyon elektronun hız kazanmasından dolayı ortaya çıkar ve çekirdeğin elektriksel alan çekimi yüzünden izlediği düz yolda saptmaya neden olur. Enerjisi birkaç MeV civarı veya daha düşük ise enerji kaybı düşük olacaktır. Bundan dolayı, beta parçacıkları enerjilerinin büyük bir kısmını Moller ya da Bhabha saçılması veya girdikleri ortamın yörüngelerindeki elektronlar

ile çarpışarak kaybedecektir. Bu çarpışmaların sonucunda parçacık düz yoldan ziyade zikzaklı bir yol izleyecektir. Ağır parçacıkların izlediği yollar düz iken beta parçacıklarınınki zikzaklıdır. Bu nedenle beta parçacıklarının madde içerisindeki menzili yüklü parçacıklara kıyasla daha uzundur (Şahin,2010).

3.3 Yüksüz Parçacıklar

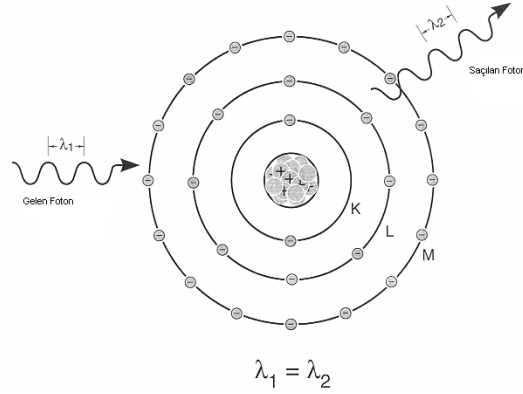
Fotonlar, nötronlar ve nötrinolar yüksüz parçacıklara örnek olarak verilebilir. Yüksüz parçacıklar madde ile etkileşimlerinde ikincil radyasyon yoluyla doğrudan olmayan iyonizasyona sebep olurlar. Fotonların algılanması, madde ile etkileşimleri (compton saçılması, fotoelektrik olay ve çift oluşumu) sonucu açığa çıkan elektronlara aktarılan enerji sayesinde gerçekleşir. Nötronların algılanması da yine ikincil olarak açığa çıkan yüklü parçacıklar sayesinde olur (Leroy, 2010).

3.3.1 Gama ışınının madde ile etkileşimi

Gama ışınları fotonlardan oluşur. Fotonların elektriksel yükü ve kütleleri yoktur. Gama ışınlarının yönüne ve enerjilerine bağlı olarak madde ile etkileşim mekanizmaları değişmektedir. Alfa ve beta parçacıklarına göre çok daha girici özelliğe sahiptirler ve buna bağlı olarak madde içerisinde daha fazla yol alırlar. Gama radyasyonunun madde ile etkileşimi beş ana grupta toplanır. Bunlar klasik saçılma, fotoelektrik olay, compton saçılması, çift oluşumu ve fotoayrışmadır (Glastone ve Sesonske, 1981).

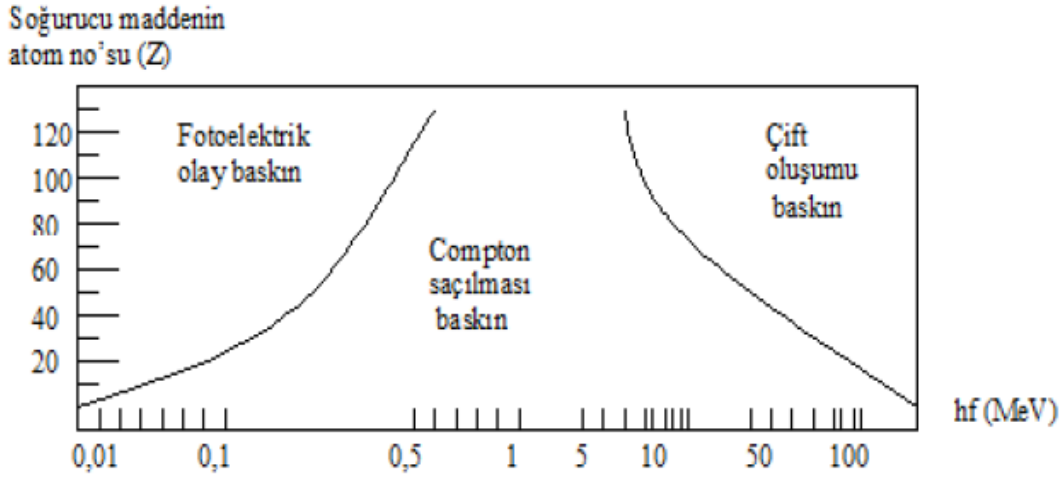
3.3.1.1 Klasik saçılma

Bu etkileşimde gama fotonunun enerjisi 10 keV ve altı değere sahiptir. Gelen foton hedef atomu vibrasyona uğratar ve hedef atom gelen fotonla aynı dalga boyuna sahip foton yayımlar. Bu etkileşim sırasında iyonlaşma gözlenmez sadece gelen fotonun yönü değişir. Genel olarak incelendiğinde bu olay % 5 gözlemlenir. Rayleigh saçılmasının klasik saçılmadan farkı ise gelen fotonun enerjisinin 15 ile 30 keV arasında olmasıdır. Burada dikkat edilecek husus en düşük iyonlaşma enerjisinin 32 keV olmasıdır. Yeterli enerjilerinin bulunmamasından dolayı iyonlaşma gerçekleştirmezler. Bu saçılma mamografide kullanılmaktadır (Tuğrul, 2011). Şekil 3.2’te klasik saçılma şeması verilmektedir.



Şekil 3.2 Klasik saçılma şeması (Yılmaz,2011).

Genel olarak gama ışınının madde ile etkileşimleri fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu olmak üzere üçe ayrılır. Şekil 3.3’de bu üç etkileşimin gama ışınının enerjisi ve etkileşime girdiği malzemenin atom numarasıyla ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Etkileşim türlerinin gama ışını enerjisi ve soğurucu maddenin atom numarasıyla ilişkisi (Baltacıoğlu, 1995).

Durgun kütlesi sıfır olan gama ışınının kinetik enerjisi;

$$E_{\gamma} = h \frac{c}{\lambda} \quad (3.1)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada;

E_γ : gama ışını enerjisi,

h : Planck sabiti ($6,62 \times 10^{-27}$ erg.s),

c : ışık hızı (3×10^{10} cm/s),

λ : gama ışının dalga boyu (cm) dur.

Gama ışını, madde ile etkileşimi sırasında izafi hızlara sahip yüklü parçacıkların oluşmasına neden olur. Bu yüklü parçacıklara elektron ve pozitron örnek olarak verilebilir. Bir düzenleme yapıldığında toplam enerji ile momentum arasındaki ilişki (Ragheb, 2013);

$$E^2 = (m_0 c^2)^2 + p^2 c^2 \quad (3.2)$$

denklemleri ile verilir. Burada;

E : toplam enerji,

m_0 : Parçacığın durgun kütlesi,

c : ışık hızı (3×10^{10} cm/s),

p : parçacığın momentum değeridir.

3.3.1.2 Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olayda foton tüm enerjisini atoma düşük enerjiyle bağlı elektrona aktarır ve kaybolur. Fotonun enerjisi elektronun atoma bağlanma enerjisi kadardır veya daha küçüktür. Fotoelektrik olay genelde düşük enerjili foton ve yüksek atom numarasına sahip atom arasında görülür. Fotoelektrik olay etkileşime girdiği malzemenin atom numarasıyla doğrudan bağlantılıdır. Yüksek atom numarasına sahip atomlar gama ışınlarını zırlama açısından kabul görmektedir. Bu nedenle kurşun gama ışını zırlama malzemesi olarak önem arz etmektedir.

Fotoelektrik olayda fotonlar hedef malzeme atomlarının yörünge elektronları ile etkileşime girerler. Eğer enerjileri elektronun atoma bağlanma enerjisinden büyükse elektron yörüngesinden ayrılır. Fotoelektronun enerjisi;

$$E_{pe}=E_{\gamma}-\Phi \quad (3.3)$$

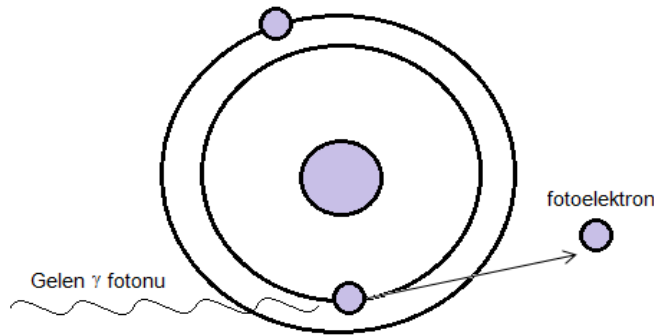
denklemini ifade edilebilir. Burada;

E_{pe} : fotoelektronun enerjisini,

E_{γ} : soğurulan gama ışınının enerjisini,

Φ : elektronun bağlanma enerjisini temsil eder.

Bu olayda saçılan bir foton yoktur. Fotoelektronun yörüngesinden ayrılması ile boşalan yerini daha yüksek enerjide bulunan başka elektron doldurur ve karakteristik X-ışını yayınlanmasına neden olur (Cember ve Johnson,2009). Fotoelektrik olay sürecinde etkileşimin hemen hemen tamamının atomun K yörüngesinde gerçekleştiğini söylemek kabul görmektedir. Ağır çekirdeklerde etkileşimin yüzde sekseni hafif çekirdeklerde ise etkileşimin tamamı K kabuğunda gerçekleşmektedir (Shultis ve Faw, 2002). Şekil 3.4'te fotoelektrik olay görülmektedir.



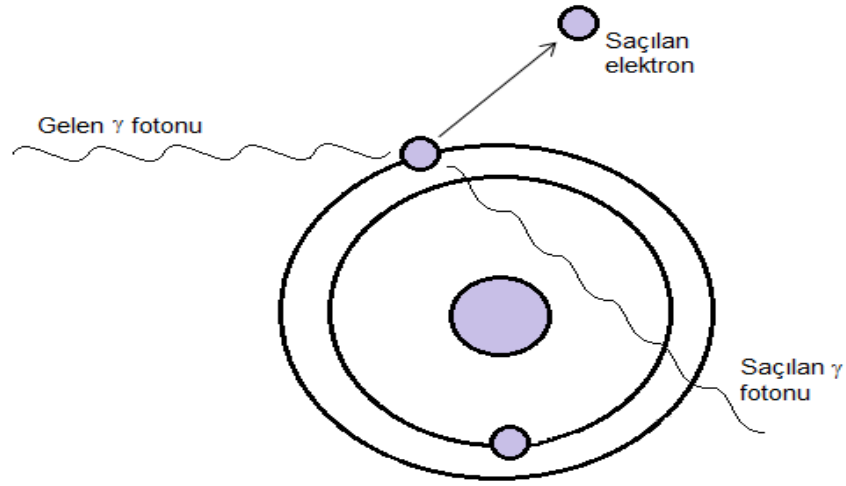
Şekil 3.4 Fotoelektrik olay şeması.

Fotoelektrik olay ikincil radyasyonların yayınlanmalarına neden olur, çünkü etkileşime girdiği atom temel enerji seviyesine inmek ister. Bu süreçte;

- ✓ Atom X-ışını yayınlar ve temel enerji seviyesine düşer.
- ✓ Atomun dış yörüngesinde bulunan elektronlar yayınlanır, böylece temel enerji seviyesine düşülmüş olur. Bu elektronlara auger elektronları denir. Bu ikincil radyasyonlar gama ışını algılanmasında kullanılır (Ragheb, 2013).

3.3.1.3 Compton saçılması

Fotoelektrik olayda gelen fotonun enerjisi etkileşime girdiği elektronun bağlanma enerjisine eşit veya daha düşüktür ve foton etkileşimden sonra kaybolmaktadır. Compton saçılmasında ise gelen fotonun enerjisi etkileşime girdiği elektronun atoma bağlanma enerjisinden daha yüksektir. Compton saçılmasında gelen foton etkileşime girdiği elektronu yörüngesinden koparıp daha düşük bir enerji ile saçılır. Gelen fotonun enerjisi 100 keV ve üzeri ise compton saçılmasının olma olasılığı yüksektir. Şekil 3.5'te Compton saçılması görülmektedir.



Şekil 3.5 Compton saçılması şeması (Yılmaz, 2011).

Bu saçılmada enerji ve momentumun korunumu yasası;

$$E' = \frac{0,51}{1 - \cos\varphi - \frac{0,51}{E}} \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir (Bilge ve Tuğrul, 1990). Bu denklemde;

E' : saçılan foton enerjisini,

E : gelen foton enerjisini,

φ : fotonun saçılma açısını göstermektedir.

“ φ ” açısının değeri sıfıra yakın olması durumunda “ $\cos \varphi$ ” değeri bire yakın değer alır. Bu durumda saçılan foton ve gelen foton enerjileri yaklaşık olarak birbirlerine eşittir. Bu durum gelen fotonun enerjisinin çok küçük değere sahip olduğunu

gösterir. Gelen foton dik açı ($\sim 90^\circ$) ile saçıldığında enerji denklemi aşağıdaki hali alır;

$$E' = \frac{0,51E}{E - 0,51} \quad (3.5)$$

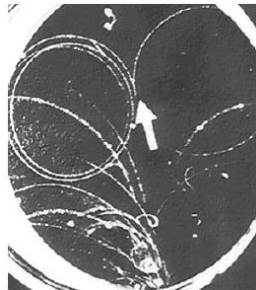
Bu denklemden çıkacak en önemli sonuç, saçılan fotonun enerjisinin 0.51 MeV'den büyük olamamasıdır (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Compton saçılması fotonun enerjisine ve etkileşime girdiği atomun atom numarasına bağlıdır. Saçılan foton enerjisine bağlı olarak Compton saçılması veya fotoelektrik olay ile madde ile etkileşime devam eder (Akcan, 2013).

3.3.1.4 Çift oluşumu

Atom çekirdeğinin kuvvetli elektrik alanına gelen fotonun enerjisi 1.02 MeV değerine eşit (iki elektron kütle değerine ($2m_0c^2$)) veya daha fazla ise foton çekirdek tarafından yok edilip elektron pozitron çifti oluşumunu gerçekleştirir (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Şekil 3.6'da parçacık dedektöründe (wilson hücresi) bulunan yüksek enerjiye sahip gama ışınının oluşturmuş olduğu elektron pozitron çiftinin izleri görülmektedir. Düzleme dik olarak uygulanan manyetik alana karşı elektron ve pozitron çifti yüklerinin ters olması dolayısıyla zıt yörüngelerde hareket etmiş, bıraktıkları izlerde ise dikkat çeken hususlardan biri dairesel izlerin çaplarının birbirine eşit olmasıdır. Bu durumun nedeni elektron ve pozitronun yük ve kütlelerinin aynı olmasıdır. Fotonun parçacık dedektörü olan wilson hücresine girmesi ile birlikte çift oluşumu dışında compton saçılması ve fotoelektrik olay da gözlenmiştir (Ragheb, 2013).



Şekil 3.6 Wilson hücresinde elektron pozitron çifti görüntüsü (Ragheb, 2013).

Çift oluşumunun meydana gelme olasılığı gelen fotonun enerjisi ve etkileşime girdiği malzemenin atom numarasıyla doğru orantılıdır. Çift oluşumunun tesir kesiti;

$$\sigma = Z^2 \ln\left(\frac{E_\gamma}{mc^2}\right) \quad (3.6)$$

denklemleri ile ifade edilir (Tuğrul, 2011). Burada;

σ : tesir kesiti,

Z : fotonun etkileşime girdiği malzemenin atom numarası,

E_γ : fotonun enerjisi,

m : elektron veya pozitronun kütlesi,

c : ışık hızı (3×10^{10} cm/s)'dir.

3.3.1.5 Fotoayırışma

Fotoayırışma diğer bir adıyla fotodisintegrasyon çok yüksek enerjili fotonun (7 ile 15 MeV arası) atomla etkileşmesi ile meydana gelir. Bu olayda atom altı parçacıkların salınımı gerçekleşir (Tuğrul, 2011).

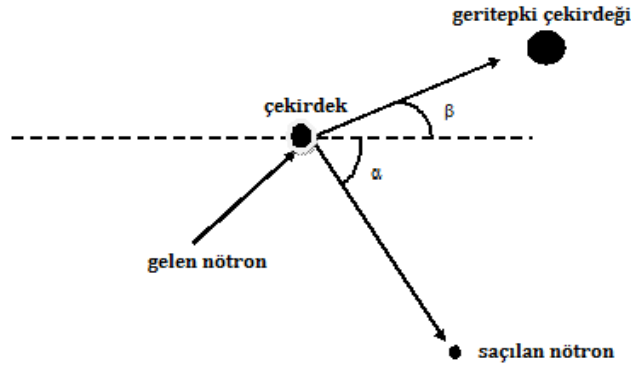
3.3.2 Nötronların madde ile etkileşimi

Nötronlar yüksüz parçacıklar olmaları dolayısıyla atomla coulomb kuvveti çerçevesinde etkileşime girmezler ve elektronların oluşturduğu kuvvet alanından kolayca geçerler. Nötronlar aynı enerjiye sahip nükleer parçacıklara (alfa parçacıkları, pozitron ve elektron) göre malzeme içerisinde daha kolay mesafe katederler. Atomun elektronları ile etkileşime girmemeleri nötronların doğrudan iyonizan olmadığını göstermektedir. Başka bir deyişle nötronlar dolaylı iyonizan radyasyondur. Nötronların çekirdek ile çarpışması sonucu üç senaryo gerçekleşebilir. Bunlar elastik saçılma, elastik olmayan saçılma ve nötron soğurulmasıdır. Elastik saçılma momentumun korunduğu ve geri tepki çekirdeğinin saçılması olayıdır. Elastik olmayan saçılmada ise nötron kinetik enerjisini kaybeder ve bunun ardından gama ışını yayınlanır (Şahin, 2010). Nötron etkileşimleri bazı parçacıkların

yayınlanmasına neden olur. Bu yayınlanan parçacıklar atomlar ile girdikleri etkileşimlerde iyonizasyona sebep olabilirler (Tuğrul, 2011).

3.3.2.1 Elastik saçılma

Genelde temel enerji seviyesinde olan atomla çarpışan nötron atomun temel enerji seviyesini bozmadan atom tarafından tekrardan yayınlanır. Elastik saçılmanın nükleer reaksiyon sembolü (n,n)'dir (Lamarsh, 1983). Elastik saçılmada gelen nötron kinetik enerjisinin bir kısmını atoma aktarır. Başlangıçtaki nötronun kinetik enerjisi saçılan nötron ile geritepki çekirdeğinin kinetik enerjilerinin toplamına eşittir. Bu saçılma sürecinde toplam kinetik enerji korunmaktadır. Şekil 3.7'de elastik saçılma gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Nötron ile çekirdek arasında gerçekleşen elastik saçılmanın şeması.

MeV enerji mertebesine sahip nötronlarda sık görülen bu saçılma yavaş nötronlarda da görülmektedir (Knoll, 2002). Çarpılan çekirdek en düşük enerji seviyesinde kalmaktadır (Tuğrul,2011). Bu saçılmanın enerji denklemi;

$$E_{KE} = \left(\frac{4(M - m_n)}{(M + m_n)^2} \right) \cos^2(\beta) \quad (3.7)$$

ile ifade edilir. Burada;

E_{KE} : nötronun kaybettiği enerji,

M : çekirdeğin kütlesi,

m_n : nötronun kütlesi,

β : Nötronun geliş yolu ile geri tepki çekirdeği arasındaki açıyı simgeler.

Bu denklemde geri tepki çekirdeği ile nötronun geliş yolu arasındaki açı 0° olduğunda maksimum enerji transferi gerçekleşmektedir. Bu açı 90° olduğunda ise $\cos^2(\beta)$ ifadesinden dolayı transfer edilen enerji sıfırdır, yani enerji transferi olmayacaktır. Bu denklemden çıkartılabilecek diğer sonuç ise nötronun etkileşime girdiği çekirdeğin kütlesi nötron kütlesine ne kadar yakın ise enerji transferi bir o kadar fazla olmaktadır. Çizelge 3.1’de Denklem 3.7’den bulunan, farklı atomlar için nötronların kaybettikleri enerji değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Çeşitli çekirdeklerin nötron ile çarpışmaları sonucu kaybettikleri maksimum kinetik enerji değerleri (L’Annunziata, 2004).

Nüklit	Nüklidin kütlesi, M	Nötronun kütlesi, m_n	$E_k = \frac{4 M m_n}{(M + m_n)^2} \cos^2 \beta$
^1H	1.007825	1.008665	$4.065566/4.066232 = 0.999$ or 100%
^2H	2.014102	1.008665	$8.126217/9.137120 = 0.89$ or 89%
^9Be	9.012182	1.008665	$36.36109/100.41737 = 0.362$ or 36.2%
^{12}C	12.000000	1.008665	$48.41592/169.22536 = 0.286$ or 28.6%
^{16}O	15.994915	1.008665	$64.53404/289.12173 = 0.223$ or 22.3%
^{28}Si	27.976927	1.008665	$112.87570/840.16454 = 0.134$ or 13.4%
^{55}Mn	54.938047	1.008665	$221.65633/3130.0329 = 0.071$ or 7.1%
^{197}Au	196.96654	1.008665	$787.86616/39194.175 = 0.020$ or 2.0%

Düşük kütleli çekirdekler, çarpışmalarda maksimum enerji transferi sağladığı için moderatör olarak kullanılmaları uygun olmaktadır. Moderatörlere örnek olarak su (H_2O), ağır su (D_2O), parafin (C_nH_{n+2}) ve grafit (C) verilebilir.

Nükleer mühendislikte yaygın olarak kullanılan nötronların dalga boyu hesabı Denklem 3.8’de yer almaktadır (Lamarsh, 1983).

$$\lambda = \frac{2,86 \times 10^{-9}}{\sqrt{E}} \quad (3.8)$$

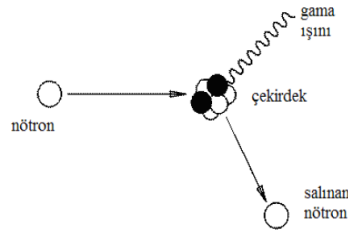
Burada:

λ : Nötronların dalga boyu (cm),

E : Nötronların enerjisi (eV)’dir.

3.3.2.2 Elastik olmayan saçılma

Elastik olmayan saçılma genelde enerjisi 1 ile 10 MeV arasındaki nötronlarda görülmektedir. Elastik saçılmada olduğu gibi nötron başka bir yönde saçılım yapar. Ancak nötronun kinetik enerjisinin bir kısmı geri tepki çekirdeğine geçer ve geri tepki çekirdeği yarı kararlı hale gelir. Nötron yüksek atom numaralı bir çekirdek ile çarpıştığında elastik olmayan saçılma meydana gelir. Geri tepki çekirdeği yarı kararlı halden temel enerji seviyesine inmek için gama ışını yayabilir veya yarı kararlı halde kalmaya devam edebilir. Bu yüzden elastik olmayan saçılmada momentum korunumundan bahsedemeyiz (Günaydın, 2014). Elastik olmayan saçılmanın nükleer reaksiyon sembolü (n,n') 'dir (Lamarsh, 1983). Bu enerji değerlerindeki nötronların zırhlanmasında hafif ve ağır çekirdekler birlikte kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan zırh malzemeleri parafin+kadmiyum ve parafin+kurşun karışımlarıdır (Yılmaz, 2011). Şekil 3.8'de elastik olmayan saçılma şeması görülmektedir.



Şekil 3.8 Elastik olmayan saçılma.

3.3.2.3 Nötron soğurma etkileşimleri

Nötronların çekirdek ile etkileşimlerinden sonra çekirdekten başka parçacıkların atılması olayı soğurma etkileşimidir. Yavaş nötronların çekirdek tarafından yakalanıp nükleer reaksiyon gerçekleştirmeleri kolaydır. Soğurma etkileşimleri beş ana grupta toplanır. Bunlar (n,γ) , (n,α) , $(n,2n)$, (n,p) ve fisyon olaylarıdır (Martin, 2006).

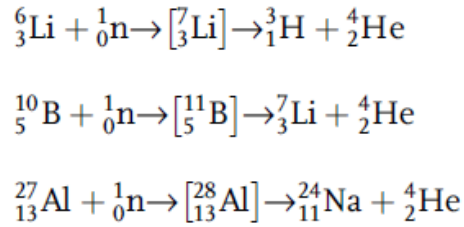
(n,γ) reaksiyonu

Nötron hedef çekirdek tarafından soğrulur ve böylece hedef atom uyarılmış olur. Atom temel enerji seviyesine bir veya birden fazla gama fotonu yayımlayarak geçiş yapar. Burada yayımlanan fotonun enerjisi etkileşime girdiği çekirdek için karakteristiktir. Bu özellik (n,γ) reaksiyonunu önemli bir tekniğin alt yapısı hale getirir. Bu teknik nötron aktivasyon analizidir. Numunelerin majör, minör ve eser

elementlerinin tayini için kullanılan referans bir analitik tekniktir. Nötron aktivasyon analizinde numune nötronla ışınlanır, numunenin içinde bulunan elementler kendi karakteristiklerine göre gama fotonu yayınlamaları ve genel olarak bakıldığında bir gama spektrumu oluşur. Gama spektrumu işlenerek element tayini gerçekleştirilir (Tuğrul, 2011).

(n,α) reaksiyonu

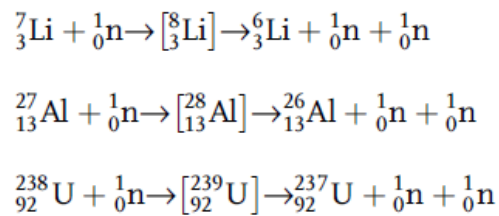
Çok sık görülmeyen bir reaksiyondur. Yüksek enerjili bir nötron çekirdekten alfa parçacığını koparabilmesi için nötron yüksek enerjiye sahip olmalıdır. Birçok elementte (n,α) reaksiyonu görülebilmektedir. Şekil 3.9’da bu reaksiyona örnekler verilmiştir (Martin, 2006).



Şekil 3.9 (n,α) reaksiyonu için bazı örnekler (Martin, 2006).

(n,2n) reaksiyonu

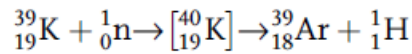
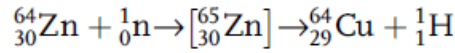
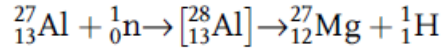
Yüksek enerjili nötronun gerçekleştirebildiği bu etkileşimde gelen nötrona karşılık 2 veya daha fazla nötron yayınımları olabilmektedir. Bu reaksiyonda kütle değişimi her zaman için negatif yönde olmaktadır. Gelen nötron etkileşime girdiği atomu değiştirmez sadece izotopunu oluşturur. Şekil 3.10’da bu reaksiyona örnekler verilmiştir (Tuğrul, 2011).



Şekil 3.10 (n,2n) reaksiyonu için bazı örnekler (Martin, 2006).

(n,p) reaksiyonu

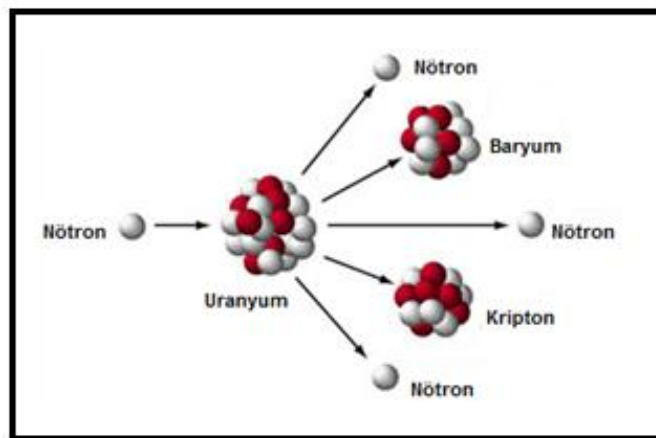
Sıklıkla karşılaşılmayan bu reaksiyonda nötron soğurulur ve proton salınımı gerçekleşir (Lamarsh, 1983;Tuğrul, 2011). Şekil 3.11’de bu reaksiyona örnekler verilmiştir.



Şekil 3.11 (n,p) reaksiyonu için bazı örnekler (Martin, 2006).

Fisyon

Fisyon olayı ağır bir parçacığın nötron yakalamaları durumunda iki farklı çekirdeğe dönüşmesi olayıdır. Atomik kütle ne kadar büyükse atomun çekirdeğindeki parçacıklar arasındaki bağlanma enerjisi o kadar azdır. Başka bir deyişle ağır bir parçacık küçük iki parçacığa bölündüğünde daha kararlı bir yapıya sahip olur. Çekirdekte bulunan parçacıklar arasındaki çekim kuvvetini kırmak ve fisyonu gerçekleştirmek belli bir enerji gerektirir. Bu enerji kritik enerji olarak adlandırılır. Bu kritik enerji nötron soğurulması ile gerçekleşmektedir. Soğurulan nötron ile fisyon tetiklenir. Belli bir kinetik enerjiye sahip nötron yakalamaları durumunda fisyon olayı gerçekleştiren atomlara örnek Pu-239 ve U-235 verilebilir (Lamarsh, 1983). Şekil 3.12 fisyon olayını göstermektedir.



Şekil 3.12 Fisyon olayı (Url-3)

3.3.3 Gama ışını ve nötronların malzeme içerisinde zayıflaması

Gama ışınının enerji kaybı malzeme içerisinde katettiği yol ile doğrudan orantılıdır.

Bu orantının denklemi;

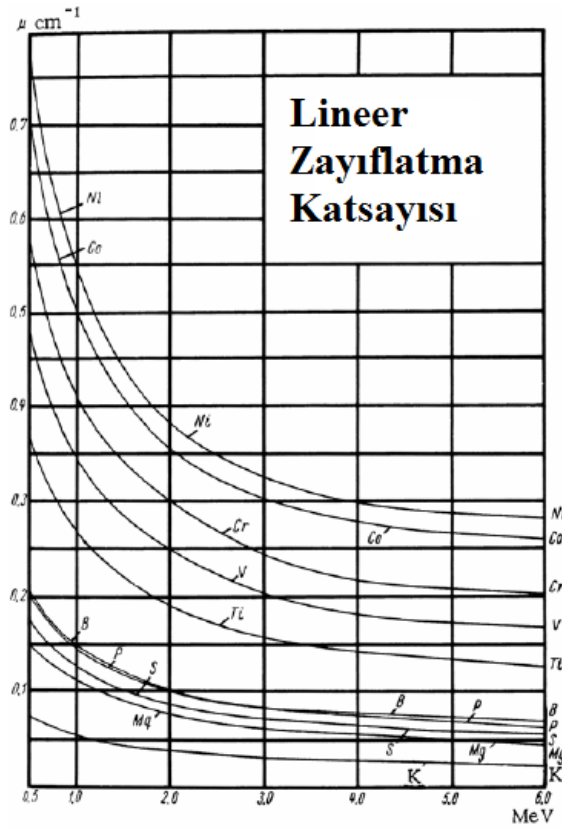
$$d\varphi(x) = -\mu\varphi(x)dx \quad (3.9)$$

olarak verilmektedir (Ragheb, 2007). Burada;

$\varphi(x)$: gelen fotonun enerji şiddeti (MeV/cm^2),

μ : malzemenin lineer zayıflatma katsayısı (cm^{-1})'dir.

Lineer zayıflatma katsayısı her malzeme için sabit bir değer olup gelen foton enerjisine bağımlı bir değerdir. Şekil 3.13'de ağır elementler için lineer zayıflatma katsayılarının enerji ile değişimi verilmiştir (Url-1).



Şekil 3.13 Bazı elementler için lineer zayıflatma katsayıları (Ragheb, 2007).

Denklem 3.9'un integralinin alınması durumunda gama fotonunun malzeme içerisinde zayıflaması lineer zayıflatma katsayısına bağı olarak ifade edilmiş olur (Akbal, 1999). Bu ifade;

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.10)$$

şeklinde olup burada;

I : etkileşim sonrası foton şiddetini,

I_0 : başlangıçtakifoton şiddetini,

μ : malzemenin lineer zayıflatma katsayısını,

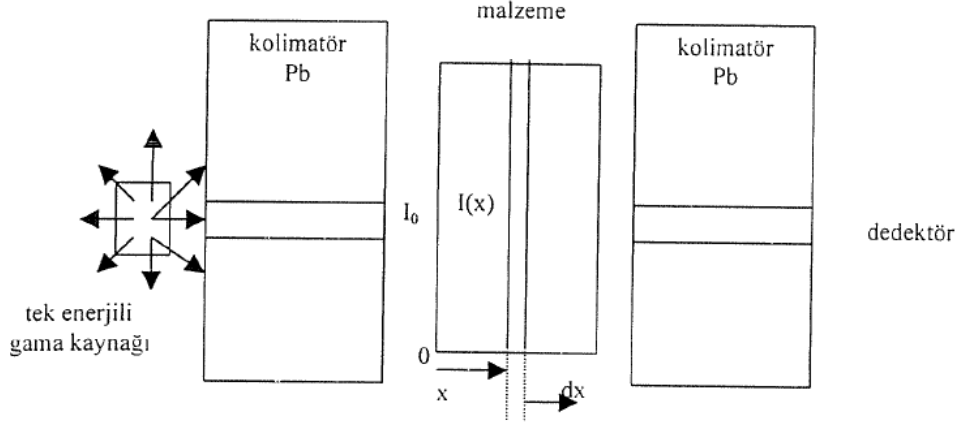
x : malzeme kalınlığını temsil eder.

Kütle zayıflatma katsayısı (μ_m) ise;

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (3.11)$$

ifadesinden bulunur. Burada ρ malzemenin özkütlesidir.

Lineer zayıflatma katsayısı deneysel olarak bulunan bir değerdir ve buna yönelik deney sistemleri geliştirilmiştir. Kaynaktan çıkan gama ışını malzeme ile etkileşimde bulunduktan sonra dedektör tarafından algılanır. Kaynak ve dedektör kolime edilmediği durumda dedektör malzeme içerisinde zayıflayan gama ışını ile birlikte malzeme içerisinde saçılıp dedektöre gelen gama ışınlarını da algılayacaktır. Literatürde bu tarz geometriler kötü geometri olarak adlandırılırken kaynağın ve dedektörün kolime edildiği sistemler dar demet geometrisi (iyi geometri) olarak adlandırılmaktadır (Wood, 1987). Dar demet geometrisinde saçılan radyasyonun dedektöre ulaşması önlenmiş olmaktadır. Böylece sadece demetin geçtiği malzeme kesiti hakkında bilgi edinilmiş olmaktadır (Akbal, 1999). Bu deney düzeneğinde yapılan ölçümlerin sonucu Denklem 3.10'da yerine yazıldığında malzemenin gama ışınının belli enerji değeri için zayıflatma katsayısını hesaplamak mümkündür. Şekil 3.14'de dar demet geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Dar demet geometrisi.

Malzemelerin zırlama özellikleri incelenirken zayıflatma katsayısının yanı sıra yarı tabaka kalınlık ve ortalama serbest yol değerleri de önem arz etmektedir. Lineer zayıflatma katsayısı (μ) kullanılarak yarı tabaka kalınlık değeri ($X_{1/2}$) radyasyon şiddetini yarıya düşüren kalınlık değeri olup Denklem 3.12 ile hesaplanır (Tuğrul, 2011).

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3.12)$$

Diğer önemli bir parametre ise ortalama serbest yoldur. Ortalama serbest yol (mean free path, mfp) bir gama fotonunun atomlarla yaptığı iki etkileşim arasında aldığı ortalama yoldur (Akyıldırım, 2011). Lineer zayıflatma katsayısı (μ) kullanılarak ortalama serbest yol Denklem 3.13 ile hesaplanır.

$$mfp = \frac{1}{\mu} \quad (3.13)$$

Bu geometride hesaplanan zayıflatma katsayısı değeri tüm etkileşimleri (fotoelektrik olay, compton saçılması ve çift oluşumu) içermektedir. Denklem 3.10 ve dar demet geometrisi sadece gama ışınları için geçerli olmayıp belli enerji değerine sahip nötronlar için de geçerlidir. Nötronlar için kullanılan denklemde zayıflatma katsayısının yerini toplam tesir kesiti alır. Nötronlar için benzer bir ifade;

$$I = I_0 e^{-\Sigma_t x} \quad (3.12)$$

olarak verilebilir (U_{r1}-1). Burada;

I : etkileşim sonrası nötron şiddetini,

I₀ : başlangıçtaki nötron şiddetini,

Σ_t : toplam tesir kesitini,

x : malzeme kalınlığını temsil eder.

Nötronlar için ortalama serbest yol, toplam makroskopik tesir kesiti kullanılarak Denklem 3.14 ile hesaplanır.

$$mfp = \frac{1}{\Sigma_t} \quad (3.14)$$

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında inşaat ve dekorasyon sektöründe yaygın olarak kullanılan yerli granitlerin gama ve nötronları zayıflatma davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Granit blokların söz konusu radyasyonları zayıflatma etkisi geçirgenlik tekniği kullanılarak incelenmiştir. Bu teknikte, radyasyon kaynağı ile dedektör arasında malzeme varken ölçülen radyasyon şiddetinin (I) malzeme yokken ölçülen radyasyon şiddetine (I_0) oranı bağıl şiddet (I/I_0) olarak ifade edilmektedir. Çalışmamızda granit bloklar için bağıl şiddet değerleri elde edildikten sonra her bir granit numunesinin foton zayıflatma katsayısı ve toplam makroskopik tesir kesitleri tespit edilmiştir.

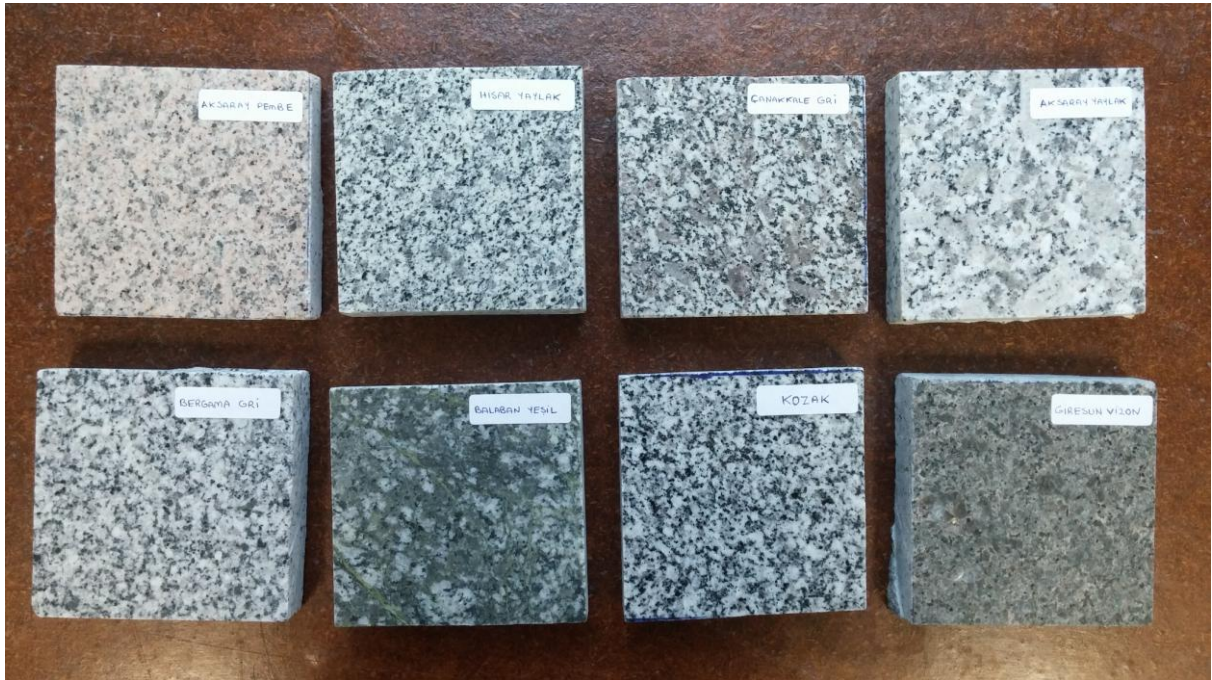
Teorik hesaplar için gerekli olan kimyasal analiz bilgileri XRF tekniği ile elde edilmiştir. XRF analiz sonuçları WINXCOM programında işlenerek gama radyasyonu için teorik sonuçlar elde edilmiştir. Nötronlar için teorik hesaplar NCNR programı ile yapılmıştır.

4.1 Deneyde Kullanılan Granit Numuneler

Çalışmamızda yerli üretim olan 8 farklı granit numune incelenmiştir. Deneylerde kullanılan granitlerin ticari isimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'de çalışılan granit bloklar görülmektedir. Ağırlıkları 0,44 ile 0,64 kg arasında değişen granit blokların boyutları 10cmx10cm'dir. Granitlerin kalınlıkları 1.67 cm ile 2.31 cm arasında değişmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 : Deneyde kullanılan granit örnekleri.

Örnek No	Ticari Adı	Kalınlık (cm)
1	Çanakkale Gri	1,88
2	Aksaray Yaylak	2,31
3	Giresun Vizon	2,03
4	Hisar Yaylak	2,31
5	Bergama Gri	2,17
6	Balaban Yeşil	1,95
7	Aksaray Pembe	1,67
8	Kozak	2,17



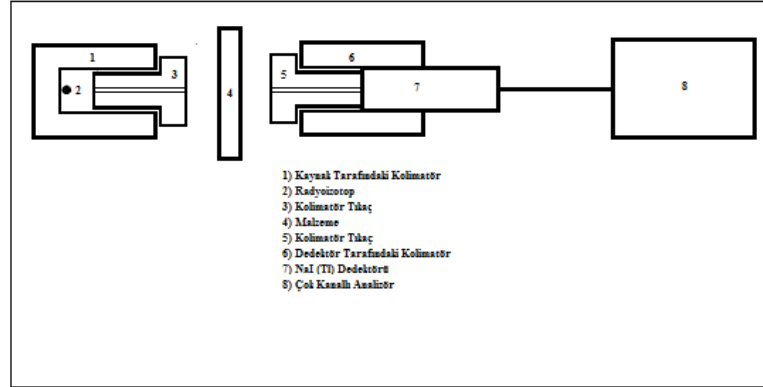
Şekil 4.1: Deneyde kullanılan granit bloklar.

4.2 Deney Düzeneklerinin Tanıtılması

4.2.1 Gama ölçüm sistemi

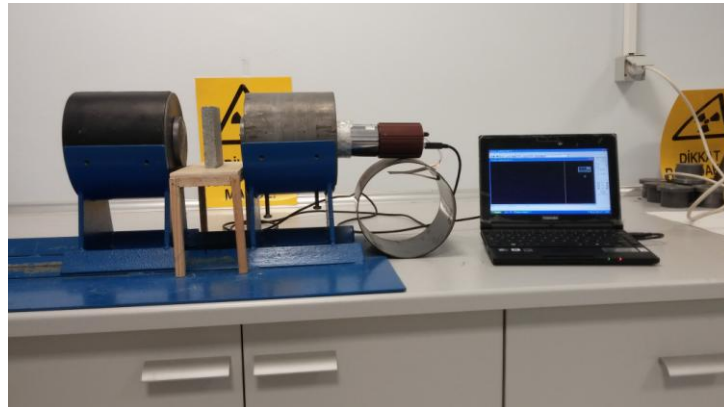
Gama ölçüm sistemi gama geçirgenlik prensibine dayanmaktadır. Bilindiği üzere gama ışınlarının maddeye nüfuz etme kabiliyetleri gama geçirgenlik tekniğinin temelini oluşturmaktadır. Bu teknikte radyasyon kaynağı ve dedektör, ölçümlemesi gerçekleştirilecek malzemenin karşılıklı iki tarafına aynı düzlemde olacak şekilde

yerleştirilmektedir. Dedektör, kaynaktan çıkıp malzemeyi kateden radyasyonun şiddetini ölçmektedir. Burada, saçılarak dedektöre gelen radyasyondan ziyade malzemeyi geçen radyasyonun ölçülmesi hedeflenir. Bunu gerçekleştirmek için Bölüm 3.3.2’de tanıtılan dar demet geometri koşullarını sağlamak gerekmektedir. Bu geometrideki temel özellik kaynak ve dedektörün iyi kolime edilmesidir (Büyük, 2014). Şekil 4.2’de ölçüm düzeneğinin temsili şeması verilmiştir.



Şekil 4.2 Ölçüm düzeneğinin temsili şeması.

Çalışmamızda gama ölçümleri için İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Radyoizotop Laboratuvarı’nda bulunan ve Şekil 4.3’te görülen dar demet deney düzeneğinden yararlanılmıştır. Söz konusu deney düzeneği, gama radyasyon kaynağı, NaI(Tl) sintilayon dedektörü, çok kanallı analizör ve kolimatörlerden oluşmaktadır. Deney düzeneğinde yer alan kolimatörlerin çapı 7 mm, kaynak ve dedektör arasındaki mesafe 100 mm’dir. Granit blok kaynak ile dedektör arasındaki mesafenin orta noktasına yerleştirilmiştir.



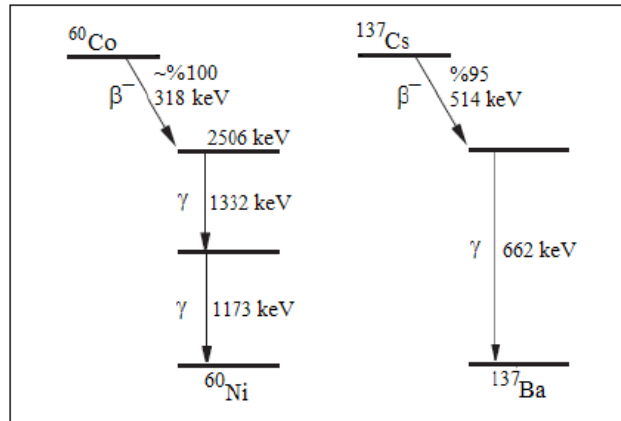
Şekil 4.3 Dar demet deney düzeneği.

4.2.1.1 Gama ışını kaynakları

Ölçümlerde ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoizotopları kullanılmıştır. ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoizotoplarının yarı ömürleri sırasıyla 30.1 ve 5.23 yıldır (Büyük, 2012). Çizelge 4,2’de deneylerde kullanılan radyoizotopların genel özellikleri verilmiştir. Şekil 4.4’te söz konusu radyoizotopların bozunum şemaları Şekil 4.5’de ise fotoğrafları verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Gama ışını kaynaklarının özellikleri

Radyoizotop	Yarı Ömür (Yıl)	Bozunma Modu	γ Enerjisi (keV)	Aktivite (μCi)	Ürün Çekirdek
^{60}Co	30.1	β^{-1}	1173&1332	12,38	^{60}Ni
^{137}Cs	5.23	β^{-1}	662	8,69	^{137}Ba



Şekil 4.4 Kullanılan radyoizotopların bozunum şeması (Akyıldırım, 2011).

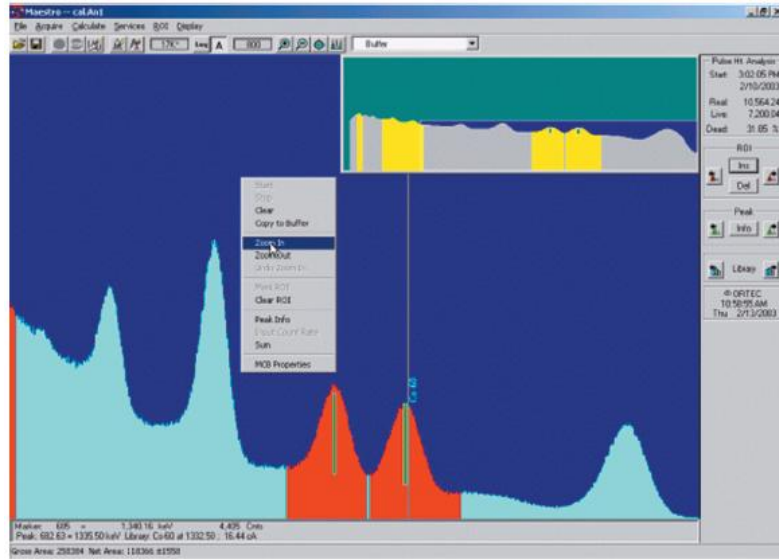


Şekil 4.5 Deneylerde kullanılan ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoizotopları.

4.2.1.2 Gama dedektörü ve çok kanallı analizör

Bu tez çalışmasında Canberra marka 2"x2" boyutunda NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. Dedektörün 0,662 MeV enerji değeri için rezolüsyon değeri %8.5'dir.

NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile birlikte dijital gama spektrometre ve çok kanallı analizör programı kullanılmıştır. Dijital gama spektrometre Ortec marka olup modeli digabase PMT'dir. Çok kanallı analizör programı olarak MAESTRO-32 kullanılmıştır. Piklerin altında kalan alan bu yazılım sayesinde değerlendirilmiştir. Şekil 4.6'da MAESTRO 32 yazılımının ekran görüntüsü verilmiştir. Çizelge 4.3'te sistemin genel performans özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.6 MAESTRO 32 yazılımının ekran görüntüsü.

Çizelge 4.3 : Elektronik sistemin genel özellikleri.

Kanal Sayısı	1024 kanal
Ölü Zaman Hassasiyeti	50k sayım/saniye için <%5
Dedektör Gerilim Değeri	Bilgisayar kontrolünde 1,25 V adımları 0 ile 1200 V arası
Ofset Kayma Değeri	<50 ppm full skala/°C
Kazanç Kayma Değeri	<150 ppm/<50 ppm/°C
Bipolar Şekillendirme	0.25 µs aralıklarla 0,75 ile 2.00 µs arasında ayarlanabilir

4.2.2 Nötron ölçüm sistemi

Granit blokların toplam makroskopik tesir kesitlerinin belirlenebilmesi için nötron geçirgenlik prensibine dayanan bir deney düzeneği gama ölçümlerinde kullanılan yerleşim düzenine benzer şekilde oluşturulmuştur. Çalışmamızda nötron ölçümleri için İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, TRIGA Mark-II Reaktör holünde oluşturulan deney düzeneğinden yararlanılmıştır (Şekil 4.7). Deney düzeneği, nötron kaynağı (hovitzer) ve dedektörden oluşmaktadır.



Şekil 4.7 Nötron ölçüm sistemi.

4.2.2.1 Nötron kaynağı

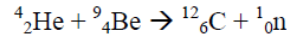
İzotop nötron kaynakları küçük boyutlarda ve portatif olmaları dolayısıyla diğer nötron kaynaklarına göre daha avantajlı olabilmektedir. En önemli özelliklerinden biri yüksek gerilim değerlerine ihtiyaç duymamalarıdır. Bu özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılabilir. Nötron aktivasyon analizi ve monitör

kalibrasyonu tarzında çalışmalar bunlara örnek olarak verilebilir. Nötron kaynakları genellikle (α,n) ve (γ,n) reaksiyonları ile elde edilirler. Alfa yayını yapan radyum, polonyum, plütonyum ve amerisyum gibi ağır elementlerin berilyum ve boron gibi hafif elementlerle karıştırılıp kapsül haline getirilmesi ile oluşturulan nötron kaynakları yaygın kullanıma sahiptir (Shultis, 2002). Çizelge 4.4'te bazı nötron kaynaklarının ortalama enerji ve yarı ömür değerleri verilmiştir (Shani, 1990).

Çizelge 4.4: Bazı nötron kaynaklarının yarı ömür ve ortalama enerji değerleri.

Kaynak	Yarı Ömür	Ortalama Enerji
$^{226}\text{RaBe}$	1600Yıl	3.9MeV
^{226}RaB	1600Yıl	3.0MeV
$^{239}\text{PuBe}$	24100Yıl	4.5MeV

Bu çalışmada nötron kaynağı olarak Nükleer Chicago Şirketin'den temin edilen Pu-Be hovitzer kullanılmıştır. Şekil 4.8'te plütonyum ve berilyumun birleştirilmesi ile oluşan nötron kaynağının reaksiyonu verilmiştir.



Şekil 4.8 Pu-Be nötron kaynağının reaksiyonu (Harvey, 2010).

Şekil 4.9'da görülen Pu-Be nötron kaynağının aktivitesi 5 Ci olup yaklaşık nötron akı değeri 10^6 n/cm² s'dir. Çizelge 4.4'te belirtildiği gibi Pu-Be kaynağının ortalama enerji değeri 4.5 MeV'dir. 2,5 cm kalınlığına sahip parafin vaks nötronları yavaşlatmak için kullanılmıştır. Nötronları yavaşlatmaktaki amaç, nötronların deney malzemeleri ile olan etkileşimlerini artırmaktır (Büyük ve Tuğrul, 2014).



Şekil 4.9 Deneylerde kullanılan Pu-Be nötron kaynağı (Hovitzer).

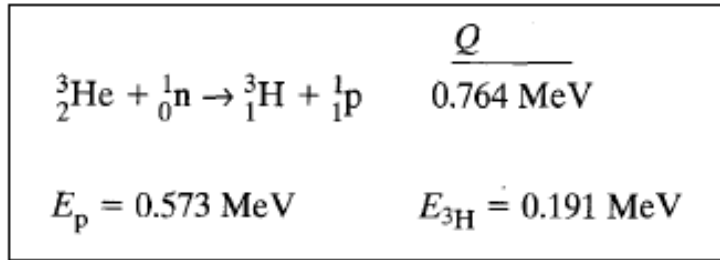
4.2.2.2 Nötron dedektörü

Çalışmamızda nötron ölçümleri Polimaster marka, PM1401k model dedektörle gerçekleştirilmiştir. Dedektör, nötronların yanısıra foton, alfa ve beta ölçümleri de yapabilmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Nötron ölçümlerinde kullanılan dedektör.

${}^3_2\text{He}(n,p){}^3_1\text{H}$ reaksiyonu bu dedektörle nötron ölçümünün çalışma prensibini oluşturmaktadır. Bu reaksiyonunun en önemli özelliği hem hızlı ve hem yavaş nötronların algılanması için oluşturulmuş sistemlerde kullanılabilmesidir (Knoll, 2002). Şekil 4.11’de reaksiyon ve enerji değerleri verilmiştir. Çizelge 4.5’de deneylerde kullanılan nötron dedektörünün bazı teknik özellikleri verilmiştir.



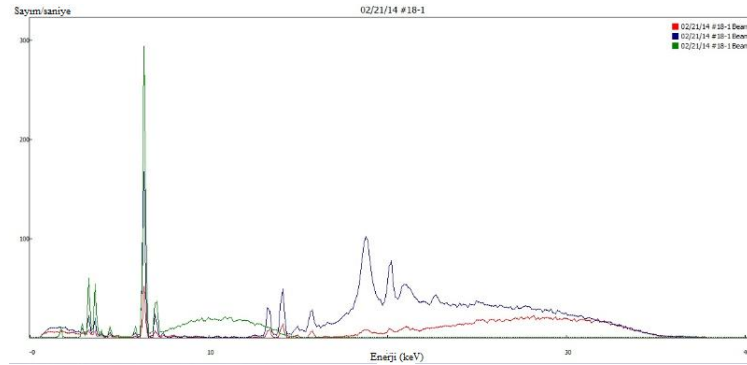
Şekil 4.11 ${}^3_2\text{He}(n,p){}^3_1\text{H}$ reaksiyonu (Knoll, 2002).

Çizelge 4.5 : Ölçümlerde kullanılan nötron dedektörünün bazı teknik özellikleri.

Özellik	Teknik Spesifikasyonları
Ortalama Ömrü	<10 yıl
Nötron Ölçüm Hassasiyeti	Pu- α -Be için $0,04 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ Pu- α -Be (moderatör ile birlikte) için $1.0 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ Yavaş nötronlar için $2.5 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$
Sayım Oranının Gösterge Aralığı	$0,01-999 \text{ s}^{-1}$

4.3 Granit Numunelerin Kimyasal Analizleri

Zayıflatma katsayısı teorik hesaplarında granit numunelerin kimyasal analizine ihtiyaç vardır. XRF tekniği güçlü analitik bir teknik olup hemen hemen örnek içinde bulunan her elementi tayin edebilmektedir. XRF tekniği, X ışınlarına maruz kalan malzemenin yayınladığı karakteristik X ışınlarının ölçülmesi esasına dayanır. Bu bilgiler ışığında oluşturulan spektrum çizgisi ile örneklerin içinde bulunan elementlerin kütleleri ve konsantrasyonları hakkında bilgi elde edilir (Gautlitz ve Voldinh, 2003). Şekil 4.12 de tezde kullanılan örneklerden biri olan Aksaray Yaylak granitinin XRF sonucu elde edilen spektrum analiz çizgisi verilmiştir.



Şekil 4.12 Aksaray yaylak granitinin XRF spektrumu.

Tez çalışmasında kullanılan granit blokların XRF ölçümleri Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi atık yönetim

biriminde bulunan sistem ile gerçekleştirilmiştir. XRF ölçümleri için, tane boyutu 2 mm'nin altında olacak şekilde öğütülen granit tozlarının homojen karışımları küçük kilitli poşetlere doldurulmuştur. XRF ölçümlerinde kullanılan sistem Olympus marka olup modeli Innov-X systems'dir. Cihazın kullanıldığı alanlar;

- ✓ Metal alaşımı analizi,
- ✓ Cevher analizi,
- ✓ Hurda proses işlemleri,
- ✓ Çevresel testler,
- ✓ Hafif element ve alüminyum analizidir.

Ölçümler toprak analizi modunda gerçekleştirilmiştir. Cihazın toprak analizi modu Compton normalizasyon metodunu içermektedir. Bu metot sayesinde düşük özkütleye sahip malzemelerin içinde bulunan yüksek atom numaralı elementler daha hassas bulunabilmektedir. Kalibrasyon standartları sayesinde cihaz içinde pik değerlerinin eğrileri oluşturulur. Ölçüm hatalarını minimize etmek için ölçümler üç kez tekrarlanmış, yapılan üç ölçümün ortalaması değerlendirilmiştir. Çizelge 4.6'da cihazın teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.6: XRF sistemi teknik özellikleri.

Ekipman Kısımları	Tanım
Uyarım kaynağı	4 watt X ışını tüpü, Anot Au, Ag, Rh veya Ta (Uygulamaya göre değişmektedir.) Gerilim değeri 8-40 keV, akım değeri 5 ile 200 μ A'dir.
Dedektör	Si PIN diyot veya Si sapma (drift) dedektör, termoelektriksel soğutma ve yüksek çözünürlüğe sahiptir.
Kalibrasyon Mastarı	Paslanmaz çelik alaşımı (316)

Kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışı incelenirken etkin atom numarasından yararlanılmaktadır. Granitlerin etkin atom numaraları (Z_{eff}), ağırlıkça yüzdeleri en yüksek olan ilk 6 bileşik (SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO , FeO ve Fe_2O_3) kullanılarak XMuDat programı ile hesaplanmış ve Çizelge 4.7'de XRF ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri ile birlikte verilmiştir (XMuDat, 1998)

Çizelge 4.7 : XRF ölçüm sonuçları (%).

Bileşik	Giresun Vizon	Aksaray Pembe	Aksaray Yaylak	Balaban Yeşil	Bergama Gri	Çanakkale Gri	Hisar Yaylak	Kozak
SiO ₂	73,87	79,92	79,29	77,33	77,21	76,41	78,47	77,52
Al ₂ O ₃	14,79	15,99	15,87	15,48	15,45	15,30	15,71	15,52
K ₂ O	6,24	3,24	3,01	2,69	3,34	3,83	2,06	2,79
CaO	2,07	0,28	1,56	2,07	2,13	2,41	1,99	2,15
FeO	1,36	0,24	0,01	1,09	0,86	0,91	0,81	0,94
Fe ₂ O ₃	0,98	0,17	0,00	0,80	0,63	0,66	0,59	0,69
TiO ₂	0,20	0,06	0,12	0,27	0,17	0,21	0,12	0,18
S	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,08	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05
Cl	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr	0,06	0,00	0,02	0,06	0,05	0,09	0,09	0,06
Ba	0,05	0,01	0,03	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04
V	0,04	0,00	0,02	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02
Rb	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Zr	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Th	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
Zn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Z _{eff}	13.24	12.21	12.22	12.79	12.74	12.84	12.58	12.73

4.4 Deneylerin Yapılışı

Gama radyasyonu deney düzeneği kullanılarak iki farklı radyoizotop ile sayımlar alınmıştır. Öncelikle kaynak ile dedektör arasında granit blok yokken başlangıç sayımları alınmıştır (I_0). Daha sonra granit blok varken sayımlar tekrarlanmıştır (I). Bu sayımlar her bir numune için en az 3'er kez tekrarlanmıştır. Kullanılan program Maestro 32 sayım değerlerini net alan olarak vermektedir. Net alan kavramı ortam radyasyonunun sayımlardan çıkartılmış halidir. Çok kanallı analizörün kalibrasyon işlemi Co-60 ve Cs-137 enerji pik değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6'da görüleceği üzere ölçümler gauss (normal) dağılımına sahiptirler. Sayım değerleri pik alanını olabildiğince kapsayacak ve hataları minimize edecek şekilde seçilmiştir. Maestro 32 seçilen alanın hata oranını da göstermektedir. Hata oranı alınan sayımların süresine bağlı olduğu gibi seçilen alana da bağlı olabilmektedir. Toplamda bu kanalların net alan değerleri ve sayım süresi sonucunda hata değerleri %5'in altında kalmıştır. Buna göre Co-60 için bir saat, Cs-137 için ise yarım saat

ölçümler alınması uygun olmuştur. Granit bloklarının farklı bölümlerinden mikrometre ile alınan ölçümlerin ortalaması granit bloğun kalınlığı olarak alınmıştır. Elde edilen kalınlık ve bağıl sayım değerleri kullanılarak her bir granit için lineer zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır (Denklem 3.10). Kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanabilmesi için granit blokların yoğunluk değerlerine ihtiyaç vardır. Bu yoğunluk değerleri granit üreticilerinden temin edilmiştir. Yoğunluk değerleri ve hesaplanan lineer zayıflatma katsayıları Denklem 3.11’de yerine konularak granitlerin kütle zayıflatma katsayıları bulunmuştur.

Toplam makroskopik tesir kesitlerinin tayininde de gama ölçümlerine benzer şekilde önce granit blok yokken (I_0) sayım değerleri alınmıştır. Daha sonra kalınlık artırılarak ölçümler tekrarlanmıştır (I). Granit varken elde edilen sayımlar başlangıç sayımlarına bölünerek “bağıl sayımlar” elde edilmiştir. Bağıl sayım sonuçlarının kalınlık ile değişim grafikleri Origin 8 programı ile çizilmiştir. Deneylerde her bir granit blok için nötron sayımları 10 saniyelik adımlarla toplam 60 saniyede alınmıştır. Ölçüm cihazının kullanım kılavuzunda malzeme ile dedektör arası mesafenin 10 cm’den küçük olması tavsiye edilmektedir. Ölçümler tavsiye edilen değerler çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

4.5 WINXCOM ve NCNR Analizi

Gamalar için kütle zayıflatma katsayılarının teorik hesaplamaları WINXCOM bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Winxcom, literatürde yaygın olarak kullanılan 16 bit dos uygulaması XCOM’un 32 bit windows platformudur. WINXCOM herhangi bir element, bileşik veya karışım için compton saçılması, fotoelektrik soğurma ve çift oluşumlarını içeren, kısmi veya toplam kütle zayıflatma katsayılarını 1 keV-100 GeV aralığında hesaplamak için kullanılan bir bilgisayar programıdır (Gerward ve diğ., 2004). XRF analiz sonuçları bu programa girilerek gama radyasyonu için teorik kütle zayıflatma katsayıları elde edilmiştir.

Nötronlar için toplam makroskopik tesir kesiti hesabı, Nist Nötron Araştırma Merkezinin internet ortamında yayınlamış olduğu NCNR programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu program elementlerin yanı sıra karışımlara da uygulanabilmektedir. Rezonans absorpsiyonun ihmal edildiği bu uygulamada teorik sonuçları elde etmek için üç ana bilgiye ihtiyaç vardır. Bunlar, kullanılan

malzemenin kimyasal bileşenleri, nötron kaynağının yayınım yaptığı nötronların dalga boyu ve malzemenin yoğunluk değerleridir. Deneysel ve teorik hesaplar için kullanılan yoğunluk değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir. Bu değerler üretici firmalardan temin edilmiştir.

Çizelge 4.8 Tüm granitlerin yoğunluk değerleri.

Granit	Aksaray Pembe	Aksaray Yaylak	Giresun Vizon	Çanakkale Gri	Hisar Yaylak	Bergama Gri	Kozak	Balaban Yeşil
Yoğunluk (g/cm ³)	2,61	2,62	2,67	2,66	2,64	2,66	2,65	2,71

Hesaplamalar epitermal enerji aralığı için yapılmıştır ve nötronların dalga boyu Denklem 3.8'den bulunmuştur.

5. DENEY SONUÇLARI

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında Türkiye’de üretilen ve kullanımı yaygın olan granit örneklerinin foton ve nötron radyasyonunu zayıflatma özellikleri irdelenmiştir. Bu amaçla Bölüm 4’te detayları verilen deney düzenekleri kullanılmış ve belli bir sistematik içinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar, çalışılan radyasyon tipleri ve enerjilerine göre ayrı tablolarda bir araya getirilmiştir. Ayrıca gama ve nötronlar için zayıflatma katsayıları ilgili bilgisayar programları kullanılarak da hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Deneysel ve teorik değerler gama ve nötronlar için ayrı başlıklar altında verilmiştir.

5.1 Gama Radyasyonu Sonuçları

Bu bölümde Co-60 ve Cs-137 kaynakları kullanılarak her bir granit numunesi için 3 farklı enerji değerine karşı gelen bağıl sayım, lineer ve kütle zayıflatma katsayısı, yarı kalınlık ve ortalama serbest yol değerleri elde edilmiştir.

Çalışılan enerji değerleri (662 keV, 1173 keV, 1332 keV) literatürde orta enerji aralığı (300 keV–3 MeV) olarak ifade edilen bölgede yer almaktadır (Singh ve Mudahar, 1992).

5.1.1 Deneysel olarak bulunan sonuçlar

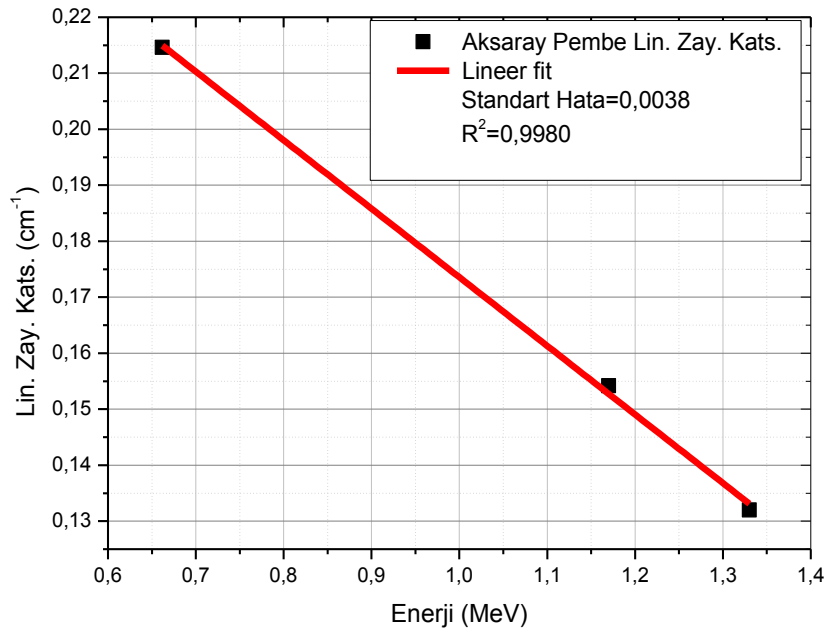
Aksaray Pembe graniti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1 ve 5.2’de, lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Aksaray Pembe granitinin farklı gama enerjileri için elde edilen sayım ve bağıl sayım değerleri.

Granit	Ölçüm No	Cs-137 (0,662 MeV)			Co-60 (1,17 MeV)			Co-60 (1,33 MeV)		
		I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o
Aksaray Pembe	1	5548	3854	0,695	35939	27872	0,776	33535	24384	0,727
	2	5558	3795	0,683	35392	26749	0,756	31945	26025	0,815
	3	5328	3840	0,721	37048	29175	0,787	32086	24264	0,756
	Ort.	5478	3830	0,699	36126	27932	0,773	32522	24891	0,765
	Std. Sapma (%)	2,37	0,80	2,78	2,34	4,35	2,03	2,71	3,95	5,86

Çizelge 5.2 Aksaray Pembe granitinin zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol değerleri.

Granit	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{\text{kütle}}$ (cm ² /g)	YTK (cm)	mfp (cm)
Aksaray Pembe	0,662	0,215±0,030	0,082	3,23	4,66
	1,17	0,154±0,020	0,059	4,49	6,48
	1,33	0,132±0,019	0,061	5,25	7,58



Şekil 5.1 Aksaray Pembe graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.

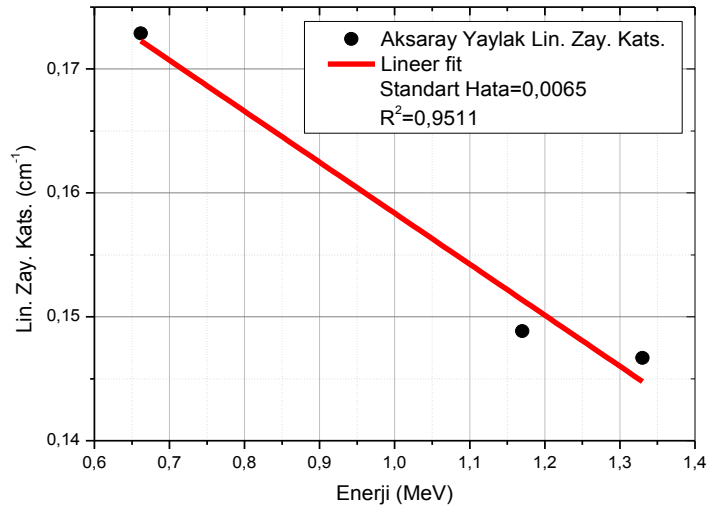
Aksaray Yaylak graniti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3 ve 5.4’de, lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Aksaray Yaylak granitinin farklı gama enerjileri için elde edilen sayım ve bağıl sayım değerleri.

Granit	Ölçüm No	Cs-137 (0,662 MeV)			Co-60 (1,17 MeV)			Co-60 (1,33 MeV)		
		I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o
Aksaray Yaylak	1	5446	3695	0,678	17547	12205	0,696	15934	11515	0,723
	2	5774	3906	0,676	17100	12521	0,732	16388	12409	0,757
	3	5475	3888	0,71	17085	12772	0,748	16296	11482	0,705
	Ort.	5565	3830	0,688	17244	12499	0,725	16206	11802	0,728
	Std. Sapma (%)	3,26	3,05	2,77	1,52	2,27	3,67	1,48	4,46	3,63

Çizelge 5.4 Aksaray Yaylak granitinin zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol değerleri.

Granit	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{k\u00fctle}$ (cm ² /g)	YTK (cm)	mfp (cm)
Aksaray Yaylak	0,662	0,173±0,026	0,066	4,01	5,78
	1,17	0,149±0,025	0,057	4,66	6,72
	1,33	0,147±0,023	0,056	4,73	6,82



Şekil 5.2 Aksaray Yaylak graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.

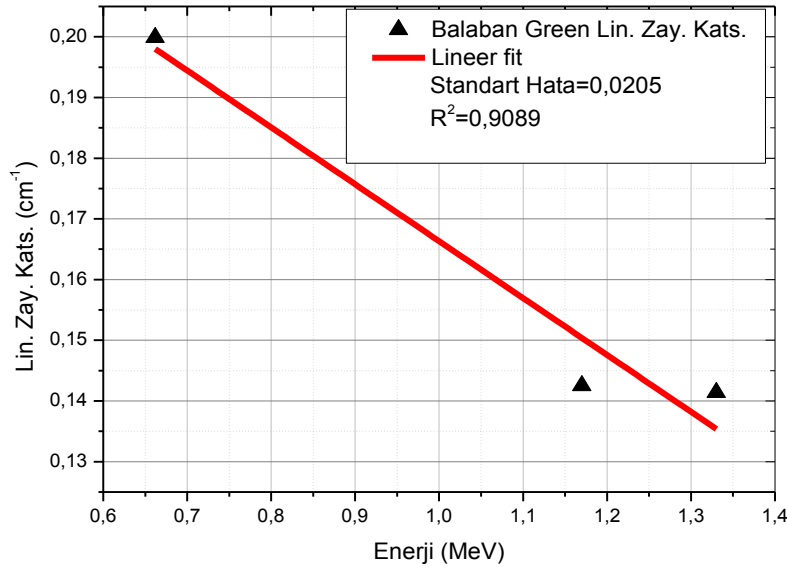
Balaban Yeşil graniti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5 ve 5.6'da, lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.5 Balaban Yeşil granitinin farklı gama enerjileri için elde edilen sayım ve bağıl sayım değerleri.

Granit	Ölçüm No	Cs-137 (0,662 MeV)			Co-60 (1,17 MeV)			Co-60 (1,33 MeV)		
		I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o
Balaban Green	1	5446	4076	0,748	17547	13541	0,772	15807	12294	0,778
	2	5774	3673	0,636	17100	13356	0,781	16388	11761	0,718
	3	5475	3547	0,648	17943	12912	0,72	15634	12230	0,782
	Ort.	5565	3765	0,677	17530	13270	0,757	15943	12095	0,759
	Std. Sapma (%)	3,26	7,34	9,08	2,41	2,44	4,35	2,48	2,41	4,72

Çizelge 5.6 Balaban Yeşil granitinin zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol sonuçları.

Granit	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{\text{kütle}}$ (cm ² /g)	YTK (cm)	mfp (cm)
Balaban Yeşil	0,662	0,200±0,025	0,074	3,47	5,00
	1,17	0,143±0,026	0,053	4,86	7,02
	1,33	0,141±0,025	0,052	4,90	7,07



Şekil 5.3 Balaban Yeşil graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.

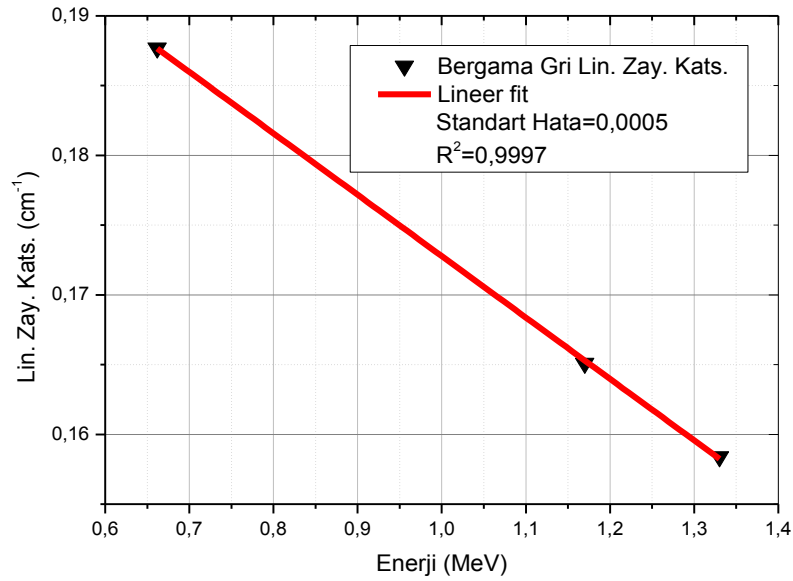
Bergama Gri graniti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7 ve 5.8’da, lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Bergama Gri granitinin farklı gama enerjileri için elde edilen sayım ve bağıl sayım değerleri.

Granit	Ölçüm No	Cs-137 (0,662 MeV)			Co-60 (1,17 MeV)			Co-60 (1,33 MeV)		
		I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o
Bergama Gri	1	5581	3827	0,686	37889	26869	0,709	33524	24232	0,723
	2	5558	3620	0,651	37518	26092	0,695	34448	23314	0,677
	3	5435	3578	0,658	38002	26275	0,691	33863	24650	0,728
	Ort.	5525	3675	0,665	37803	26412	0,699	33945	24065	0,709
	Std. Sapma (%)	1,42	3,63	2,79	0,67	1,54	1,35	1,38	2,84	3,97

Çizelge 5.8 Bergama Gri granitinin zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol sonuçları.

Granit	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{k\u00fctle}$ (cm ² /g)	YTK (cm)	mfp (cm)
Bergama Gri	0,662	0,188±0,023	0,065	3,69	5,33
	1,17	0,165±0,017	0,062	4,20	6,06
	1,33	0,158±0,016	0,060	4,38	6,31



Şekil 5.4 Bergama Gri graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.

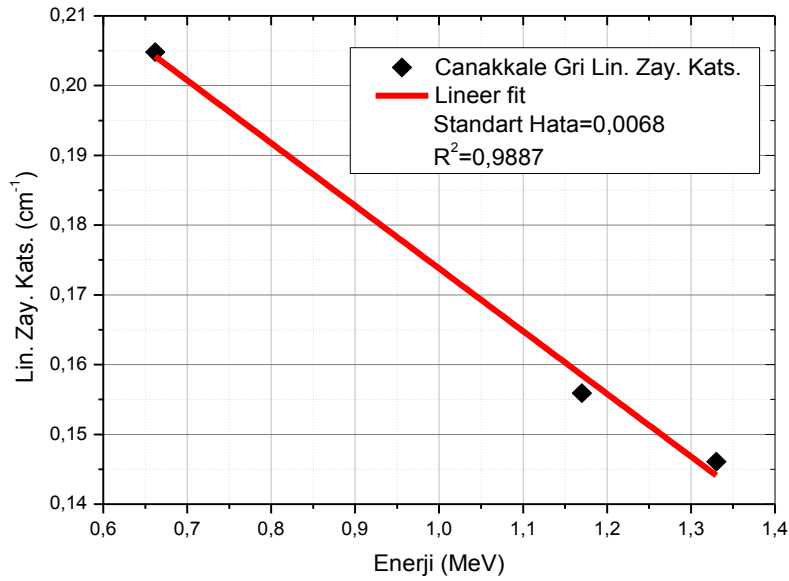
Çanakkale Gri graniti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9 ve 5.10'da, lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.9 Çanakkale Gri granitinin farklı gama enerjileri için elde edilen sayım ve bağıl sayım değerleri.

Granit	Ölçüm No	Cs-137 (0,662 MeV)			Co-60 (1,17 MeV)			Co-60 (1,33 MeV)		
		Io	I	I/Io	Io	I	I/Io	Io	I	I/Io
Çanakkale Gri	1	5935	3737	0,63	35506	27183	0,766	31452	24217	0,77
	2	5719	3775	0,66	35094	27336	0,779	30797	25677	0,834
	3	4967	3741	0,753	34422	27219	0,791	31853	23885	0,75
	Ort.	5540	3751	0,677	35007	27246	0,778	31367	24593	0,784
	Std. Sapma (%)	9,17	0,56	9,47	1,56	0,29	1,61	1,70	3,88	5,60

Çizelge 5.10 Çanakke Gri granitinin zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol sonuçları.

Granit	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{k\u00fctle}$ (cm ² /g)	YTK (cm)	mfp (cm)
Çanakkale Gri	0,662	0,207±0,024	0,078	3,34	4,83
	1,17	0,133±0,019	0,050	5,20	7,51
	1,33	0,129±0,019	0,049	5,36	7,73



Şekil 5.5 Çanakkale Gri graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.

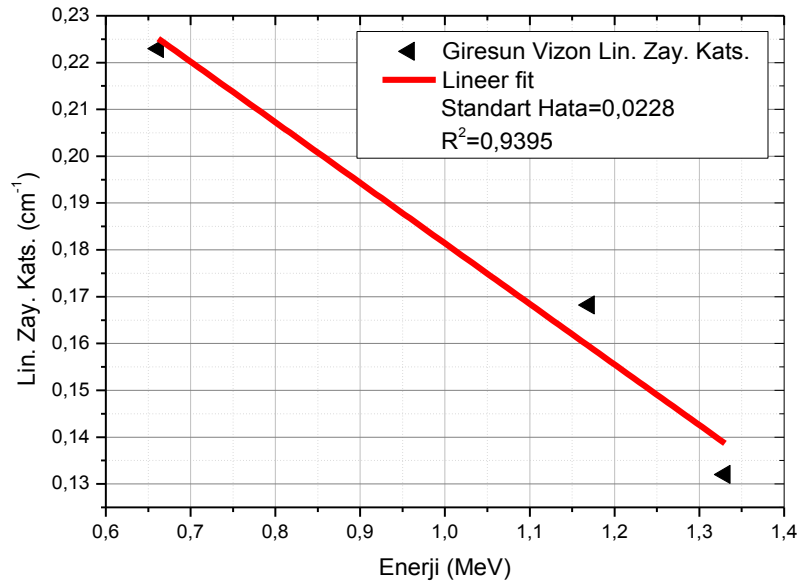
Giresun Vizon graniti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.11 ve 5.12’de, lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.6’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 Giresun Vizon granitinin farklı gama enerjileri için elde edilen sayım ve bağıl sayım değerleri.

Granit	Ölçüm No	Cs-137 (0,662 MeV)			Co-60 (1,17 MeV)			Co-60 (1,33 MeV)		
		I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o
Giresun Vizon	1	5825	3602	0,618	23561	17519	0,744	21881	16669	0,762
	2	5773	3779	0,655	24526	17148	0,699	22186	17088	0,77
	3	5857	3722	0,635	24021	16597	0,691	21741	16588	0,763
	Ort.	5818	3701	0,636	24036	17088	0,711	21936	16782	0,765
	Std. Sapma (%)	0,73	2,44	2,91	2,01	2,71	4,02	1,04	1,60	0,57

Çizelge 5.12 Giresun Vizon granitinin zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol sonuçları.

Granit	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{k\u00fctle}$ (cm ² /g)	YTK (cm)	mfp (cm)
Giresun Vizon	0,662	0,223±0,024	0,084	3,11	4,48
	1,17	0,168±0,023	0,063	4,12	5,95
	1,33	0,132±0,020	0,050	5,25	7,58



Şekil 5.6 Giresun Vizon graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.

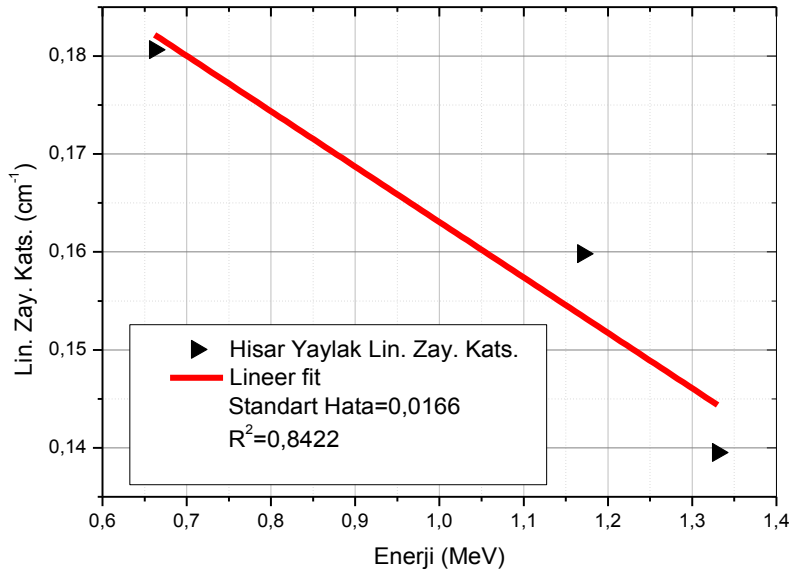
Hisar Yaylak graniti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13 ve 5.14’da, lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.13 Hisar Yaylak granitinin farklı gama enerjileri için elde edilen sayım ve bağıl sayım değerleri.

Granit	Ölçüm No	Cs-137 (0,662 MeV)			Co-60 (1,17 MeV)			Co-60 (1,33 MeV)		
		I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o
Hisar Yaylak	1	5446	3887	0,714	35506	24351	0,686	31452	22595	0,718
	2	5774	3635	0,63	36239	24052	0,664	30797	22256	0,723
	3	5475	3475	0,635	34422	24977	0,726	31853	23313	0,732
	Ort.	5565	3666	0,659	35389	24460	0,691	31367	22721	0,724
	Std. Sapma (%)	3,26	5,67	7,15	2,58	1,93	4,55	1,70	2,38	0,98

Çizelge 5.14 Hisar Yaylak granitinin zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol sonuçları.

Granit	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{\text{kütle}}$ (cm ² /g)	YTK (cm)	mfp (cm)
Hisar Yaylak	0,662	0,181±0,024	0,068	3,84	5,54
	1,17	0,160±0,016	0,061	4,34	6,26
	1,33	0,140±0,015	0,053	4,97	7,17



Şekil 5.7 Hisar Yaylak graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.

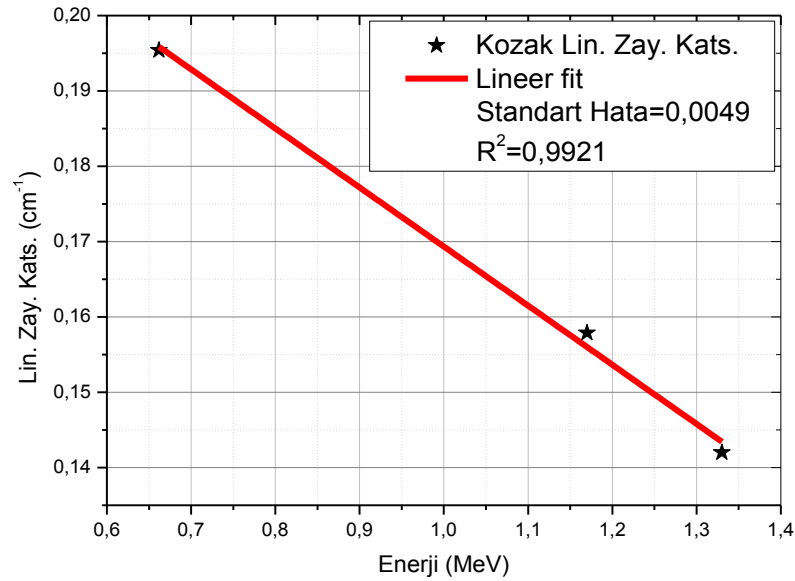
Kozak graniti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.15 ve 5.16'da, lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.15 Kozak granitinin farklı gama enerjileri için elde edilen sayım ve bağıl sayım değerleri.

Granit	Ölçüm No	Cs-137 (0,662 MeV)			Co-60 (1,17 MeV)			Co-60 (1,33 MeV)		
		I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o	I _o	I	I/I _o
Kozak	1	5522	3648	0,6606	35506	25779	0,726	31452	22935	0,729
	2	5547	3612	0,6512	36239	24962	0,689	30797	22702	0,737
	3	5569	3639	0,6534	34422	24692	0,717	31853	23553	0,739
	Ort.	5546	3633	0,6551	35389	25144	0,711	31367	23063	0,735
	Std. Sapma (%)	0,42	0,52	0,75	2,58	2,25	2,71	1,70	1,91	0,72

Çizelge 5.16 Kozak granitinin zayıflatma katsayıları, yarı tabaka kalınlığı ve ortalama serbest yol sonuçları.

Granit	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{\text{kütle}}$ (cm ² /g)	YTK (cm)	mfp (cm)
Kozak	0,662	0,195±0,021	0,074	3,55	5,12
	1,17	0,158±0,017	0,060	4,39	6,33
	1,33	0,142±0,016	0,054	4,88	7,04



Şekil 5.8 Kozak graniti için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi.

5.1.2 Gama radyasyonu teorik sonuçları

Kütle zayıflatma katsayısının teorik hesabı XRF ölçümleri ile elde edilen analiz sonuçlarının WINXCOM programına girilmesi ile elde edilmiştir. Çizelge 5.17’de teorik sonuçlar yer almaktadır.

Çizelge 5.17 WINXCOM programı ile elde edilen sonuçlar.

Granit	Foton Enerji (MeV)	μ (cm ⁻¹)	$\mu_{\text{kütle}}$ (cm ² /g)	mfp (cm)	YTK (cm)
Aksaray Pembe	0,662	0,201	0,077	4,97	3,45
	1,17	0,153	0,059	6,54	4,53
	1,33	0,143	0,055	6,98	4,84
Giresun Vizon	0,662	0,206	0,077	4,87	3,37
	1,17	0,157	0,059	6,39	4,43
	1,33	0,147	0,055	6,82	4,73
Bergama Gri	0,662	0,205	0,077	4,88	3,39
	1,17	0,156	0,059	6,41	4,45
	1,33	0,146	0,055	6,85	4,74
Çanakkale Gri	0,662	0,205	0,077	4,88	3,39
	1,17	0,156	0,059	6,41	4,45
	1,33	0,146	0,055	6,85	4,74
Kozak	0,662	0,203	0,077	4,92	3,41
	1,17	0,155	0,058	6,46	4,48
	1,33	0,145	0,055	6,90	4,78
Aksaray Yaylak	0,662	0,200	0,077	5,00	3,46
	1,17	0,152	0,058	6,56	4,55
	1,33	0,143	0,055	7,01	4,86
Hisar Yaylak	0,662	0,203	0,077	4,92	3,41
	1,17	0,155	0,059	6,46	4,48
	1,33	0,145	0,055	6,90	4,78
Balaban Yeşil	0,662	0,209	0,077	4,79	3,32
	1,17	0,159	0,059	6,29	4,36
	1,33	0,149	0,055	6,72	4,66

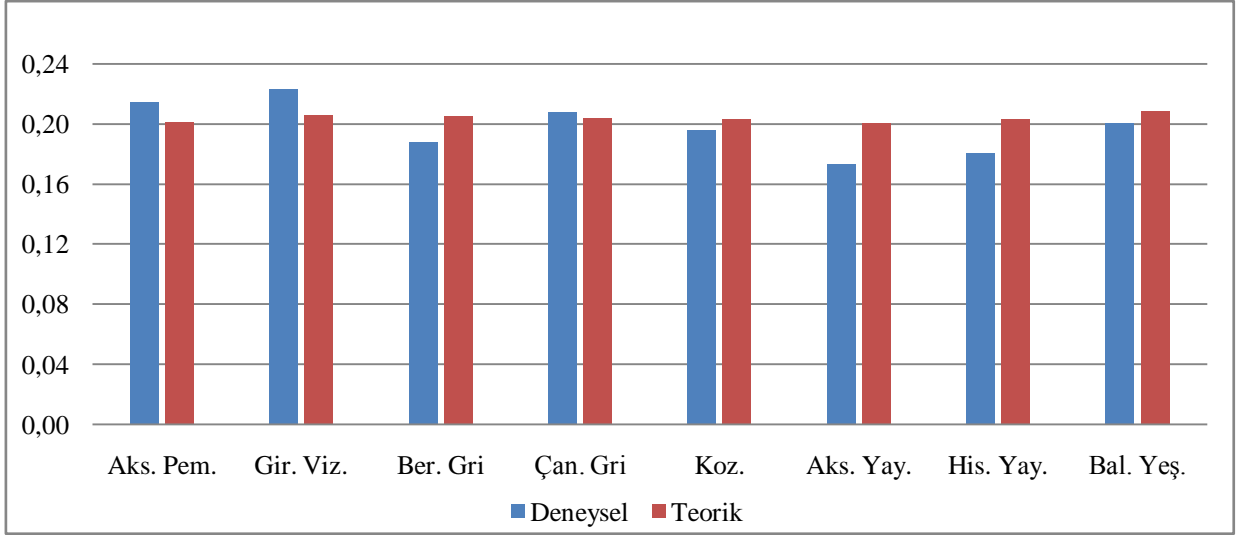
5.1.3 Gama radyasyonu için deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılması

Bu bölümde WINXCOM bilgisayar programı kullanılarak elde edilen teorik değerler deneysel verilerle mukayese edilmiştir. Çizelge 5.18’de deneysel ve teorik yöntemle bulunan lineer zayıflatma katsayıları mutlak fark yüzdeleri ile birlikte verilmektedir.

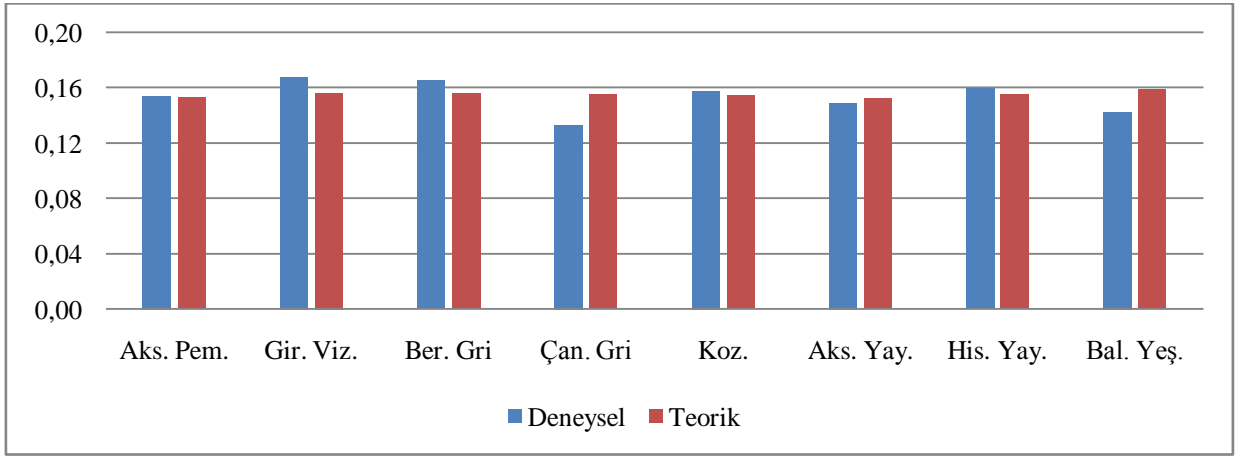
Çizelge 5.18 Deneysel ve teorik sonuçlar.

Granit	Enerji (MeV)	Deneysel (cm-1)	Teorik (cm-1)	Mutlak Fark (%)
Aksaray Pembe	0,662	0,215	0,201	7
	1,17	0,154	0,153	1
	1,33	0,132	0,143	8
Giresun Vizon	0,662	0,223	0,206	9
	1,17	0,168	0,157	7
	1,33	0,132	0,147	10
Bergama Gri	0,662	0,188	0,205	8
	1,17	0,165	0,156	6
	1,33	0,158	0,146	8
Çanakkale Gri	0,662	0,207	0,204	2
	1,17	0,133	0,155	16
	1,33	0,129	0,145	12
Kozak	0,662	0,195	0,203	4
	1,17	0,158	0,155	2
	1,33	0,142	0,145	2
Aksaray Yaylak	0,662	0,173	0,2	14
	1,17	0,149	0,152	2
	1,33	0,147	0,143	3
Hisar Yaylak	0,662	0,181	0,203	11
	1,17	0,16	0,155	3
	1,33	0,14	0,145	4
Balaban Yeşil	0,662	0,2	0,209	4
	1,17	0,143	0,159	10
	1,33	0,141	0,149	5

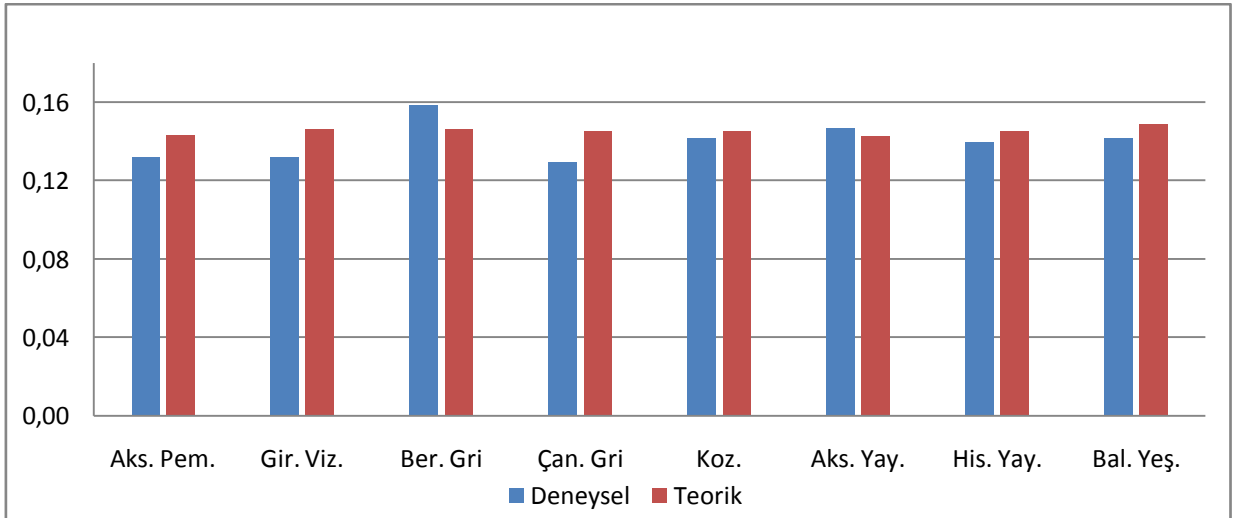
Farklı gama enerjileri için deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırmalı grafiği Şekil 5.9'da görülmektedir.



a) 0.662 MeV



b) 1.17 MeV



c) 1.33 MeV

Şekil 5.9 Farklı gama enerjileri için deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılması.

Çalışmamızda incelenen granitlerin foton zayıflatma katsayılarını diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırmak için bu konuda yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır. Türkiye’de yaygın olarak kullanılan inşaat malzemelerinin foton zayıflatma katsayıları, granitler için elde edilen zayıflatma katsayıları ile birlikte Çizelge 5.19’da verilmektedir.

Çizelge 5.19 Türkiye’de yaygın kullanımı olan inşaat malzemelerinin foton zayıflatma katsayıları.

Malzeme	Foton Enerjisi (MeV)	μ (cm ² /g)	μ (cm ⁻¹)
Granit (Bu çalışma)	0,662	0,065-0,084	0,181-0,223
	1,17	0,050-0,063	0,133-0,168
	1,33	0,049-0,061	0,132-0,158
Granit (Mavi, 2012)	0,662	-	0,214-0,234
	1,17	-	0,120-0,161
	1,33	-	0,130-0,152
Gaz Beton (Damla ve diğ., 2009)	0,662	0,07	-
	1,17	0,054	-
	1,33	0,046	-
Kiremit (Damla, 2009)	0,662	0,072-0,078	-
	1,17	0,055-0,060	-
	1,33	0,053-0,056	-
Tuğla (Damla, 2009)	0,662	0,072-0,077	-
	1,17	0,055-0,060	-
	1,33	0,053-0,056	-
Beton (Akkurt, 2010)	0,662	0,249-0,269	-
	1,17	0,166-0,182	-
	1,33	0,157-0,173	-

5.2 Nötron Sonuçları

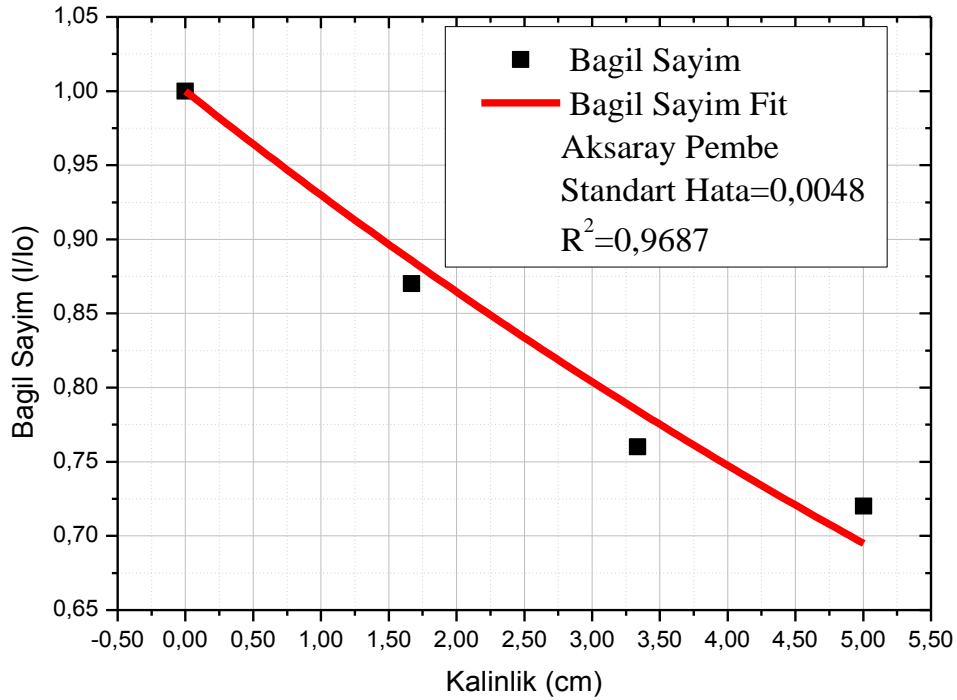
Nötron ölçümlerinde parafin wax ile zırhlanan Pu-Be kaynağından elde edilen epitermal nötron akısı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir granit örneğinin bağıl sayım değerleri 3 farklı kalınlık için elde edildikten sonra toplam makroskopik tesir kesitleri, yarı tabaka kalınlıkları ve ortalama serbest yol değerleri bulunmuştur.

5.2.1 Deneysel olarak bulunan sonuçlar

Aksaray Pembe graniti için elde edilen sayım sonuçları Çizelge 5.20’de ve bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi Şekil 5.10’da verilmektedir.

Çizelge 5.20 Aksaray Pembe graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri.

Granit	Zaman (s)	x			2x		3x	
		I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
Aksaray Pembe	10	1193	1023	0,8575	865	0,7251	834	0,6991
	20	2383	2029	0,8514	1766	0,7411	1624	0,6815
	30	3533	3086	0,8735	2622	0,7421	2448	0,6929
	40	4744	3945	0,8316	3509	0,7397	3262	0,6876
	50	5936	4882	0,8224	4405	0,7421	4053	0,6828
	60	7134	5908	0,8281	5290	0,7415	4877	0,6836
	Std Sapma (%)		0,46	2,24	2,36	0,77	0,91	1,06

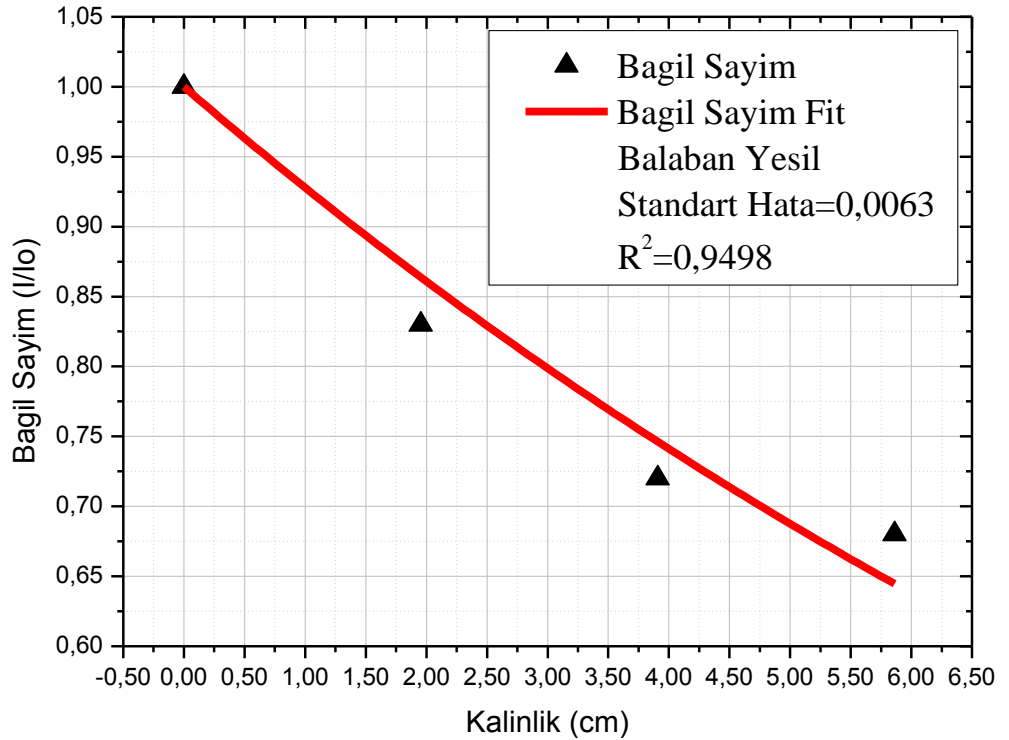


Şekil 5.10 Aksaray Pembe granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Balaban Yeşil graniti için elde edilen sayım sonuçları Çizelge 5.21’de ve bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi Şekil 5.11’de verilmektedir.

Çizelge 5.21 Balaban Yeşil graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri.

Granit	Zaman (s)	x			2x		3x	
		I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
Balaban Yeşil	10	1081	994	0,9195	832	0,7697	742	0,6864
	20	2205	1903	0,8630	1665	0,7551	1523	0,6907
	30	3271	2853	0,8722	2474	0,7563	2283	0,6980
	40	4482	3808	0,8496	3352	0,7479	3094	0,6903
	50	5650	4804	0,8503	4188	0,7412	3838	0,6793
	60	6851	5779	0,8435	4997	0,7294	4655	0,6795
	Std Sapma (%)	2,13	1,71	3,24	0,58	1,85	1,59	1,05

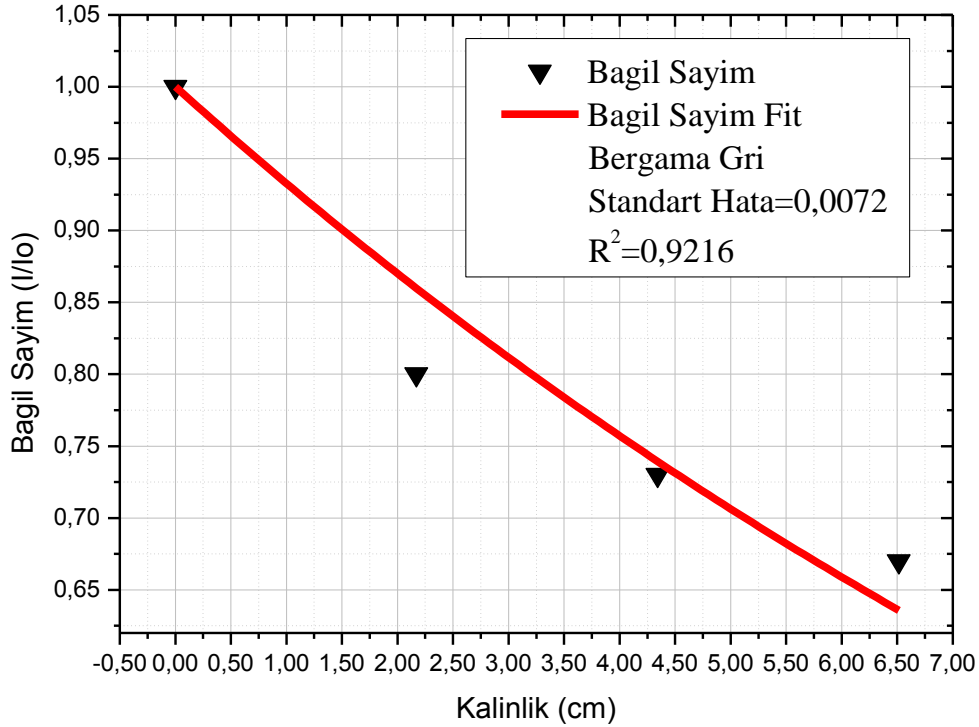


Şekil 5.11 Balaban Yeşil granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Bergama Gri graniti için elde edilen sayım sonuçları Çizelge 5.22’de ve bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi Şekil 5.12’de verilmektedir.

Çizelge 5.22 Bergama Gri graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri.

Granit	Zaman (s)	x			2x		3x	
		I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
Bergama Gri	10	1213	1023	0,8434	865	0,7131	834	0,6876
	20	2429	2029	0,8353	1766	0,7270	1624	0,6686
	30	3633	3086	0,8494	2622	0,7217	2448	0,6738
	40	4819	3945	0,8186	3509	0,7282	3262	0,6769
	50	6057	4882	0,8060	4405	0,7273	4053	0,6691
	60	7263	5908	0,8134	5290	0,7283	4877	0,6715
	Std Sapma (%)	0,28	2,24	2,11	0,77	0,83	1,06	1,05

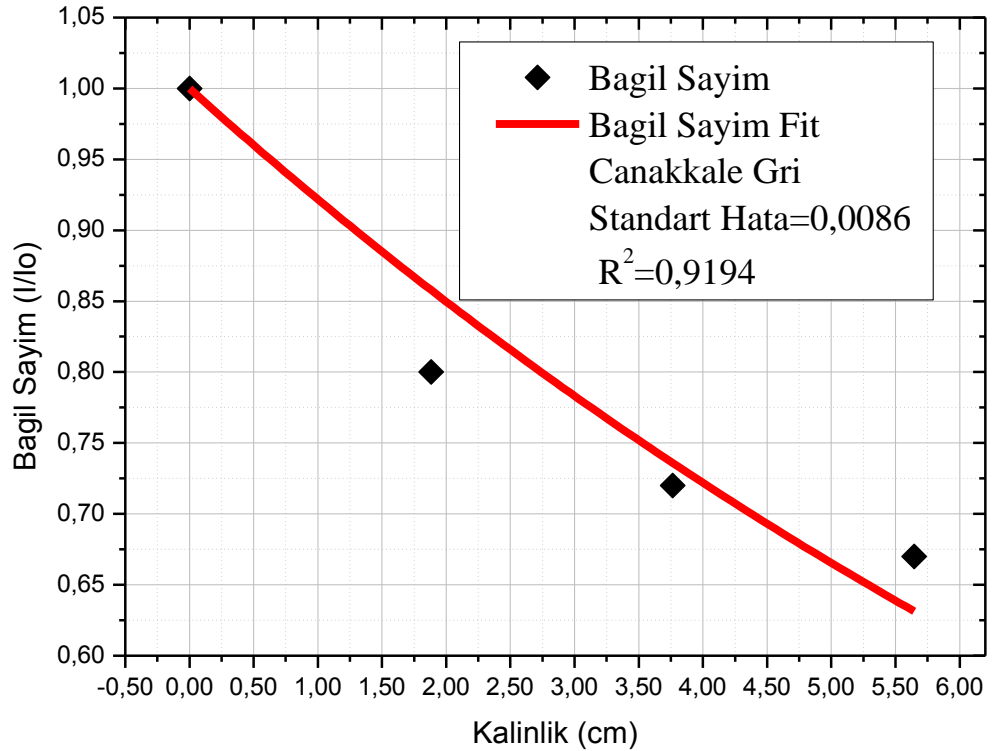


Şekil 5.12 Bergama Gri granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Çanakkale Gri graniti için elde edilen sayım sonuçları Çizelge 5.23’de, bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi Şekil 5.13’de verilmektedir.

Çizelge 5.23 Çanakkale Gri graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri.

Granit	Zaman (s)	x			2x		3x	
		I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
Çanakkale Gri	10	1085	974	0,8977	848	0,7816	766	0,7060
	20	2243	1885	0,8404	1657	0,7387	1509	0,6728
	30	3399	2769	0,8147	2462	0,7243	2291	0,6740
	40	4536	3715	0,8190	3261	0,7189	3064	0,6755
	50	5604	4623	0,8249	4100	0,7316	3813	0,6804
	60	6736	5488	0,8147	4932	0,7322	4541	0,6741
	Std Sapma (%)	1,60	2,29	3,84	1,42	3,04	0,64	1,88

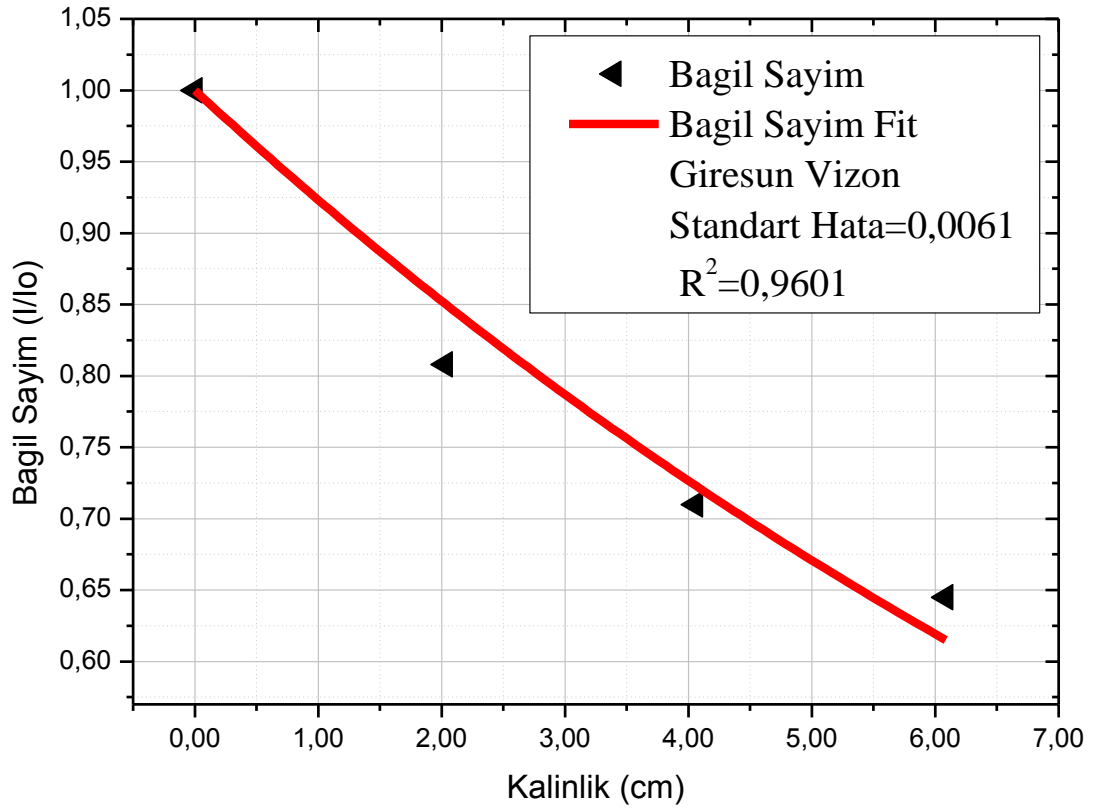


Şekil 5.13 Çanakkale Gri granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Giresun Vizon graniti için elde edilen sayım sonuçları Çizelge 5.24’de, bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi Şekil 5.14’de verilmektedir.

Çizelge 5.24 Giresun Vizon graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri.

Granit	Zaman (s)	x			2x		3x	
		I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
Giresun Vizon	10	1183	1023	0,8648	865	0,7312	834	0,7050
	20	2342	2029	0,8664	1766	0,7541	1624	0,6934
	30	3537	3086	0,8725	2622	0,7413	2448	0,6921
	40	4742	3945	0,8319	3509	0,7400	3262	0,6879
	50	5872	4882	0,8314	4405	0,7502	4053	0,6902
	60	7067	5908	0,8360	5290	0,7485	4877	0,6901
	Std Sapma (%)	0,45	2,24	2,27	0,77	1,12	1,06	0,88

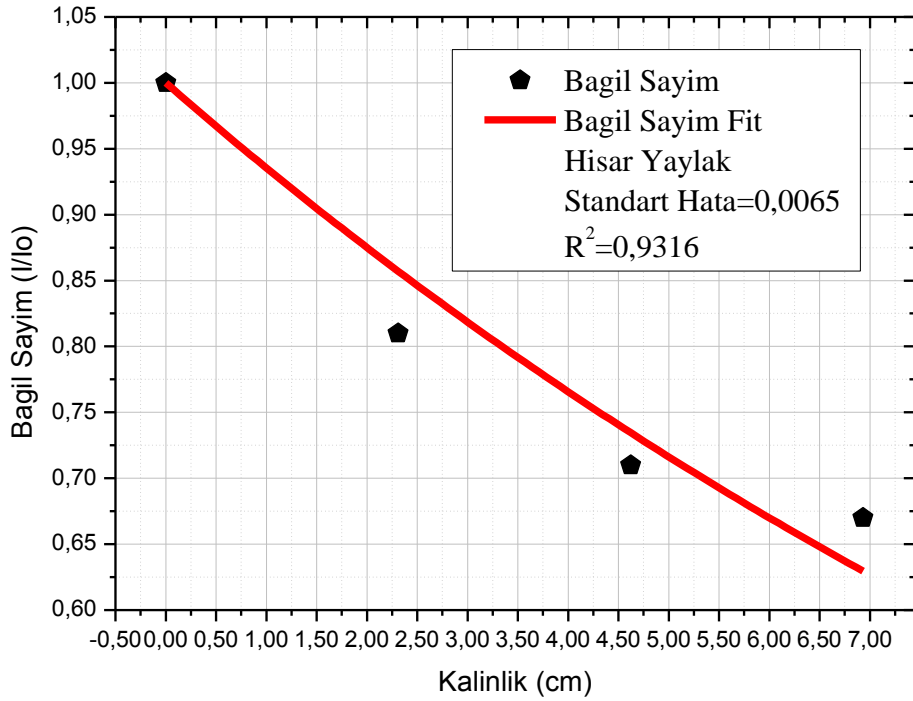


Şekil 5.14 Giresun Vizon granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Hisar Yaylak graniti için elde edilen sayım sonuçları Çizelge 5.25’de, bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi Şekil 5.15’de verilmektedir.

Çizelge 5.25 Hisar Yaylak graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri.

Granit	Zaman (s)	x			2x		3x	
		I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
Hisar Yaylak	10	985	829	0,8416	790	0,8020	708	0,7188
	20	2105	1648	0,7829	1556	0,7392	1379	0,6551
	30	3215	2509	0,7804	2302	0,7160	2110	0,6563
	40	4253	3359	0,7898	3046	0,7162	2800	0,6584
	50	5307	4256	0,8020	3819	0,7196	3535	0,6661
	60	6311	5141	0,8146	4574	0,7248	4241	0,6720
	Std Sapma (%)	3,01	1,50	2,90	1,47	4,53	1,00	3,61

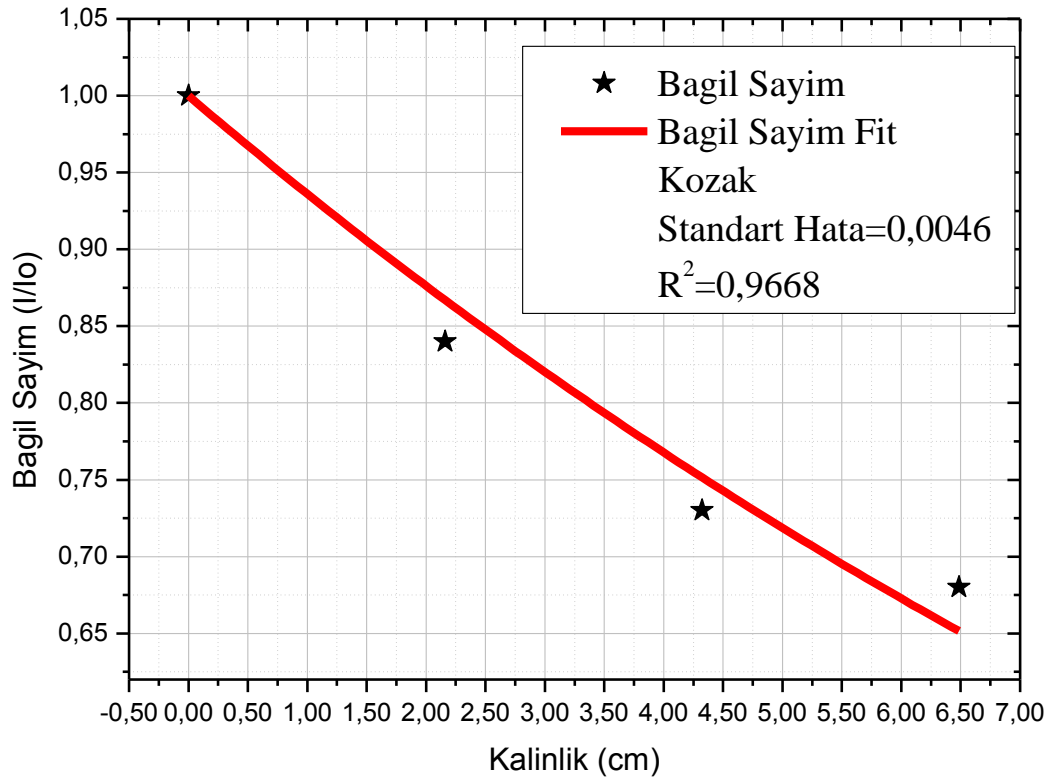


Şekil 5.15 Hisar Yaylak granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Kozak graniti için elde edilen sayım sonuçları Çizelge 5.26'da, bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi Şekil 5.15'de verilmektedir.

Çizelge 5.26 Kozak graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri.

Granit	Zaman (s)	x			2x		3x	
		I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
Kozak	10	1212	1001	0,8259	826	0,6815	778	0,6419
	20	2430	1986	0,8173	1769	0,7280	1550	0,6379
	30	3598	2956	0,8216	2646	0,7354	2371	0,6590
	40	4814	3963	0,8232	3470	0,7208	3198	0,6643
	50	5915	5013	0,8475	4362	0,7374	4011	0,6781
	60	7206	6004	0,8332	5225	0,7251	4788	0,6644
	Std Sapma (%)	0,94	0,70	1,31	2,45	2,84	1,47	2,31

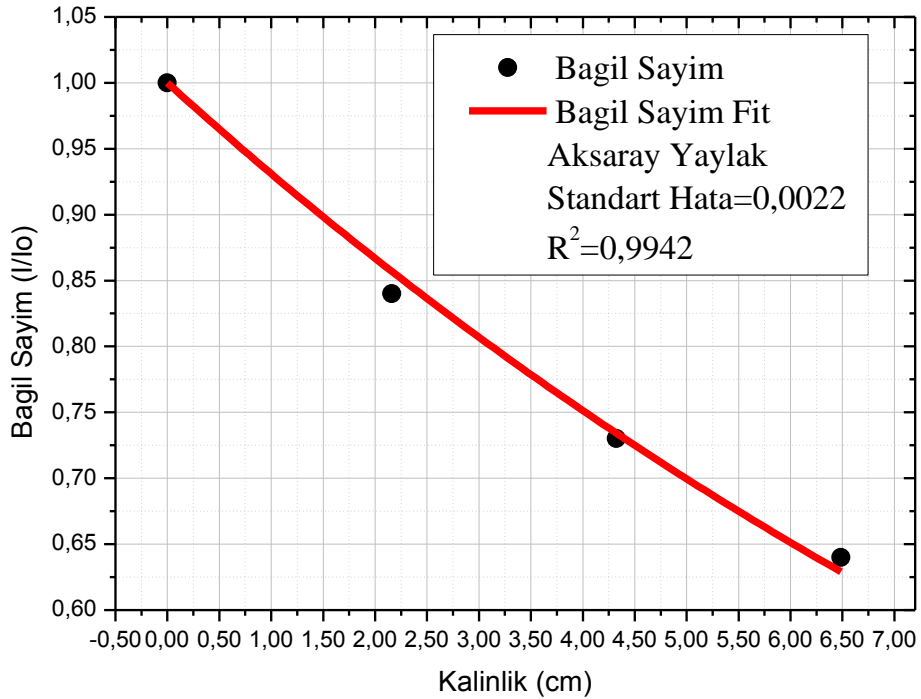


Şekil 5.16 Kozak granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Aksaray Yaylak graniti için elde edilen sayım sonuçları Çizelge 5.27’de, bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi Şekil 5.16’da verilmektedir.

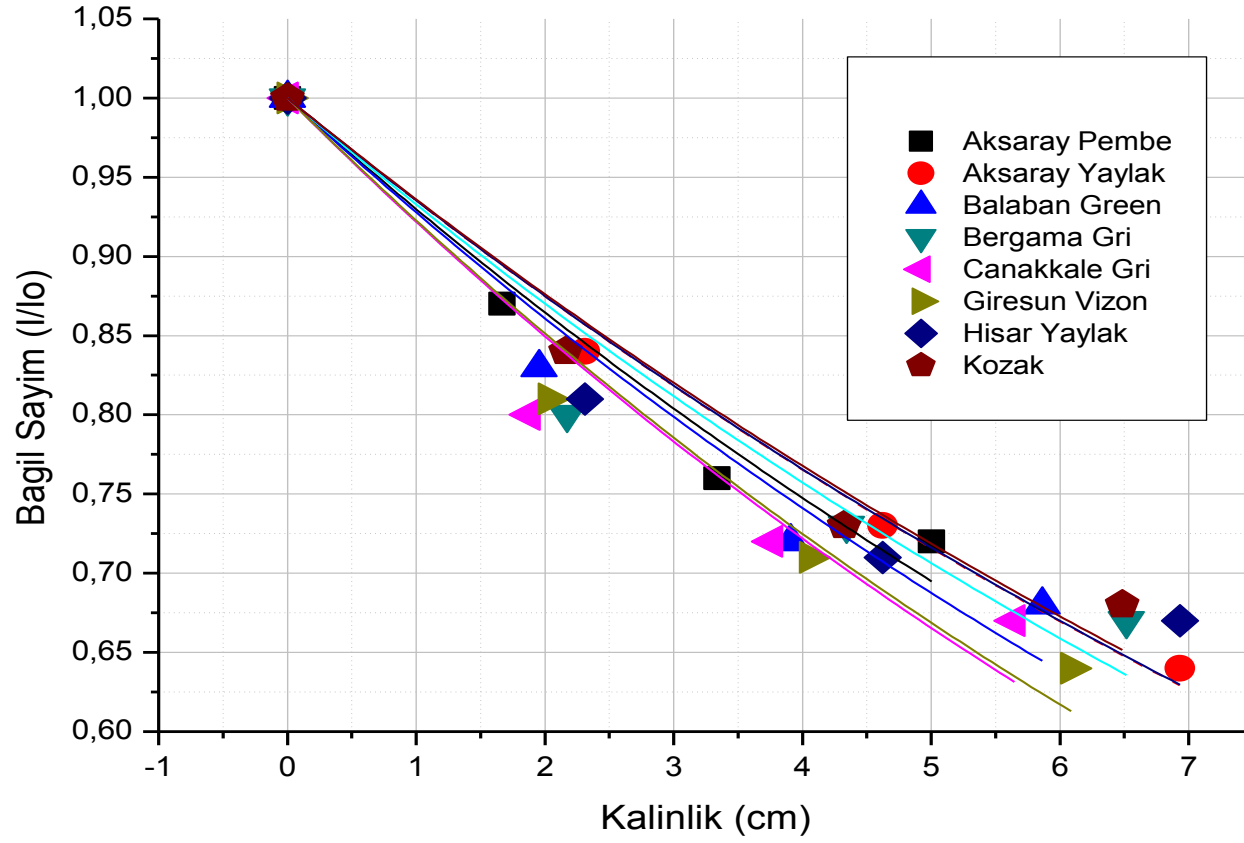
Çizelge 5.27 Aksaray Yaylak graniti için elde edilen nötron bağıl sayım değerleri.

Granit	Zaman (s)	x			2x		3x	
		I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀	I	I/I ₀
Aksaray Yaylak	10	1087	877	0,8068	738	0,6789	675	0,6210
	20	2128	1754	0,8242	1475	0,6931	1361	0,6396
	30	3178	2608	0,8206	2213	0,6963	2000	0,6293
	40	4219	3496	0,8286	2977	0,7056	2683	0,6359
	50	5261	4337	0,8244	3755	0,7137	3322	0,6314
	60	6316	5286	0,8369	4528	0,7169	4015	0,6357
	Std Sapma (%)	1,24	0,59	1,21	1,01	2,02	0,87	1,04



Şekil 5.17 Aksaray Yaylak granitinin bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Şekil 5.18’de çalışılan granitlerin, nötronlar için bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi bir arada verilmektedir.



Şekil 5.18 Nötronlar için bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişimi.

Toplam makroskopik tesir kesitlerinin belirlenmesinde bağıl sayımların kalınlıkla değişimini gösteren grafiklerinden yararlanılmıştır (Şekil 5.9-5.17). Çizelge 5.28’de her bir granit için toplam makroskopik tesir kesitleri ve ortalama serbest yol değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.28 Granitlerin toplam makroskopik tesir kesitleri, yarı tabaka kalınlıkları ve ortalama serbest yol değerleri.

Granit	Toplam makroskopik tesir kesiti (cm⁻¹)	Yarı tabaka kalınlık (cm)	Ortalama serbest yol (cm)
Aksaray Pembe	0,053	13.03	18,80
Giresun Vizon	0,056	12.36	17,83
Bergama Gri	0,041	16.92	24,41
Çanakkale Gri	0,047	14.69	21,19
Kozak	0,050	13.86	20,00
Aksaray Yaylak	0,043	16.12	23,26
Hisar Yaylak	0,043	16.12	23,25
Balaban Yeşil	0,053	13.08	18,86

5.2.2 Nötronlar için elde edilen teorik sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

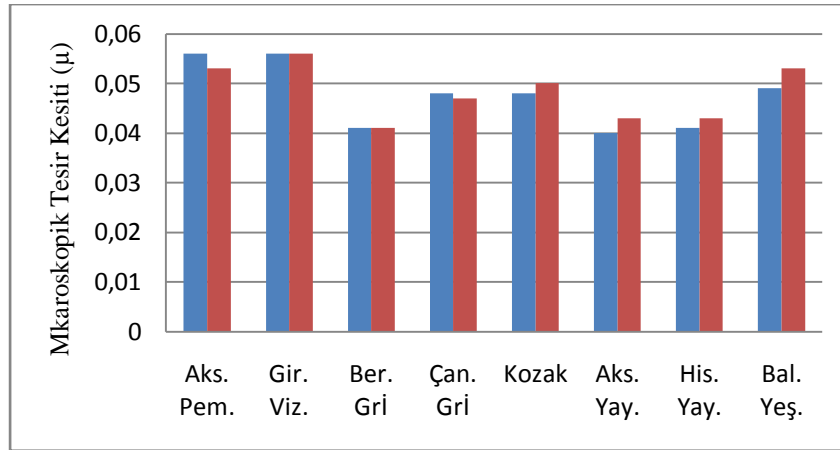
Daha önce de belirtildiği üzere teorik hesaplamalar Nist Nötron Araştırma Merkezinin internet ortamında yayınlamış olduğu uygulama ile gerçekleştirilmiştir. XRF sonuçları bu uygulamada da kullanılmış ve teorik sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.29’da kütle zayıflatma katsayılarının teorik ve deneysel değerleri mutlak fark yüzdeleri ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.29 Nötronlarla elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar.

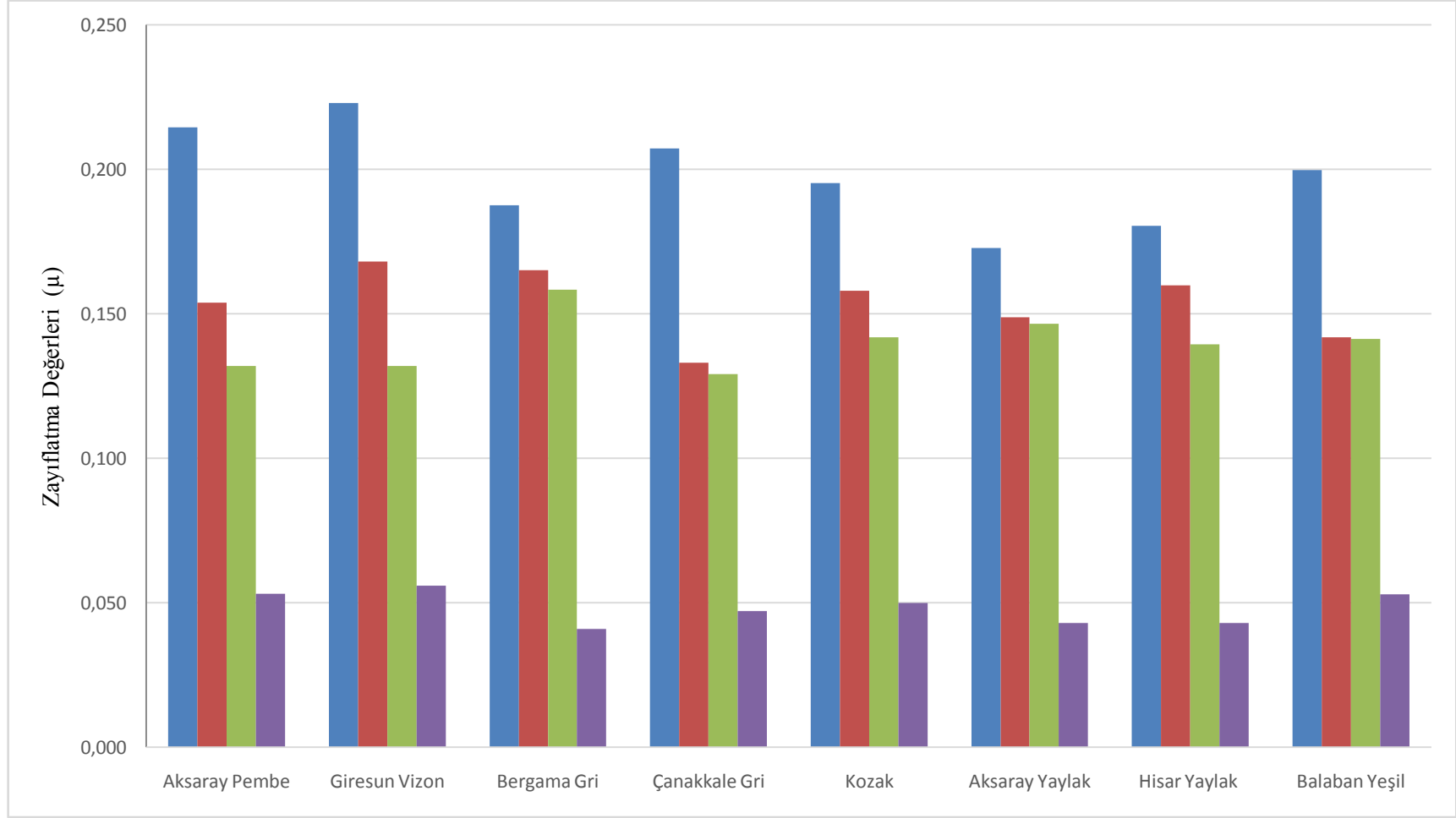
Granit	Toplam Makroskopik Tesir Kesiti		Mutlak Fark (%)
	Teorik $\mu(\text{cm}^{-1})$	Deneysel $\mu(\text{cm}^{-1})$	
Aksaray Pembe	0,056	0,053	5,02
Giresun Vizon	0,056	0,056	0,13
Bergama Grİ	0,041	0,041	0,10
Çanakkale Gri	0,048	0,047	1,69
Kozak	0,048	0,050	4,19
Aksaray Yaylak	0,040	0,043	7,48
Hisar Yaylak	0,041	0,043	4,90
Balaban Yeşil	0,049	0,053	8,18

Şekil 5.19’da deneysel ve teorik toplam makroskopik tesir kesitlerini birarada veren grafik görülmektedir.



Şekil 5.19 Nötronlar için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırmalı grafiği.

Şekil 5.20’de 0.662 MeV, 1.17 MeV, 1.33 MeV enerjili gama ışınları için elde edilen lineer zayıflatma katsayıları ve nötronlar için elde edilen toplam makroskopik tesir kesiti değerleri çalışılan granitler için bir arada verilmektedir.



Şekil 5.20 Granitlerin gama ve nötronlar için zayıflatma özelliklerinin karşılaştırılması.

6. SONUÇLAR

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, Türkiye’de üretilen ve yaygın kullanımı olan granit türlerinin gama ve nötronları zayıflatma özellikleri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Çalışmanın deneysel bölümünde gama ve nötron geçirgenlik teknikleri çerçevesinde dar demet koşullarında çalışılmıştır. Gama radyasyonu ile çalışılırken iki farklı radyoizotop kullanılmıştır. Bunlar iki farklı enerjide foton salınımı yapan Co-60 ve tek enerjide foton salınımı yapan Cs-137 radyoizotoplarıdır. Nötron ölçümlerinde Pu-Be nötron kaynağı kullanılmıştır. Parafin wax ile zırhlanan Pu-Be kaynağından elde edilen epitermal nötron akısı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel sonuçlarını sınamak amacıyla granit blokların gama radyasyonu için kütle zayıflatma katsayıları WINXCOM bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. Nötronların teorik hesabı NIST Nötron Araştırma Merkezinin internet ortamında yayınladığı NCNR uygulaması ile yapılmıştır. Nötron ve gama radyasyonlarının teorik hesapları için gerekli olan kimyasal analiz işlemi XRF tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Gama radyasyonu ile gerçekleştirilen deneysel çalışmaların ilk bölümünde, 3 farklı foton enerjisi için elde edilen bağıl sayım sonuçları ve granitlerin kalınlık değerleri kullanılarak lineer zayıflatma katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 5.1 – Çizelge 5.16). Deneysel sonuçlarımıza göre 0.662 MeV enerji değeri için elde edilen lineer zayıflatma katsayıları 0.173 cm⁻¹ (Aksaray Yaylak) ile 0.223 cm⁻¹ (Giresun Vizon) arasında değişmektedir. Diğer enerji değerlerinden 1.17 MeV için 0.133 cm⁻¹ (Çanakkale Gri) ile 0.168 cm⁻¹ (Giresun Vizon) arasında ve 1.33 MeV için 0.129 cm⁻¹ (Çanakkale Gri) ile 0.158 cm⁻¹ (Bergama Gri) arasında sonuçlar elde edilmiştir.

Granit örnekleri için lineer zayıflatma katsayısının enerji ile değişimi Şekil 5.1- Şekil 5.8’de verilmiştir. Bu grafiklerde foton enerjisi arttıkça lineer zayıflatma katsayısının azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni düşük enerjilere gidildikçe fotoelektrik olayın daha baskın olmasıdır. Fotoelektrik etki ile soğurulan fotonun fazla olması

zayıflatma katsayısının da daha büyük olması anlamına gelmektedir. Artan gama enerjileri ile lineer zayıflatma katsayılarındaki bu düşüş literatürle de uyumlu olup beklenti doğrultusundadır.

Çalışmamızda incelenen granitlerin kimyasal yapılarındaki bileşik yüzdeleri birbirine oldukça yakındır (Çizelge 4.7). Demir oranının en fazla olduğu Giresun Vizon graniti en yüksek gama radyasyonu zayıflatma katsayısına sahipken en düşük demir oranına sahip Aksaray Yaylak granitinin en düşük gama radyasyonu zayıflatma katsayısına sahip olduğu görülmüştür.

Gama radyasyonu için zayıflatma katsayılarının yanı sıra özellikle zırlama hesaplarında önem arz eden yarı tabaka kalınlık ve ortalama serbest yol değerleri de bu çalışmada hesaplanmıştır. Lineer zayıflatma katsayısının aksine artan foton enerjisi ile birlikte yarıdeğer kalınlık ve ortalama serbest yol değerleri artmaktadır. Sonuçlar lineer zayıflatma katsayısı ile ters orantılı olup en yüksek lineer zayıflatma katsayısına sahip granitin en düşük yarı tabaka kalınlığına sahip olduğu gözlenmiştir. Çalışılan en yüksek enerji değeri olan 1.33 MeV için yarı tabaka kalınlık ve ortalama serbest yol değerleri sırasıyla 4.38 cm (Bergama Gri) - 5.36 cm (Çanakkale Gri) ve 6.31 cm (Bergama Gri) -7.73 cm (Çanakkale Gri) arasında değişmektedir.

Gama radyasyonu için elde edilen deneysel ve teorik değerleri karşılaştırabilmek amacı ile verilen Çizelge 5.18 ve Şekil 5.9 sonuçların genel olarak uyumlu olduğunu, deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki mutlak farkın %1 ile %14 arasında değiştiğini göstermektedir. Granitlerin zayıflatma katsayıları, literatürde yer alan diğer yapı malzemeleri ile bir arada değerlendirildiğinde (Çizelge 5.19) betonun lineer zayıflatma katsayısından düşük, gaz beton, kiremit ve tuğla ile yakın değerlerde olduğu söylenebilir.

Deneysel çalışmaların ikinci bölümünde nötron geçirgenlik tekniği ile 3 farklı granit kalınlığı için bağıl sayım değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.20- Çizelge 5.27). Bu veriler kullanılarak Origin 8 programı ile bağıl sayım değerlerinin kalınlıkla değişim grafikleri (Şekil 5.10 -Şekil 5.17) çizilmiştir. Bu grafiklerden faydalanılarak toplam makroskopik tesir kesitlerine ulaşılmıştır (Çizelge 5.28). Buna göre makroskopik tesir kesitinin en düşük potasyum miktarı içeren Bergama Gri granitinin en düşük tesir kesitine sahip olduğu (0.041 cm^{-1}) ve en yüksek potasyum miktarını içeren Giresun Vizon granitinin en yüksek tesir kesiti değerine sahip olduğu gözlenmiştir

(0.056 cm^{-1}). Diğer önemli parametreler olan yarı tabaka kalınlık ve ortalama serbest yol değerleri için en yüksek değerler Bergama Gri'de (16.92 cm ve 24.41 cm) ve en düşük değerler Giresun Vizon (12.36 cm ve 17.83 cm) granitinde elde edilmiştir.

Nötronlar için elde edilen deneysel ve teorik değerleri karşılaştırabilmek amacı ile verilen Çizelge 5.29 ve Şekil 5.18 sonuçların uyumlu olduğunu, deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki mutlak farkın %0.1 ile %8.2 arasında değiştiğini göstermektedir.

Çalışmamızda incelenen granitlerin, gamaları zayıflatma özelliklerinin nötronlara nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 5.20). Buna bağlı olarak yarı tabaka kalınlıkları ve ortalama serbest yol değerleri nötronlar için gamalara nazaran daha büyük olmaktadır. Bu durum, çalışılan enerji değerleri ve granitlerin etkin atom numaraları dikkate alındığında beklenen bir sonuçtur.

Özet olarak; bu yüksek lisans tez çalışmasıyla, Türkiye'de üretilen ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan granitlerin gama ve nötron radyasyonuna karşı davranışları teorik ve deneysel yöntemle incelenmiştir. Böylece Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları ve Pu-Be nötron kaynağı ile elde edilen deneysel sonuçlar, bilgisayar programları kullanılarak teorik yoldan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akbal S.,**(1999). Toprak Numunelerde Foton Zayıflatma Katsayısının İncelenmesi (yüksek lisans tezi), İTÜ Enerji Enstitüsü.
- Akcan, D.,**(2013). İletken $Zn_{1-x}Mg_{0.05}Al_xO$ İnce Filmlerin Radyasyon Karşısındaki Davranışlarının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, İstanbul.
- Akkurt, İ., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kılıçarslan, S., Başyigit, C.,** (2010)., Photon Attenuation of Concrete Includes Barite in Different Rate, Annals of Nuclear Energy, 37, 910-914, 2010.
- Akyıldırım H.,** (2011)Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Arastırılması (doktora tezi).
- Altınoy N, Baydoğan N.D,** (2012). Radyasyondan Korunma ve Sağlık Fiziği Ders Notları. İTÜ Enerji Enstitüsü.
- Aybers N., Bayülken A.,** (1992) Nükleer Reaktörlerin Güvenliği, İTÜ.
- Baltacıoğlu, N.,**(1995).Gama geçirgenliği ile yoğunluk tayini (yüksek lisans tezi)
- Bilge, A.N., Tuğrul A.B.,** (1990). Endüstriyel Radyografinin Esasları, *İTÜ Rektörlük Ofset Atölyesi*, İstanbul.
- Büyük, B., Tuğrul A.B., Akarsu C., Addemir A.O.,** (2012). Gamma Attenuation Behavior of h-BN and h-BN-TiB₂ Composites, Acta Phys. Pol, A121, 135.
- Büyük, B., Tuğrul A.B.,**(2014). Gamma and Neutron Attenuation Behaviours of Boron Carbide Silicon Carbide Composites, Annals of Nuclear Energy, 71, 46-51.
- Çetin E.,**(2010), Granitik Kayaçların Radyolojik ve Minerolojik Yönden İncelenmesi (yüksek lisans tezi)

- Çetin E., Altınsoy, N., Örgün, Y.,** (2010a)., Natural Radioactivity Levels of Granites Used in Turkey, In-situ Nuclear Metrology as a tool for Radioecology (INSINUME 2010), 20-23 October 2010, Dubna, Russia.
- Çetin E., Altınsoy, N., Örgün, Y.,** (2010b)., Natural Radioactivity Levels of Granites Used in Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 151/2, 299-305, 2012.
- Cember E., Johnson, T.E.,** (2009)., Introduction to Health Physics, 4th Edition, McGraw Hill, 888 s., New York.
- Damla, N.,**(2009).Türkiye'deki Bazı İnşaat Malzemelerinde Doğal Radyoaktiflik Seviyelerinin ve Kütle Soğurma Katsayılarının Belirlenmesi (doktora tezi)
- Damla, U., Çecik, U., Kobya, A.I, Çelik, A, Grieken, R.V., Kobya, Y.,** (2009)., Characterization of Gas Concrete Materials Used in Building of Turkey, Journals of Hazardous Materials,168, 681-687, 2009.
- DOE.,**(1995). Doe Occupational Radiation Exposure, 1992-1995 Report. DOE/EH-0533, U.S.A.
- DOE.,**(1997). Doe Occupational Radiation Exposure, 1992-1995 Report. DOE/EH-0575, U.S.A.
- Eaves. G.,**(1964), Principles of Radiation Protection, Iliffe Books L.T.D. 185. S., London.
- El-Dine, N.W., El-Shershaby, A., Ahmed, F., Abdel-Halem, A.S,** (2001). Measurement of Radioactivity and Radon Exhalation Rate in Different Kinds of Marble and Granites, *Applied Radiation and Isotopes* 55, 853-860.
- EPA.,**(2012). Radiation: Facts, Risks and Realities, United States Environmental Protection Agency, 402-k-10-008.
- Földiák,** (1986).Industrial Applications of Radioisotopes, Institute of Isotopes of Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary.
- Gauglitz, G., Vo-Dinh T.,** (2003). The Handbook of Spectroscopy.

- Gerward L. Gulbert N. Jensen K.B. Levring H.,**(2004). A Program For Calculating X-Ray Attenuations Coefficients, *Radiation Physics AND Chemistry* 71 653-654.
- Glastone ve Sesonske,** (1981). Nuclear Reactor Engineering, V.N. Reinhold Company, USA.
- Günaydın E,** (2014). Nötronlara Maruz Kalmış ZnO:/Al/p-Si Heterokavşakların Akım-Voltaj Karakteristiklerinde Oluşan Değişimlerin İncelenmesi (yüksek lisans tezi).
- Harvey Z.R.,** (2010).Neutron flux and energy characterization of a plutonium-beryllium isotopic neutron source by Monte Carlo simulation with verification by neutron activation analysis, University of Nevada Las Vegas Theses/Dissertations/Professional Papers/Capstones. Paper 900.
- ICRP.,**(1993). Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication 65, *Annals of the ICRP*, Pergamon Press, 23 (4), Oxford.
- ICRP.,**(1996). Conversion Coefficients for Use in Radiological protection. A joint report with ICRU. ICRP Publication 74, *Annals of the ICRP*, Pergamon Press, 26 (2), Oxford.
- Karagöz E.M.,**(2010). Gama Transmisyon Tekniği ile Al katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısındaki Değişimlerin İncelenmesi, (yüksek lisans tezi).
- Köklü N.,**(2006). Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri Ve Tıpta Uygulama Alanları,(yüksek lisans tezi).
- Knoll G.F.,**(2002). Radiation Detection and Measurement. University of Michigan
- Krane S.K.,**(1988). Nuclear Physics Vol 1. John Wiley&Sons. 404s, New York.
- Lamarsh, J. R.,**(1983) Introduction to Nuclear Engineering, 2nd Edition.
- L'Annunziata M. F.,** (2004) Handbook of Radioactivity Analysis, Nuclear Radiation, Its Interaction With Matter And Radioisotope Decay, *Worldtech International Technical Services*.
- Leroy, C.,** (2010), Radiation interaction with matters and principles of detection.

- Lowenthal, G. C., Airey. P. L.,** (2001), Practical Applications of Radioactivity and Nuclear Radiations. Cambridge University Pres, 367. S., Cambridge.
- Martin J.E.,** (2006). Physics for Radiation Protection, Second Edition, (Sf.332-335, Sf.382,), Wiley-VCH
- Mavi, B.,** (2012), Experimental Inverstigation of Gamma Ray Attenuation Coefficients for Granites, Annals of Nuclear Energy, 44, 22-25.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G., Çelebi, N.,** (2005). Natural Radioactivity Levels in Granitic Plutons and Groundwaters in Southeast Part of Eskisehir, Turkey, *Applied Radiation and Isotopes, Vol. 63, pp. 267-275.*
- Papaefthymiou H.,**(2008). Natural radioactivity content of granite tiles used in Greece. Radiation protection and dosimetry, 131/4, 541-544.
- Pavlidou S., Koroneos A., Papastefanou C., Christofides G., Stoulos S., Vavelides M.,**(2006),Natural radioactivity of granites as building materials J. Environ. Radioact. 89,48-60.
- Shani, G.,** (1990). Activation Analysis with Isotopic Sources, Activation Analysis, Vol 2. Alfassi, Z.B. 239-296.
- Shultis, J.K., Faw, R.E., S.P.,** (2002). Fundamentals of Nuclear Science and Engineering, Marcel Dekker Inc., 519 s., Kansas.
- Singh M. ve Mudahar G. S.,** (1992), Energy dependence of total photon attenuation coefficients of composite materials, Appl. Radiat. Isot. 43, 907-911.
- Şahin, L.,** (2010), Parçacıklar ve Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi.
- Taşkın H.,**(2006), İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü (yüksek lisans tezi).
- Togay, Y.E.,** (2002), Radyasyon ve Biz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, 37s. Ankara.
- Tuğrul, A. B.,**(2012). Radyasyon Fiziği Ders Notları, İTÜ Enerji Enstitüsü
- Varley F. S.,**(1992). Neutron Cross Section Table, Neutron News, Vol. 3 No.3 s. 29-37.

Wood J.,(1987). Computational Methods in Reactor Shielding, Pengamon Press.

XMuDAt: Photon attenuation data on PC, Version 1.0.1 of August 1998.

Yaşar, Ö., (2006). Türkiye Mermerlerindeki Doğal Radyonüklid İçeriğinin ve Radon Emanasyon Hızının Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Doktora tezi.

Yılmaz, E.,(2011). Bazı İnşaat Malzemelerinde Gama Işını Soğurma Katsayısı ve Nötron Tesir Kesitinin Belirlenmesi, (yüksek lisans tezi).

Uyamık, H.,(2008). Doğal Taşlar, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi.

Zikovsky, L. Kennedy, G., (1992). Radioactivity of building materials available in Canada,*Health Physics* 63(4): 449-452.

Url-1 <<http://www.ncnr.nist.gov/instruments/bt1/neutron.html>>, alındığı tarih: 01.10.2014

Url-2 <<http://www.emc2-explained.info/Emc2/Decay.htm#.VON7A-asVIw>>, alındığı tarih: 15.10.2014

Url-3 <<http://aklinaesen.blogspot.com.tr/2012/09/fisyon-cekirdek-parcalanmas.html>>, alındığı tarih: 15.10.2014

Ragheb, M., (2007). Attenuation of gamma radiation, alındığı tarih: 01.11.2014

<<http://mragheb.com/NPRE%20402%20ME%20405%20Nuclear%20Power%20Engineering/Attenuation%20of%20Gamma%20Radiation.pdf>>

Ragheb, M., (2013). Gamma ray interactions with matter, alındığı tarih: 01.11.2014

<<http://mragheb.com/NPRE%20402%20ME%20405%20Nuclear%20Power%20Engineering/Gamma%20Rays%20Interactions%20with%20Matter.pdf>>

ÖZGEÇMİŞ



AdıSoyadı: Osman ÖZYURT

Doğum Yeri ve Tarihi: DENİZLİ / 1987

Lisans: YEDİTEPE ÜNİVERSİTESİ - Fizik Bölümü / 2011

Mesleki Deneyim: S&Q MART A.Ş – Elektrik Lab. Müdürü / 2014 –

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Özyurt O., Altinsoy N., Buyuk B. Investigation of Gamma Ray and Neutron Attenuation Coefficient for Granites Produced in TURKEY, *4th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition*, 20-24 Nisan 2014, Fethiye, Muğla.