T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KALKER TOZU, KIRKLARELİ MERMERLERİ VE ALÜMİNYUM İÇİN GAMA ZAYIFLATMA KATSAYISININ HESAPLANMASI

DUYGU HATİPOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. NİMET ZAİM

EDİRNE-2017

Duygu HATİPOĞLU'nun hazırladığı "Kalker tozu, Kırklareli mermerleri ve alüminyum için gama zayıflatma katsayısının hesaplanması " başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Fizik Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad): İmza

Prof.Dr. Selim KARA .....

Doç.Dr. Azmi Ali ALTINTAŞ .....

Yrd.Doç.Dr. Nimet ZAİM .....

Tez Savunma Tarihi: 06/10/2017

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Yrd.Doç.Dr. Nimet ZAİM .....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....

Prof.Dr. Murat YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

10 / 09 / 2017

DUYGU HATİPOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Kalker Tozu, Kırklareli Mermerleri ve Alüminyum için Gama Zayıflatma Katsayısının Hesaplanması

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

ÖZET

Tüm canlılar kozmik ve karasal radyasyondan oluşan doğal ve aynı zamanda yapay radyasyona maruz kalırlar. Karasal radyasyona, toprak, su, hava ve bitkilerdeki radyasyon da katkıda bulunmaktadır. Yapay radyoaktivite kaynaklarının başında ise nükleer deneyler ve tedavideki uygulamaların sonucunda yayılan radyasyon gelmektedir. Bu nedenle, radyolojik ölçümler, çevresel ve özellikle; nükleer güç santrallerinin kullanımı, detektörlerin üretimi, hızlandırıcılar ve diğer nükleer araştırmaları içeren nükleer çalışmalar için önemlidir (Glenn, 2010).

Üç tip radyoaktivite; alfa (α), beta (β) ve gama (γ) önemlidir. Bunlardan gama yüksüz ve kütlesiz olduğundan, maddeden kolayca geçmekte ve nükleer çalışmalarda bu fotonlara karşı zırhlama problemi ortaya çıkmaktadır (Glenn, 2010). Kullanılan malzemeler için, çeşitli enerjilerde, gama soğurma katsayıları bilinmelidir.

Materyalden geçen gama radyasyonuna ait diğer parametrelerde bilinmelidir Bunlar kütle zayıflatma katsayısı, yarı değer kalınlığı, onda bir değer kalınlığı

Fotonların madde ile etkileşmesi sonucu, fotoelektrik olay (PE), Compton (C) ve çift oluşumu (PP) olayları gerçekleşmektedir. Bu nedenle toplam soğurma katsayısı

$$\mu = \mu_{PE} + \mu_{C} + \mu_{PP} \quad (1)$$

denklemi ile hesaplanır. Bu katsayının birimi, belli bir enerji için, soğurucu malzemenin birim uzunluğuna karşılık olarak, uzunluğun tersi ile (cm^{-1}) ile verilir (Stabin 2007).

Bu çalışmanın amacı, seçilen malzemelerin, çeşitli şartlarda, gama soğurma katsayılarını deneysel ve teorik olarak belirlemektir. Kırklareli mermerinin gama zayıflatma katsayıları farklı enerjiler, geometrilerle hesaplanmış kalker tozu alüminyum numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Deney seti hazırlandıktan sonra Beer-Lamberts

Kanunu; ile soğurma katsayısı hesaplanacaktır, burada x; örneğin kalınlığı, I0; belirlenen enerjide, soğurma söz konusu olmadan, gama ışınının yoğunluğunu gösteren sayım sayısı, I; soğurmadan sonra, gama ışınının yoğunluğunu gösteren sayım sayısıdır. (Medhat, 2009)

Araştırmalar sırasında kolaylık sağlayan diğer zayıflatma katsayısı olan kütle zayıflatma katsayısına da bakılmıştır. Kütle zayıflatma katsayısını (cm^{-2}/g) denklemi ile hesaplamaktayız.

Bu çalışmada kalker tozu, Kırklareli mermer örnekleri ve alüminyum, Cs-137, Co-60 radyoaktif kaynakları ile incelenecektir. Gama soğurma katsayısı, gama geçiş tekniği ile deneysel olarak tespit edilip, gama soğurma ve kütle soğurma katsayıları belirlenecektir. Teorik kütle soğurma katsayısının hesabı için XCOM bilgisayar programı kullanılacaktır (Buyuk, Tugrul, 2014; Berger vd., 2014). Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılacak ve literatürdeki sonuçlar ile tartışılacaktır.

Yıl : 2017

Sayfa Sayısı : 68

Anahtar Kelimeler :Gama Zayıflatma Katsayısı, Kırklareli Mermerleri, NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü

Master Thesis

An investigation on gamma attenuation coefficient of limestone powder,

Kırklareli Marbles and Aluminum Samples.

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Physics

ABSTRACT

All living beings are exposed to radiation from natural sources such as cosmic rays, terrestrial radionuclides in soil, water, air and plants; and from artificial sources such as radioactivity from nuclear experiments and medical applications. Therefore radiological measurements and radiation protection are important for environment and nuclear studies specifically for nuclear power plants, detector manufactures, accelerators, and other increasing use of radioactive isotopes in different fields, (Glenn 2010). The shielding is widely and effectively used method for protecting from radiation, in which naturally and composites materially are used.

The aim of this work is to determine,first time experimental and theoretical values of gamma-ray attenuation coefficients of Kırklareli marble for different conditions- photon energies, geometric locations. And the same investigation is carried out for limestone and aluminium to compare.

It should be important to study the different parameters; mass attenuation coefficient, half value layer, tent value layer, related to the passage of gamma radiation from material. Since we get the fraction energy scattered or absorbed of gamma radiation from investigated attenuation parameters, the coefficient becomes a necessary parameter for study of interaction of radiation.

Three types of radiations namely alpha (α), beta (β) and gamma (γ) are important. Since a γ-ray has no charge and mass, it can easily penetrate into matter, and thus the problem of shielding against these photons in nuclear science arises. The attenuation coefficient for γ-ray is determined accordingly different energetically in the medium of interest. The mechanisms of interaction between photons and medium are; Photoelectric (PE), Compton (C), and Pair Production (PP). So we are able to write that the total attenuation coefficient (μ) as

$\mu = \mu_{PE} + \mu_{C} + \mu_{PP}$.

The units of these coefficients is inverse length (e.g., cm^{-1}), since it is defined as the probability of a radiation interacting with atoms per unit path length in attenuating medium (Woods, 1982).

After the experimental assembly was prepared, the linear attenuation coefficients were calculated by using Beer-Lamberts Law: In this equation, I_0 is the number of counts regarding the intensity of gamma-ray photons, at a specific energy, without attenuation. I also, is the number of counts of gamma-ray photons that penetrated trough the absorber with attenuation of the sample, x is thickness of the sample. In this study marble from Kırklareli, aluminium and limestone powder were investigated against Cs-137, Co-60, gamma radioisotope sources. The gamma attenuation properties of the interested materials was used to investigate with the experiments due to gamma transmission technique.

The another attenuation coefficient can be defined for more convenience during investigation. The mass attenuation coefficient is calculated as (cm^2/g), that is independent of the mass.

Linear and mass attenuations of the samples are measured. Theoretical mass attenuation coefficient values were obtained by using XCOM computer code, due to (Berger and Hubbell, 1987) named XCOM: Photon cross section on a personal computer. The experimental results and theoretical results will be able to compared and the obtained result will be evaluated with using literature (Buyuk and Tugrul, 2014; Berger et al, 2014).

Year : 2017

Number of Pages : 68

Keywords : Gamma attenuation, NaI(Tl), scintillation dedector, Kırklareli marbles

TEŞEKKÜRLER

Bu güzel yolculuğa çıktığım günden beri desteğini esirgemeyen ettiği yardımlar ve verdiği güven ile beraber birikimlerini paylaşmaktan kaçınmayan beni sabırla dinleyen hanım efendiliğini kendime örnek aldığım sevdiğim saydığım değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nimet ZAİM'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Bilimsel destek ve katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL ve Sayın Yük. Müh. Bülent BÜYÜK' e teşekkür ederim.

Örnek temininde katkılarından dolayı Şeyh Edebali Üniversitesi (Bilecik), Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği bölümü hocalarından Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Tuna CÖMERT 'e teşekkür ederim.

Örnek hazırlamada yardımlarından dolayı Sayın Doç. Dr. Oğuzhan DOĞANLAR 'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı Uzman Fizikçi Fahrettin DOLAŞTIR'a teşekkür ederim.

Fizik eğitimime katkılarından dolayı dekanımız Sayın Prof. Dr. Şevket Erol OKAN, bölüm başkanı Prof. Dr. İlhan ERDOĞAN, Prof. Dr. Serap DALGIÇ, Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇALIŞKAN, Yrd. Doç. Dr. Sedat ŞENGÜL, Arş. Gör. Dr. Nihal TALİP YILDIZ, Prof. Dr. Selim KARA, Doç. Dr. Fikret IŞIK, Prof. Dr. Aydın ULUBEY, Prof. Dr. Seyfettin DALGIÇ, Prof. Dr. Şaban AKTAŞ, Doç. Dr. Figen BOZ, Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN, Doç. Dr. Akif SABANER' e teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen mütemadiyen yanımda olan annem Nurten KARA ve babam Kenan KARA 'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak beni yüksek lisans yapmaya ikna eden maalesef tez çalışmamın son zamanlarında yanımda olamasa da varlığı ile bana güç ve huzur kaynağı olan eşim Nuh HATİPOĞLU ve aramıza yeni katılan kızım Yağmur HATİPOĞLU'na sonsuz teşekkürler. Bu tez HATİPOĞLU ve KARA ailelerine ithaf edilmiştir.

Tez çalışmam 2016-128 TÜBAB Projesi tarafından desteklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **iii**
TEŞEKKÜRLER ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**
BÖLÜM 1 ..... **1**
GİRİŞ VE AMAÇ **1**
BÖLÜM 2 ..... **4**
KURAMSAL BİLGİ **4**
2.1. Yüklü parçacık radyasyonları 4
2.1.1. Hızlı Elektronlar 4
2.1.1.1. Beta Bozunumu 4
2.1.1.2. Dahili Dönüşüm 5
2.1.1.3. Auger Elektronu 6
2.1.2. Ağır Parçacıklar 6
2.1.2.1. Alfa Bozunumu 7
2.2. Yüksüz Parçacık Radyasyonu 7
2.2.1. Elekromanyetik Radyasyon 7
2.2.1.1. Beta Bozunumu Sonucu Yayınlanan Gama Radyasyonu 7
2.2.1.3. Nükleer Reaksiyonlar Sonucu Yayınlanan Gama Radyasyonu 8
2.2.1.4. Bremsstrahlung Radyasyonu (Frenleme) ve X-Işınları 9
2.2.1.5. Gama Işını 10
2.3. Radyasyonun Madde İle Etkileşme Mekanizması 10

2.3.1. Coulomb Etkileşmesi 11
2.3.2. Elektromanyetik Radyasyon Yayınımı (Bremsstrahlung) 11
2.3.3. Uyarılma ve iyonizasyon sonucu enerji yutulması 12
2.3.4. Foton – Madde Etkileşmesi 12
2.3.4.1. Fotoelektrik Etki 13
2.3.4.2. Compton Saçılması 13
2.3.4.3. Çift Oluşumu 14
2.4. Gama Zayıflatma Katsayıları 15
2.4.1. Yarı değer ve on kat değer kalınlıkları 17
BÖLÜM 3 18
MATERYAL VE METOD 18
3.1. İncelenen Materyaller 18
3.2. Deney Seti Ve Raylı Sistem 22
3.3. Dedektör Çalışma İlkeleri Ve Dedektör Çeşitleri 23
3.3.1. Sintilasyon Detektörü 24
3.3.1.1. Foto Çoğaltıcı Tüp 25
3.4.Kalibrasyonlar 26
3.4.1. Dedektörün Enerji Kalibrasyonu 26
3.4.2.Yarı yükseklikte Maksimum Genişliği (Full With Half Maximum, FWHM) 28
3.5. Hata Hesabı 29
BÖLÜM 4 31
SONUÇLAR VE TARTIŞMA 31
4.1. Araştırma ve Bulgular 31
4.2. Tartışmalar 39
4.3.Sonuçlar 43
EK 45
KAYNAKLAR 64
ÖZGEÇMİŞ 67
BİLİMSEL FAALİYETLER 68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	**Açıklamalar**
α	Alfa
Ba	Baryum
Be	Berilrum
β	Beta
e^-	Elektron
γ	Gama
Cs -137	Sezyum 137
Co-60	Kobalt 60
λ	Lamda
μ	Lineer zayıflatma katsayısı
μCi	Mikro curie
e^+	Pozitron
NaI(TI)	Sodyum iyodür

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
GeV	Ciga Elektron Volt
keV	Kilo Elektron Volt
MeV	Mega Elektron Volt
MTA	Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
TÜTAGEM	Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi
XCOM	Foton Tesir Kesitleri Veri Tabanı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Cl- 36 'nın beta bozunum şeması ve $\beta - elektron, \beta +$ (pozitron) enerji dağılımı 5

Şekil 2.2. I-131'eait üzerine dönüşüm çizgileri binmiş sürekli elektron momentum spektrumu 6

Şekil 2.3. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu 7

Şekil 2.4. Beta bozunumu sonucu gama radyasyonu 8

Şekil 2.5. a. Çift oluşumu radyasyonu, b. Çift yok olma radyasyonu 8

Şekil 2.6. Frenleme radyasyon şeması 9

Şekil 2.7. X ışını terminolojisi 10

Şekil 2.8. M kütleli ve ze yüklü hızlı parçacığın atomun elektronu ile etkileşmesi 11

Şekil 2.9. Mümkün elektron ve ağır parçacık yörüngeleri 12

Şekil 2.10. Bir fotonun soğurulması bir K elektronu yayınlanması sonucunun şematik gösterimi 13

Şekil 2.11. Compton etkisi 14

Şekil 2.12. Çift oluşumu 14

Şekil 2.13. Farklı tip gama ışını etkileşmelerinin baskın olduğu bölgeler 15

Şekil 2.14. Kurşun için kütle zayıflatma katsayısı 17

Şekil 3.1.Co-60 ve Cs-137 radyo izotoplarının gama enerji pikleri 19

Şekil 3.2. Raylı sistem mekanizmasının şematik olarak gösterimi 20

Şekil 3.3. Kalker örneklerinden biri 21

Şekil 3.4.Sintilasyon dedektörü 25

Şekil 3.5.Bir foto çoğaltıcı tüpün çalışma şekli 26

Şekil 3.6. Bir enerji değeri için kanala karşılık gelen sayım sayısı 27

Şekil 3.7. 1μCi olan Co-60 ve Cs-137 nokta kaynaklarını kullanarak NAI(TI) Dedektörü ve ScintiVision (ORTEC) yapılmış olan enerji kalibrasyonu 28

Şekil 3.8. Yarı maksimum genişliği 29

Şekil 4.1. Kırklareli mermeri ve alüminyum örnekleri için 661.2 keV, 1173.2 keV, 1332.5 keV de ölçülen μ değerleri 34
Şekil 4.2. Mermer ve alüminyumun lineer zayıflatma katsayılarının 662, 1173 ve 1332 keV için yoğunluğa göre değişimi 35
Şekil 4.3. Mermer, alüminyum, kalker tozunun 662 keV foton enerjisinde ölçülen μ (düz çizgi) ve μ/ρ (kesikli çizgi) değerlerinin yoğunluğa göre değişimi 36
Şekil 4.4. Mermer örneğinin 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV foton enerjileri için μ/ρ değerleri (noktalar ölçülen değerler) ve (düz çizgi XCOM değerleri) 37
Şekil 4.5. Alüminyum örneğinin 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV foton enerjileri için μ/ρ değerleri (noktalar ölçülen değerler) ve (düz çizgi XCOM değerleri) ... 37
Şekil 4.6. Mermer ve alüminyum örneklerinin 662 keV, 1173 kev ve 1332 keV enerjilerde HVL değerleri 38
Şekil 4.7. Mermer ve alüminyum örneklerinin 662 keV, 1173 kev ve 1332 keVenerjilerdeTVL değerleri 39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1.Mermer örnekleri için deneysel lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ve kütle zayıflatma katsayılarının XCOM değerleri 32
Çizelge 4.2. Alüminyum örnekleri için deneysel lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ve kütle zayıflatma katsayılarının XCOM değerleri 33
Çizelge 4.3.Kalker örnekleri için deneysel lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ve kütle zayıflatma katsayılarının XCOM değerleri 33
Çizelge 4.4. Kırklareli mermeri, alüminyum ve kalker tozu örneklerinin HVL ve TVLdeğerleri 38
Çizelge 4.5.μ, μ/ρ, HVL ve TVL parametrelerinin 662 keV de literatür ile karşılaştırılması 41
Çizelge 4.6. μ, μ/ρ, HVL ve TVL parametrelerinin 1173 keV de literatür ile karşılaştırılması 42
Çizelge 4.7.μ, μ/ρ, HVL ve TVL parametrelerinin 1332 keV de literatür ile karşılaştırılması 42

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

İnsanoğlu ve diğer canlılar kozmik ışınlar ve yerkürede var olan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyona maruz kalmaktadır. Doğal radyasyonun kaynağı kozmik ve karasal radyasyondur. Kozmik radyasyon yüksek enerjili proton, alfa, müon, elektron, pozitron, fotonlarla vb. kozmojenik radyonüklitlerden oluşmaktadır ve yeryüzünü sürekli bombalamaktadır. Karasal radyasyon ise radyoaktif seri olan U-238, U-235, Th-232 ve K-40, Rb-87, Cd-113, In-115, La-138, Nd-144, Sm-147, Gd-152, Lu-176, Hf-174, Re-187, Pt-190 doğal radyonüklitlerden kaynaklanmaktadır.

Karasal radyasyona, toprak, su, hava ve bitkilerdeki radyasyon da katkıda bulunmaktadır.

Bunlara ilave olarak nükleer deneyler, radyoizotopların endüstri ve tıptaki uygulamalarından açığa çıkan radyonüklitler, yapay radyoaktiviteyi oluştururlar. Bu gelişmelerin sonucu; radyoaktivite ölçümleri, uygulamaları ve radyoaktiviteden korunma çalışmaları bilimde önemli bir problemdir (Glenn, 2010).

Üç tip radyoaktivite olan alfa (α), beta (β) ve gama (γ) ışınımları oldukça önemlidir. Bazı çekirdekler tek bir işlem ile bozunurlar, fakat genellikle bozunma şemaları α, β ve γ gibi birbiriyle yarışan bozunma modlarını içerecek şekilde ve çok daha karmaşıktır. Çekirdek 10^{-14} saniye gibi çok kısa bir zaman aralığında fazla enerjisini γ-ışınları ışıyarak daha alt enerji düzeylerine ya da temel enerji düzeyine ulaşabilir, ya da uyarılmış düzeydeki kararsız çekirdek α ve β parçacıkları yayınlayarak başka bir çekirdeğe dönüşebilir. Bu dönüşüm yollarından herhangi biri belirli bir olasılıkla gerçekleşir ve bu olay kararlı bir çekirdeğe ulaşıncaya kadar devam eder (Aybers N, 1980, Krane, 1988). Bunlardan elektromanyetik spektrumdaki en kısa dalga

boylu ve en fazla enerjili elektromanyetik radyasyon olan gama, yüksüz ve kütlesiz olduğundan, maddeden kolayca geçmekte ve nükleer çalışmalarda bu fotonlara karşı zırhlama problemi olarak ortaya çıkmaktadır (Glenn, 2010). Malzemeye nüfuz edebilme özelliğine sahip olması nedeniyle kullanılan malzemeler için, çeşitli enerjilerde, gama zayıflatma katsayıları bilinmelidir.

Bu çalışmada dar demet geometrisi kullanılarak, gama geçiş tekniği ile seçilen malzemelerin, çeşitli şartlarda, gama zayıflatma katsayıları deneysel ve teorik olarak belirlendi. Lineer zayıflatma katsayısı (μ cm^{-1}) deneysel olarak tespit edilirken, araştırmalarda kolaylık sağlayan kütleden bağımsız olarak hesaplanan, diğer bir katsayı kütle zayıflatma katsayısı (μ/ρ cm^2 g^{-1}) hesaplandı. Bunun nedeni lineer zayıflatma katsayısının yoğunluğa bağlılığıdır, örneğin belirli bir enerjide, aynı madde olan su, buz ve buhar için farklı olmasıdır. Yoğunluktan bağımsız bir nicelik olan kütle zayıflatma katsayısı radyasyonun madde içinde azalmasını belirleyen uygun bir parametredir (Çelik, 2012). Teorik kütle zayıflatma katsayısının hesabı için XCOM bilgisayar programı kullanıldı.

Zayıflatma katsayıları deneysel olarak ölçülürken, fiziksel şartları değiştirerek elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırdık. Gama kaynağının aktivitesini 1 μCi, 12 μCi olarak değiştirirken, gama enerjisi kaynağı olarak, gama enerjisi 661.9, 1173.2 ve 1332.5 keV olmak üzere sırasıyla Cs-137 ve iki gama piki olan Co-60 kaynakları kullandık.

Deney setinde ise kaynak-numune ve numune detektör arasındaki uzunluklar 4 ve 16 cm arasında değiştirilerek numunelerin lineer zayıflatma katsayıları belirlenmiştir. Numune kalınlıkları ise 0.15 cm ile 3 cm arasında değişmektedir.

Literatürde zırhlama malzemesi olarak doğal ve kompozit malzemelere rastlanmaktadır. Doğal malzemelerden biri mermer olup, Türkiye'nin çeşitli mermer yataklarından Bilecik, Finike, Muğla, Antalya, Marmara, Burdur, Isparta ve Amasya mermerleri incelenmiştir (Basyigit, Akkurt, Kılıncarslan ve İ Akkurt,2012; Mavi, Oner ve Akkurt, 2015).

Biz bu çalışmada, bu güne kadar ölçülmeyen, Kırklareli mermerinin (MTA, 2015) lineer ve kütle zayıflatma katsayını ölçtük. Kolay bulunabilir ve ucuz malzeme olan kalker tozu ve alüminyum numuneleri için de aynı ölçümleri tekrarladık. Kırklareli

mermeri için bulduğumuz değerleri kalker tozu ve alüminyum numuneleri ve literatürdeki diğer mermer örnekleri ile karşılaştırdık.

BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİ

Günümüzde radyasyon tüm elektromanyetik spektrumu ifade etmektedir. Farklı radyasyon türlerinin birlikte gruplandığı birçok yollardan biri, yüklü parçacık radyasyonu (iyonize edici) ve yüksüz parçacık radyasyonu (noniyonize radyasyon) açısından yapılan gruplamadır. İyonlaşma terimi radyasyonun, geçtiği maddenin bir atomunu veya molekülünü iyonize edebilme kabiliyetini ifade eder.

Yüksüz parçacık radyasyonu, dalga boyu 10 nm veya daha uzun olan elektromanyetik radyasyondur, radyo dalgaları, mikro dalgalar, görülebilir ışık (λ=770-390 nm), ve ultraviyole ışık (λ=390-10 nm).

İyonize radyasyon elektromanyetik spektrumun geri kalanını içerir (X-ışını, λ=0.01-10 nm) ve daha kısa dalga boyuna sahip olan γ-radyasyondur (Tsoulfanidis,1995).

2.1. Yüklü parçacık radyasyonları

Genelde hızlı elektronlar ve ağır alfa parçacıklarının yaydığı radyasyonlardır.

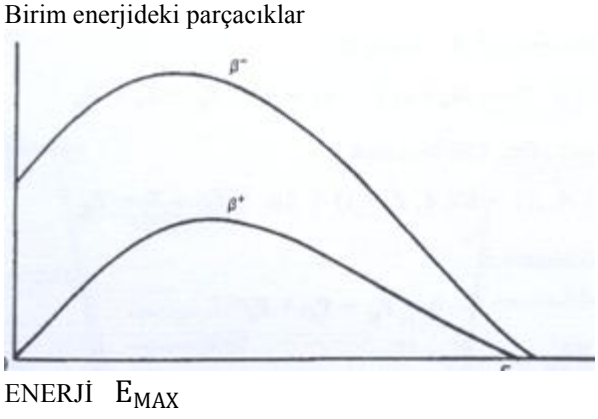
2.1.1. Hızlı Elektronlar

2.1.1.1. Beta Bozunumu

İlk gözlenen radyoaktif olaylardan biri çekirdeklerin negatif elektron yayınla malarıdır. Bu olayın tersi, bir çekirdeğin atom elektronlarından bir ile etkileşmesi Alvarezin çekirdek tarafından yakalanan atom elektronunun boşalltığı yerin

doldurulması sırasında yayınlanan X-ışınını bulmasına kadar gözlenememiştir (Krane, 2001) .

1934 yılında pozitif elektron (pozitron) yayınlaması olayını Joliot–Curies radyoaktif bozunmada gözlemişlerdir. Birbiri ile yakından ilgili olan bu üç olayda beta (β) bozunumu olarak adlandırılır. Temel beta (β) bozunum reaksiyonu ise bir nötronun protona ya da protonun nötrona dönüşümüdür. Beta bozunumunda beta parçacıkları (elektron, pozitron) sürekli enerjiye sahiptir.



Şekil 2.1. Cl- 36 'nın beta bozunum şeması ve $\beta^-(elektron)$, β^+ (pozitron) enerji dağılımı

2.1.1.2. Dahili Dönüşüm

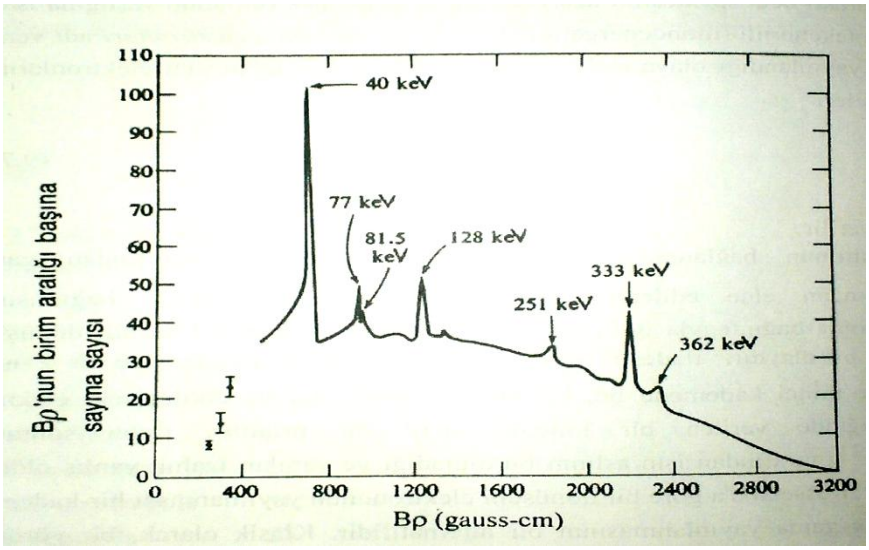
Dahili dönüşüm beta yayınlanmasına rakip elektromanyetik bir olaydır. Dahili dönüşüm olayında E_γ geçiş enerjisi BE_e elektronun bağlanma enerjisi olmak üzere, elektronun kinetik enerjisinin

$$KE_e = E_\gamma - BE_e \quad (2.1)$$

denklemi ile ifade edilmesi, C. Elli'nin "Dahili dönüşüm iki kademeli olaydır." ifadesini vermesine yol açmıştır; birinci kademede γ-ışını yayınlanır, ikinci kademede bu bir yörünge elektronu ile etkileşerek, elektron (Denklem 2.1)' de verilen kinetik enerji ile fırlatılır (Ellis, 1922).

S. Rossland'a göre ise, dönüşüm elektronunun yayınlanması kademeli bir olay olup; kuantum mekaniğine göre yörünge elektronunun dalga fonksiyonun zamanının belli bir kesri içinde çekirdekte bulunma olasılığından dolayı, kararsız olan çekirdek enerjisini gama yayınlamak yerine doğrudan doğruya yörünge elektronuna vererek

kararlı hale geçer (Rosseland,1923). Birçok radyoaktif kaynak hem dahili dönüşüm hem de beta elektronları yayınlar. Dahili dönüşüm elektronlarına ait pikler rahat bir şekilde fark edilebilir (Arya,1999). (Şekil 2.2.)' de görüldüğü gibi sürekli beta spektrumu üzerine binmiş yedi tane çizgi görülmektedir. Dönüşüm elektronlarının çizgi spektrumları, sürekli beta spektrumundan bağımsız seçilmektedir.



Şekil 2.2. I-131'e ait üzerine dönüşüm çizgileri binmiş sürekli elektron momentum spektrumu

2.1.1.3. Auger Elektronu

Atom kabuklarının birinde olmuş olan bir elektronluk boşluk (elektron yakalama vb.), üst kabuklardaki herhangi elektron ile doldurulurken, X-ışını atomdan yayınlanır. Yayınlanan X-ışını kabuklardaki bir elektron ile etkileşerek, etkileştiği elektronun atomdan atılmasına sebep olur. Bu elektronlara Auger (Öje) elektronu denir.

(Martin,2013) Karakteristik X-ışını enerjisi (hυ) ile fırlatılan elektronun bağlanma enerjisi farkı Auger elektronun kinetik enerjiyi verir.

$$KE_{AUGER} = h\upsilon - BE_e \qquad (2.2)$$

2.1.2. Ağır Parçacıklar

Kütleleri bir atomik kütle birimi ya da daha büyük olan ve bir kinetik enerjiye sahip parçacıkları kapsar; alfa, proton, fisyon ürünleri örnek verilebilir.

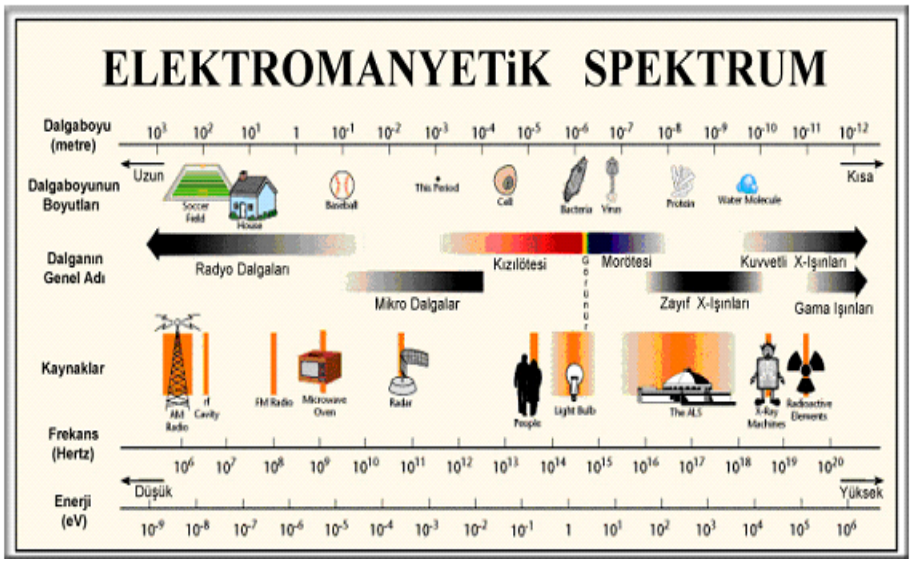
2.1.2.1. Alfa Bozunumu

E.Rutherford ve öğrencileri önce soğurulan radyasyonlardan giriciliği en az olana alfa ışını adını vermişleridir. Beta ve gama gibi diğer ışımalara kıyasla oldukça ağırdır. Aslında alfa ışını yüksek enerjili bir helyum çekirdeğidir. Bir kaç santimetrelik bir kağıt dahi bu ışını durdurmaya yeter.

2.2. Yüksüz Parçacık Radyasyonu

2.2.1. Elekromanyetik Radyasyon

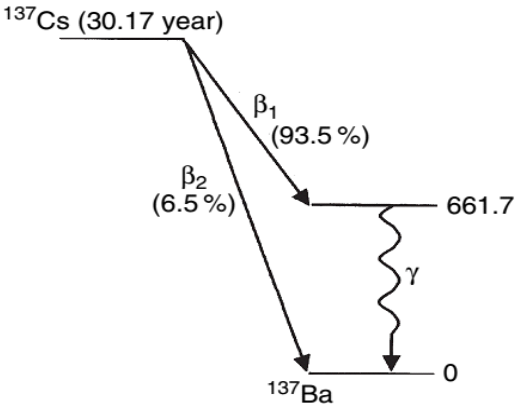
İyonize olmayan ya da düşük enerjili radyasyon etkileştiği materyal içindeki atomları yeteri kadar enerjisi olmadığından iyonize edemez sadece uyarır. Görünür ışık, mikrodalgalar, radyodalgaları ve mor ötesi ışık (çok kısa dalga boyları dahil değildir) mor ötesi ışık iyonize olmayan radyasyona örnektir.



Şekil 2.3. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu

2.2.1.1. Beta Bozunumu Sonucu Yayınlanan Gama Radyasyonu

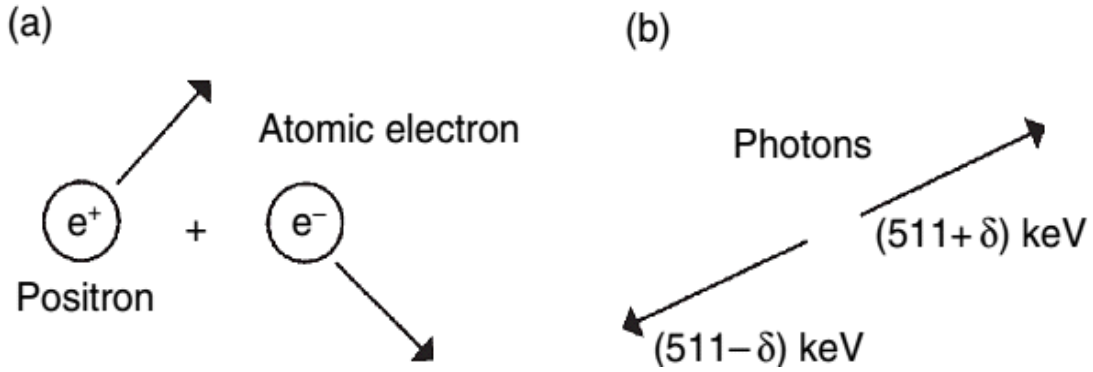
(Şekil 2.4.)'den de görüldüğü gibi, gama yayınımına, beta bozunumu takiben rastlanmaktadır. Aşağıdaki Cs-137'nin iki bozunum şemasında birbirini takip eden beta ve gama bozunum enerjileri ve dallanma oranları ile görülmektedir.



Şekil 2.4. Beta bozunumu sonucu gama radyasyonu

2.2.1.2.Çift Yok Olma Radyasyonu

Pozitron çekirdekte beta bozunumunda yayınlanır, düşük enerjiye sahipse absorplayıcı malzemedeki elektron ile birleşir, bu olaya yok olma (anhilasyon) denir. Bunun sonucunda elektron ve pozitron yok olur, yerine 0.511MeV'lik, zıt yönlerde iki foton oluşur (Arya,1999).



Şekil 2.5. a. Çift oluşumu radyasyonu, b. Çift yok olma radyasyonu

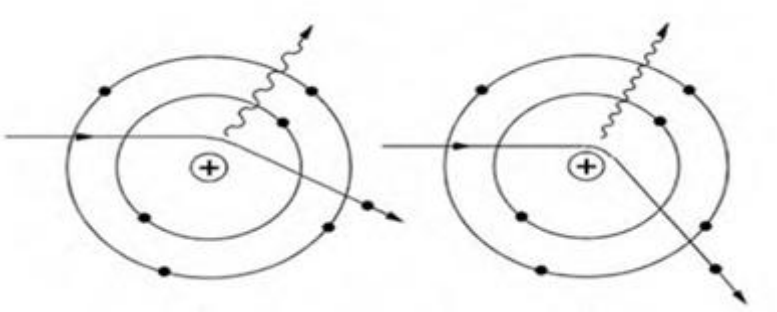
2.2.1.3. Nükleer Reaksiyonlar Sonucu Yayınlanan Gama Radyasyonu

Örneğin aşağıdaki nükleer reaksiyonda olduğu gibi, uyarılmış düzeydeki C-12 çekirdeği, 4.44 MeV enerjili gama ışını yayar.

$$^{4}_{2}\alpha + ^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow ^{12}_{6}\mathrm{C} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \qquad (2.3)$$

2.2.1.4. Bremsstrahlung Radyasyonu (Frenleme) ve X-Işınları

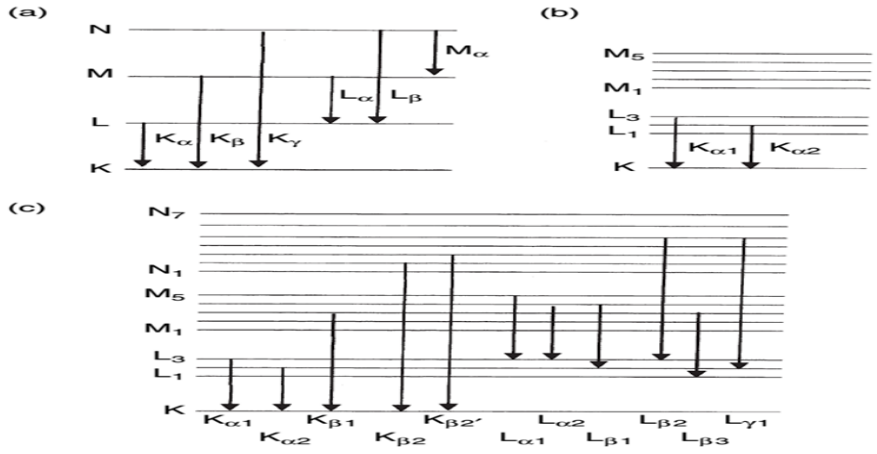
Gelen hızlı elektronlar bir madde ile etkileştiklerinde, parçacık hedef atomların çekirdekleri tarafından saptırılır, enerjilerinin bir kısmı elektromanyetik radyasyona dönüşür, buna frenleme radyasyonu denir. Diğer bir ifadeile klasik elektromanyetik teoriye göre ivmeli hareket yapan elektrik yüklü elektromanyetik enerji, X-ışını yayar. Işıma yükün üzerinde geriye doğru bir kuvvet uygular (F_{rad}), ışıma tepkisi kuvveti, yük üzerine alanlar tarafından uygulanan geri tepme kuvvetidir. Herhangi bir anda kaybedilen toplam gücü dikkate alırsak, Larmor formülü (v<c); P gücü, hızlandırılmış yüklü bir parçacıktan yayılan fotonun ivmesinin (a^2) karesiyle ve parçacık yükü (q) ile orantılıdır. $P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2}{3}\frac{q^2}{c^3}a^2$; P=F.v eşitliklerinden Abraham Lorentz formülü elde edilir: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2}{3}\frac{q^2}{c^3}.\vec{a}$



Şekil 2.6. Frenleme radyasyon şeması

X-ışınları dalgaboyları 0.1- 0.001 nm aralığında yani görünür ışıktan ortalama 1000 kat daha kısa dalga boylu girginlik derecesi yüksek ya da düşük, elektromanyetik dalgalardır.

Elektronun, atom çekirdeğinin çevresindeki kesikli enerji seviyelerine sahip yörüngelerden birinden diğerine geçişinde de, bu enerji seviyeleri farkı kadar açığa çıkan enerji, karakteristik X-ışını olarak adlandırılır (Şekil 2.7), (Stabin,2007).



Şekil 2.7.X ışını terminolojisi

2.2.1.5. Gama Işını

Enerjisi birkaç yüz keV ile birkaç MeV arasında değişen yüksek enerjili fotonlardır. Gama ışınları oluşumu atomda bulunan enerji seviyelerindeki farklılıkla olur. Gama ışınları, alfa (α) ve beta (β) ışınlarından daha fazla enerjiye sahiptir. Bu sebeple maddelere daha kolay girebilirler. Aynı zamanda diğer elektromanyetik ışınlar arasında en fazla frekansa ve en alçak dalga boyuna sahiptir. Yüksek enerji taşıdıklarından dolayı insan sağlığına zararları fazladır. İyonlaşmaya sebep olma etkileri az olduğundan kalın cisimlerden kolayca nüfuz edebilmektedir ancak bu da ışımanın enerjisine orantılı olarak değişmektedir. Yüksüzdürler ve bu sebeple elektrik ve manyetik alanda sapmazlar (Leo,1994).

Yayınlanan gama ışını dedeksiyonunun önemli olma sebebi çekirdeğin sahip olduğu nükleer durumlarla ilgili bilgi vermesinden kaynaklanmaktadır. Dedekte edilen gama ışınlarının enerjisi ve şiddeti nükleer seviyeleri belirler. Gamaların yayınlanma süresinin belirlenmesi ise bu nükleer seviyelerin ömür tayininde kullanılır (Arıcı, 2012).

2.3. Radyasyonun Madde İle Etkileşme Mekanizması

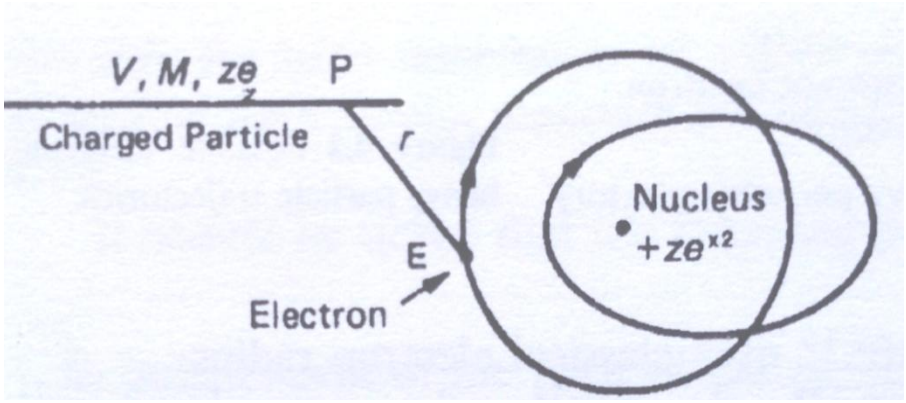
İyonizasyon radyasyonu madde içinde ilerlerken madde ile etkileşerek enerjisini kaybeder. Detektör malzemesinde yutulan bu enerji, radyasyon ölçümünün temelini oluşturur. Bu aşamada detektör yapımı ve ölçümlerin sonuçlarını yorumlamak için bu etkileşmelerin tanınması gerekir.

2.3.1. Coulomb Etkileşmesi

(Şekil2.8)'deki P' deki yüklü parçacık ile E' deki elektron arasındaki Coulomb kuvveti $F = k\left({ze^2}/{r^2}\right)$ 'dir. Etkileşme sonucu yüklü parçacığın enerjisi elektrona aktarılır, elektron

$$(\mathrm{KE})_{\mathrm{e}} = (\text{parçacıktan aktarılan enerji}) - (\text{iyonizasyon potansiyel enerji}) \qquad (2.4)$$

kadar kinetik enerji ile atomu terk eder. Bu elektron diğer yüklü parçacıklar gibi davranır, çarpışmalar sonucunda, hala bağlı fakat uyarılmış enerjili elektron enerjisine düşerken, $\mathrm{V} = {(\mathrm{E}_2 - \mathrm{E}_1)}/{\mathrm{h}}$ frekanslı X-ışını yayınlar. Yüklü parçacığın kaybettiği enerjiyi ölçmek için çarpışmaların elastik veya inelastik olmasının önemi yoktur (Tsoulfanidis, 1995).



Şekil 2.8. M kütleli ve ze yüklü hızlı parçacığın atomun elektronu ile etkileşmesi

2.3.2. Elektromanyetik Radyasyon Yayınımı (Bremsstrahlung)

Hem kuantum ve hem de klasik teorinin öngördüğü üzere, serbest yüklü bir parçacık hızlanırken veya yavaşlarken yaydığı elektromanyetik radyasyon yoğunluğu (I) ivmenin (a) karesi ile orantılıdır. Kütlesi (M), yükü (ze) olan parçacık, atom numarası (Z) olan materyal içinde ilerlerken, parçacık ve çekirdek arasındaki Coulomb kuvveti göz önüne alınarak, yüklü parçacığın ilk ivmesi

$$\mathrm{a} = {\mathrm{F}}/{\mathrm{M}} \quad \approx \quad \frac{\mathrm{zZ\,e^2}}{\mathrm{M}} \qquad (2.5)$$

alınırsa, yayınlanan radyasyonun yoğunluğu aşağıdaki denklem ile verilir:

$$I \propto a^2 \quad \propto \left(\frac{zZe^2}{M}\right)^2 \propto \frac{z^2Z^2}{M^2} \qquad (2.6)$$

Bu ifade,

i) Aynı materyal için, hafif parçacığın daha fazla radyasyon yayacağını,

ii) Z değeri yüksek materyal için radyasyonun artacağını gösteriyor. Söz konusu radyasyon madde ile etkileşirken enerjisinin bir kısmını yine kaybedecektir.

2.3.3. Uyarılma ve iyonizasyon sonucu enerji yutulması

Radyasyonla etkileşen atomdaki elektronlar çeşitli uyarılmış potansiyele ve iyonizasyona sahip olurlar. Yüklü parçacıkların çok sayıdaki çarpışmalarında, tek bir çarpışmadaki enerji kaybını hesaplamak çok güç olduğundan bunun yerine, birim uzunluk başına ortalama enerji kaybı hesaplanır (Şekil 2.9) (Tsoulfanidis, 1995).

Şekil 2.9. Mümkün elektron ve ağır parçacık yörüngeleri

Proton için (Denklem 2.7)' de görüldüğü gibidir. Burada Z atom numarası, m elektronun kütlesi, z gelen parçacığın yükü, $\beta = \frac{V}{c}$ (gelen parçacık için), N avogadro sayısıdır.

$$dE/dx\left(MeV/m\right) = 4\pi r_0^2 z^2 \frac{mc^2}{\beta^2} NZ\left[\ln\left(\frac{2mc^2}{I}\beta^2\gamma^2\right) - \beta^2\right] \qquad (2.7)$$

2.3.4. Foton – Madde Etkileşmesi

Gama ışınlarının madde ile etkileşmesinde fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum olayları öne çıkar. Gama ışınının enerjisi ve hedef malzemenin atom

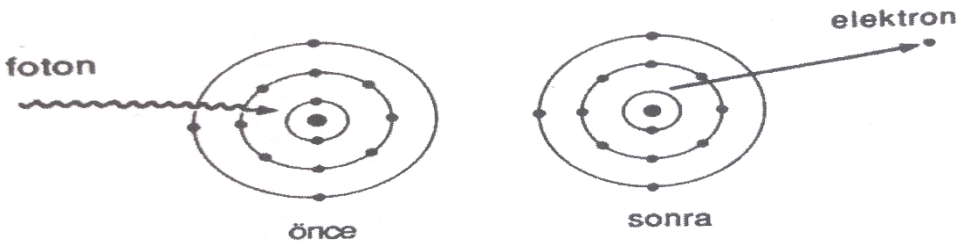
numarası meydana gelen etkileşim türünün belirleyicisidir. Gama ışını enerjisinin bir kısmını ya da tamamını hedef atomun elektronlarına aktarılır (Arıcı, 2012).

2.3.4.1. Fotoelektrik Etki

Foton ile yörünge elektronunun etkileşmesi sonucu, foton yok olur, foto-elektron adı verilen, serbest elektron fırlatılır, elektronun kinetik enerjisi T, E_γ fotonun enerjisi, B_e, elektronun bağlanma enerjisi olmak üzere

$$KE = E_\gamma - B_e \tag{2.8}$$

denklemi ile verilir.



Şekil 2.10. Bir fotonun soğurulması bir K elektronu yayınlanması sonucunun şematik gösterimi

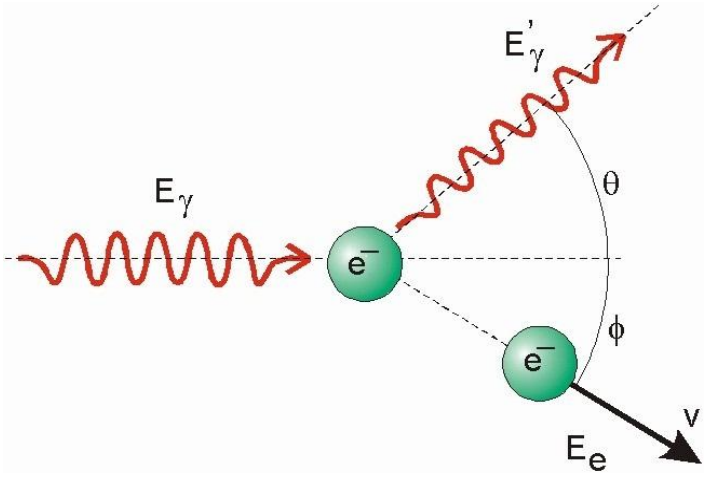
2.3.4.2. Compton Saçılması

Compton saçılmasında foton, atomun hemen hemen serbest olan elektronu tarafından saçılır ve saçılma daha küçük enerjili foton ve foton tarafından kaybedilen enerjiyi taşıyan elektronla sonuçlanır (Aybers,1980).

Bu enerji, E_γ ve $E\gamma'$ gelen ve saçılan elektronun enerjileri olmak üzere, $KE = E_\gamma - E\gamma'$ ile ifade edilir veya enerji korunumundan

$$T = \frac{(1-\cos\theta)^{E\gamma}/_{mc^2}}{1+[(1-\cos\theta)^{E\gamma}/_{mc^2}\ ]}\ E\gamma \tag{2.9}$$

elde edilir.



Şekil 2.11.Compton etkisi

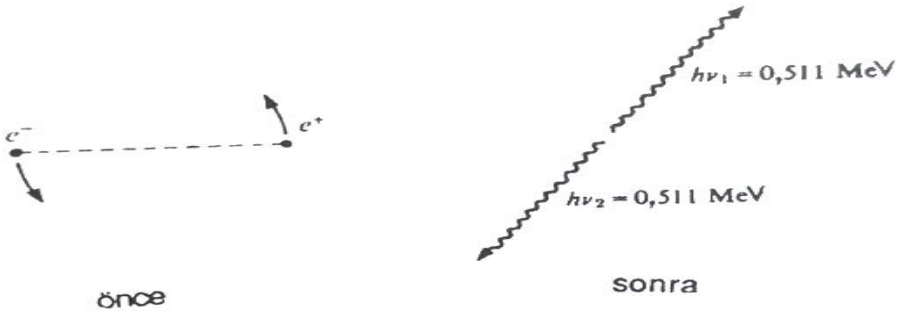
2.3.4.3. Çift Oluşumu

Enerji kaybına neden olan üçüncü önemli olay elektron-pozitron çifti oluşumudur. Bu olayda eşik enerjisinden büyük enerjiye sahip bir foton, yüksek Z'li bir levhaya çarparsa foton yok olmakta ve onun yerine elektron pozitron çifti oluşmaktadır (Aybers,1980;Gilmore,2011).

Enerjinin korunumundan hυ gelen fotonun enerjisi, $2m_0c^2$ elektron ve pozitronun kütleleri toplamına eşit enerji, E_+, E_- ve E_{nuc} sırasıyla pozitronun, elektronun ve geri tepen çekirdeğin kinetik enerjilerini ifade etmek üzere,

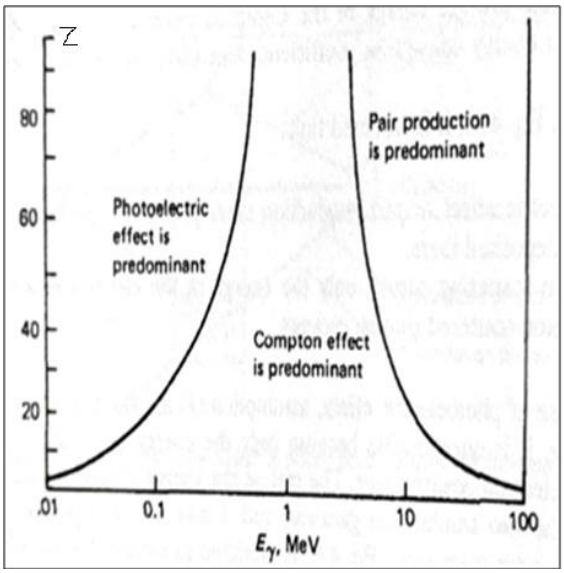
$$h\nu = 2m_0c^2 + E_+ + E_- + E_{NUC} \qquad (2.10)$$

denklemi ile verilir. Bu işlem için $2m_0c^2$ veya 1.022 MeV'lik bir eşik enerjisinin gerekli olduğu açıktır.



Şekil 2.12. Çift oluşumu

Çift oluşumu sonucunda "pozitrona ne oluyor?" sorusu ile karşılaşırız. Uzayda serbest elektronlara rastladığımız halde, pozitronlara rastlayamayız. Kinetik enerjiye sahip pozitronlar, etrafındaki atomlarla çarpışırken, ortamın elektronlarından biri ile pozitronyum atomunu oluştururlar. Elektron ve pozitronun spinleri anti paralel ise iki foton yayınlayarak kısa bir zamanda enerji ve momentum korunumundan $h\nu = 0.511\ Mev$ enerjili iki foton yayınlanır. Üç etkileşmenin, E_γ ve Z ye bağlı olarak göreli dağılım (Şekil 2.13.)' de görülmektedir.



Şekil 2.13. Farklı tip gama ışını etkileşmelerinin baskın olduğu bölgeler

2.4. Gama Zayıflatma Katsayıları

γ -ışınlarının soğrulmasının temel özelliği, homojen bir ışın demetinin ince bir madde tabakasından geçerken ışınım şiddetinin üstel olarak azalmasıdır. Malzemenin çeşitli kalınlıkları için, gama ışınının soğurulmasının exponansiyel bir şekilde değiştiği görülür (Knoll, 2010).

Gama ışınının malzeme ile etkileşme sürecinde, her gama fotonu detektör tarafından yutulur veya saçılır. Malzeme içerisinde birim uzunluk başına yutulma olasılığı belirlenebilir. Bu olasılık fotoelektrik etki (PE), Compton saçılması (C) ve çift oluşumu (PP) olasılıklarının toplamıdır.

$$\mu = \mu_{PE} + \mu_C + \mu_{PP} \qquad (2.11)$$

Ve *lineer soğurma katsayısı* olarak adlandırılır.

Malzemeden geçerek detektöre ulaşan foton sayısı I ve absorplayıcı malzeme olmadan detektöre ulaşan foton sayısı I_0 olmak üzere

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{2.12}$$

burada x, malzemenin kalınlığıdır.

Gama fotonu için diğer bir karakteristik, fotonun yukarıdaki üç etkileşmesinden önce, malzeme içinde aldığı ortalama yol olan, *ortalama serbest yol uzunluğu* λ' dır.Bu değer olasılık yoğunluğu tanımı ile

$$\lambda = \frac{\int_0^\infty x e^{-\mu x} dx}{\int_0^\infty e^{-\mu x} dx} = 1/\mu \tag{2.13}$$

dür. Bir anlamda lineer soğurma katsayısı olan, μ, (2.13) denkleminden elde edilir. λ birkaç mm' den onlarca cm'ye kadar değişebilir. Malzemenin yoğunluk farkında dolayı lineer soğurma katsayısının kullanımı sınırlıdır (Knoll,2010).

Bir bileşiğin veyakarışımın kütle soğurma katsayısı

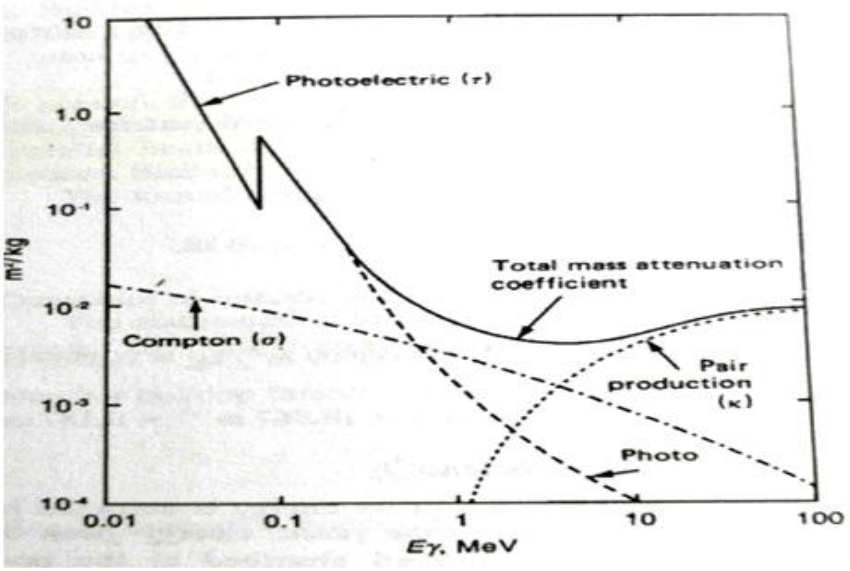
$$\frac{\mu}{\rho} = \sum_i W_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i \tag{2.14}$$

w_i, i' inci elementin, bileşik veya karışımdaki, kütle oranı olmak üzere, (Denklem 2.14.) ile hesaplanır, Fiziksel olarak μ birim uzunluk başına, etkileşme olasılığıdır, ρ malzemenin yoğunluğudur. Verilen bir gama enerjisi için malzemenin fiziksel durumu ile kütle soğurma katsayısı değişmez.

Foton enerjisinin fonksiyonu olarak, kurşun için her bir ve toplam soğurma katsayıları gösterilmektedir (Şekil 2.14). Enerji artarken kütle soğurma katsayısı azalır. Çünkü Fotoelektrik etki azalırken çift oluşumu artmakta ve Compton Etkisi kayda değer bir değişim göstermemektedir. Bu minimum değer (yaklaşık 3.5 MeV) alüminyum için 20 MeV NaI için 5 MeV'dir (Tsoulfanidis, 1995).

Birimi m^2/kg veya cm^2/g kullanırsak, malzemenin yoğunluğunun farklılığından bahsetmeye gerek kalmaz. Bu birime *kütle soğurma katsayısı* denir. Lineer ve kütle katsayıları arasındaki bağıntı şöyle verilir:

$$\mu\left(\frac{m^2}{kg}\right) = \frac{\mu(m^{-1})}{\rho\left({}^{kg}/_{m^3}\right)} \tag{2.15}$$



Şekil 2.14. Kurşun için kütle zayıflatma katsayısı

2.4.1. Yarı değer ve on kat değer kalınlıkları

Gama radyasyonun ilk değerinin, yarıya düştüğü kalınlığa yarıdeğer kalınlığı, onda birine düştüğü kalınlığa on kat değer kalınlığı denir.

Half - value layer (HVL)

Tenth- value layer (TVL)

$$x_{1/2} = \mathrm{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu} \tag{2.16}$$

$$x_{1/10} = \mathrm{TVL} = \frac{\ln 10}{\mu} = \frac{2.3026}{\mu} \tag{2.17}$$

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

Nükleer fizik, teknolojik yenilikler adına önemli temel ve uygulamalı araştırmaları kapsayan bir bilim dalıdır. Nükleer fizik; radyasyondan korunma malzemesi tasarımı, aktivasyon analizleri, radyo terapi, insan vücudunda radyasyon miktarı hesaplamaları, tıbbi malzemelerin sterilizasyonu gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Krane, 2006).

3.1. İncelenen Materyaller

Günümüzde nükleer çalışmalarda, radyoaktiviteden korunma önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Kırklareli mermeri, kalker ve alüminyum örnekleri için gama zayıflatma katsayılarını tespit ederek, radyasyondan koruyucu, zırhlama materyali olarak kullanılıp kullanılamayacağı sonucuna varmaktır.

Bölgemize ait mermer örneklerinin (MTA, 2015) incelenmesi ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılması gerektiğine inanıyoruz. Bu amaçla Kırklareli mermeri, kalker tozu örnekleri ve alüminyum örnekleri, Cs-137, Co-60 radyoaktif kaynakları ile incelendi.

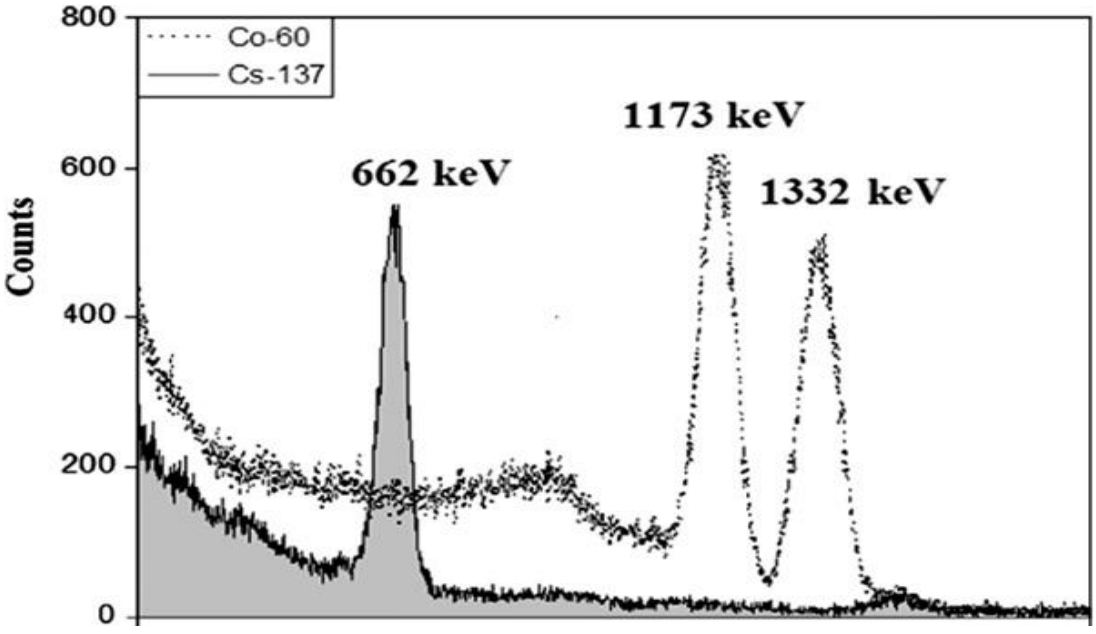
- **Mermer**

Başkalaşım süreci geçiren ve başkalaşımın izlerini taşıyan kalker gibi karbonat bileşimli kayaçlara mermer adı verilmektedir. Farklı bir şekilde ifade etmek gerekirse, kireçtaşı kalsit kristallerinden oluşmaktadır, kalsit kristallerinin birbirine iyice kaynaması ile mermer meydana gelir. Kalsit kristaller arasındaki boşluk sıcaklık ve basınç altında kapatılması sonucu mermer daha sert bir taştır. Gerçek mermer olarak da

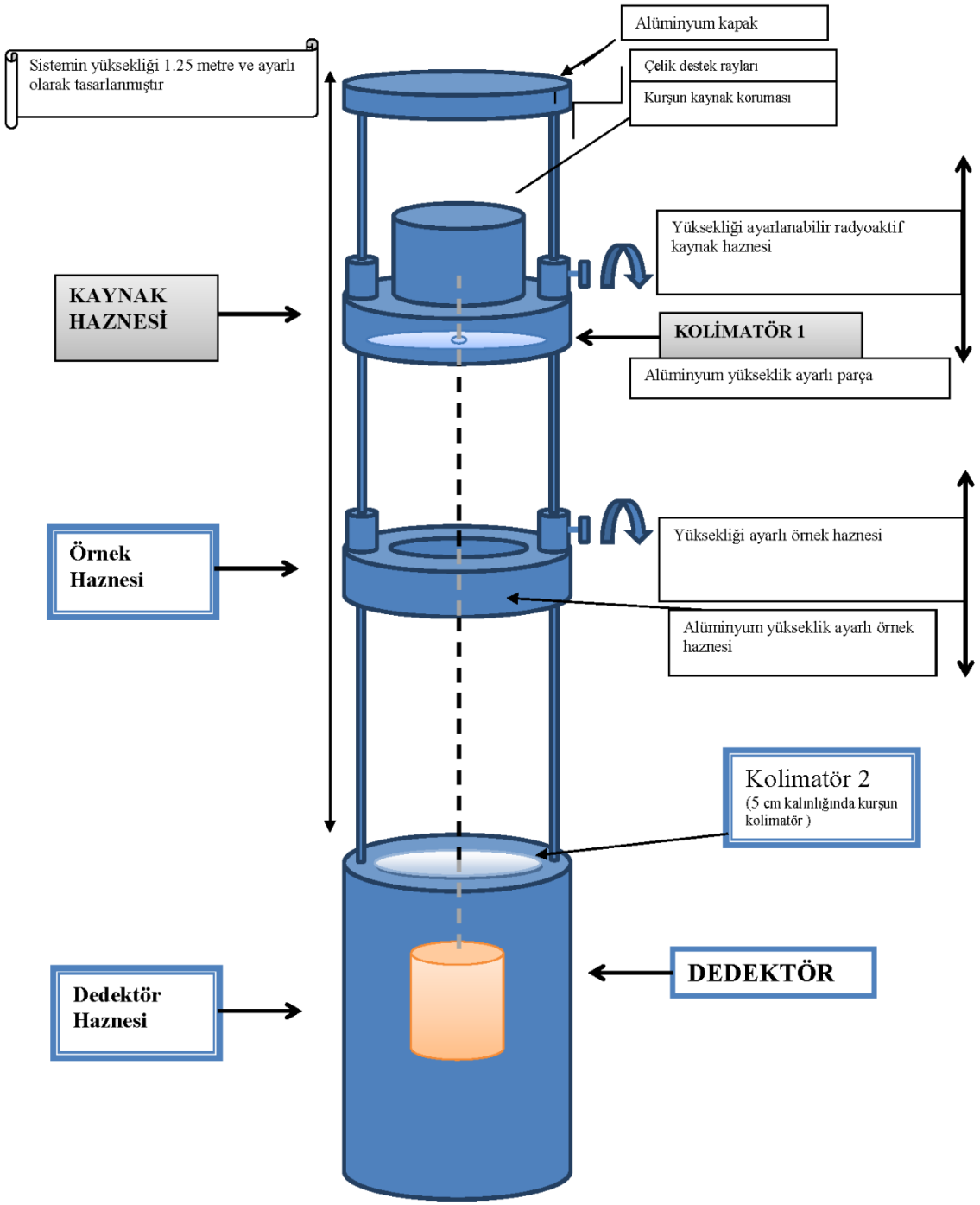
adlandırılan bu kayaçlar, yüksek oranlarda kalsiyum karbonat, daha az oranlarda magnezyum karbonat ve değişik metal oksitler içerirler (Dadak, Gül, 2012).

Kırklareli ilinden alınan mermer örnekleri, Trakya Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TÜTAGEM) deneye hazırlanmıştır. Mermer örneklerinin kalınlıkları; 0.69, 0.80, 0.83, 1.48, 1.52, 1.69, 2.38, 2.49 cm'dir. Her bir örneğin sayım süresi 3600 s olarak tutulup, 3 kez tekrarlanmıştır. Co-60, 1 μCi'lik ve Cs-137, 1μCi'lik ve 12 μCi'lik kaynaklar ile dar demet geometrisinde, gama geçiş tekniği ile ölçümler yapılmıştır, (Şekil 3.1)' de görüldüğü gibi Co-60 radyoaktif kaynağının 1173.2 keV ve 1332.5 keV olmak üzere 2 gama çizgisi bulunmaktadır, Cs-137 ise 661.7 keV de tek bir gama pikine sahiptir. (Şekil 3.2) 'de görüldüğü gibi, detektör ile örnek ve örnek ile kaynak arasındaki uzaklıkları, (4 ve 12) cm, (4 ve 16) cm ve (8 ve 16) cm olmak üzere üç farklı geometride ölçüm alınmıştır (Çizelge 4. 1.) .

Mermer örneğimizin yoğunluğu 2.66±0.08 g/cm^3 ve kütle zayıflatma katsayısı 0.0749 cm^2/g, 661.7 keV, 1173.2 keV ve 133. keV gama enerjileri için XCOM kaynağından alınan sonuçlar ile karşılaştırılacaktır.



Şekil 3.1.Co-60 ve Cs-137 radyo izotoplarının gama enerji pikleri



Şekil 3.2. Raylı sistem mekanizmasının şematik olarak gösterimi

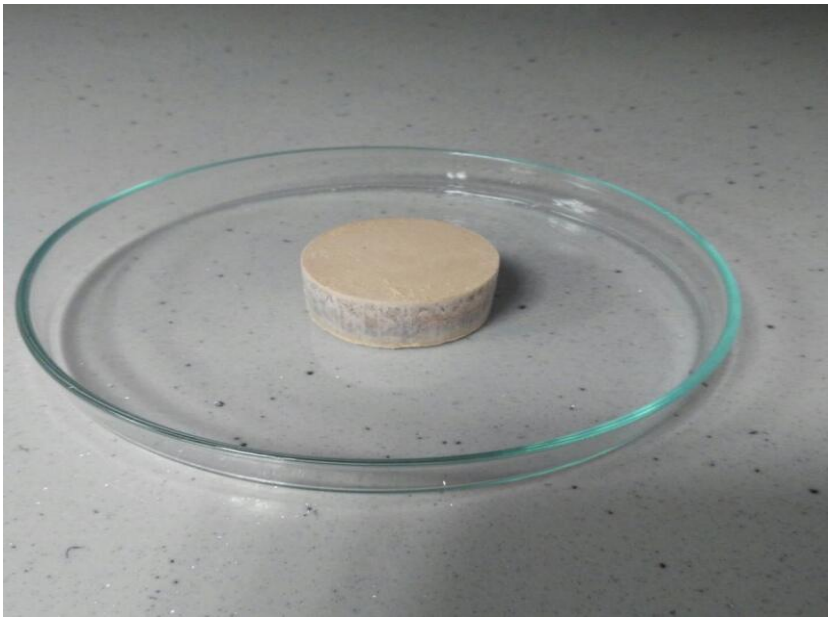
- **Kalker**

Kimyasal bileşiminde asgari %90 kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) bulunan tortul kayaçlara kireçtaşı, kalker denir. Mineralojik bileşiminde asgari %90 kalsit minerali bulunan kayaçlara da kalker adı verilir.

Tabiatta bol bulunan kireçtaşı karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($CaCO_3$/ $MgCO_3$) kombine halde bulunur (Dinç,2004).

Örneklerden "Paşabahçe şişecam" fabrikasından alınan kalkertozu, Trakya Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TÜTAGEM) 400 MPa basınç altında soğuk pres ile deneye hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Kalker tozlarının boyutları 200 μm den küçüktür.

Kalker tozu ile yapılan örnek tabletlerin kalınlıkları 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 cm' dir. Ölçümlerde Cs-137, 1 μCi ve Cs-137, 12 μCi'lik kaynaklar kullanıldı. Örneklerin çabuk kırılması nedeniyle, (4 ve 12) cm geometrisinde sağlıklı ölçümler alınabildi.



Şekil 3.3. Kalker örneklerinden biri

- **Alüminyum**

Alüminyum elementi özellikleri itibari ile geniş kullanım yelpazesine sahip olmasından ötürü hayatımız içinde pek çok alanında karşımıza çıkmaktadır. Atom ağırlığı 26,98 akb dir. Alüminyumun sıcaklığa karşı dayanıklı olması sebebi ile kullanım alanı çoktur. Öyle ki bu elementin erime noktası $660C^{\circ}$ dir. Beyaz renkli metalik bir elementtir. Doğada element halinde değil bileşik halde bulunmaktadır (Gül, 2017).

Alüminyum örneklerinin kalınlıkları ise 1.472, 1.998, 3.045, 4,913, 7.944, 9,942 ve 13.029 mm' dir. Cs-137, 1 μCi'lik kaynak ile (4 ve 12) cm, (8 ve 12) cm ve (8 ve 16) cm konumlarında, 12 μCi'lik Cs-137 kaynağı ile (4 ve 12) cm konumunda ve Co-60, 1 μCi ile (4 ve 12) cm geometrilerinde incelenmiştir.

3.2. Deney Seti Ve Raylı Sistem

Deney setine detektörden istenilen uzaklıklarda örnek ve kaynağın yerleştirileceği raylı bir sistem ilave edilmiştir. Raylı sistemin yüksekliği 1.25 m olup alüminyum kapak, çelik destek rayları, kurşun kaynak koruması, alüminyum ve yüksekliği ayarlanabilir kaynak ve örnek haznesi, detektör haznesi ve ışın sınırlayıcı olarak görev yapan kolimatör bulunmaktadır .

Örneğin her iki tarafına gama radyoizotop kaynağı ve detektör aynı dik eksende olacak şekilde yerleştirilerek, kaynaktan çıkarak malzemeyi geçen radyasyonun şiddeti ölçülmektedir. Malzemenin farklı kalınlık değerleri kullanılarak elde edilen sayım değerleri (I), malzeme olmaksızın elde edilen sayım değerine (I_0) oranlanarak malzemenin her bir kalınlık değeri için gama geçiş hızı ($^{I}/_{I_0}$) elde edilmiştir. Her bir malzeme için kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilerek malzemenin gama zayıflatma katsayısı, eğrilerinin eğiminden hesaplanmıştır. Malzemeler için oluşturulan gama zayıflatma eğrilerinden yola çıkılarak malzemelerin Lineer zayıflatma katsayıları (μ), (Denklem 3.1)'de verilen Beer Lambert formülü yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{3.1}$$

I: Malzemeyi geçen gama radyasyon şiddeti

I_0: Malzemeye gelen gama radyasyon şiddetini

μ :Malzemenin belirli bir enerjisi için lineer zayıflatma katsayısı

x: Malzeme kalınlığı

NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ve çok kanallı analizörü bir arada bulunduran kompakt sistem deneysel çalışmalarda gama radyasyonu ölçümü için kullanılmıştır.

Deneysel sistem saçılma etkilerini minimize edebilmek amacıyla dikkatlice kurulmuştur. Dedektör kaynaktan istenilen uzaklıklara yerleştirilecek şekilde ayarlanabilmektedir. Spektrum analizi, bilgisayar programı "ORTEC Spectrum" yardımı ile desteklenmektedir. Doğal etkilerin azaltılması için detektör 6 cm'lik kurşun ile zırhlanmıştır. Dar demet geometrisi oluşturmak amacıyla kolimatör olarak 5 cm kalınlığında ve ortasında 12 mm çapında bir delik açılmış olan kurşun blok kullanılmıştır. Daha sonra malzeme konulmadan kaynaktan çıkan ve kolimatörü geçerek dedektöre ulaşan başlangıç gama radyasyonu (I_0) ölçülmüştür. Takiben her bir malzeme için farklı kalınlık değerlerinde numuneler kolimatör önüne yerleştirilerek her kalınlık değeri için gama radyasyonu (I) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir örneğin sayım süresi 3600 s olarak tutulup, 3 kez tekrar edilmiş ve böylelikle ortalama sayım değerleri ve standart sapmalarına ulaşılmıştır. Her bir malzemenin farklı kalınlıkları için elde edilen net sayım değerleri net başlangıç sayımına bölünerek bağıl sayım (I/I_0) değerleri belirlenmiştir (*Ek*). Malzemelerin bağıl sayım- kalınlık grafikleri oluşturularak gama zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olup buradan hareketle malzemelerin birbirleri ile mukayese edilerek değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

3.3. Dedektör Çalışma İlkeleri Ve Dedektör Çeşitleri

Nükleer radyasyonun tespiti için detektörler kullanılmaktadır. Detektör çeşitler birbirleri ile benzeri temel çalışma ilkelerine sahiptir.

- Öncelikle radyasyon dedektöre girer.
- Dedektör materyalinin atomları ile etkileşir.
- Bu etkileşme atom yörüngelerinden düşük enerjili elektronların salınmasına sebep olur.

Düşük enerjili elektronlar toplanır analiz edilmek için akım pulsu veya voltaj şekline dönüştürülür. Bu dönüşüm elektronik devre sayesinde olur. Dedektör materyali seçiminde önemli olan ölçülecek radyasyon tipidir. Dedektörler aşağıdaki

gibidir:

- Gazlı Detektörler
- Sintilasyon Detektörleri
- Yarı İletken Detektörleri
- Diğer Detektörler

Çalışmalarımızda sintilasyon detektöründe sintilatör olarak talyum aktifli sodyum iyodür kullandık.

3.3.1. Sintilasyon Detektörü

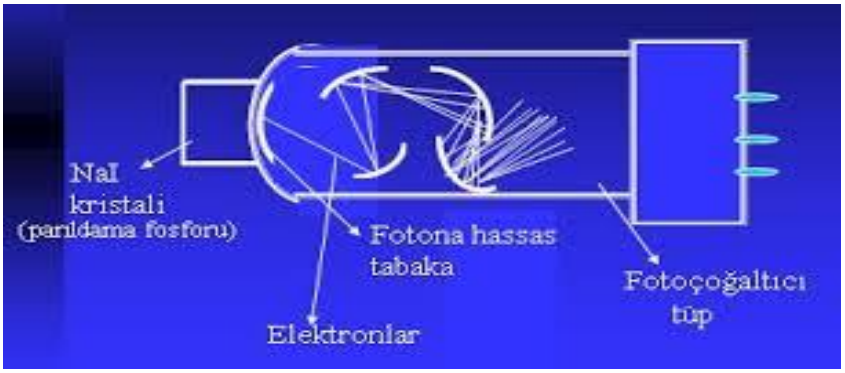
Bileşiminde sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasin naftalin ve fenantirinin bulunan maddelere bir tek yüklü parçacık, X-ışını veya gama ışını çarptığı zaman bir ışık pırıltısı meydana gelir. Bu maddelere sintilatör adı verilir. Oluşan ışık pırıltıları elektrik pulslarına dönüştürülüp, yükseltilir ve sayılır. Bu dedeksiyon ve sayma işleminin gerçekleştirildiği düzenekler sintilasyon detektörleridir. Sintilasyon dedektörleri, 50 keV'den birkaç MeV'e kadar olan gama ışınlarının enerjilerinin ölçülmesini sağlayan, dedektörlerden biridir. Rezolüsyon çok yüksek olmasa bile çok yüksek bir verim vardır. Meydana gelen pulslar, kristalde depolanan enerji ile doğru orantılıdır. Compton dağılımı ve fotoelektrik pikler görülebilir ve kolayca tanımlanabilir. Kaliteli bir detektör yapmak için iki kriterin sağlanması gerekmektedir ki bu iki şart birbiri ile çelişir. Bunlardan birincisi yeteri sayıda elektronik pulslarının oluşması için elektron ve iyonların oluşabileceği, yüksek elektrik alana dayanabilecek detektör materyaline ihtiyaç vardır. Radyasyon olmadığında, taban sayım gürültüleri mümkün olduğu kadara azalacak yani az veya hiç akım geçmeyecektir. İkinci kriter; elektronların gelen radyasyon ile kolayca koparılabilmeleri ve elektronlar ile ilk iyonlaşan atomların materyal içinde kolayca yol alabilmeleridir. Birinci şart yalıtkan, ikinci şart iletken bir materyal seçimini gerektirdiğinden, bu iki şartın bir yarı iletken ile sağlanacağı açıktır. Sintilasyon sayaçları 1950'lerde geliştirilmişolup, uygun çözme gücüne ve yüksek verime sahiptirler. Sintilasyon sayaçları materyal seçimindeki çelişkiyi şöyle çözer :

1. Önce radyasyon detektöre girer atomlar ile fazla sayıda etkileşme yapar.
2. Materyaller (florasans) görünür bölgede veya görünür bölgeye yakın yerde ışık

yayınlarlar.

3. Işık foto duyarlı yüzeye çarparak foton başına en çok bir foto elektron salınmasına nedenolur.
4. Foto elektronlar foto çoğaltıcı tüpte hızlandırılır, çoğaltılırlar ve çıkış pulsları şekline dönüştürülür.

NaI (TI) kristali nem kaptığından, foto-çoğaltıcı optik kontak yüzü haricinde bütün çevresi Al levha ile kaplanırken, yansıtma özelliğinden dolayı iç yüzü magnezyum oksitle kaplıdır.

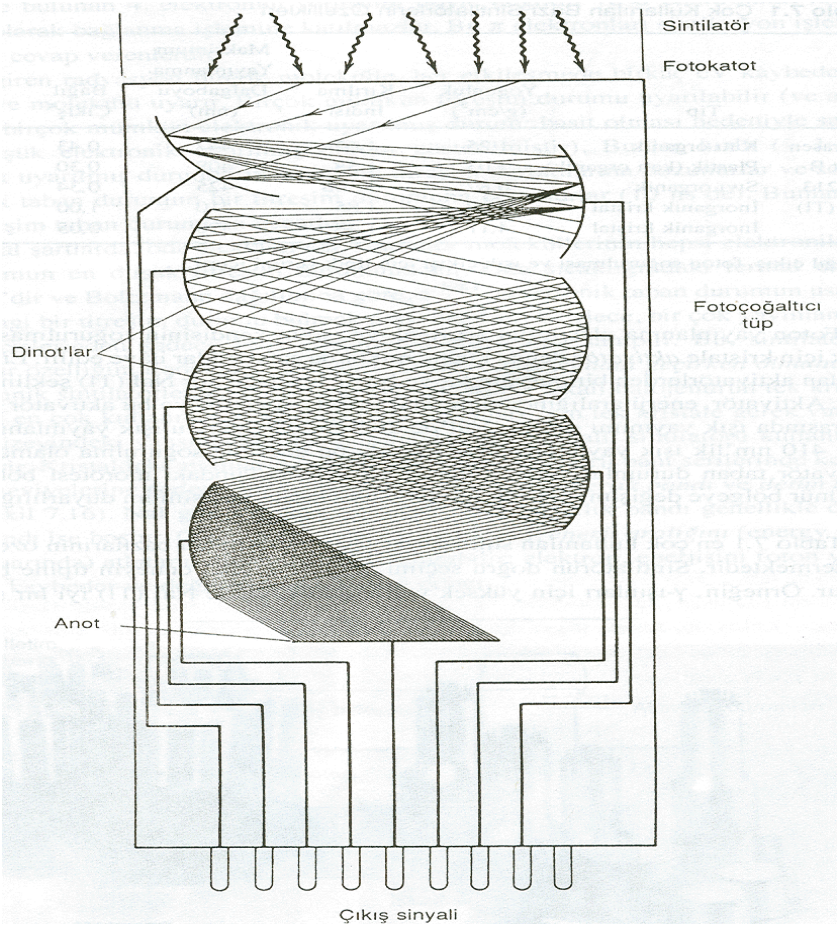


Şekil 3.4.Sintilasyon dedektörü

3.3.1.1. Foto Çoğaltıcı Tüp

Foto katot, elektron odaklayıcısı, toplayıcı anot, dinotlar foto çoğaltıcıyı meydana getirir. Gelen foton sayısında yayınlanan elektronlar ile dinot denen bir voltaj zinciri ve bir dizi voltaj bölücüleri ile birleştirilmiş yapı bir dizi elektron çoğaltılır odaklanır. Bu olay Foto katotta gerçekleşir. Komşu dinotlar arasındaki potansiyel farkı yaklaşık 100 volttur ve böylelikle elektronlar dinotlara 100 eV'luk enerji ile çarparlar.

Dinotlar foto elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu bir maddeden yapılır bir elektron salınması için 2,3 eV yeterli olabilir. Böylece elektron sayısın 30-50 çarpanı kadar bir kazanç sağlanabilir (Knoll, 2010; Krane,2006).



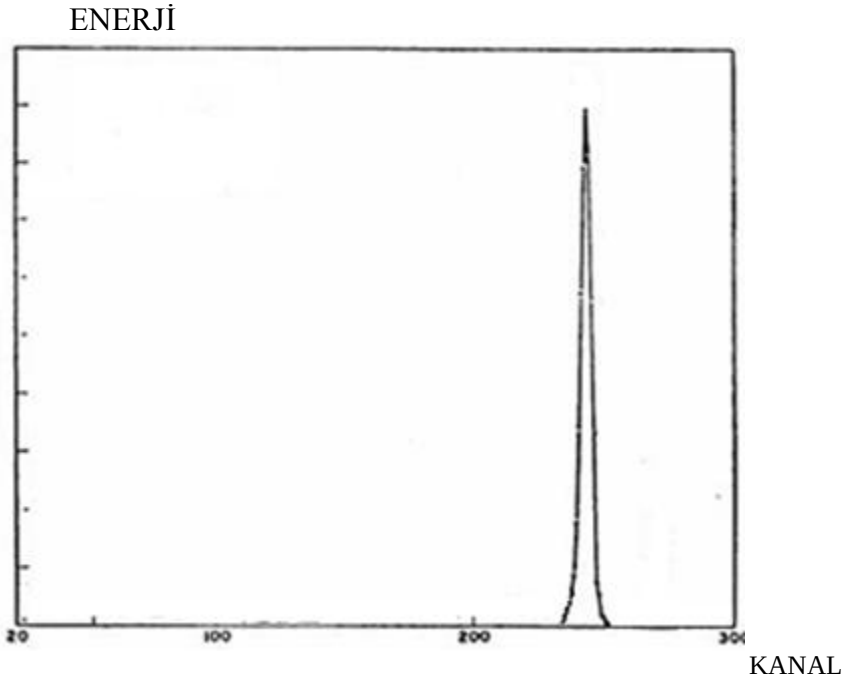
Şekil 3.5.Bir foto çoğaltıcı tüpün çalışma şekli

3.4.Kalibrasyonlar

Elimizdeki karmaşık spektrumun bir anlam kazanmasını istiyorsak enerjinin kanal sayısına göre veya voltaja göre ve radyoaktif çekirdek miktarının puls sayımına göre kalibrasyonu yapılmalıdır.

3.4.1. Dedektörün Enerji Kalibrasyonu

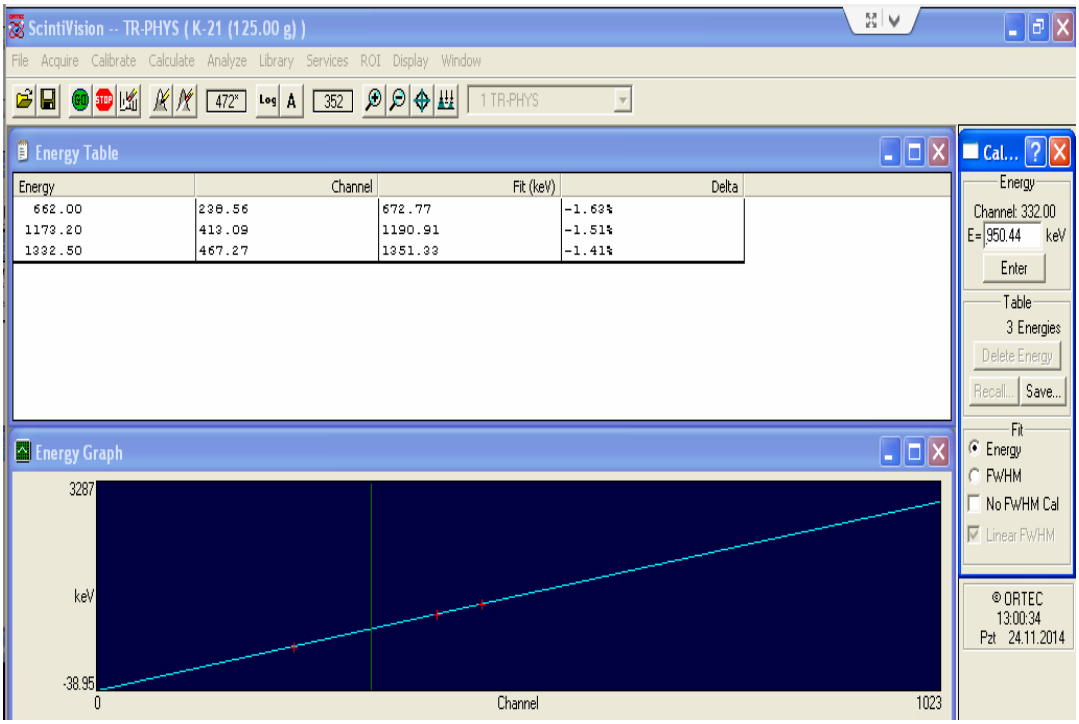
Detektöre düşen fotonları net olarak belirlemek için sayım sisteminin enerji kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Spektrumda gözlenen piklerin bulundukları kanallarla foton enerjisi arasındaki bağın belirlenmesine enerji kalibrasyonu diyebiliriz. Çok kanallı analizörler gelen sinyalleri sayı ve boylarına göre ayırır, bilgisayar yazılım programı ile sonuçlar elde edilir. Sonuçlar her bir kanala karşılık gelen sayım şeklindedir. Radyoaktif kaynaktan yayılan gama ışınlarına ait enerji piklerine karşılık kanal numaralarını tayin etmiş oluruz



Şekil 3.6. Bir enerji değeri için kanala karşılık gelen sayım sayısı

Kalibrasyon işlemi sonrası kanal başına düşen enerji hesaplanır ve elde edilen enerji kalibrasyon ifadesi olarak sonrasında bilinmeyen örneğinpiklerindeki nitel tanımlamalarda kullanılır. Sayım sisteminin enerji kalibrasyonu yapılırken enerjileri daha önceden belirlenmiş kaynaklar kullanmak gerekir. Kullanılan bu kaynakların spektrumda oluşturduğu piklerin tepe noktalarına bakılır, gama enerjilerindeki piklerin hangi kanal numarasına denk geldiği tespit edilir. Bu şekilde tüm kanallar kalibre edilir. Bu piklerdeki enerji değerleri bir fonksiyona fit edilerek kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edilir. Enerji kalibrasyonu eğrisi için, Enerji=A+B*Kanal, şeklinde doğrusal bir fonksiyon uyarlamak yeterli olur

Spektrum analizi bilgisayar programı "ORTEC Spectrum" yardımı ile desteklenmektedir (Şekil 3.7).

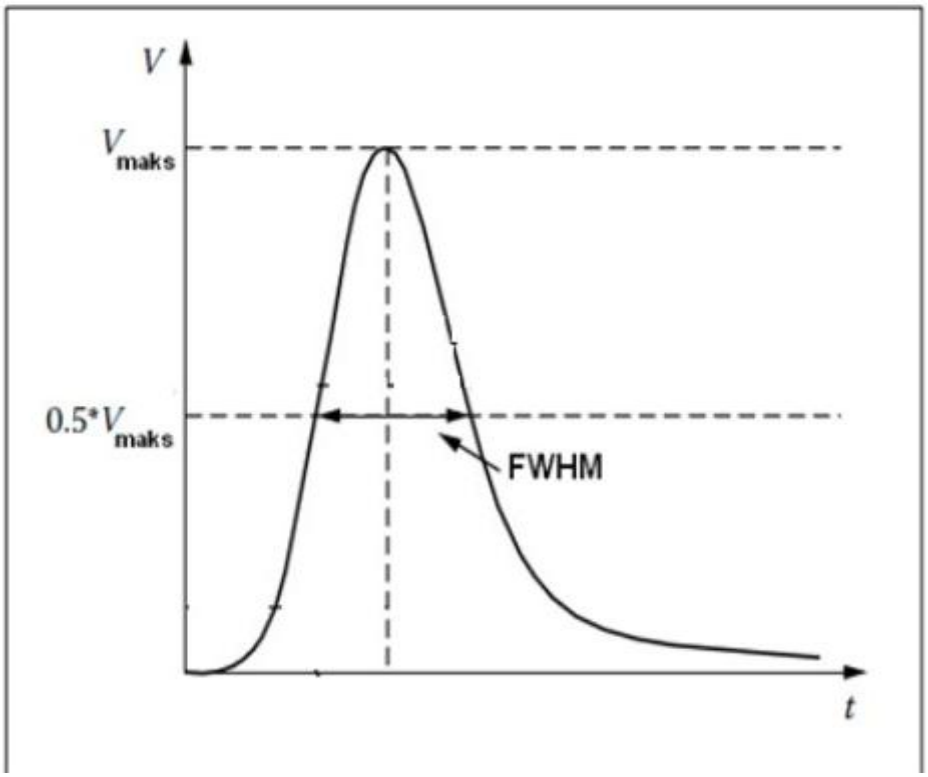


Şekil 3.7. 1µCi olan Co-60 ve Cs-137 nokta kaynaklarını kullanarak NAI(TI) Dedektörü ve ScintiVision (ORTEC) yapılmış olan enerji kalibrasyonu

3.4.2.Yarı yükseklikte Maksimum Genişliği (Full WithHalf Maximum, FWHM)

Birbirine yakın enerji değerlerini ayırt etme özelliğine dedektörün çözünürlüğü denir. FWHM enerji pikinin yarı yüksekliğindeki genişliği, enerji ayırma gücünü verir. FWHM'nin küçük olması yakın değerli enerji piklerini ayırmada başarılı bir dedektör kullanıldığı anlamına gelir.

FWHM, piklerin kuyruk kısmından kaynaklanacak hataları düzeltmeye yardımcı olur. Çözünürlük kalitesi arttıkça yarı yükseklikteki tam genişlik azalacaktır. Gama ölçüm sistemi olarak NaI(Tl) sintilasyon detektörü kullanılmıştır, enerji rezolüsyonu Co-60; 1332 keV'lik gama enerjisi için % 2.1 olup, "Full With Half Maximum" 70.44 dir.



Şekil 3.8. Yarı maksimum genişliği

Pikin tepe noktasına denk gelen kanal numarası (centroid), N_1, N_2 sayma sayısı, sayım sayısı (C_i) ,i' inci kanaldaki (Ch_i) olmak üzere;

$$\text{Centroid} = \frac{\sum_{i=N_1}^{N_2} C_i . Ch_i}{\sum_{i=N_1}^{N_2} C_i} \qquad (3.2)$$

şeklindedir.

3.5. Hata Hesabı

İncelediğimiz örnekler için her enerjide ve geometride 3600 s süre ile 3 kez sayım alınmıştır. Sayım hataları % 4' ü geçmemektedir (*Ek*). Üç sayımın standart sapması (Denklem3.3) ile hesaplanmıştır.

$$dI = \frac{\sqrt{\left(I_1 - \frac{I_1+I_2+I_3}{3}\right)^2 + \left(I_2 - \frac{I_1+I_2+I_3}{3}\right)^2 + \left(I_3 - \frac{I_1+I_2+I_3}{3}\right)^2}}{\sqrt{3-1}} \quad (3.3)$$

Birbirinden bağımsız ve belirsizliği belli iki değişkenden elde edilen hesaplamalar için kısmı belirsizlik (Denklem 3.4) ile hesaplanmıştır (Taylor,1982; Bork, Grote, Notz ve Regler, 1993).

I/I_0 gama radyasyonu geçiş hızının hatası (Denklem 3.4) ile hesaplanmıştır.

$$d\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{I}{I_0}\sqrt{\left(\frac{d(I)}{I}\right)^2 + \left(\frac{d\left(I_0\right)}{I_0}\right)^2} \quad (3.4)$$

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma ve Bulgular

Kırklareli mermeri ve alüminyum levha örneklerinin 661.7, 1173.2 ve 1332.5 keV foton enerjileri için lineer zayıflatma ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı-değer ve onda bir değer kalınlıkları hesaplandı. Soğuk pres ile hazırlanan kalker tozu örnekleri için aynı değerler, 661.7 keV foton enerjisi için hesaplandı.

Mermer örneklerinin kalınlıkları; 0.69, 0.80, 0.83, 1.48, 1.52, 1.69, 2.38, 2.49 cm'dir veher bir örneğin sayım süresi 3600 s olarak tutulup, 3 kez tekrarlanmıştır.

Mermer örnekleri sabit bir foton enerjisi için incelenirken farklı aktiviteler ve geometrilerde ölçümler alınmıştır. Co-60, 1173.2 ve 1332.5 keV foton enerjileri ve 1 μCi aktivite için (4-12) cm, (4-16) cm ve (8-16) cm'lik geometrilerde ölçümler tekrarlanmıştır. Lineer zayıflatma katsayısı, 1173.2 keV için (4-12) cm, (4-16) cm ve (8-16) cm'lik geometrilerde sırasıyla 0.20755 ±0.0087 cm^{-1}, 0.1769 ±0.0105 cm^{-1}, 0.18503±0.00906 cm^{-1} bulunmuştur, ortalama değer 0.18983±0.00942 cm^{-1}, standart sapması 0.013 dır (Çizelge 4.1). 1332.5 keV foton enerjisi için aynı sıra ile lineer zayıflatma katsayısı sırasıyla 0.13547±0.0126 cm^{-1}, 0.1156±0.0121 cm^{-1}, 0.15033±0.01105 cm^{-1} bulunmuş, ortalama değer 0.1339±0.01192 cm^{-1}, standart sapması 0.014 dır (Çizelge 4.1.)

Cs-137, 661.7 keV foton enerjisi için, 1 μCi'lik kaynak ile (8-16) cm geometride lineer zayıflatma katsayısı 0.21165±0.01482 cm^{-1}, 12 μCi'lik kaynak ile (4-12) cm, (4-16) cm ve (8-16) cm'lik geometrilerde sırasıyla 0.20138±0.00216 cm^{-1},

0.18509±0.00192 cm^{-1} ve 0.19888±0.00362 cm^{-1} hesaplanmış, ortalama değer ise 0.19925±0.00563 cm^{-1}, standart sapması 0.009 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1.) .

Lineer zayıflatma katsayısı hesaplanan alüminyum örneklerinin kalınlıkları 0.15, 0.20, 0.30, 0.49, 0.79, 0.99 ve 1.30 cm' dir, sayım süresi 3600 saniye olarak alınmıştır.

Alüminyum örnekleri için 1173.2 ve 1332.5 keV foton enerjileri, 1 µCi aktivite ve (4-12) cm geometri için sırasıyla lineer zayıflatma katsayısı 0.20128±0.01161 cm^{-1} ve 0.15382±0.01117 cm^{-1} olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2.).

Aynı örneklerin lineer zayıflatma katsayısı 661.7keV için 1 µCi aktivite ve (4-12) cm (8-12) cm ve (8-16) cm'lik geometrilerde sırasıyla, 0.19675±0.01142 cm^{-1}, 0.2332±0.01467 cm^{-1}, 0.21149±0.00671 cm^{-1}, 12 µCi aktivite ve (4-12) cm'de 0.21751±0.01316 cm^{-1} bulunmuş, ortalaması 0.21474±0.01149 cm^{-1}, standart sapması 0.0130 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2.) .

Kalker tozu ile yapılan örnek tabletlerin kalınlıkları 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 cm' dir. Ölçümlerde 661.7 keV foton enerjisi, 1 µCi ve 12 µCi'lik kaynaklar kullanılmıştır. $4.0x10^7$Pa basınç ile yapılan tabletlerin çabuk kırılması nedeniyle, (4-12) cm geometrisinde alınan sonuçlar, sırasıyla, 0.22979±0.00844 cm^{-1} ve 0.23047±0.00634 cm^{-1}, ortalaması 0.23013±0.00634 cm^{-1}dir (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.1.Mermer örnekleri için deneysel lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ve kütle zayıflatma katsayılarının XCOM değerleri.

Radyoizotop Aktivite (µCi) Enerji (keV)	(4-12) cm	(4-16) cm	(8-16) cm	μ_{ort} (cm^{-1})	µ/ρ	µ/ρ (XCOM)
Co-60 (1 µCi) 1173.2 keV	0.20755 ±0.0087	0.1769 ±0.0105	0.18503 ±0.00906	0.18983 ±0.00942	0.07136	0.05889
Co-60 (1 µCi) 1332.5 keV	-0.13547 ±0.0126	-0.1156 ±0.0121	-0.15033 ±0.01105	0.1339 ±0.01192	0.0503	0.05519
Cs-137 (1 µCi) 661.7 keV	-	-	0.21165 ±0.01482	0.19925 ±0.00563	0.07491	0.07749
Cs-137 (12 µCi) 661.7 keV	0.20138 ±0.00216	0.18509 ±0.00192	0.19888 ±0.00362			

Çizelge 4.2. Alüminyum örnekleri için deneysel lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ve kütle zayıflatma katsayılarının XCOM değerleri.

Radyoizotop Aktivite (μCi) Enerji (keV)	(4-12) cm	(8-12) cm	(8-16) cm	μ_{ort} (cm^{-1})	μ/ρ	μ/ρ (XCOM)
Co-60 (1 μCi) 1173.2 keV	0.20128 ±0.01161	-	-	-	0.07455	0.05676
Co-60 (1 μCi) 1332.5 keV	0.15382 ±0.01117	-	-	-	0.05697	0.05321
Cs-137 (1 μCi) 661.7 keV	0.19675 ±0.01142	0.2332 ±0.01467	0.21149 ±0.00671	-0.21474 ±0.01149	0.07953	0.07466
Cs-137 (12 μCi) 661.7 keV	0.21751 ±0.01316	-	-			

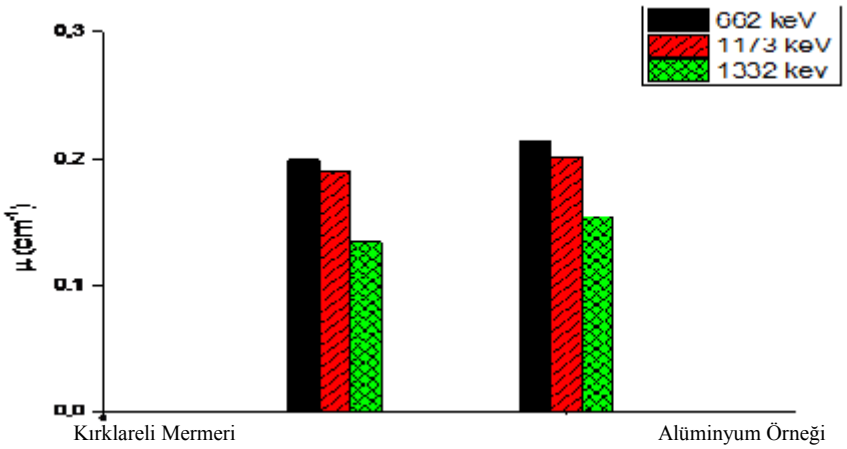
Çizelge 4.3. Kalker örnekleri için deneysel lineer ve kütle zayıflatma katsayıları ve kütle zayıflatma katsayılarının XCOM değerleri.

Radyoizotop Aktivite (μCi) Enerji (keV)	(4-12) cm	(8-12) cm	(8-16) cm	μ_{ort} (cm^{-1})	μ/ρ	μ/ρ(XCOM)
Cs-137 (1 μCi) 661.7 keV	0.22979 ±0.00844	-	-	-0.23013 ±0.00634	0.05420	0.07749
Cs-137 (12 μCi) 661.7 keV	0.23047 ±0.00424	-	-			

Gama-ışınlarının soğrulmasının temel özelliği, homojen bir ışın demetinin ince bir madde tabakasından geçerken ışınım yoğunluğunun üstel olarak azalmasıdır (Kaplan,1963). Beer Lamberts denkleminin geçerliliği deney sonuçlarımızdan da görülebilmektedir. Belirli bir foton enerjisinin, belirli bir tür zayıflatıcı örnek için geçiş hızının (I/I_0, logaritmik ölçekte), zayıflatıcı örnek kalınlığına (x, lineer ölçekte) göre değişiminin doğrusal olması Beer-Lamberts denklemine uymaktadır, *EK* 'de görüldüğü gibi çizimler için R^2 0.80-0.99 arasında değişmektedir ve geçiş hızı, kalınlıkla ters orantılıdır.

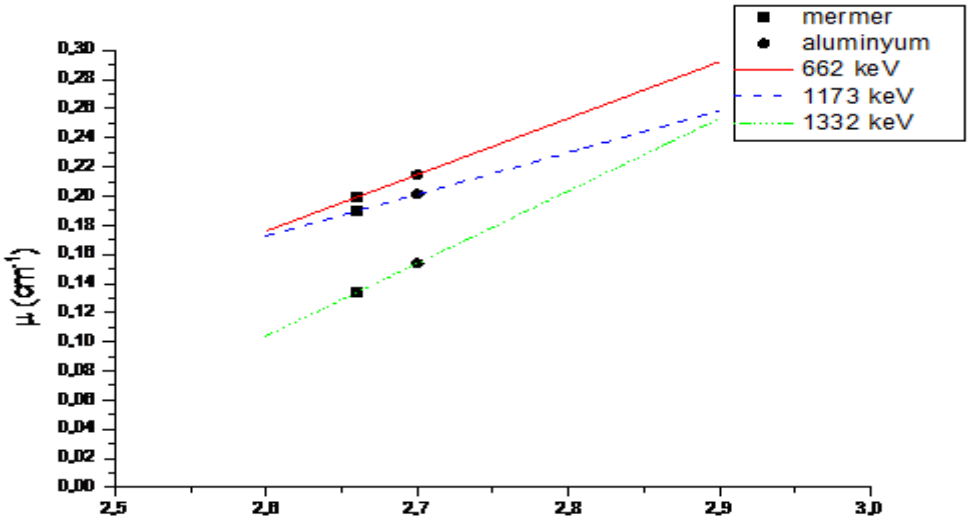
Belirli bir element için, gama ışınlarının enerjisi arttıkça soğurulma katsayısının azaldığı açıktır, μ'nin değeri de elementten elemente değişir (Evans, 1955; Kaplan,

1963;Mavi vd., 2015). İncelediğimiz mermer örnekleri için lineer zayıflatma katsayısı; 661.2keV, 1173.2 keV ve 1332.5 keV için sırasıyla 0.19925±0.00563 cm^{-1}, 0.18983±0.00942 cm^{-1} ve 0.1339±0.01192 cm^{-1}, alüminyum örnekleri için yine sırasıyla lineer zayıflatma katsayısının; 0.21474±0.01149 cm^{-1}, 0.20128±0.01161 cm^{-1} ve 0.15382±0.01117 cm^{-1}olarak değiştiği tespit edilmiştir. Şekil 4.1' den Kırklareli mermeri ve alüminyum için çalışılan enerji değeri arttıkça, lineer zayıflatma katsayısının düştüğü görülmektedir.



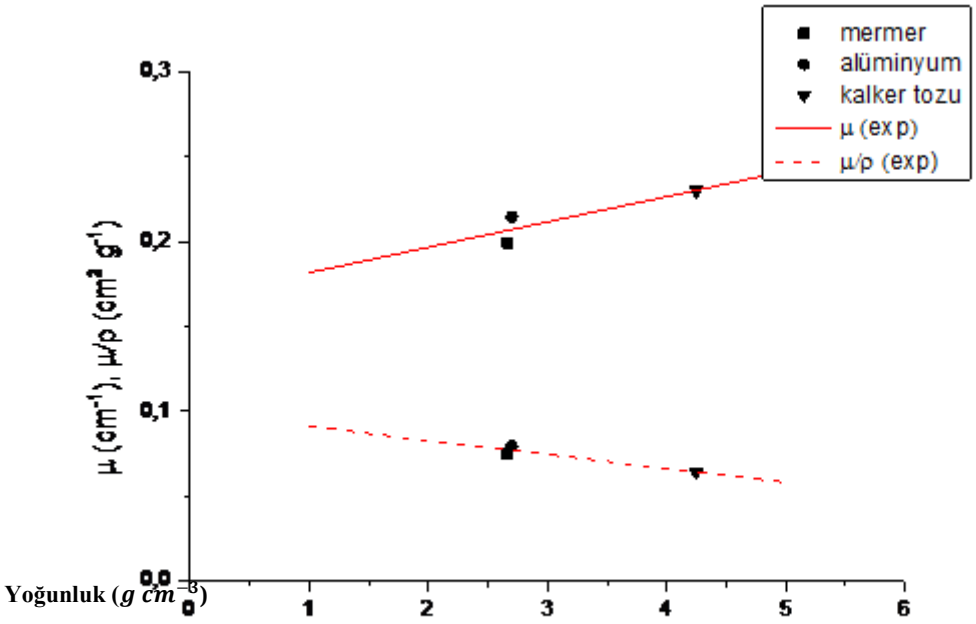
Şekil 4.1. Kırklareli mermeri ve alüminyum örnekleri için 661.2 keV, 1173.2 keV, 1332.5 keV de ölçülen μ değerleri

Radyasyonun madde ile etkileşmesinde, maddenin yoğunluğunun etkisi incelenmelidir. Mermer ve alüminyum örneklerinin 661.2keV, 1173.2 keV ve 1332.5 keV foton enerjileri için μ, Kırklareli mermeri (2.66±0.08 g cm^{-3}) ve alüminyum (2.7±0.01 g cm^{-3}) için yoğunluk ile değişimi Şekil 4.2 'de görülmektedir. Lineer zayıflatma katsayısı yoğunlukla artmaktadır (Akkurt, Basyigit, Kilincarslan, Mavi ve Akkurt, 2006; Akkurt, Kılıncarslan, Basyigit, Mavi ve Akyıldırım, 2009; Akkurt, Akyıldırım, Mavi, Kilincarslan ve Basyigit, 2010).



Şekil 4.2. Mermer ve alüminyumun lineer zayıflatma katsayılarının 662, 1173 ve 1332 keV için yoğunluğa göre değişimi

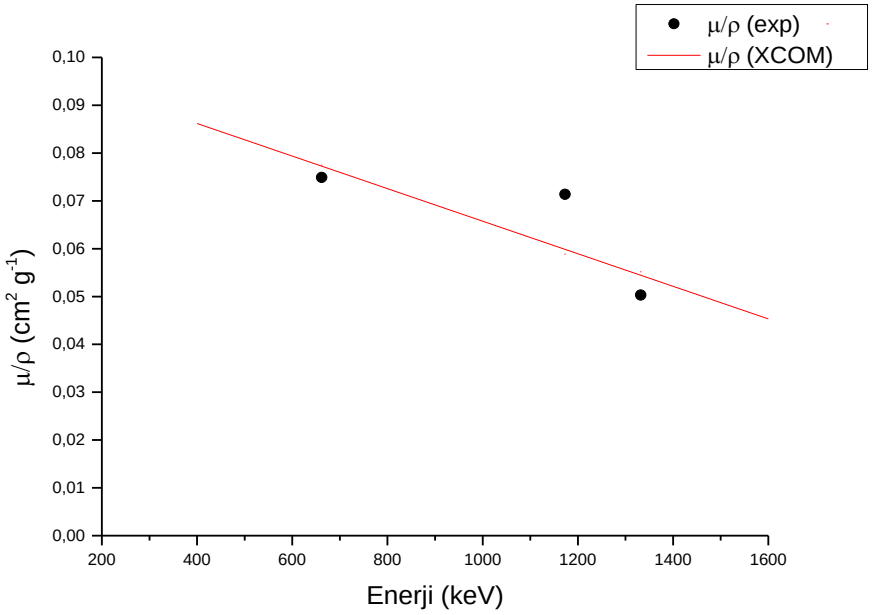
Radyasyonun zayıflaması foton enerjisinin yüksek bölgesinde artar (>100 MeV), bunun nedeni Compton saçılmaları nedeniyle ardışık çarpışmalar olabilir (Şekil 2.13.). Deneysel olarak elde edilen lineer ve kütle zayıflatma katsayıları 661.7keV foton enerjisi için karşılaştırılabilir. Mermer, alüminyum ve kalker tozu için lineer zayıflatma ve kütle zayıflatma katsayıları yoğunluğun fonksiyonu olarak çizildiğinde, (Şekil4.3)'de görüldüğü gibi lineer zayıflatma katsayısı (μ) yoğunluk ile artmakta, doğrunun eğimi, 0.015dir. Kütle zayıflatma katsayısının (μ/ρ) yoğunluk ile değişimi ise, beklendiği gibi daha az değişmektedir, doğrunun eğimi 0.008'e düşmektedir (Kaplan,1963; Akkurt, Kilincarslan ve Basyigit, 2004).



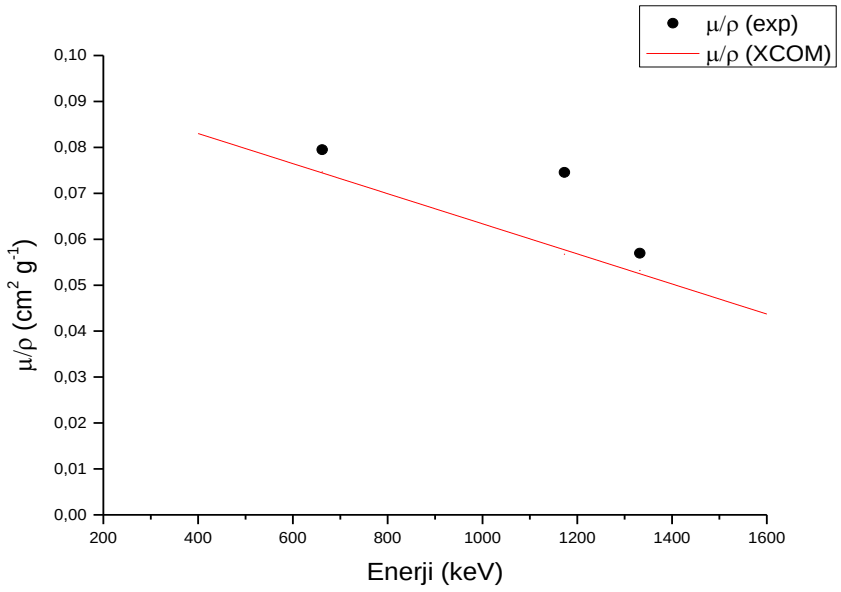
Şekil 4.3.Mermer, alüminyum, kalker tozunun 662 keV foton enerjisinde ölçülen μ (düz çizgi) ve μ/ρ (kesikli çizgi) değerlerinin yoğunluğa göre değişimi

Örneklerimiz için deneyler sonucu bulunan kütle zayıflatma katsayılarının, XCOM (Berger, Hubbell,2017) kaynağı ile yapılan karşılaştırma sonucu, mermer ve alüminyum örneklerinin 661.7 keV ve 1332.5 keV enerjiler için sapma miktarı %3.33 - %8.86 aralığında kalırken, 1173.2 keVfoton enerjisi için %20.7 - %31.34 aralığında değiştiği tespit edilmektedir (Şekil 4.4, Şekil 4.5). Bu sapmanın nedeni Co-60 radyo izotopunun 1173.2 keV ve 1332.5 keV enerjilerdeki piklerinin üst üste binmesi olabilir. Kalker tozu örneği için de farkın yüksek olması tabletlerin çabuk dağılması ve sağlıklı ölçüm yapılaması ile açıklanabilir (Çizelge 4.3.) .

Zırhlayıcı malzemenin gama radyasyonunu zayıflatma etkisi, malzemenin yarı-değer (HVL) ve onda bir-değer kalınlığı (TVL) ile de belirlenebilir (Çizelge 4.4.), (Şekil 4.6.), (Şekil 4.7.) .



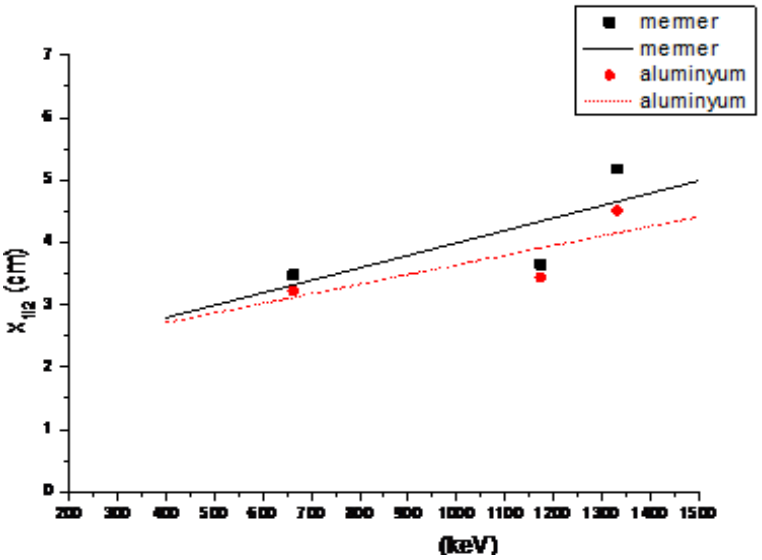
Şekil 4.4.Mermer örneğinin 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV foton enerjileri için μ/ρ değerleri (noktalar ölçülen değerler) ve (düz çizgi XCOM değerleri)



Şekil 4.5. Alüminyum örneğinin 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV foton enerjileri için μ/ρ değerleri (noktalar ölçülen değerler) ve (düz çizgi XCOM değerleri)

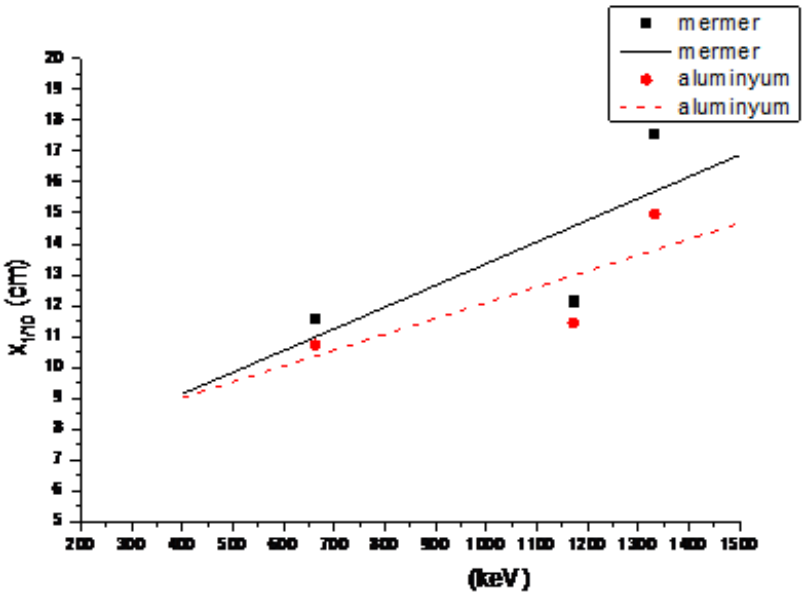
Çizelge 4.4. Kırklareli mermeri, alüminyum ve kalker tozu örneklerinin HVL ve TVLdeğerleri.

Radyoizotps Enerji (keV)	HVL (cm)	TVL (cm)
Cs-137 661.7 keV	3.48	11.56
Co-60 1173.2 keV	3.65	12.13
Co-60 1332.5 keV	5.18	17.20
Alüminyum örneği		
Radyoizotps Enerji (keV)	HVL (cm)	TVL (cm)
Cs-137 661.7 keV	3.23	10.72
Co-60 1173.2 keV	3.44	11.44
Co-60 1332.5 keV	4.51	14.97
Kalker tozu		
Radyoizotps Enerji (keV)	HVL (cm)	TVL (cm)
Cs-137 661.7 keV	3.01	10.01



Foton enerjisi

Şekil 4.6.Mermer ve alüminyum örneklerinin 662 keV, 1173 kev ve 1332 keV enerjilerde HVL değerleri.



Şekil 4.7.Mermer ve alüminyum örneklerinin 662 keV, 1173 kev ve 1332 keVenerjilerdeTVL değerleri

4.2. Tartışmalar

Kırklareli mermeri (μ=0.1993 cm^{-1}, μ/ρ=0.0749 cm^2/g, HVL=3.49 cm ve TVL=11.56 cm), alüminyum (μ=0.2147 cm^{-1}, μ/ρ=0.0795 cm^2/g, HVL=3.23 cm ve TVL=10.72 cm) ve kalker tozu (μ=0.2301 cm^{-1}, μ/ρ=0.0542 cm^2/g, HVL=3.01 cm ve TVL=10.01 cm) örneklerimizden kalker tozu, 661.7 keV foton enerjisi için, elde edilen lineer ve kütle zayıflatma katsayısı, HVL ve TVL değerleri ile daha iyi radyasyonu zayıflatma parametrelerine sahiptir.

Kırklareli mermeri ve alüminyum örneklerinin radyasyon zayıflatma parametreleri birbirine yakın olmakla beraber, alüminyum örneği öne çıkmaktadır (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2) .

Yapı malzemesi olarak sık kullanılan mermer ve kalker için bulduğumuz değerleri literatür ile karşılaştırırsak (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7.) Akkurt ve arkadaşlarının barite, mermer ve limra ile yaptığı çalışma sonuçlarından, 1332 keV foton enerjisinde limra için bulunan μ değeri, Kırklareli mermerinin μ değerine yakındır.

Finike beyaz mermerinin 662 keV de μ lineer zayıflatma katsayısı Kırklareli ve kalker tozu tabletinden düşük, 1332 keV de mermer örneğimizden düşüktür (Basyigit, I. Akkurt, Kilincarslan ve A. Akkurt,2005).

Isparta mermeri katılarak (%20 veya daha düşük) elde edilen beton örneğinin μ değeri 662 keV ve 1173.2 keV enerjilerde mermer örneğimizde düşükken, 1332 keV de artmaktadır, ancak mermer oranı arttırıldıkça H. Sarıkaya ve arkadaşları daha iyi sonuçlar bulmuştur (Akkurt, Altindag, Gunoglu ve Sarıkaya,2012).

I. Akkurt ve arkadaşlarının çimentoya farklı oranlarda barite karıştırarak elde ettiği yapı malzemelerinden bulduğu sonuçlar örneklerimizden elde ettiğimiz sonuçlara yakın veya daha yüksektir (Akkurt vd. , 2010).

B. Mavi'nin Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden granit örnekleri ile yaptığı çalışmada "nero" granit türü, mermer örneklerimize yakın radyasyondan koruma özelliklerine sahiptir, diğer örnekler bu özellikler açısından daha kötü veya iyidir (Mavi, 2012).

U. Çevik ve arkadaşlarının mermer örnekleri için bulduğu kütle zayıflatma katsayısı, 662 keV ve 1332 keV foton enerjisi için Kırklareli mermerine yakınken, 1173 keV için daha düşüktür (Cevik, Damla, Kobya, Celik ve Kara, 2010).

Akkurt ve arkadaşlarının çeşitli beton örnekleri ile yaptığı çalışmada lineer zayıflatma katsayısı için 662 keV ve 1332 keV enerjilerde Kırklareli mermerine yakın veya daha iyi sonuçlar elde etmiştir (Akkurt vd.,2006).

Mısır'da yapı malzemelerinde yapılan araştırmada kütle zayıflatma katsayısının 662keV ve 1173 keV enerjileri için Kırklareli mermerinden daha iyi radyasyondan koruma özelliğine sahip olduğu görülmektedir, ancak 1332 keV için yakın değere sahiptir (Medhat, 2009).

Suriye'de doğal malzeme katılarak geliştirilen radyasyon zırhlayıcı beton örneklerinin 662 keV foton enerjisi için lineer zayıflatıcı katsayısı, HVL ve TVL değerleri Kırklareli mermerinin gerisinde kalmaktadır (Kharita, Takeyeddin, Alnassar ve Yousef,2008).

Ürdün yapı malzemesi öreklerinde lineer zayıflatma katsayısı 662, 1173 ve 1332 keV enerjilerde genelde Kırklareli mermerinden düşükken, diğer parametrelerin yakın veya daha iyi değerlere sahip olduğu görülmektedir (Awadallah,2007).

Çizelge 4.5.μ, μ/ρ, HVL ve TVL parametrelerinin 662 keV de literatür ile karşılaştırılması

Örnekler	**μ (cm^{-1})**	**μ/ρ (cm^2g^{-1})**	**HVL (cm)**	**TVL (cm)**	**Kaynaklar**
Kırklareli mermeri	0.19925	0.07491	3.48	11.56	Tez sonuçları
Alüminyum	0.21474	0.07953	3.23	10.72	Tez sonuçları
Kalker tozu	0.23013	0.054420	3.01	10.01	Tez sonuçları
Finike White mermeri	0.192	-	-	-	Basyigit,Akkurt, Kilincarslan ve I. Akkurt, 2005
Beton (%20 Isparta mermeri)	0.1882	-	-	-	Akkurt, Altindag, Gunoglu, Sarıkaya, 2012
Beton (%0 barite)	0.257	-	-	-	Akkurt, Akyıldırım, Mavi, Kilincarslan, Basyigit, 2010
Granit (nero)	0.214	-	-	-	Mavi, 2012
Mermer (Türkiye)	-	0.075	-	-	Cevik, damla, Kobya, Celik, Kara, 2010
Beton	0.212	-	-	-	Akkurt, Basyigit, Kilincarslan, Mavi, Akkurt, 2006
Yapı malzemesi	-	0.071	-	-	Medhat, 2009
Beton (Suriye)	0.146-0.189	-	3.67-4.75	12.18-15.77	Kharita, Takeyeddin, Alnassar, Yousef, 2008
Kalker	0.217	0.086	3.197		Awadallah, 2007
Beton	0.138	0.073	5.051		
Tuğla	0.148	0.078	4.698		

Çizelge 4.6. μ, μ/ρ, HVL ve TVL parametrelerinin 1173 keV de literatür ile karşılaştırılması

Örnekler	μ (cm^{-1})	μ/ρ (cm^2 g^{-1})	HVL (cm)	TVL (cm)	Kaynaklar
Kırklareli mermeri	0.18983	0.07136	3.65	12.13	Tez sonuçları
Alüminyum	0.20128	0.07455	3.44	11.44	Tez sonuçları
Beton (%10 Isparta mermeri)	0.1360				Akkurt, vd.,2012
Beton (% barite)	0.174				Akkurt vd. ,2010,
Granit(nero)	0.161				Mavi, 2012
Mermer(Türkiye)		0.057			Celik, Kara, 2010
Yapı malzemesi		0.050			Medhat, 2009
Kalker	0.171	0.068	4.073		Awadallah,, 2007
Beton	0.123	0.066	5.631		
Tuğla	0.138	0.072	5.039		

Çizelge 4.7.μ, μ/ρ, HVL ve TVL parametrelerinin 1332 keV de literatür ile karşılaştırılması

Örnekler	μ (cm^{-1})	μ/ρ (cm^2 g^{-1})	HVL (cm)	TVL (cm)	Kaynaklar
Kırklareli mermeri	0.1339	0.0503	5.18	17.20	Tez sonuçları
Alüminyum	0.15382	0.05697	4.51	14.97	Tez sonuçları
Limra	0.13111				Akkurt, Kilincarslan, Basyigit, 2004
Finike Whitemermeri	0.1177				Basyigit, vd. ,2005
Beton (%0 Isparta mermeri)	0.1421				Akkurt vd. , 2012
Beton (% 0)	0.165				
Granit (nero)	0.132				Mavi, 2012
Mermer (Türkiye)		0.053			Cevik, vd. ,2010
Beton	0.1072-0.1495				Akkurt vd. , 2006
Yapı malzemesi		0.050			Medhat, 2009
Kalker	0.140	0.055	4.963		Awadallah, 2007
Beton	0.112	0.060	6.198		
Tuğla	0.108	0.057	6.410		

4.3.Sonuçlar

Tez çalışmasında Kırklareli mermeri, kalker tozu, alüminyumun gama radyasyonu karşısındaki tutumu incelenmiştir. Bugüne kadar ölçülmeyen Kırklareli mermeri, kalker tozu, alüminyumun çeşitli şartlarda gama soğurma katsayılarının deneysel ve teorik olarak belirlendiği gama radyasyonu ile yapılan bu çalışmada Cs- 137 ve Co- 60 olmak üzere biri tek diğeri iki farklı enerjide gama fotonu yayan radyoizotoplar kullanıldı. Na(TI) sintilasyon dedektörü ve çok kanallı analizörü bir arda bulunduran kompakt sistem ile dar demet geometrisi kullanılarak gama radyasyon ölçümü yapılmıştır.

Çalışılan malzemelerden elde edilen sonuçlara bakıldığında gama radyadyonunun aktivitesi dar demet koşullarında deney geometrisi, lineer zayıflatma katsayısı sonucunu etkilememektedir.

Elde edilen sonuçlardan (Çizelge 1- Çizelge 18) radyasyonun geçiş hızı $(\frac{I}{I_0})$, zayıflatıcı malzeme kalınlığı (x) grafiklerinden artan malzeme kalınlığına bağlı olarak malzemenin geçiş hızında azalma ve Beer Lambert kanununa uyum görülmektedir. Alüminyum ve mermer için lineer zayıflatma katsayısının enerji değerleri tek grafikte toplanmıştır (Şekil 4.1). Belirli bir element için gama ışınlarının enerjisi arttıkça foton madde etkiljeşim türü compton ve çift oluşuma kaymaktadır. Bu sebeple soğurulma azalacaktır. Yani lineer zayıflatma katsayısıazalacaktır. Enerji arttıkça lineer zayıflatma katsayısındaki düşüş beklentileri karşılamaktadır.

Mermer alüminyum ve kalker için lineer (μ) ve kütle zayıflatma katsayıları $(\boldsymbol{\mu/\rho})$ yoğunluğun fonksiyonu olarak çizildiğinde μ yoğunluk ile artmakta, $(\boldsymbol{\mu/\rho})$ ise beklendiği gibi az değişmektedir (Şekil 4.2, Şekil 4.3).

Zırhlayıcı malzemenin gama radyasyonu zayıflatma etkisi malzemenin yarıdeğer (HVL) ve onda bir değer kalınlığı (TVL) ile belirlenebilir. 661.7 keV için kalkere baktığımızda diğer materyallere oranla daha iyi HVL TVL değerlerine sahip olduğunu görmekteyiz (Çizelge 4.4). Literatür ile karşılaştırdığımızda, Kırklareli mermerinin ve basınç uygulanmış kalker tozunun lineer ve kütle zayıflatma katsayıları, HVL ve TVL değerlerinin radyasyon zırhlayıcı malzeme özelliklerine sahip oldukları söylenebilir.

Örneklerimiz için deneyler sonucu edinilen kütle zayıflatma katsayılarının, (Berger, Hubbell, 2017), XCOM kaynağı ile yapılan karşılaştırma sonucu, mermer ve

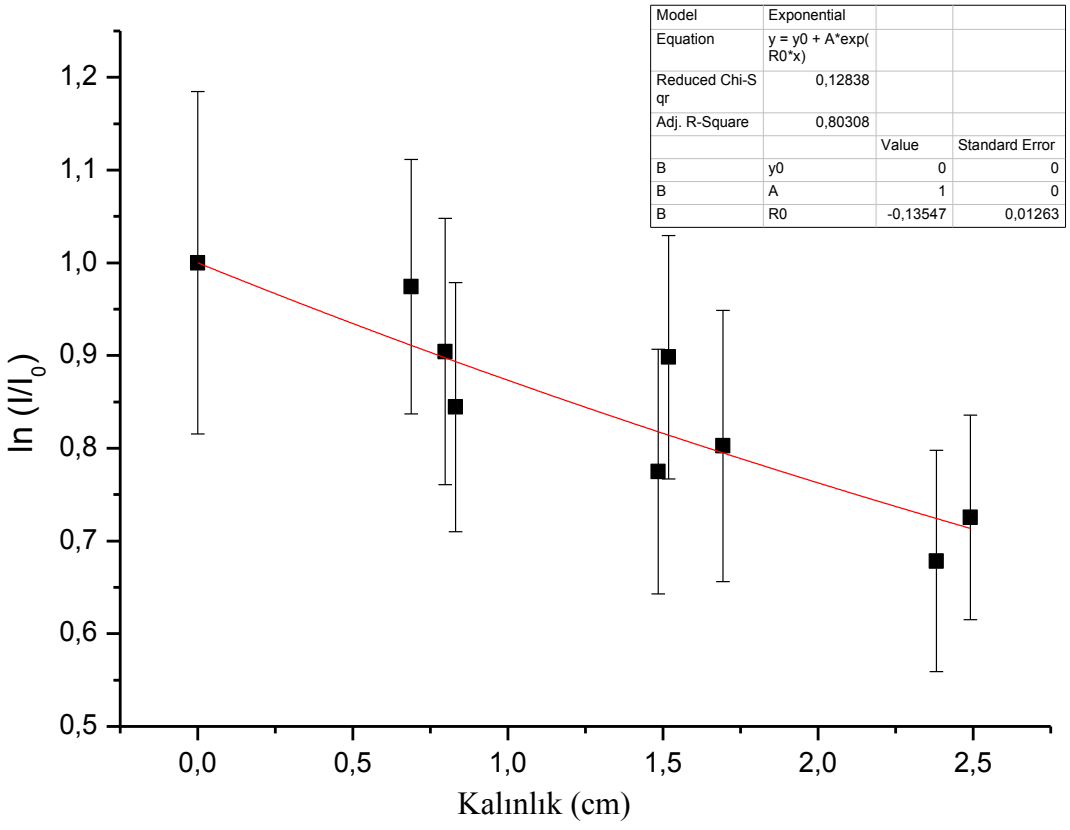
alüminyum örneklerinin 661.7 keV ve 1332.5 keV enerjiler için sapma miktarı %3.33 - %8.86 aralığında kalır.1173.2 keV foton enerjisi için %20.7 - %31.34 aralığında değiştiği tespit edilmektedir. Bu sapmanın nedeni Co-60 radyoizotopunun 1173.2 keV ve 1332.5 keV enerjilerdeki piklerinin üst üste binmesi ile, Kalker tozu örneği için farkın yüksek olması ise tabletlerin çabuk dağılması ve sağlıklı ölçüm yapılamaması ile açıklanabilir

Bu malzemelerin yapı malzemelerine değişik oranlarda katılarak incelenmesi önerilir.

EK

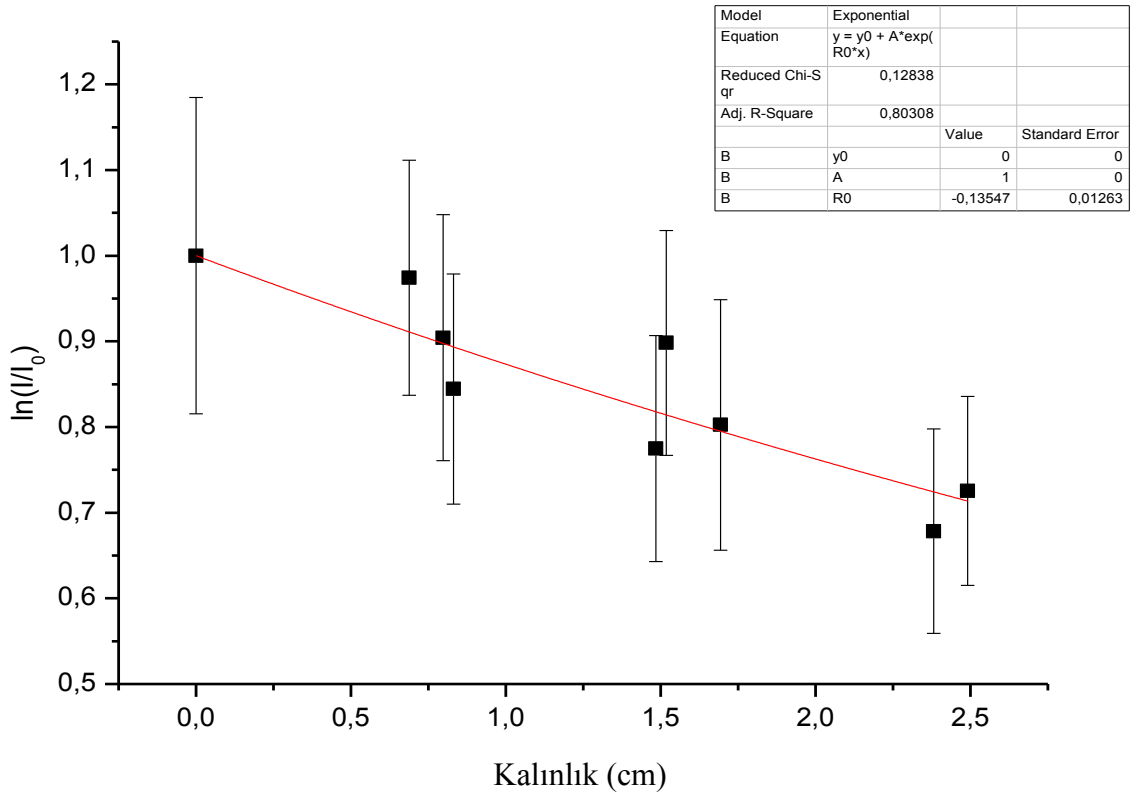
Çizelge Ek-1.Mermer örneklerinin Co-60 (1173.2keV) kaynağı ile (4-12)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
I_0	31101±673	33856±681	33856±661	32938±672	1	0.06829
6.8752	25690±686	26860±660	29232±644	27260±663	0.8276	0.0678
7.972333	26344±670	26445±625	25955±654	26248±650	0.7969	0.0393
8.305866	25634±662	27179±668	28635±642	27149±657	0.8243	0.0605
16.93833	23810±624	23640±626	23850±623	23767±624	0.7216	0.0350
14.8475	26487±605	24038±624	24463±621	24996±617	0.7589	0.0541
15.181066	23441±625	20283±668	25273±627	22999±640	0.6983	0.0837
23.81353	19381±611	19640±611	19557±607	19526±610	0.5928	0.0289
24.91066	21084±597	21149±594	20033±603	20755±598	0.6301	0.0359



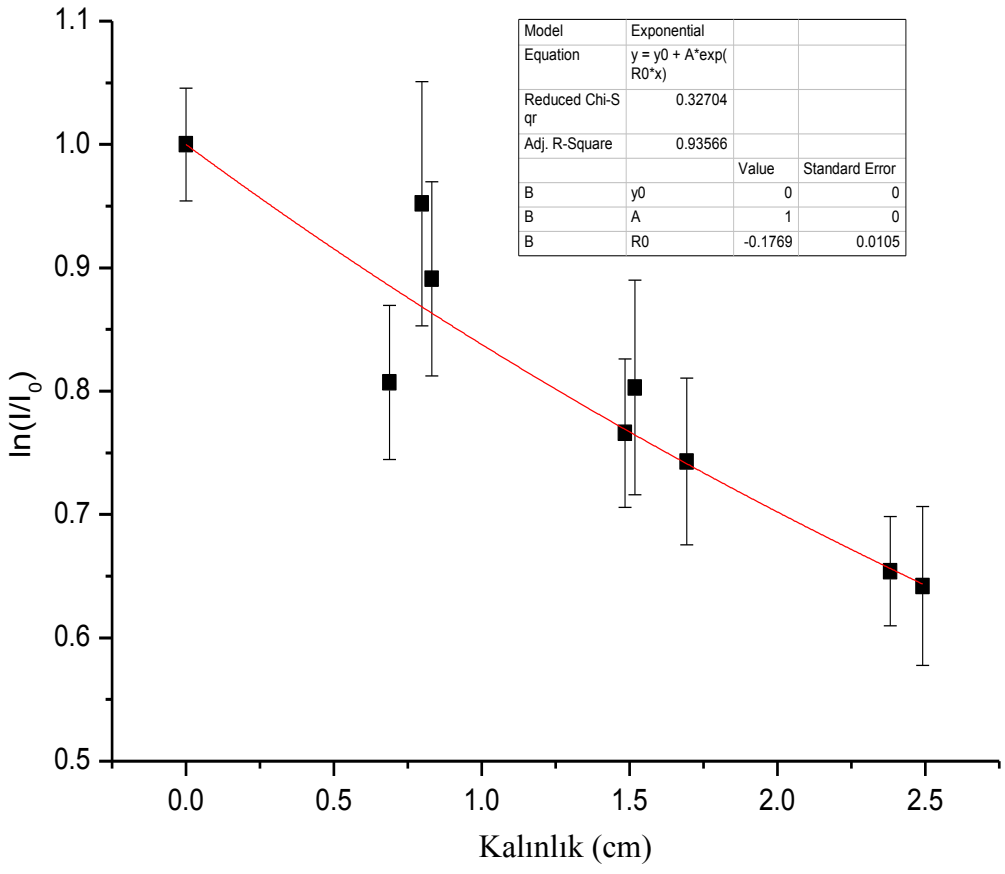
Çizelge Ek-2.Mermer örneklerinin Co-60 (1332.494keV) kaynağı ile (4-12)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	22992±626	18305±699	23341±367	21546±672	1	0.1846
6.8752	21980±596	21212±608	19788±612	20993±605	0.9743	0.1373
7.972333	21506±601	18632±628	18316±625	19485±618	0.9042	0.1436
8.305866	19307±617	18985±633	16296±659	18199±636	0.8445	0.1343
16.93833	19661±558	16892±594	15320±612	17291±588	0.8025	0.1462
14.8475	14984±614	18612±577	16496±604	16697±598	0.7749	0.1319
15.181066	18687±662	20811±544	18557±589	19352±598	0.8982	0.1311
23.81353	12685±591	15979±561	15188±555	14617±569	0.6784	0.1192
24.91066	15902±543	14302±573	16687±544	15630±553	0.7254	0.1102



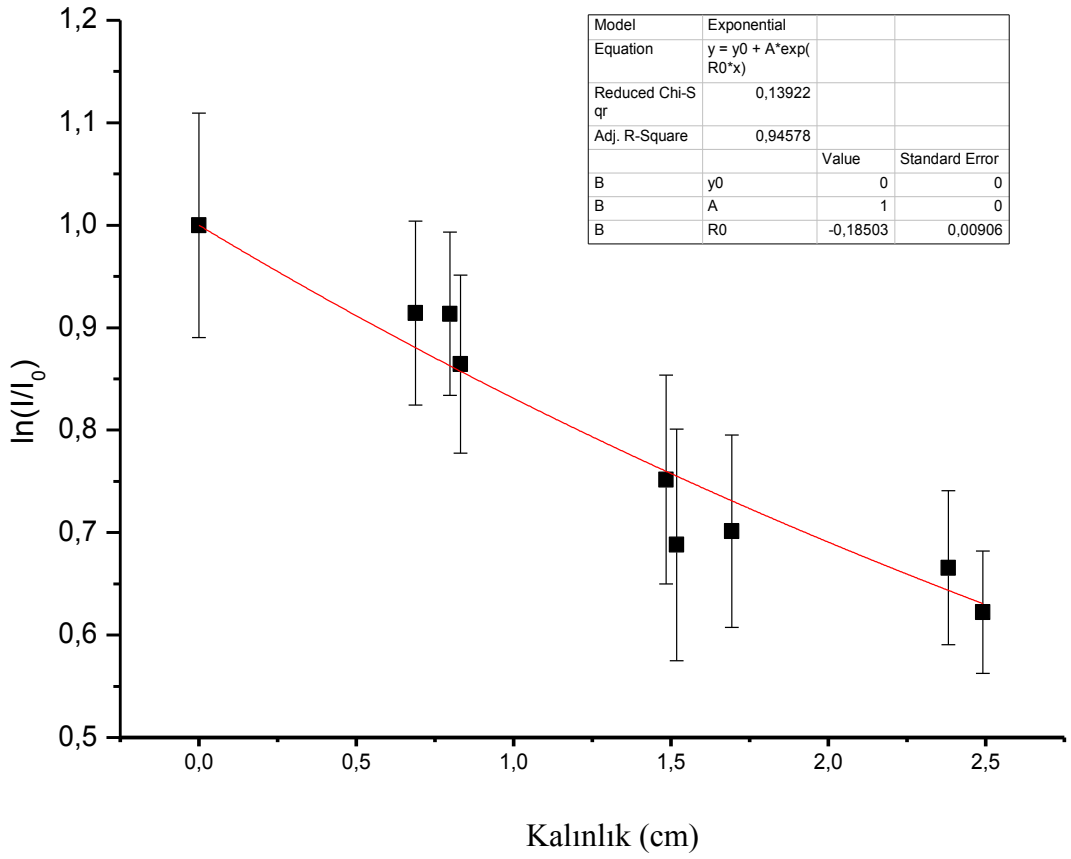
Çizelge Ek-3. Mermer örneklerinin Co-60 (1173.2 keV,1µci) kaynağı ile (4-16)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	19259±554	17946±566	16886±579	18030±566	1	0.04577
6.8752	13880±565	14994±560	14779±559	14551±561	0.807	0.06249
7.972333	17960±529	15563±546	14816±572	16113±549	0.952	0.09896
8.305866	17103±528	15264±544	15819±540	16062±537	0.891	0.07865
16.93833	12432±527	13769±516	13986±517	13396±520	0.743	0.06766
14.8475	14495±521	13404±534	13554±534	13818±530	0.766	0.06024
15.181066	13347±531	15811±509	14300±522	14486±521	0.803	0.08692
23.81353	11977±504	11602±508	11781±506	11787±506	0.654	0.04434
24.91066	12011±489	12150±499	10566±515	11576±598	0.642	0.06449



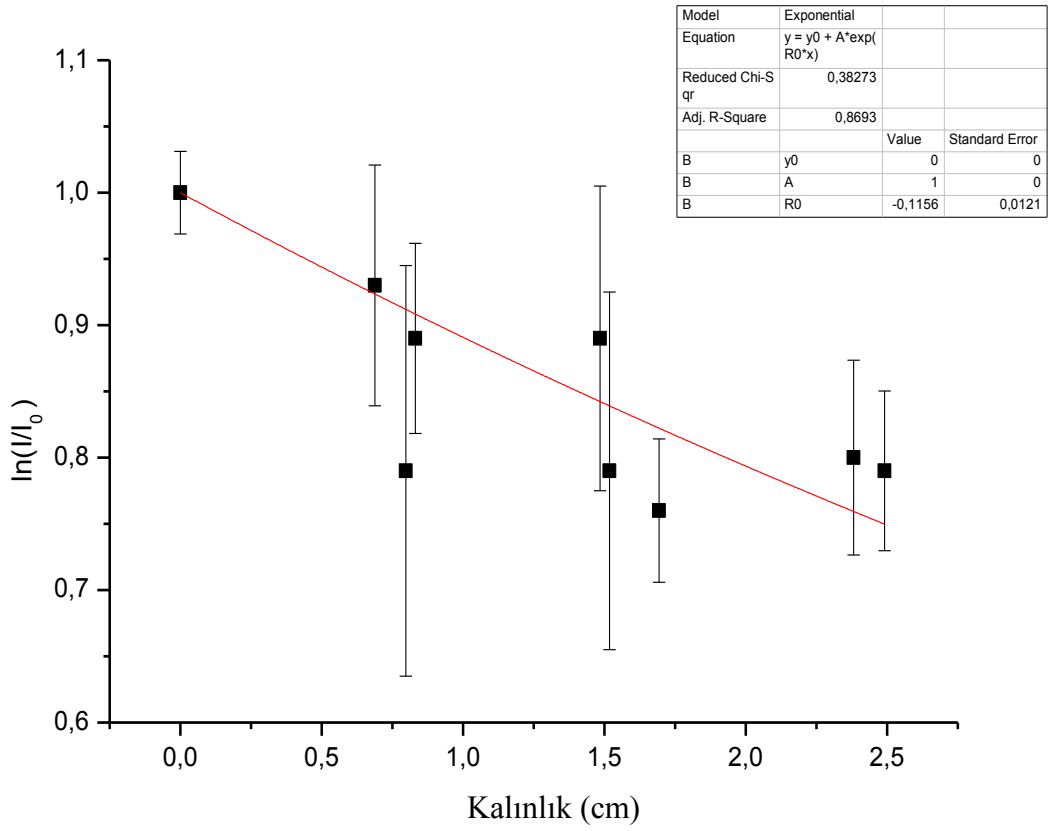
Çizelge Ek-4. Mermer örneklerinin Co -60 (1.173 keV,1μCİ) kaynağı ile (8-16)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	13132±497	12953±494	11374±503	12486±498	1	0.1095
6.8752	10849±486	12186±469	11416±479	11416±479	0.9143	0.0899
7.972333	10923±481	11463±478	11831±474	11406±478	0.9135	0.0797
8.305866	10204±484	10626±482	11553±472	10794±480	0.8645	0.0868
16.93833	9615±457	8925±467	7734±478	8758±467	0.7014	0.0936
14.8475	10258±458	9666±467	8235±454	9386±460	0.7517	0.102
15.181066	7896±482	7854±479	10025±461	8592±474	0.6881	0.113
23.81353	7976±452	7860±451	9102±440	8313±448	0.6657	0.075
24.91066	8089±443	7957±446	7270±453	7772±447	0.6224	0.0597



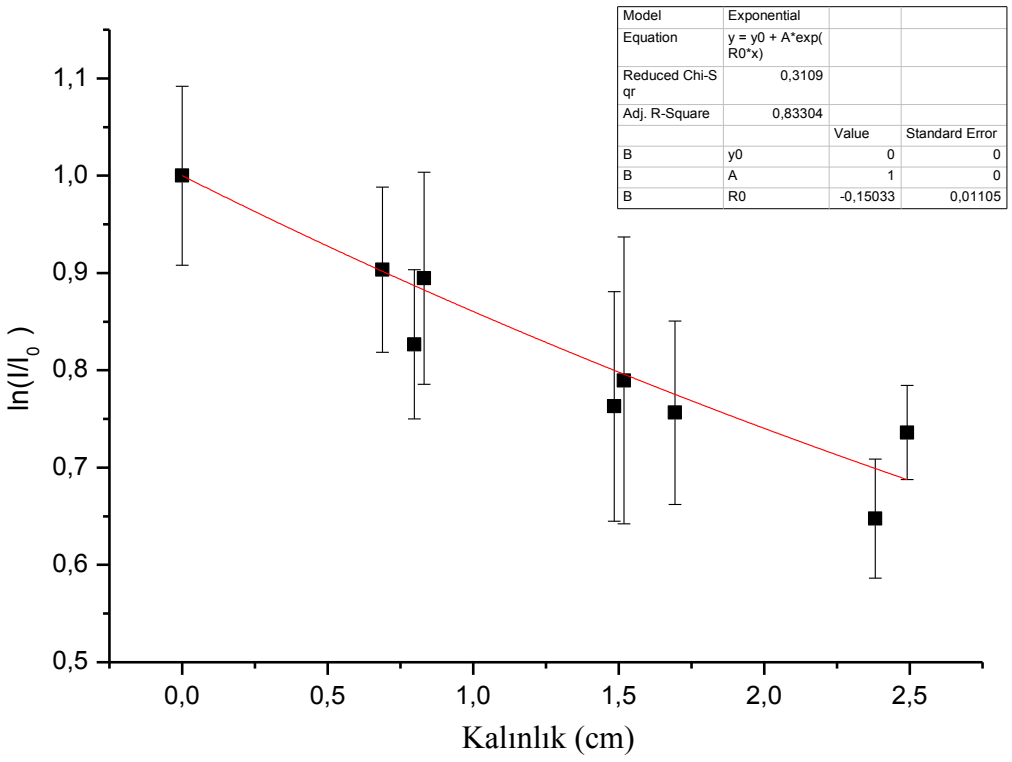
Çizelge Ek-5. Mermer örneklerinin Co -60 (1.332.5 keV,1μCİ) kaynağı ile (4-16)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	13501±527	14110±519	13843±526	13818±524	1	0.0312
6.8752	11935±507	14226±481	12323±505	12828±498	0.9284	0.091
7.972333	10107±539	13284±493	9243±555	10878±529	0.7872	0.155
8.305866	11542±506	12077±498	13392±477	12337±494	0.8928	0.0717
16.93833	10889±473	9710±490	10992±471	10530±478	0.7621	0.0542
14.8475	12905±450	13520±450	10548±486	12324±462	0.8919	0.115
15.181066	12375±464	8948±510	11837±470	11053±481	0.7999	0.135
23.81353	10223±448	12144±423	10813±437	11060±436	0.8004	0.0734
24.91066	10234±451	10887±441	11819±425	10980±439	0.7946	0.0603



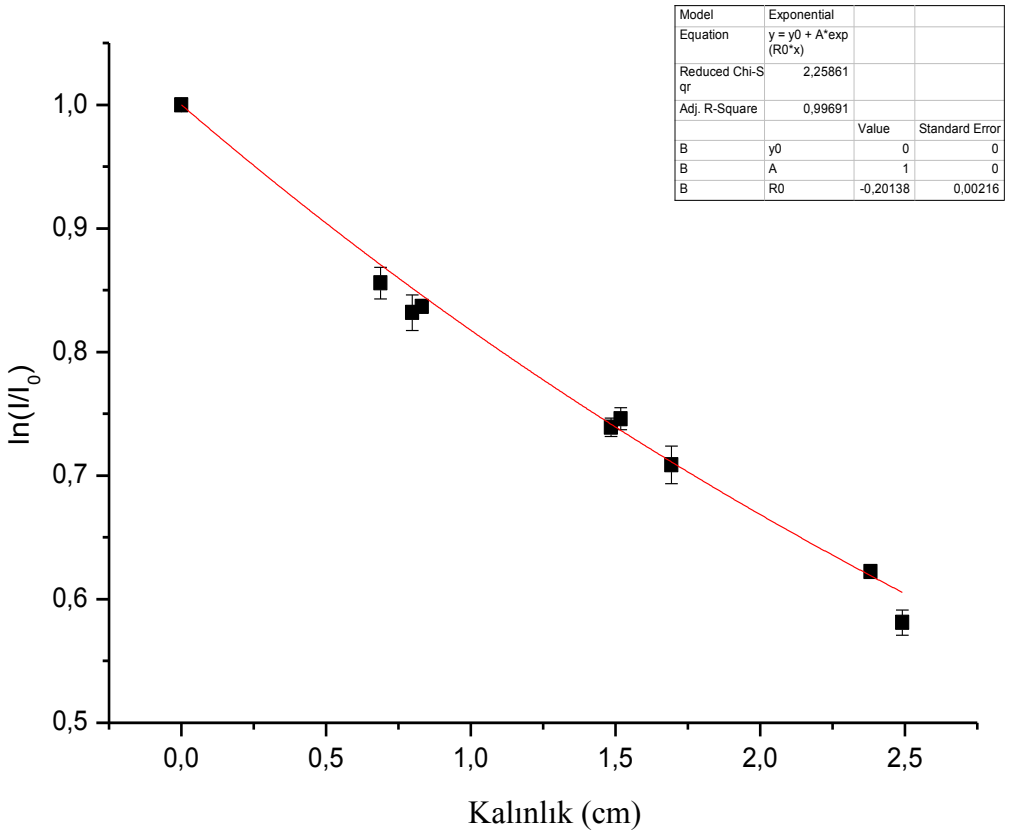
Çizelge Ek-6. Mermer örneklerinin Co -60 (1.332.5 keV,1μCİ) kaynağı ile (8-16)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	9490±462	10371±450	10794±443	10218±452	1	0.092
6.8752	8887±438	8854±442	9951±421	9231±434	0.9033	0.0848
7.972333	9021±431	8412±448	7908±451	8447±443	0.8267	0.0766
8.305866	9934±414	9386±426	8101±443	9140±428	0.8945	0.1089
16.93833	8123±412	6785±431	8280±407	7729±417	0.7564	0.0943
14.8475	6748±438	7708±422	8933±401	7796±420	0.76298	0.1181
15.181066	9096±401	8650±408	6458±440	8068±416	0.7896	0.1474
23.81353	7132±397	6277±409	6444±409	6618±405	0.6476	0.0612
24.91066	7559±385	7450±392	7458±385	7489±387	0.7361	0.0483



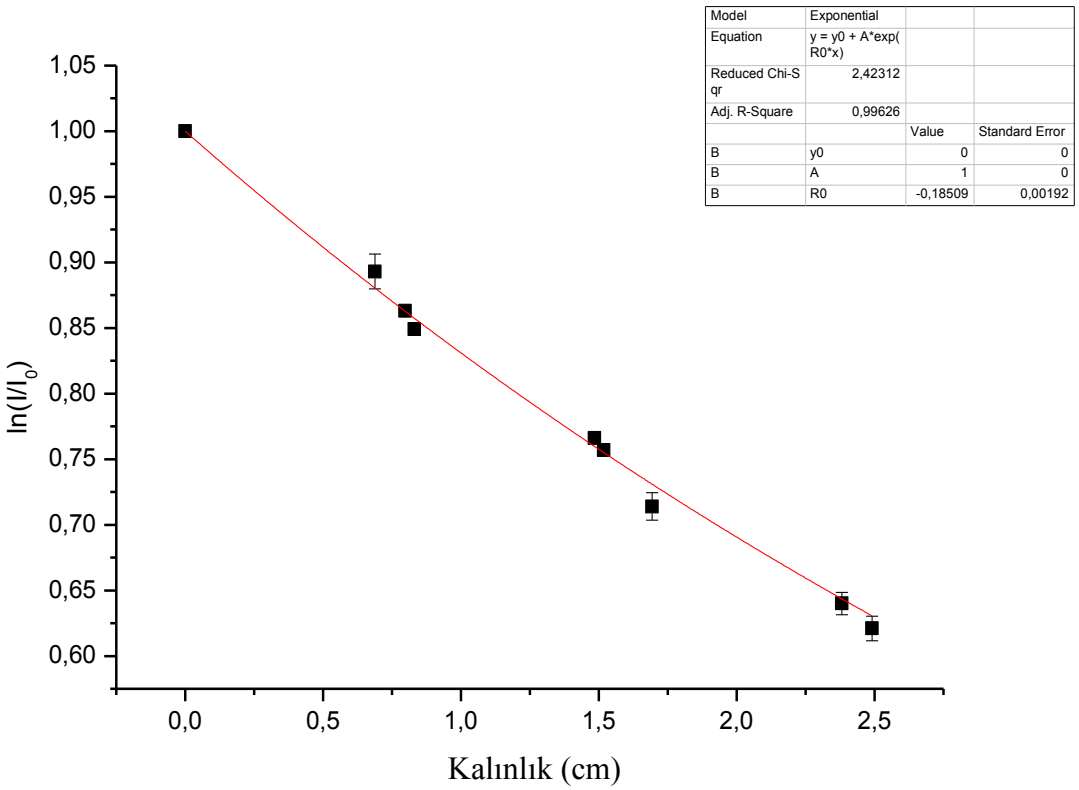
Çizelge Ek-7. Mermer Örneklerinin Cs -137 (661.2 keV,12μCİ) kaynağı ile (4-12)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_{ort}/I_0	d(I_{ort}/I_0)
0	369387±970	367643±975	370331±977	369120±974	1	0.005225
6.8752	321091±888	313905±897	312721±899	315906±895	0.8558	0.0127
7.972333	303625±896	304491±894	312939±895	307018±895	0.8318	0.0143
8.305866	309767±904	308160±905	308789±907	308905±905	0.8369	0.0038
16.93833	257670±852	259117±849	267865±852	261551±851	0.7086	0.0152
14.8475	270848±878	271872±878	275637±855	272786±870	0.7390	0.0074
15.181066	279005±866	273356±876	273750±874	275370±872	0.7460	0.0089
23.81353	229982±824	229436±831	229838±826	229752±827	0.6224	0.0024
24.91066	211553±800	218575±805	213332±789	214486±798	0.5811	0.0101



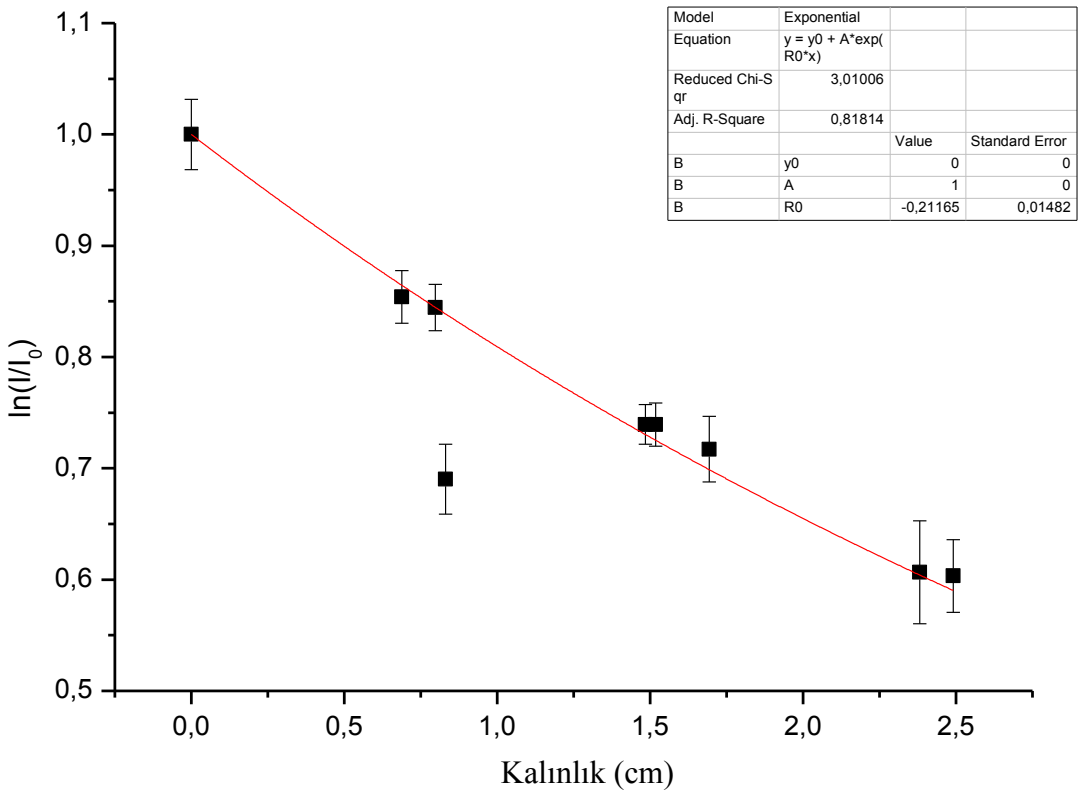
Çizelge Ek-8. Mermer örneklerinin Cs -137 (661.7 keV,12µci) kaynağı ile (4-16)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	$\mathbf{I_1}$(3600 s)	$\mathbf{I_2}$(3600 s)	$\mathbf{I_3}$(3600 s)	I_{ort}	I_{ort}/I_0	d(I_{ort}/I_0)
0	220090±769	219122±779	220086±772	219766±773	1	0.003589
6.8752	199273±735	196218±741	193517±746	196336±741	0.893	0.0133
7.972333	189527±738	189457±725	189769±730	189584±731	0.863	0.0023
8.305866	186430±734	186889±728	186173±729	186497±730	0.849	0.0027
16.93833	154400±693	158863±686	157194±686	156819±688	0.714	0.0104
14.8475	168851±707	168531±702	167749±707	168377±705	0.766	0.0032
15.181066	166553±710	166180±709	166207±709	166313±709	0.757	0.0021
23.81353	142428±658	140815±658	138770±664	140671±660	0.640	0.0085
24.91066	134875±661	135874±659	138779±654	136509±658	0.621	0.0094



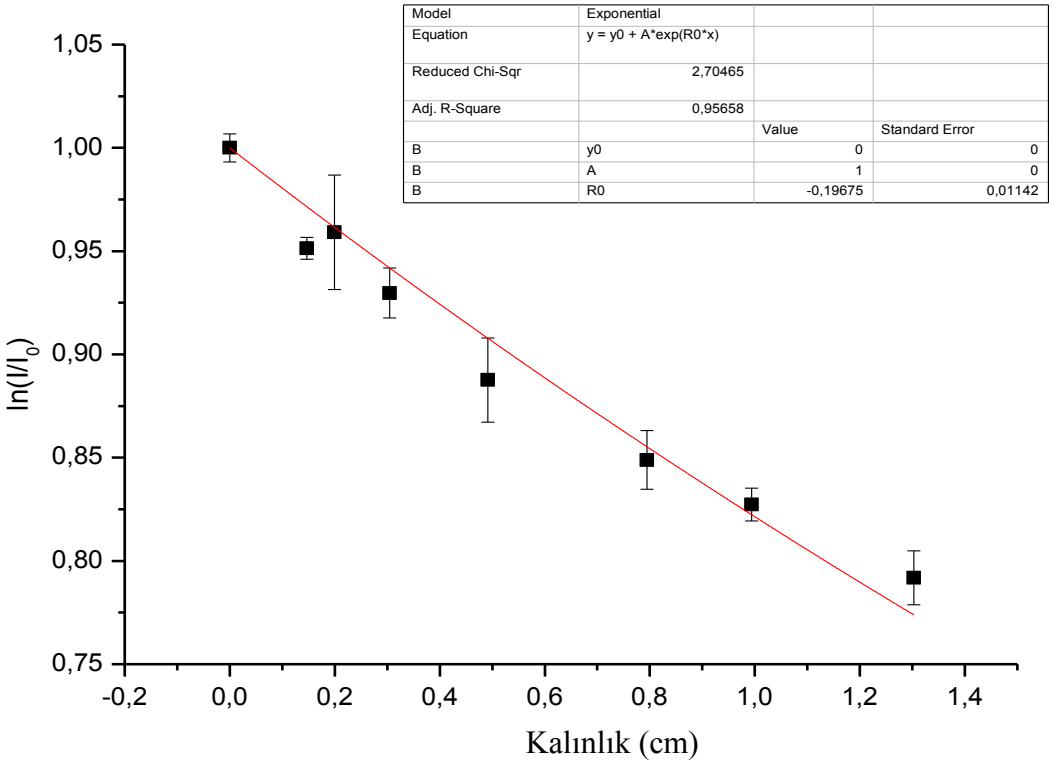
Çizelge Ek-9. Mermer örneklerinin Cs -137 (661.7 keV,1μCİ) kaynağı ile (8-16)cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_{ort}/I_0	d(I_{ort}/I_0)
0	11934±281	12115±276	12467±277	12172±278	1	0.0315
6.8752	10365±272	10654±241	10819±262	10613±258	0.8674	0.0237
7.972333	10279±276	10481±272	10430±270	10397±273	0.8541	0.0209
8.305866	10546±265	9947±271	10341±268	10278±268	0.8444	0.0313
16.93833	8102±268	8385±263	8718±261	8402±264	0.6902	0.0296
14.8475	8836±260	8705±265	8648±264	8730±263	0.7172	0.0178
15.181066	9104±260	8861±265	9034±260	9000±263	0.7394	0.0194
23.81353	7961±254	6902±258	7287±256	7383±256	0.6066	0.0461
24.91066	7085±255	7758±254	7189±256	7344±255	0.6033	0.0326



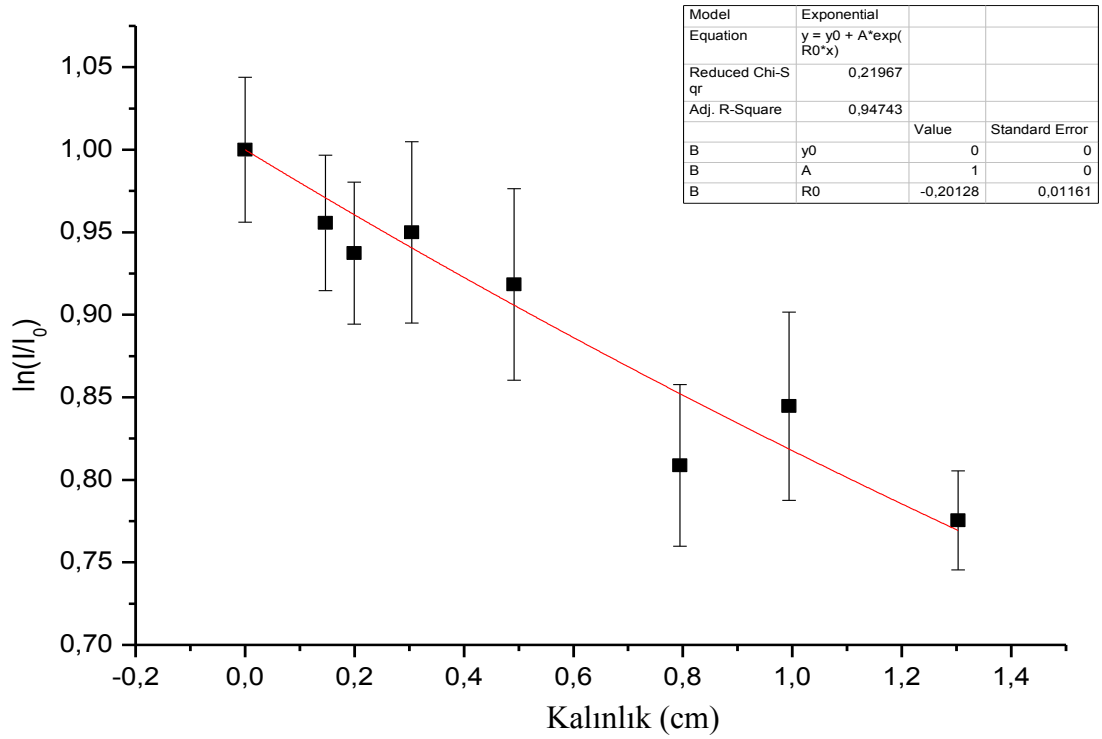
Çizelge Ek-10. Alüminyum örneklerinin Cs -137 (661.2 keV,1μCİ) kaynağı ile (4-12) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	30140±342	30401±341	303381±337	30307±340	1	0.006778
1.472	28826±343	28751±344	28918±339	28832±342	0.9513	0.0053
1.998	28619±338	30024±330	28561±338	29068±335	0.9591	0.0277
3.045	28125±333	27867±332	28542±332	28178±332	0.9297	0.0121
4.913	27593±331	26623±338	26484±332	26900±334	0.8876	0.0204
7.944	25568±322	26196±327	25416±337	25727±329	0.8489	0.0142
9.942	25158±330	25224±326	24838±328	25073±328	0.8273	0.0079
13.029	23757±323	23802±320	24434±323	23998±322	0.7918	0.0131



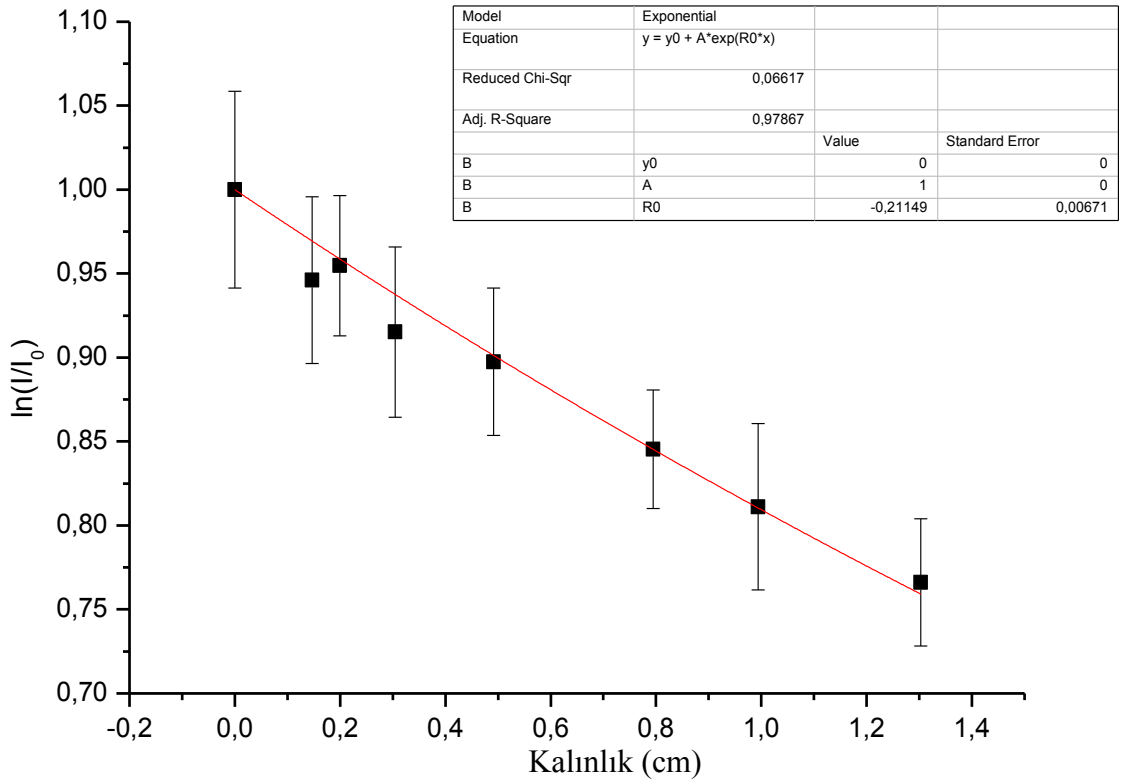
Çizelge Ek-11. Alüminyum Örneklerinin Co-60 (1173.228 keV,1µci) kaynağı ile (4ve 11-12) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I/I_{ort}	$d(I/I_{ort})$
0	28478±529	27899±660	29662±627	28679±529	1	0.0443
1.472	27580±570	26556±628	28095±562	27410±773	0.9574	0.0405
1.998	25947±652	26944±624	27761±631	26884±636	0.9374	0.0432
3.045	27826±537	25730±616	28178±517	27245±557	0.9499	0.0549
4.913	27993±567	25705±559	25317±632	26338±586	0.9184	0.0581
7.944	23982±598	23804±538	21805±544	23197±560	0.8088	0.0492
9.942	24378±543	22694±438	25593±437	24222±473	0.8446	0.0572
13.029	22417±537	21648±491	22657±607	22241±545	0.7755	0.0305



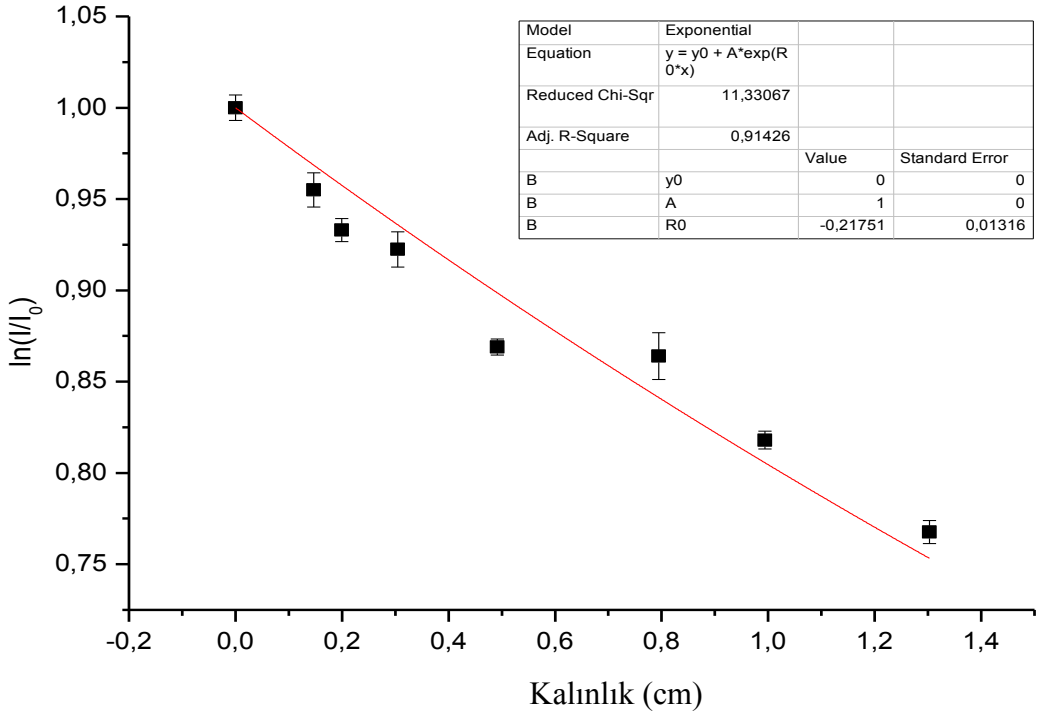
Çizelge Ek-12. Alüminyum örneklerinin Cs -137 (661.2 keV,1µci) kaynağı ile (8ve16-17) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_{ort}/I_0	d(I_{ort}/I_0)
0	11277±272	12153±267	11371±271	11600±270	1	0.05863
1.472	11383±270	10798±276	10748±275	10976±274	0.9462	0.04965
1.998	11127±272	11198±268	10902±273	11076±271	0.9548	0.04176
3.045	10995±265	10213±276	10642±270	10617±270	0.9152	0.05079
4.913	10464±263	10120±269	10650±268	10411±267	0.8975	0.04384
7.944	9757±267	9797±266	9867±267	9807±267	0.8454	0.03538
9.942	9428±267	9820±261	8978±273	9409±267	0.8111	0.04949
13.029	9131±260	8883±262	8652±265	8887±262	0.7662	0.03789



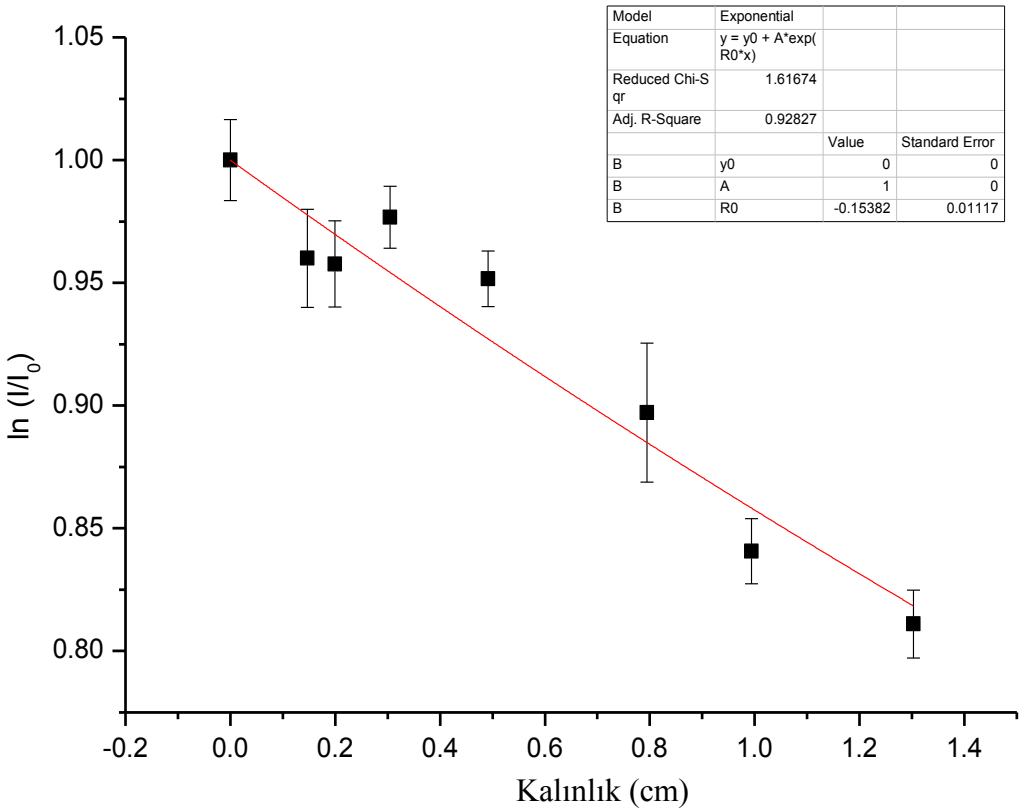
Çizelge Ek-13. Alüminyum örneklerinin Cs 137 (661.2 keV,12µci) kaynağı ile (4ve11-12) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	373951±987	370898±995	370638±995	371829±992	1	0.007007
1.472	358571±957	354087±964	352896±968	355185±963	0.955	0.0093
1.998	348227±964	346957±968	345091±969	346758±967	0.933	0.0063
3.045	346639±944	343138±954	340422±959	343400±952	0.9224	0.0096
4.913	323319±960	323821±957	323078±953	323406±957	0.869	0.0044
7.944	325940±933	320389±947	317087±951	321139±944	0.864	0.0128
9.942	304403±940	302868±942	304809±936	304027±939	0.818	0.0049
13.029	287348±920	285368±922	283565±931	2285427±924	0.7676	0.006353



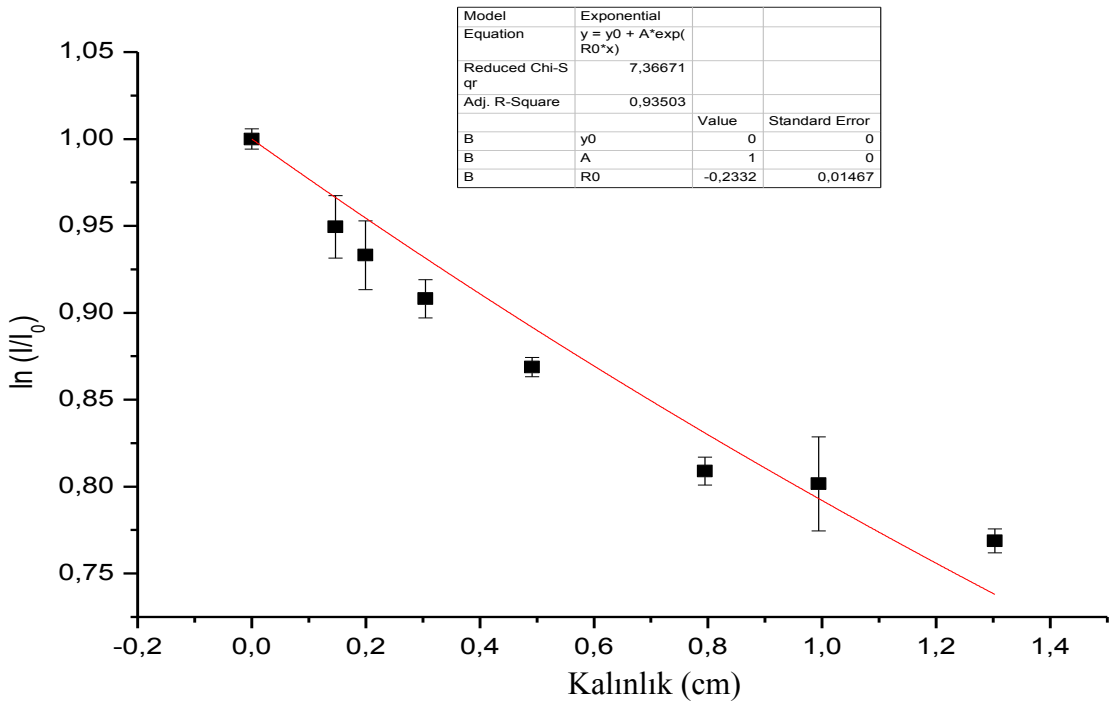
Çizelge Ek-14. Alüminyum örneklerinin Cs 137 (1332.494keV,1µci) kaynağı ile (4ve11-12) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I/I_{ort}	$d(I/I_{ort})$
0	31817±475	31370±564	32104±527	31764±475	1	0.0165
1.472	30045±469	30370±477	31080±434	30498±460	0.96	0.0200
1.998	30644±553	30685±563	29927±534	30419±550	0.9577	0.0175
3.045	31068±387	30833±429	31168±429	31023±415	0.9767	0.0126
4.913	30301±440	30173±467	30212±424	30229±444	0.9517	0.0113
7.944	28211±424	27839±462	29433±445	28494±444	0.8971	0.0283
9.942	27026±435	26601±453	26480±413	26702±434	0.8407	0.0133
13.029	25383±444	25952±544	25947±544	25761±511	0.811	0.0139



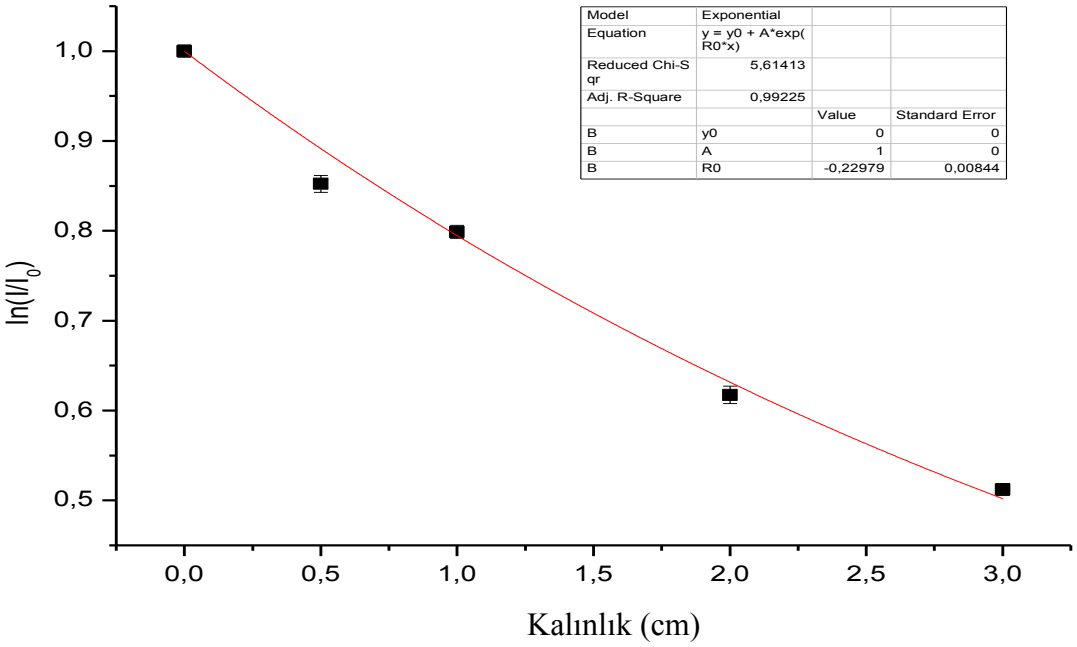
Çizelge Ek-15. Alüminyum örneklerinin Cs 137 (661.2 keV,1µci) kaynağı ile (8ve11-12) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_{ort}/I_0	d(I_{ort}/I_0)
0	18591±298	18746±292	18682±296	18673±295	1	0.005899
1.472	17689±301	18077±294	17424±297	17730±297	0.9495	0.018
1.998	17360±292	17799±290	17111±293	17423±333	0.9331	0.019
3.045	16762±296	16980±295	17129±292	16957±294	0.9081	0.011
4.913	16282±291	16136±290	16249±287	16222±289	0.8688	0.0055
7.944	15032±290	15262±288	15023±289	15106±289	0.8089	0.008
9.942	14647±285	15541±286	14715±294	14968±288	0.8016	0.027
13.029	14315±289	14265±287	14486±288	14355±288	0.7688	0.0069



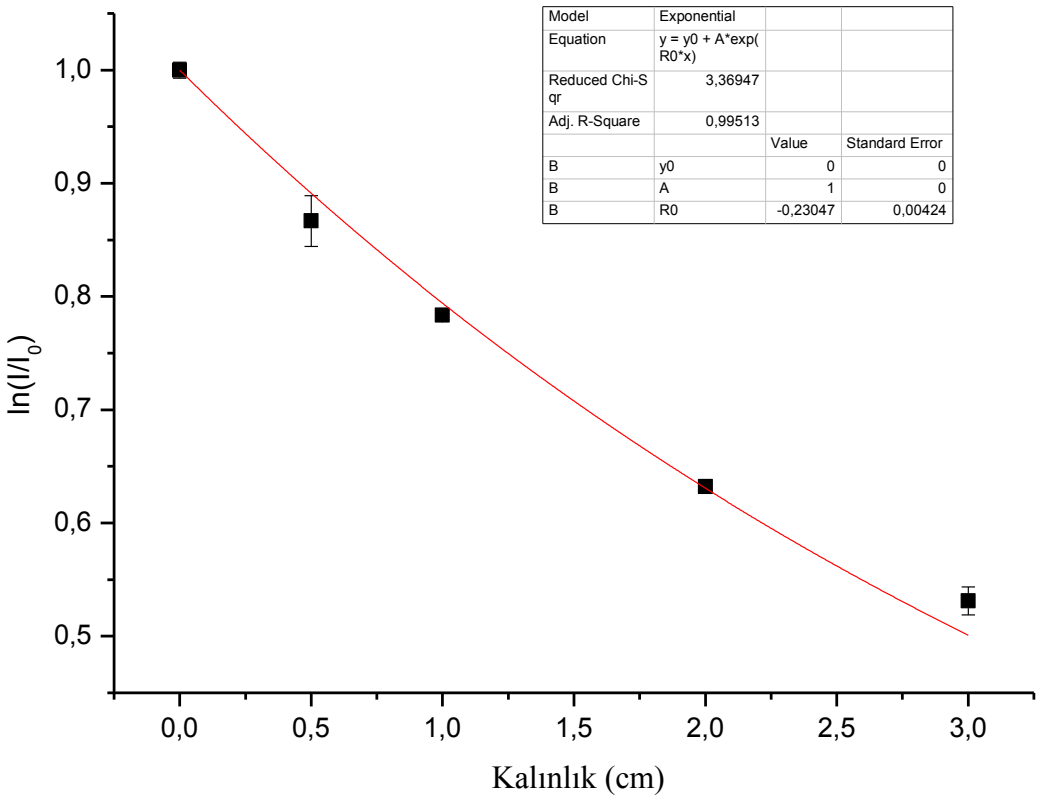
Çizelge Ek-16. Kalker örneklerinin cs 137 (661.2 kev,1µci) kaynağı ile (4ve11-12) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	30140±342	30401±341	30381±337	30307±340	1	0.006778
5	25557±343	26057±332	25873±337	25829±337	0.8522	0.00929
10	24041±332	24175±331	24414±331	24210±331	0.7988	0.007316
20	18571±318	18523±323	19037±313	18710±318	0.6174	0.009824
30	15608±306	15657±299	15299±304	15521±303	0.5121	0.006859



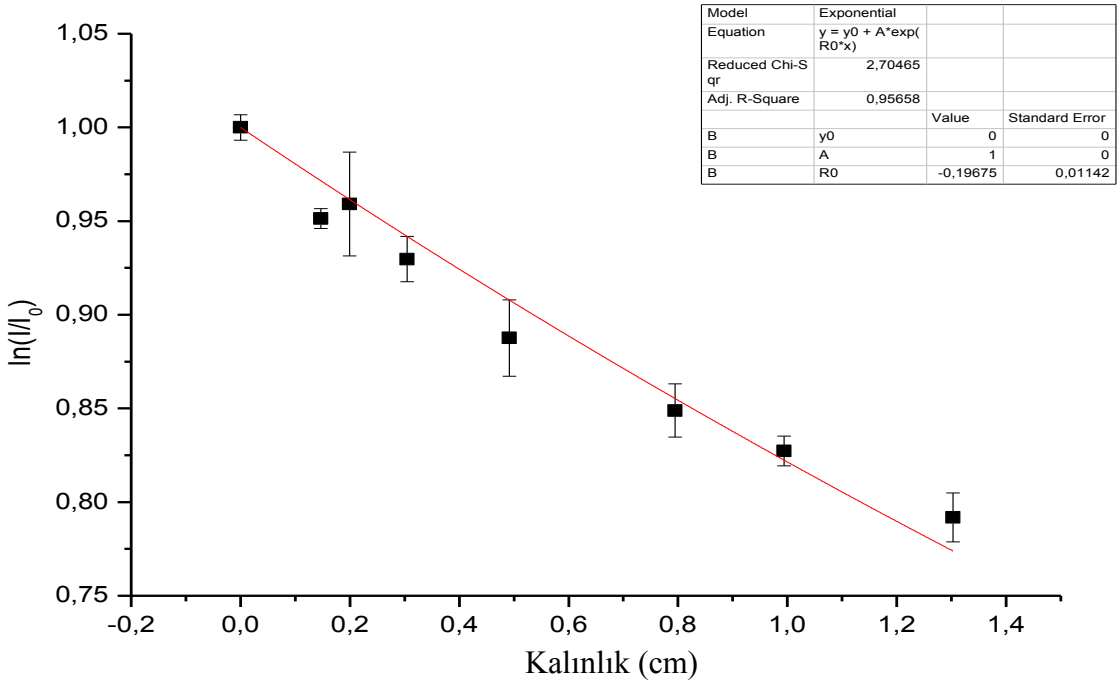
Çizelge Ek-17. Kalker örneklerinin Cs 137 (661.2 kev,12µci) kaynağı ile (4ve11-12) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	373951±987	370898±995	370638±995	371829±992	1	0.007007
5	318215±952	316999±953	331695±944	I_{ort}=322303±941	0.8668	0.0224
10	292011±919	291601±915	290628±920	I_{ort}=291413±918	0.7837	0.0043
20	235511±857	234550±855	235184±858	I_{ort}=235082±857	0.6322	0.0034
30	193183±792	202060±769	197293±783	I_{ort}=193183±781	0.5312	0.0122



Çizelge Ek-18. Alüminyum örneklerinin Cs 137 (661.2 keV,1µci) kaynağı ile (4ve11-12) cm geometrisindeki sayım, gama geçiş hızları ve hata hesapları

Kalınlık (mm)	I_1(3600 s)	I_2(3600 s)	I_3(3600 s)	I_{ort}	I_0/I_{ort}	d(I_0/I_{ort})
0	30140±342	30401±341	303381±337	30307±340	1	0.006778
1.472	28826±343	28751±344	28918±339	28832±342	0.9513	0.0053
1.998	28619±338	30024±330	28561±338	29068±335	0.9591	0.0277
3.045	28125±333	27867±332	28542±332	28178±332	0.9297	0.0121
4.913	27593±331	26623±338	26484±332	26900±334	0.8876	0.0204
7.944	25568±322	26196±327	25416±337	25727±329	0.8489	0.0142
9.942	25158±330	25224±326	24838±328	25073±328	0.8273	0.0079
13.029	23757±323	23802±320	24434±323	23998±322	0.7918	0.0131



KAYNAKLAR

Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2010). Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Annals of nuclear energy*, *37*(7), 910-914.

Akkurt, I., Altindag, R., Gunoglu, K., Sarıkaya H. (2012). Photon attenuation coefficients of concrete including marble aggregates. *Annals of Nuclear Energy*, *43*, 56-60.

Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Mavi, B., & Akkurt, A. (2006). Radiation shielding of concretes containing different aggregates. *Cement and Concrete Composites*, *28*(2), 153-157.

Akkurt, I., Kılıncarslan, S., Basyigit, C., Mavi, B., & Akyıldırım, H. (2009). Investigation of photon attenuation coefficient for pumice. *International Journal of Physical Sciences*, *4*(10), 588-591.

Akkurt, I., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2004). The photon attenuation coefficients of barite, marble and limra. *Annals of Nuclear Energy*, *31*(5), 577-582.

Alpdoğan, Ç. (2012). *Bazı element ve bileşiklerde 6 MV ve 18 MV Bremsstrahlung radyasyonu için ve bazı su fantomlarında tek enerjili X-ışınları için foton etkileşim parametrelerinin incelenmesi.* (Yüksek Lisans tezi). Atatürk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Arıcı, T. (2012). *Gama Işını Spektroskopisi için Bir Hibrid Dedektör Sisteminin Kurulumu ve Karakterizasyonu.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Arya Atam, P. (1999). *Çekirdek Fiziğinin Esasları.* Erzurum: Aktif.

Awadallah, M. I., & Imran, M. M. (2007). Experimental investigation of γ-ray attenuation in Jordanian building materials using HPGe-spectrometer. *Journal of environmental radioactivity*, *94*(3), 129-136.

Aybers, N. (1980). *Nükleer Enerjiye Giriş*. İstanbul: Yalkin.

Basyigit, C., Akkurt, I., Kilincarslan, S., & Akkurt, A. (2005). Investigation of photon attenuation coefficients for marble. *Journal of Radiological Protection*, *25* (2), 189.

Berger, M.J., Hubbell, J.H, Seltzer, S.M., Chang, J., Coursey, J.S., Sukumar, R., Zucker, D.S. & Olsen, K. (2017). *XCOM: Photon Cross Section Database*, Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.

Berger, M. J., Hubbell, J. H., Seltzer, S. M., Chang, J., Coursey, J. S., Sukumar, R., Zucker, D.S. & Olsen, K. (2008). *NIST standard reference database 8 (XGAM).* XCOM: Photon Cross Sections Database. http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm

Bork P.V., H. Grote, D. Notz, M. Regler. (1993) *Data Analysis Techniques in High Energy Physics Experiments*. UK: Cambridge University

Büyük B., Tuğrul A. B. (2014) .An Investigation on Gamma Attenuation Behaviour of Titanium diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon carbide Composites. *Radiation Physics and Chemistry*. Vol. 97, No. 9, 2014, s. 354-359

Cevik, U., Damla, N., Kobya, A. I., Celik, A., & Kara, A. (2010). Radiation dose estimation and mass attenuation coefficients of marble used in Turkey. *Annals of Nuclear Energy*, *37*(12), 1705-1711.

Dadak, M.T. & Gül, M. (2012). Mermer Kenti Adıyaman Projesi, *Adıyaman İli Mermer Sektörü Araştırma Raporu,* Adıyaman. http://www.ika.org.tr/upload/yazilar/TRC112DFD2016-Adiyaman-Ili-Mermer-Sektoru-Arastirma-Raporu-1-547299.pdf

Dinç, O. (2004). *Endüstriyel Hammaddeler Kireçtaşları.*(Lisans tezi).Dumlupınar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi, Kütahya.

Ellis, C.D. (1922). Über die Deutung derβ-Strahlspektren radioaktiver Substanzen. *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei*, *10*(1), 303-307.

Evans, R. (1955) *The Atomic Nucleus*, Newyork: Mc Graw-Hill, Inc.

Gilmore, G. (2011). *Practical gamma-ray Spectroscopy*, Newyork: John Wiley& Sons,

Gül,E.*Alüminyum Nedir? Nerelerde Kullanılır?(*2017*)*

http://www.bilgiustam.com/aluminyum-nedir-nerelerde-kullanilir

Kaplan, I. (1963). *Nuclear pyhsics*. London: Addison-Wesley.

Kharita, M. H., Takeyeddin, M., Alnassar, M., & Yousef, S. (2008). Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics. *Progress in Nuclear Energy*, *50*(1), 33-36.

Knoll Glenn, F. (2010). *Radiation Detection and Measurement*. Newyork: John Wiley&Sons, Inc.

Krane, K. (2001). *Nükleer Fizik 1.Cilt*. Ankara: Palme.

Leo, W.R. (1994). *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, II. Edition, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) 2015

http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/kirklareli_madenler.pdf

Martin James, E. (2013). *Physics For Radiation Protection A Handbook.* Newyork: John Wiley & Sons.

Mavi, B. (2012). Experimental investigation of γ-ray attenuation coefficients for granites. *Annals of Nuclear Energy*, *44*, 22-25.

Mavi, B., Oner, F., & Akkurt, I. (2015). Determination of gamma-ray attenuation coefficients at different energies in amasya marbles. *Acta Physica Polonica A*, *128*(2), 395-396.

Medhat, M. E. (2009). Gamma-ray attenuation coefficients of some building materials available in Egypt. *Annals of Nuclear Energy*, *36*(6), 849-852.

Rosseland, S. (1923). Zur quantentheorie der radioaktiven zerfallsvorgänge. *Zeitschrift für Physik*, *14*(1), 173-181.

Stabin, M. G. (2007). *Radiation Protection and Dosimetry: An Introduction to Health Physics*. Berlin: Springer Science & Business Media.

Taylor, J.R. (1982) *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties if Physical Measurements. Sausalito*. California: University Science Books

Tsoulfanidis, N. (1995). *Measurement and Detection of Radiation*, Abingdon: Taylor&Francis.

ÖZGEÇMİŞ

16 Şubat 1988 tarihinde Eminönü İstanbul'da doğdum. İlkokulu Basınköy İlkokulunda okuduktan sonra ortaokulu Aybars Ak İlköğretim okulunda okuyup liseyi Orhan Cemal Fersoy Süper Lisesinde tamamladım. 2007'de Trakya Üniversitesi Fizik Bölümünü kazanıp şubat 2012'de bölümümü bitirdim ve Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi'nden pedagojik formasyon almaya hak kazandım. Öğretmen olduktan sonra bu güzel mesleği özel bir kurumda beş sene boyunca devam ettirip bir yandan da 2015 Şubatında Trakya Üniversitesi Fizik Bölümünde Nükleer Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansa başladım. Evli ve bir kız çocuğu annesiyim.

BİLİMSEL FAALİYETLER

- 23-26 Aralık 2010 tarihinde Trakya Üniversitesi Fizik Bölümünde düzenlenen *14. Ulusal Sıvı Hal Fiziği Sempozyumu*
- 2010 yılında Şubat ayının üçüncü haftasında İstanbul Üniversitesinde gerçekleşen Fizik kulübünce hazırlanan 1. *Fizik Çalıştayı*
- 12-13 Ekim 2010 tarihinde Trakya Üniversitesinde gerçekleşen *Yüzey Bilimlerinin Temelleri: : Optik ve Elektron Mikroskopileri ile Diğer Güncel Mikroskopiler ve Biyofizikteki Uygulamaları*