ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GAMA IŞINI DEDEKTÖR SİMÜLASYONU ve GAMA KAYNAĞININ YERİNİN BELİRLENMESİ

Sibel ÖZÇAKIR TOPYILDIZ

FİZİK ANABİLİM DALI

ANKARA
2006

Her Hakkı Saklıdır

Prof. Dr. Ayşe ATAÇ NYBERG danışmanlığında, Sibel ÖZÇAKIR TOPYILDIZ tarafından hazırlanan "Gama Işını Dedektör Simülasyonu ve Gama Kaynağının Yerinin Belirlenmesi" adlı tez çalışması 13/10/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ömer YAVAŞ,
Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Fizik Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Ayşe ATAÇ NYBERG,
Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi
Fizik i Bölümü

Üye: Doç. Dr. Ayşe KAŞKAŞ,
Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi
Fizik Bölümü

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ülkü MEHMETOĞLU
Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GAMA IŞINI DEDEKTÖR SİMÜLASYONU
ve
GAMA KAYNAĞININ YERİNİN BELİRLENMESİ

Sibel ÖZÇAKIR TOPYILDIZ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşe ATAÇ NYBERG

Bu tezde, yeri bilinmeyen bir radyoaktif maddenin, varlığının ve yerinin belirleneceği, bir havaalanı ortamı tasarlanmıştır. Bu tasarımda, Avrupa Nükleer Fizik Araştırma Merkezi (CERN) de geliştirilmiş olan "GEANT" simülasyon programı kullanılmıştır.

Ortam içerisinde, duvarlara tam yaslanacak şekilde karşılıklı iki dedektör ve tam orta aşağı merkeze de bir dedektör yerleştirilmiştir.Yeri belli olmayan gama kaynağının, bu dedektörlerle etkileşimi incelenmiş ve kaynaktan yayınlanan gama ışınlarının her bir dedektördeki sayım oranları yardımıyla, gama kaynağının yerinin belirlenmesi için bir yöntem geliştirilmiştir.

2006, 65 sayfa
Anahtar Kelimeler: Amerisyum, gama ışını, sintilasyon dedektörleri

ABSTRACT

Master Thesis

GAMMA RAY DETECTOR SİMULATION
and
DETERMİNATİON OF GAMMA SOURCE LOCATION

Sibel ÖZÇAKIR TOPYILDIZ

Ankara University
Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences
Deparment of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Ayşe ATAÇ NYBERG

In this thesis, an airport medium with a hidden radioactive source was designed for the purpose of determining the location of radioactive material. This work was carried-out by using the "Geant" simulation code which was developed at **CERN** (European Organization for Nuclear Research).

Inside the airport medium, two detectors were positioned against two opposite walls and the third one was located at the middle of the floor.
Interactions of the gamma-rays from the hidden source with the detectors was studied and a method for determining the location of the gamma source was developped by making use of the ratios of the counts measued by different detectors.

2006, 65 pages
Key Words: Americium, gamma ray, scintillation detector

TEŞEKKÜRLER

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Ayşe ATAÇ NYBERG'e, desteklerini esirgemeyen tüm iş arkadaşlarıma, bana karşı duyduğu inançtan dolayı eşim Fatih'e, çalışmalarım süresince birçok fedakarlıklar göstererek beni destekleyen annem ve ablama en derin duygularla teşekkür ederim.

Sibel ÖZÇAKIR TOPYILDIZ
Ankara, Ekim 2006

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....i
ABSTRACT..... ii
TEŞEKKÜRLER.....iii
SİMGELER DİZİNİ..... v
ŞEKİLLER DİZİNİ..... vi
ÇİZELGE DİZİNİ..... vii
1. GİRİŞ.....1
2. GAMA RADYASYONU.....4
2.1 Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi.....5
2.1.1 Fotoelektrik soğurma.....5
2.1.2 Compton saçılması.....6
2.1.3 Çift oluşumu.....8
2.2 Gama Radyasyonunun Ölçümü.....9
2.2.1 Enerji ölçümleri.....9
2.2.2 Enerji spektrumu.....11
2.2.3.Dedektörler.....12
2.2.3.1 Sintilasyon dedektörü.....13
3. DEDEKTÖR SEÇİMİ.....15
3.1. Dedektör Etkinliği (Verimi).....15
3.2 Dedektör Çözünürlüğü.....16
4. NAI DEDEKTÖRÜNDEN GAMA IŞINI ÖLÇÜMÜ.....18
4.1 Laboratuar Deneyleri.....18
4.1.1 Deney 1: Enerji kalibrasyonu.....19
4.1.2 Deney 2: Enerji ayırma gücünün enerji ile değişimi.....19
4.1.3 Deney 3: Dedektör doğrusallığının incelenmesi.....20
4.1.4 Deney 4: Dedektör etkinliği ve aktivite tayini.....20
4.1.5 Deney 5: Kütle azalım katsayısının enerji ile değişimi.....21
4.2 Laboratuar Deneyleri Sonuçları.....22
4.2.1 Deneyde kullanılan kaynaklara ait spektrumlar.....22
4.2.2 Deney yorumları.....23
4.3 Deneyler Esnasında Alınan Doz Miktarı.....24
5. GEANT BİLGİSAYAR PROGRAMI.....26
5.1 Tanım.....26
5.2 Tek Dedektör Modeli.....26
5.3 Hava Alanı Ortamında Üç Dedektör Modeli.....30
5.4 Grafikler.....37
5.5 Bilinmeyen Kaynak Örneği.....40
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....41
KAYNAKLAR.....42
EKLER.....43
EK 1 FARKLI KOORDİNATLAR İÇİN VERİLER.....44
EK 2 FARKLI KOORDİNATLAR İÇİN VERİLER.....59
ÖZGEÇMİŞ.....65

SİMGELER DİZİNİ

A	Aktiflik
Am	Amerisyum
Ba	Baryum
Be	Berilyum
B_e	Bağlanma enerjisi
c	Işık hızı
C	Karbon
Cm	Santimetre
Co	Kobalt
Cs	Sezyum
E	Enerji
Eu	Yuropyum
$E\gamma$	Gama ışın enerjisi
ε_{mutlak}	Mutlak etkinlik
$\varepsilon_{gerçek}$	Gerçek etkinlik
FWHM	Enerji pikinin yarı yükseklikteki tam genişliği
ICRP	Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi
keV	Kilo elektron volt
Np	Neptünyum
MeV	Milyon elektron volt
µsn	Mikro saniye
R	Enerji ayırma gücü
T_e	Elektronun kinetik enerjisi
QF	Kalite faktörü
Z	Proton sayısı
Ω	Katı açı
μ	Lineer azalım katsayısı
ρ	Madde yoğunluğu
σ	Standart sapma
$\acute{a}$	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama parçacığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Bir oda içerisinde Gama kaynağı ve dedektörler……..…2
Şekil 1.2 Am-243 çekirdeğinin atomik yapısı……...……..…2
Şekil 1.3 Am(241, 95) çekirdeğinin Np(237, 93) çekirdeğine bozunumu……..3
Şekil 2.1 Elektromagnetik spektrum……....4
Şekil 2.2 gama ve alfa, beta parçacıkların madde içerisindeki aldıkları yollar……..5
Şekil 2.3 Compton saçılmasının geometrisi……..…6
Şekil 2.4 γ-ışını ölçümünde meydana gelen olaylar……..……..10
Şekil 2.5 Bir dedektörün tek enerjili γ-ışını için enerji spektrumu……..……12
Şekil 2.6 Sintilasyon dedektöründeki temel işlemler……13
Şekil 3.1 Ge ve NaI Dedektörünün çözünürlüğü……...…17
Şekil 4.1 Deney seti……....18
Şekil 4.2 t kalınlıkta bir hedefe gelen tek enerjili bir foton demeti……....21
Şekil 4.3 Am-241 kaynağı ile elde edilen spektrum……...22
Şekil 4.4 Cs-137 kaynağı ile elde edilen spektrum…….……....22
Şekil 4.5 Cs-137 çekirdeğinin bozunum şeması……..…23
Şekil 4.6 Am-241 çekirdeğinin bozunum şeması…….……..…..24
Şekil 5.1 Bir oda içerisinde buluan tek NaI dedektörü……..…27
Şekil 5.2 Dedektöre gelen 60 keV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum…….....28
Şekil 5.3 Dedektöre gelen 1 MeV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum…….....29
Şekil 5.4 Dedektöre gelen 3 MeV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum…….....30
Şekil 5.5 Bir oda içerisinde bulunan üç adet NaI dedektörü……..……...31
Şekil 5.6 Dedektör 2'ye gelen 60keV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum…...…….....32
Şekil 5.7 Farklı x değerleri için, dedektör 2/dedektör 3 oranı ile z ile değişimi……...37
Şekil 5.8 Farklı x değerleri için, dedektör 2/dedektör 4 oranının, z ile değişimi……...38
Şekil 5.9 Farklı x değerleri için, dedektör 3/dedektör 4 oranının, z ile değişimi……..…39

ÇİZELGE DİZİNİ

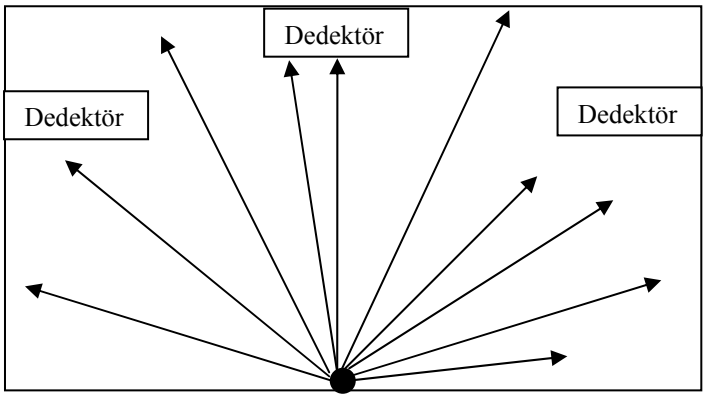
Çizelge 5.1 60 keV enerjiye sahip ve y=-195 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları.....34

1. GİRİŞ

Sovyetler Birliği'nin dağılması ve Körfez Savaşı sonrası dünyada ve ülkemizde nükleer madde kaçakçılığı olayları büyük çapta artış göstermiştir. Ülkemizde radyoaktif madde kaçakçılığı iddiaları ile 1992'de karşılaşılmış ve bugüne kadar el konulan 112 olaydan 13'ünde radyoaktif madde tespit edilmiştir. Bunların 11'i Uranyum, 1'i Amerisyum ve 1'i Sezyum maddesidir.

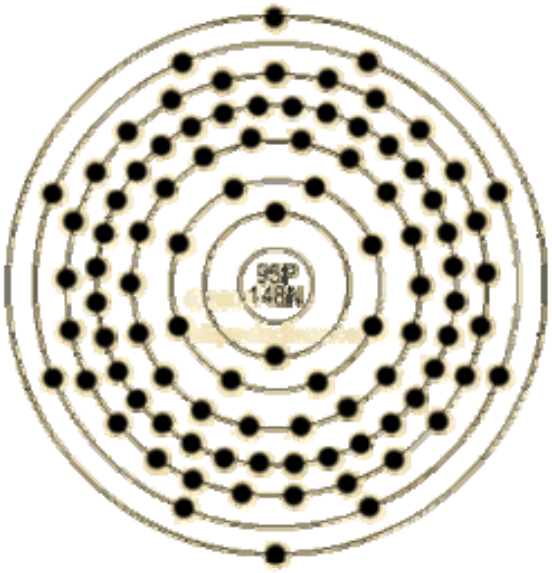
Türkiye'de radyasyonun tespiti ve ölçümü Geiger sayacı ile yapılmaktadır. Bu cihaz, şüpheli maddeye uygulanmadan önce ortamın radyasyonu ölçülmektedir. Ortamda normal olarak 10-15 mikroröntgen/saat radyasyon vardır. Ölçümlerde tespit edilen radyasyon 3000 mikroröntgen'den az ise maddenin tehlikeli olmadığı varsayılır, üzerindeyse madde değerlendirmeye alınır, (Anonim 1999). Geiger sayacı ile yapılan ölçümlerde sadece radyasyonun varlığı ve miktarı tespit edilebilir. Radyoaktif maddenin hangi madde olduğu tespit edilemez ve yerinin tayini zordur. Geiger sayacının en önemli dezavantajı uzun ölü zamanıdır. Bu süre 100 μsn kadardır (Knoll 1999). Şayet aktivite çok fazla ise bu süre zarfında sayaç sinyal vermez.

Bu tezde, kullanım kolaylığı ve güvenilirliği bakımından Geiger sayacından daha üstün olduğu düşünülen bir sistem geliştirilmiştir. Duvarlara yerleştirilen sabit ve sürekli sayım yapabilen ir bu dedektör sisteminin işleyişi bir bilgisayar simülasyon programı yardımı ile incelenmiştir. Bir havaalanı mekanı içerisinde bulunan gama kaynağının yeri, odanın çeşitli yerlerine yerleştirilmiş sintilasyon dedektörleri yardımı ile araştırılmıştır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Bir oda içerisinde Gama kaynağı ve dedektörler

Çalışmamızda, örnek olarak Am-241 gama kaynağı kullanılmıştır (Şekil 1.2). Hem endüstride yaygın olarak kullanılması, hem de nükleer silah yapımında kullanılmaya uygun olduğunun belirlenmesi, bu kaynağın kaçakçılık açısından ilginç olduğunu düşündürmektedir.



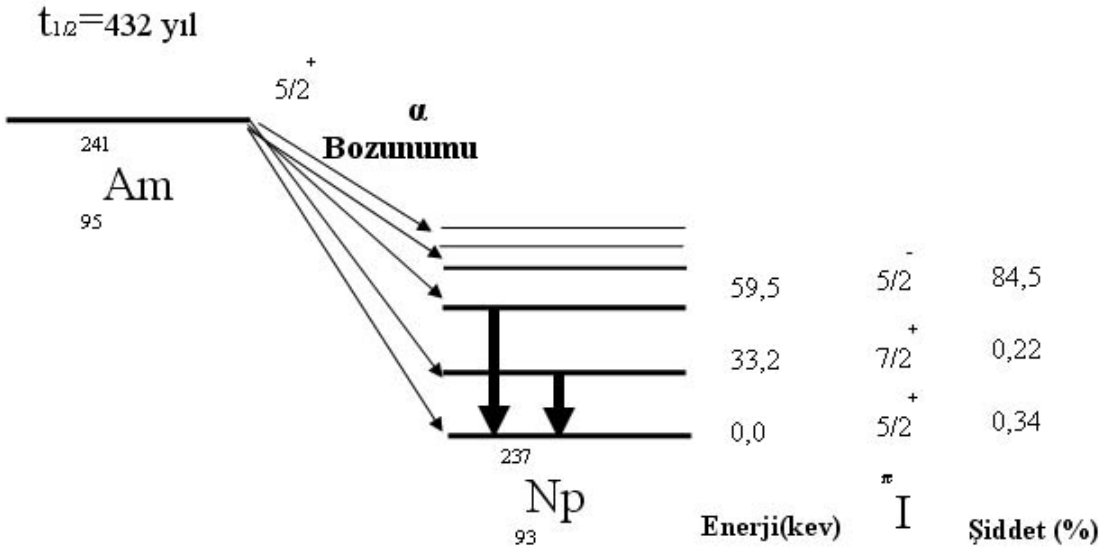
Şekil 1.2 Am-243 çekirdeğinin atomik yapısı (www.chemical/elements.com/elements/am.html.)

Amerisyum, endüstride örneğin, medikal amaçlı, tiroid bezlerinin çalışmasındaki bozukluğun teşhisinde veya evlerde yangın alarm sistemlerinde kullanılır. Am-241, Be

ile karıştırıldığında nötron kaynağı olarak da kullanılır. Am-Be karışımı, petrol kuyularında ne kadar petrol kaldığının tespitinde kullanılır (Seaborg 1997).

Bu yararlı kullanımlarının dışında, Am-241 ve Am-241'in gama bozunmalarından elde edilen Np-237, fisyona uğrayabilen çekirdekler oldukları için, nükleer silah yapımında da kullanılabilirler. Ayrıca, bu çekirdeklerin toprak ve suyu zehirlemek suretiyle terörist amaçlı kullanılabileceği düşünülmüştür. Gerçekten de, Ekim 2004'de Time Dergisinin haberinde, teröristlerin yangın alarm sistemlerini çalarak, Am kaynakları elde etmeye çalışırken yakalandıkları belirtilmişti (Zagorin 2004).

Am-241 çekirdeği α kararsız bir çekirdektir ve değişik enerjilerde α yayınlayarak bozunur. Uyarılmış durumda bulunan kız çekirdek Np-237, γ bozunarak taban durumuna geçer. Şekil 1.3 'de Amerisyum çekirdeğinin yarı ömrü ve bozunum şeması verilmiştir (Firestone 1996).

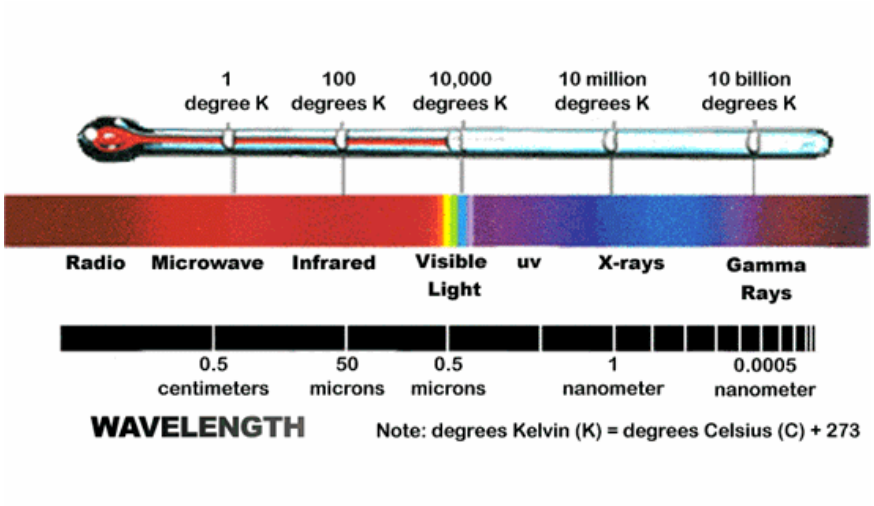


Şekil 1.3 Am(241, 95) çekirdeğinin Np(237, 93) çekirdeğine bozunumu

2. GAMA RADYASYONU

Bir çekirdeğin uyarılmış bir durumdan, daha düşük enerji seviyesine düşmesi ve sonunda taban durumuna geçmesi ile gama radyasyonu ortaya çıkar. Gama bozunumu kendiliğinden olmaz, radyoaktif bir bozunmadan veya bir reaksiyondan sonra gerçekleşir (Şekil 1.3.). Ayrıca, yüklü bir parçacığın ani ivmelenmesinden veya bir parçacık ve onun karşıt parçacığının birbirlerini yok etmesinden sonra da gama radyasyonu ortaya çıkabilir.

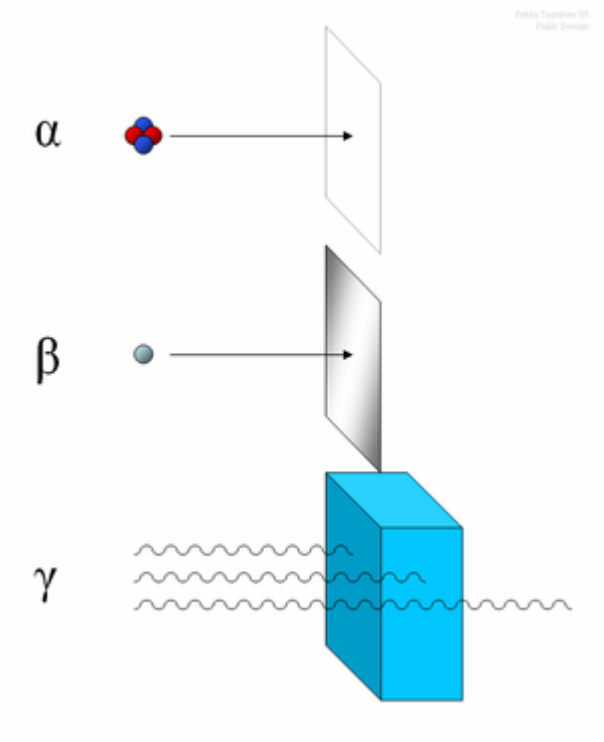
Gama ışını elektromagnetik bir radyasyondur. Elektromagnetik spektrum aşağıda Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Elektromagnetik spektrum

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere, gama ışının dalga boyu çok kısadır. Yüksek enerjiye sahiptir (0,1 ile 10 MeV arasında).

Gama ışınlarının kütleri yoktur, yüksüz parçacıklardır. Işık hızı ile yayılırlar. Beta ve alfa parçacıklarına nispetle madde içerisinde daha uzun yol kat edebilirler (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Gama, alfa ve beta parçacıkların madde içerisindeki aldıkları yollar

2.1 Gama Radyasyonunun Madde İle Etkileşimi

Gama ışını madde ile 3 şekilde etkileşir; Fotoelektrik soğurma, Compton saçılması ve çift oluşumu. Konu hakkında detaylı bilgi için (Knoll 1979) ve (Krane 2001) gibi kaynaklar kullanılmıştır.

2.1.1 Fotoelektrik soğurma

Fotoelektrik olayda, foton atom tarafından soğurulur ve atomun elektronlarından birinin salınmasına neden olur. Salınan bu elektrona fotoelektron denir. Enerji ve momentumun korunumu için bu olay bir çekirdek içerisinde olmalıdır. Elektronun kinetik enerjisi, fotonun enerjisi ile elektronun bağlanma enerjisinin farkına eşittir:

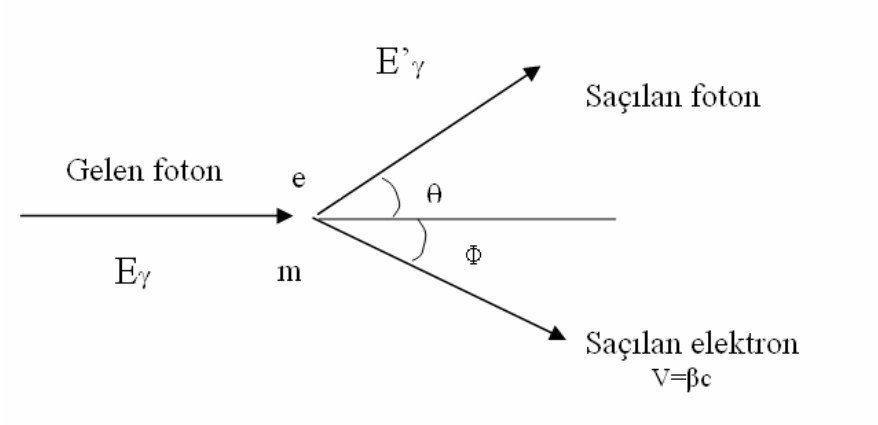
$$T_e = E_\gamma - B_e \qquad (2.1)$$

Ancak, elektronun bağlanma enerjisi ihmal edilecek kadar küçüktür. Bu sebepten elektronun kinetik enerjisi, fotonun enerjisine yaklaşık eşittir.

Fotoelektrik soğurma olasılığı, soğurucu atomun Z sayısı ile doğru, gelen fotonun enerjisi ile ters orantılıdır. Kabaca, $\frac{Z^4}{E^3_\gamma}$ ile orantıdır. Fotoelektrik soğurma olasılığı, düşük enerjili (E_γ < 100 MeV) fotonlar için son derece önemlidir.

2.1.2 Compton saçılması

Compton saçılmasında foton, atomun hemen hemen serbest olan elektronu tarafından saçılır ve daha küçük enerjili foton ve foton tarafından kaybedilen enerjiyi taşıyan saçılmış bir elektronla sonuçlanır. Şekil 2.3'de bu işlemin şematik bir resmi gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Compton saçılmasının geometrisi

Fotonun çarptığı elektronun serbest ve durgun olduğunu kabul edersek, lineer momentum ve toplam enerjinin korunumu (göreceli dinamik kullanarak),

$$\frac{E_\gamma}{c} = \frac{E_\gamma{}'}{c}\cos\theta + \frac{mc\beta\cos\phi}{\sqrt{1-\beta^2}}. \qquad (2.2)$$

$$0 = \frac{E_{\lambda}^{'}}{c}\sin\theta - \frac{mc\beta\sin\phi}{\sqrt{1-\beta^2}}\,\mathrm{E} \tag{2.3}$$

$$E_{\gamma} + mc^2 = E_{\gamma}^{'} + \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \tag{2.4}$$

bulunur. Burada m, elektronun durgun kütlesi, E_{γ} gelen fotonun enerjisi, E_{γ}' ise saçılan fotonun enerjisidir. Eğer saçılan fotonu gözlersek, gözlenemeyen β ve Φ değişkenleri yok edilerek Compton saçılması formülü için;

$$\mathrm{E}_{\gamma}^{'} = \frac{\mathrm{E}_{\gamma}}{1+(\mathrm{E}_{\gamma}/mc^2)(1-\cos\theta)} \tag{2.5}$$

elde edilir. Saçılan fotonların enerjisi $\mathrm{E}\gamma$ (θ=0) ile foton enerjisi kabaca mc²/2 ≈0,25 MeV (θ=180°) arasında değişir.

Bir θ açısında Compton saçılma olasılığı kuantum mekaniksel hesaplamalarla bulunabilir. Sonuç, elektron başına diferansiyel tesir kesiti için Klein-Nishina formülüdür.

$$\frac{d\sigma_c}{d\Omega} = r_0^{\,2}\left[\frac{1}{1+\alpha(1-\cos\theta)}\right]^3\left[\frac{1+\cos\theta}{2}\right]x\left[1+\frac{\alpha^2(1-\cos\theta)^2}{(1+\cos^2\theta)(1+\alpha(1-\cos\theta)}\right] \tag{2.6}$$

burada α, elektron durgun enerjisi cinsinden (α= $\mathrm{E}\gamma$ / mc²) foton enerjisi r_0 klasik elektron yarıçapı denen bir parametre olup değeri $\mathrm{r}_0 = \mathrm{e}^2/4\pi\in_0 mc^2$ = 2,818 fm'dir.

2.1.3 Çift oluşumu

Bu işlemde foton, elektron-pozitron çifti üretir, kendisi yok olur. Enerjinin korunumu,

$$E_\gamma = T_+ + mc^2 + T_- + mc^2 \qquad (2.7)$$

dir. Burada T_+ ve T_- pozitron ve elektronun enerjileridir. Fotoelektrik soğurmada olduğu gibi, bu işlemde de momentum korunumu için ağır bir atomun varlığı gereklidir. Pozitron enerjisinin büyük bir kısmını tükettikten sonra, bir elektron ile birleşerek yok olur ve bu yok olma sırasında, 511 keV'lik iki gama ışını yayınlanır. Bu fotonlara, yokolma fotonu denir. Bu işlem için $2mc^2$ veya 1,022 Mev'lik bir eşik enerjinin gerekli olduğu açıktır. Genelde çift oluşumu sadece yüksek enerjili fotonlar için önem kazanmaktadır. Çift oluşumu 5 Mev'in üstündeki enerjiler için baskın hale gelmektedir.

X ve gama ışınlarının madde içerisinden geçerken soğurulmaları $I = I_0 e^{-\mu x}$ bağıntısı ile verilir. Burada I, x kalınlığındaki madde içerisinden geçtikten sonraki foton şiddeti, I_0, maddeye girmeden önceki foton şiddeti ve μ lineer azalım katsayısıdır. Bir fotonun yok olması için birim uzunluk başına toplam olasılık olan μ, fotoelektrik soğurma (τ), Compton soğurma katsayısı (σ) ve çift oluşumu (κ) olasılıklarının toplamıdır.

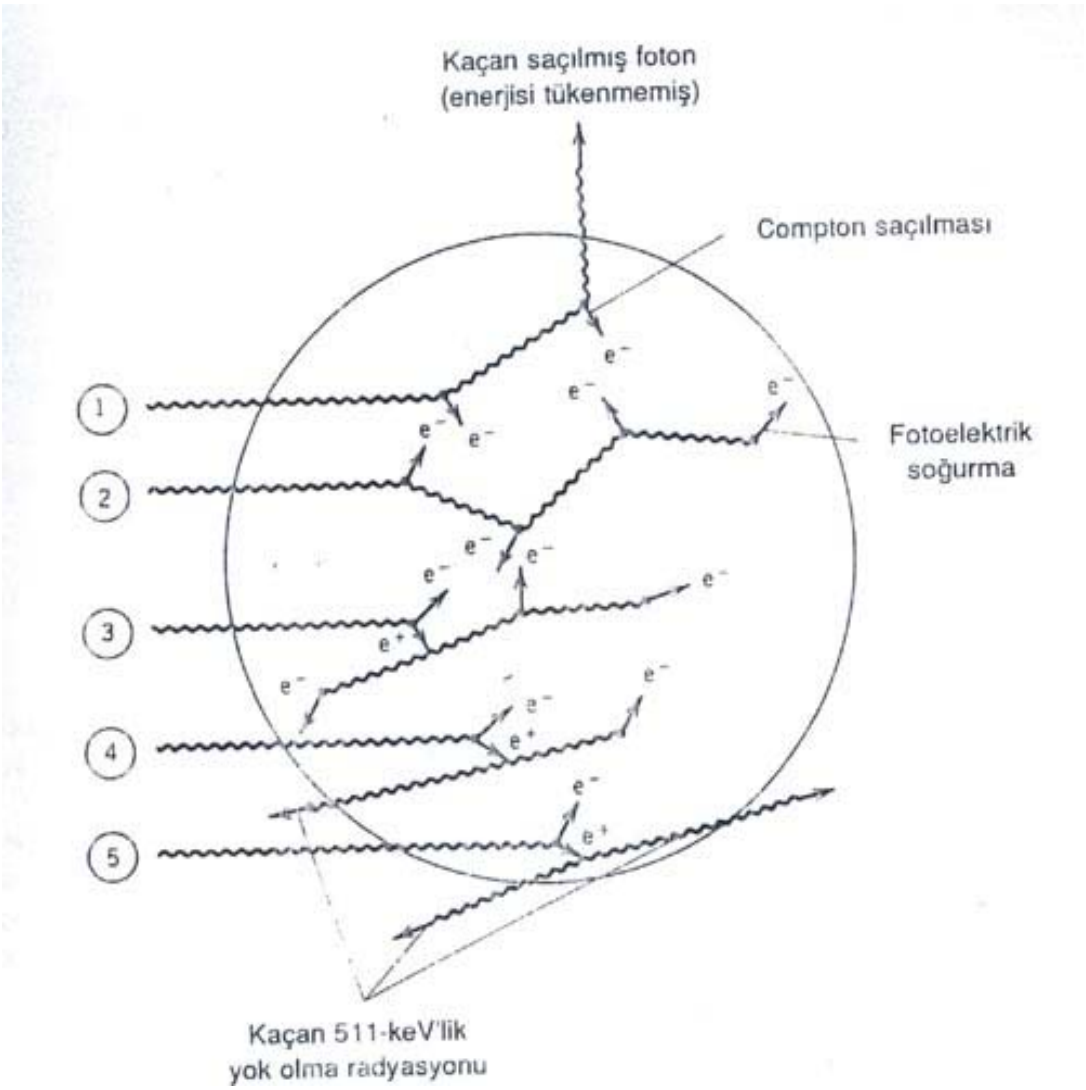
$$\mu = \tau + \sigma + \kappa^2 \qquad (2.8)$$

μ, birimi cm^{-1} dir, maddeye ve enerjiye bağlıdır.Azalım sayısını madde yoğunluğundan bağımsız hale getirmek için kütle azalım katsayısı μ/ρ kullanılır. Birimi cm^2/gr dır.

2.2 Gama Radyasyonunun Ölçümü

2.2.1 Enerji ölçümleri

Bir gama fotonu katı bir dedektör materyaline girdiğinde oluşabilecek işlemlerin bazıları Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Foton defalarca Compton saçılması yapabilir; her saçılmadan sonra enerjisinin bir kısmını kaybeder ve bir serbest elektron üretilir. Foton şu iki olaydan birini gerçekleştirebilir; Compton saçılmasına devam eder, sonunda enerjisi o kadar azalır ki fotoelektrik soğurma meydana gelerek yok olur veya kristalin kenarına çok yaklaşarak kristalin dışına çıkar. Fotonun enerjisinin tümünü elektronlara (fotoelektronlar veya Compton saçılma elektronları) aktardığı durumda ki, bu elektronların kristal içindeki menzilleri çok kısadır ve dedektör içinde çok hızlı şekilde enerji kaybederler. Enerjinin tümünün dedektör tarafından soğurulduğunu kabul edebiliriz. Dedektör tarafından soğurulan enerji, dedektöre giren fotonun enerjisine eşittir.



Şekil 2.4 γ-ışını ölçümünde meydana gelen olaylar (Krane 2001)

(1) Foton, birkaç kez Compton saçılması yapar ve enerjisinin tamamını kaybetmeden önce dedektörü terkeder.(2) Pekçok Compton saçılmasından sonra fotoelektrik soğurma yapar ve enerjisinin tamamını kaybeder. (3) Çift oluşumunu, pozitron yokolması, Compton sacılması ve fotoelektrik soğurma takip eder ve yine enerjinin tamamı aktarılır. (4) Yokolma fotonlarındanm biri dedektörü terk eder ve γ-ışınları 511 keV'lik enerjisinin tamamını kaybeder. (5) Yokolma fotonlarının her ikisi de dedektörü terkederken 1022 keV'lik enerjiyi dedektör materyaline aktarır.(4) ve (5) deki işlemler sadece γ-ışını enerjisinin 1022 keV'den fazla olduğu durumlarda meydana gelir.

2.2.2 Enerji spektrumu

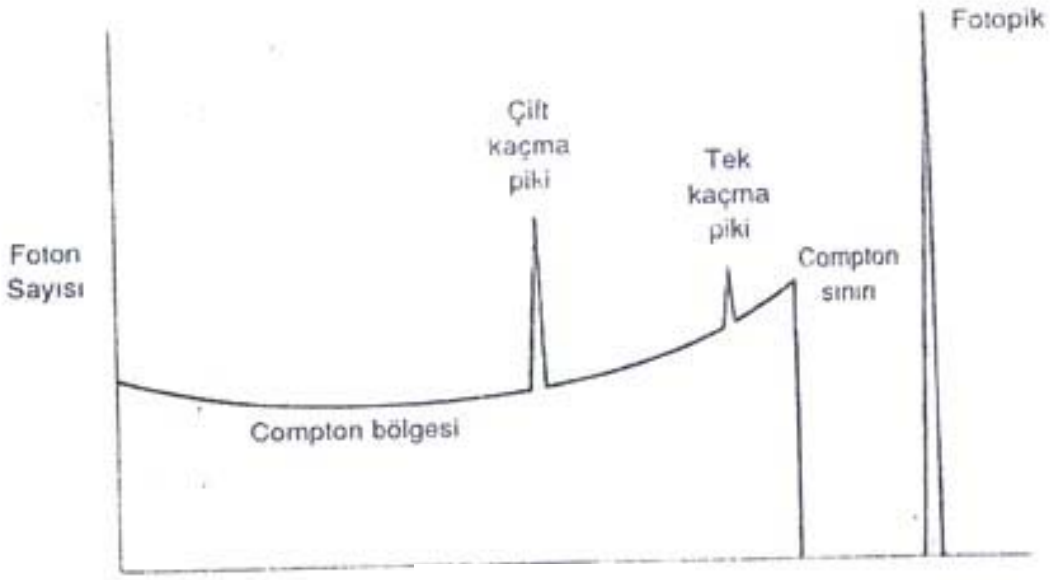
Eğer ilk foton, sonunda fotoelektrik soğurmaya maruz kalırsa dedektör kristaline aktarılan enerji orijinal γ –ışını enerjisine eşit olur. Eğer foton kristalin dışına saçılırsa aktarılan enerji orijinal fotonun enerjisinden daha küçüktür.

Şimdi, tek bir Compton olayında saçılan elektrona aktarılan enerjiyi gözönüne alalım. Elektronun kinetik enerjisi:

$$T_e = E_\gamma - E_\gamma' = \frac{E_\gamma^2(1-\cos\theta)}{mc^2+E_\gamma(1-\cos\theta)} \qquad (2.9)$$

Dedektör içinde bütün açılarda saçılma olacağı için, saçılan elektronun enerji aralığı, $\theta=0°$ için 0'dan $\theta=180°$ için $2E\gamma^2 / (mc^2 + 2E\gamma)$ 'ye kadar değişir. Bu elektronların hepsi, normal olarak dedektörde soğurulur ve eğer saçılan foton dedektörden dışarı kaçarsa bunlar dedektörün enerji spektrumunun Compton bölgesine katkıda bulunur. Bu bölge 0'dan Compton sınırı olarak bilinen maksimuma kadar uzanır. Tam bir fotoelektrik soğurmaya karşılık gelen E=Eγ'daki pik (tam-enerji piki veya fotopik denir) ve Compton sürekli bölgesi Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

γ-ışınlarının dedektördeki üçüncü tür etkileşmesi olan çift oluşumunu, şu ana kadar ihmal ettik. Bu olayda pozitron ve atom elektronu yok olur ve bunların yerine mc^2 veya 511 keV enerjili iki foton yaratılır. Bu iki foton hiçbir etkileşme yapmadan dedektörden dışarı çıkabilir, fotoelektrik soğurma veya Compton saçılma işlemleriyle kısmen veya tamamen soğurulabilir. Böylece, E γ-$2mc^2$ de (her iki foton kaçarsa), E γ-mc^2 de (biri kaçar, diğeri tamamen soğurulursa) ve E γ da (her ikisi de soğurulursa) pikler görmeyi bekleriz. Bu tek ve çift kaçma pikleri Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5 Bir dedektörün tek enerjili γ-ışını için enerji spektrumu (Krane 2001)

2.2.3 Dedektörler

Nükleer radyasyonları tespit etmek için kullanılan tüm detektörlerin temel çalışma ilkeleri benzer özelliklere sahiptir.

Radyasyon dedektöre girer, dedektör materyalinin atomlarıyla etkileşir, enerjinin bir kısmını ya da tamamını kaybeder ve atom yörüngelerinden nispeten düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur.Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere elektronik devre tarafından ya akım pulsuna ya da voltaj şekline dönüştürülür.

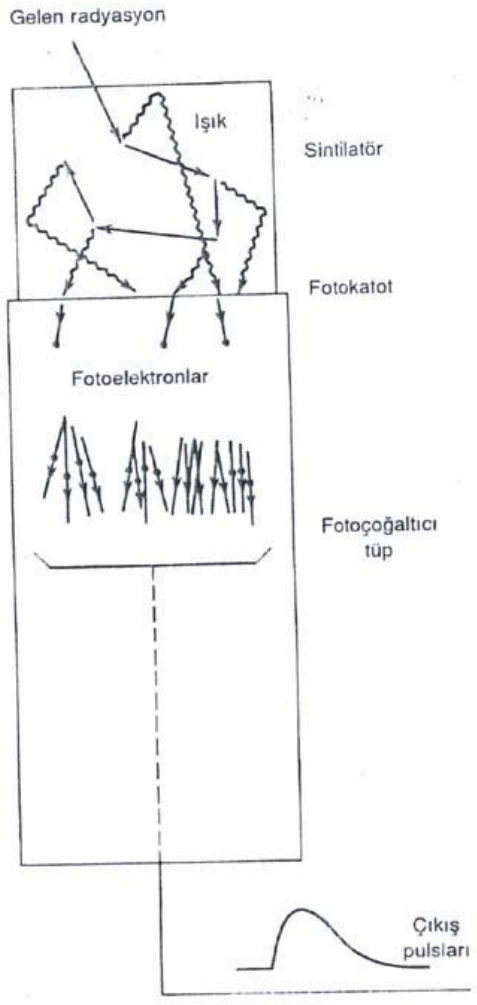
Dedektör materyalinin seçimi, ölçülecek radyasyon tipine ve hakkındaki mevcut bilgiye bağlıdır. En çok kullanılan dedektörler şunlardır;

-Yarıiletken Dedektörleri
-Sintilasyon Dedektörleri

Bu çalışmada kullanılan bir NaI sintilasyon dedektörüdür.

2.2.3.1 Sintilasyon dedektörü

Sintilasyon sayaçları materyalindeki seçimde, iyonlaşma sonucu oluşan elektonlar elektronik pulslarla oluşan elektronlarla aynı değildir. İyonlaşma elektronu ile puls elektronları arasında bir aracı vardır, bu ışıktır. İşlemin tamamı Şekil 2.6 incelenerek anlaşılabilir.



Şekil 2.6 Sintilasyon dedektöründeki temel işlemler

1- Gelen radyasyon dedektöre girer ve atomları uyarılmış düzeylere çıkaran çok fazla sayıda etkileşme yapar.
2- Uyarılmış durumlar hızla görünür bölgede ışık yayınlarlar. Böyle materyale fluresans denir.
3- Işık foto duyarlı yüzeye çarparak foton başına en çok bir fotoelektron salınmasına neden olur.
4- Bu ikincil elektronlar fotoçoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır ve çıkış pulsları şekline dönüştürülür.

3. DEDEKTÖR SEÇİMİ

Bir dedektöre gelen gama radyasyonun ne mükemmelikte ölçülebileceği o dedektörün iç ve dış özelliğiyle bağlantılıdır. Yani gama radyasyonunun ölçümünde dedektör seçimi önemlidir. Dedektör seçiminde, dedektör verimi ve dedektör çözünürlüğüne dikkat edilmelidir (Knoll 1979).

3.1 Dedektör Etkinliği (Verimi)

Bir gama dedektöründe sayım etkinliği mutlak ve gerçek olmak üzere iki şekildedir.

Mutlak etkinlik; ε_{mutlak} = sayılan pulslar/salınan parçacık sayısı

Gerçek etkinlik; $\varepsilon_{gerçek}$ = sayılan pulslar/dedektöre gelen parçacık sayısı

şeklinde verilir.

Mutlak etkinlik, dedektör özellikleri ve dedektörün gördüğü katı açıya (Ω) bağlıdır. Gerçek etkinlik ise katı açıya bağlı değildir. Radyasyon enerjisine, dedektörün yapıldığı maddeye ve gelen radyasyonun yönünde dedektörün fiziksel kalınlığına bağlıdır.
Gerçek ve mutlak etkinlik arasındaki ilişki;

$$\varepsilon_{gerçek} = \left[\frac{4\pi}{\Omega}\right]\varepsilon_{mutlak} \tag{3.1}$$

şeklindedir.

Silindirik bir dedektör için katı açı;

d: kaynakla dedektör arasındaki mesafe

A: dedektör yüzeyi

olmak üzere;

$$\Omega = \frac{A}{d^2} \tag{3.2}$$

şeklindedir.

3.2 Dedektör Çözünürlüğü

Dedektörün birbirine ne kadar yakın enerjideki fotonları ayrı enerjide fotonlar olarak dedekte edebileceği, onun enerji ayırma gücüne yani çözünürlüğüne bağlıdır. Kaynak içi ve kaynak dışı saçılmalar, fotopik dışı pikler ve istatistiksel oynamalar puls yükseklik analizörüne değişik yükseklikte pulsların gelmesine neden olur. Enerji ayırma gücü R, enerji pikinin yarı yükseklikteki tam genişliğinin (FWHM), gama enerjisine bölümüne eşittir. FWHM ne kadar küçük olursa dedektörün birbirine yakın enerjilere sahip iki radyasyonu ayırabilmesi o kadar iyi olacaktır.

$$R = \frac{FWHM}{E_\gamma} \tag{3.3}$$

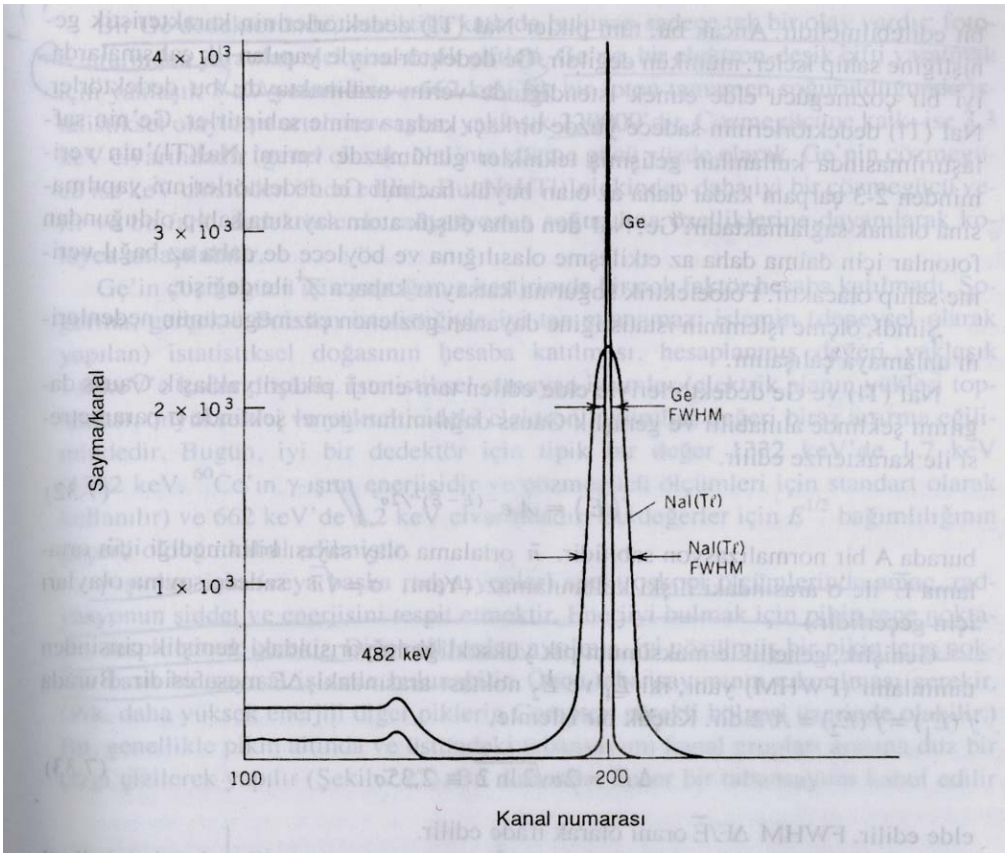
$$\text{FWHM}=2{,}3\sigma \tag{3.4}$$

Şeklindedir. FWHM, istatistiksel dağılımın genişliğinin ölçüsüdür. Burada σ, standart sapmadır ve bir NaI dedektöründe bir fotonun ortaya çıkardığı fotoelektronların sayısının(N) karekökünе eşittir.

$$\sigma = N^{1/2} \tag{3.5}$$

N, radyasyon enerjisi E'ye bağımlı olduğundan, kabaca FWHM, $E^{1/2}$ ile orantılıdır diyebiliriz.

Gama ölçümünün sebebi, dedektöre gelen gama kaynağının şiddet ve enerjisini tespit etmektir. Enerjiyi bulmak için, gama spektrometresindeki pikin tepe noktasını tespit etmemiz gerekir. Diğer piklerden ayrılmış, iyi çözülmüş bir pikin tepe noktası kolaylıkla tespit edilebilir. Bu nedenden, dedektörün enerji ayırma gücü iyi olmalıdır.
Aşağıda, Şekil 3.1'de Cs-137 kaynağının Naı(Tl) ve Ge(Li) dedektörleri ile alınan spektrumlarının karşılaştırılması verilmiştir.

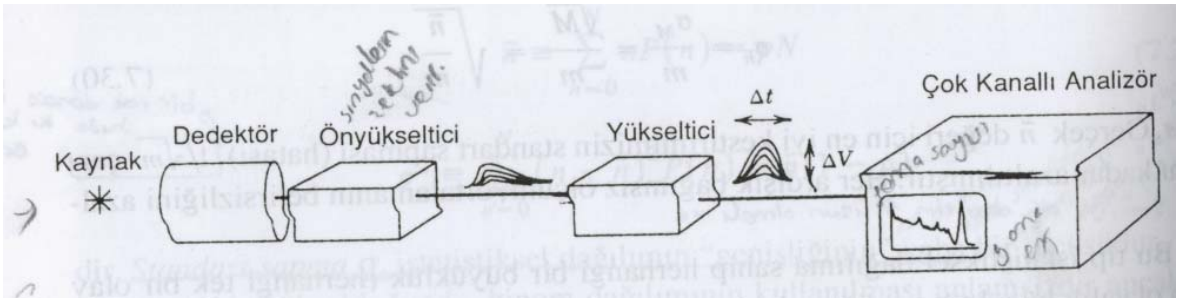


Şekil 3.1 Naı(Tl) ve Ge(Li) dedektörleri ile alınan spektrumların karşılaştırılması (Krane 2001)

Ge Dedektörünün çözünürlüğü şekilden de anlaşıldığı üzere NaI daha üstündür. Buna rağmen NaI dedektörleri bazı uygulamalar için tercih edilmektedirler. Bunun sebeplerinden biri, kullanım pratikliğidir. Yani, Ge dedektörlerinde soğutma sistemi gerekirken, NaI dedektörlerinde böyle bir sisteme gerek yoktur. Diğer bir sebepler ise, veriminin yüksek olması ve ekonomik olmasıdır

4. NAI DEDEKTÖRÜNDEN GAMA IŞINI ÖLÇÜMÜ

Gama ışınlarının NaI dedektörü ile etkileşmesi, Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü Nükleer Fizik Laboratuarı'nda değişik radyoaktif kaynaklar kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar bu bölümde tartışılmıştır. Deneylerde NaI dedektörü, yükselteci ve çok kanallı analizatör kullanılmıştır. Deney setinin şeması aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Deney seti

Burada, ön yükseltici sinyalin boyunu yükseltir, lineer yükseltici sinyalin şeklini düzenler ve tekrar boyunu yükseltir, çok kanallı analizatör, enerji histogramını verir, değişik enerjili gama enerjilerini farklı kanallara kaydeder.

Laboratuarda yapılan deneylerin amacı, bulduğumuz sonuçları simulasyon programı ile elde ettiğimiz sonuçlar ile karşılaştırmak ve sonuçları tartışmaktır. Bu bölümde laboratuar ortamında yapılan deneyleri anlatacağız. Bu deneyler aşağıda verilmiştir.

4.1 Laboratuar Deneyleri

Deney 1: Enerji Kalibrasyonu
Deney 2:Enerji Ayırma Gücünün Enerji ile Değişimi
Deney 3:Dedektör Doğrusallığının İncelenmesi
Deney 4:Dedektör Etkinliği ve Aktivite Tayini
Deney 5:Kütle Azalım Katsayısının Enerji ile Değişimi

Sonuç: Deneyde kullanılan kaynaklara ait spektrumlar

4.1.1 Deney 1: Enerji kalibrasyonu

NaI dedektöründen gelen her puls bir kanalında sayım olarak sayılır. Her kanal bir enerji değerine karşı gelmektedir. Ancak puls yükseklikleri fotoçoğaltıcı tüpe uygulanan yüksek gerilim ve yükseltecin kazancı ile değişir. Bu değişim bir kanala karşı gelen enerji değerini değiştirmektedir. Bu nedenle sistemde enerji kalibrasyonu yapmak zorunludur. Enerji kalibrasyonu iki şekilde yapılır. Birinci yöntemde yükseltecin kazancı herhangi bir değere ayarlanır. Daha sonra enerjisi bilinen standart kaynaklar dedektör karşısına yerleştirilir ve sayımlar alınır. Elde edilen spektumda fotopiklerin merkezlerinin karşı geldiği kanal numaraları alınır. Bu kanal numaralarına karşı gelen enerji değerleri birinci veya ikinci derece bir polinoma fit edilerek kalibrasyon yapılmış olur. İkinci yöntemde ise, kanalın bir veya daha çok keV lik enerjiye karşı geldiği kabul edilir. Enerjisi bilinen bir kaynak dedektöre yerleştirilir ve sayımlar alınır. Spektumda elde edilen yükseltecin kazancının değiştirilmesiyle fotopikin merkezi istenilen kanal numarasına getirilir. Böylece kalibrasyon gerçekleşmiş olur.

4.1.2 Deney 2: Enerji ayırma gücünün enerji ile değişimi

Enerji ayırma gücünün, enerji ile değişiminin incelenmesinin sebebi, yüksek enerjili izotopların enerji ayırma gücünün, düşük enerjili radyoizotopların enerji ayırma gücünden daha iyi olduğunu gözlemektir.

Deneyde, enerji kalibrasyonu yapıldıktan sonra, Am-241, Cs-137, Co-60 ve Eu-152 standart kaynakları için sayımlar alınarak, spektrumlar elde edildi ve her birine ait FWHM ler spektrumdan bulunarak, yüzde enerji ayırma gücü; $\% R = (FWHM/E_0)x100$ formülüyle elde edildi.

Enerji ve ayırma gücü değerlerini kullanarak log E-log R grafiği çizildi.

Sonuçta farklı enerjilerde ayırma gücünü belirlemek için FWHM değerleri bulundu. Dalgalanmalar azaldıkça enerji ayırma gücünün iyileşmesi ve R değerinin azalması beklenir.

4.1.3 Deney 3: Dedektör doğrusallığının incelenmesi

İdeal bir kristaldeki toplam ışık verimi, gelen radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu deneyde enerji ile foton sayısının ve puls yüksekliğinin değişimi incelenmektedir. Bu değişimin lineer olması beklenir.

Deneyde, enerji kalibrasyonu yapıldıktan sonra, dedektöre ayrı ayrı Am-241, Cs-137, Co-60 ve Eu-152 kaynakları yerleştirilerek fotopikin merkezinde bulunan enerji değerleri gözlenen E olarak verilirse;

$$\%\text{sapma miktarı} = \frac{\text{gerçek E-gözlenen E}}{\text{gerçek E}} \text{ x } 100$$

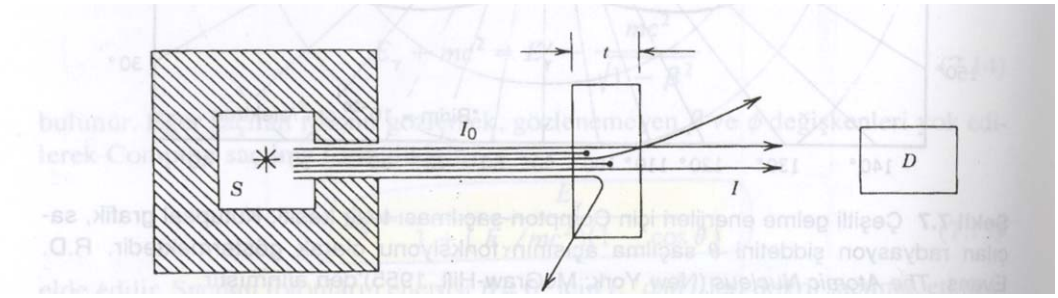
formülü ile hesaplanabilir.

Sonuçta, Gerçek E-gözlenen E grafiği çizildi. Elde edilen sonuçlardan dedektörün doğrusallığının iyi olduğu tespit edildi. Düşük enerji değerlerinde doğrusallıktan sapma miktarının yüksek olduğu gözlendi. Bunun sebebi, düşük enerji değerlerinde kristalde yeterli miktarda sintilasyon fotonunun oluşmamasıdır.

4.1.4 Deney 4: Dedektör etkinliği ve aktivite tayini

Deneyde, Cs-137 kaynağı yardımıyla dedektör etkinliği bulundu ve daha sonra aktivitesi bilinen bir kaynak dedektöre yerleştirilerek, bulunan dedektör etkinliği yardımıyla aktivite hesaplandı.

4.1.5 Deney 5: Kütle azalım katsayısının enerji ile değişimi



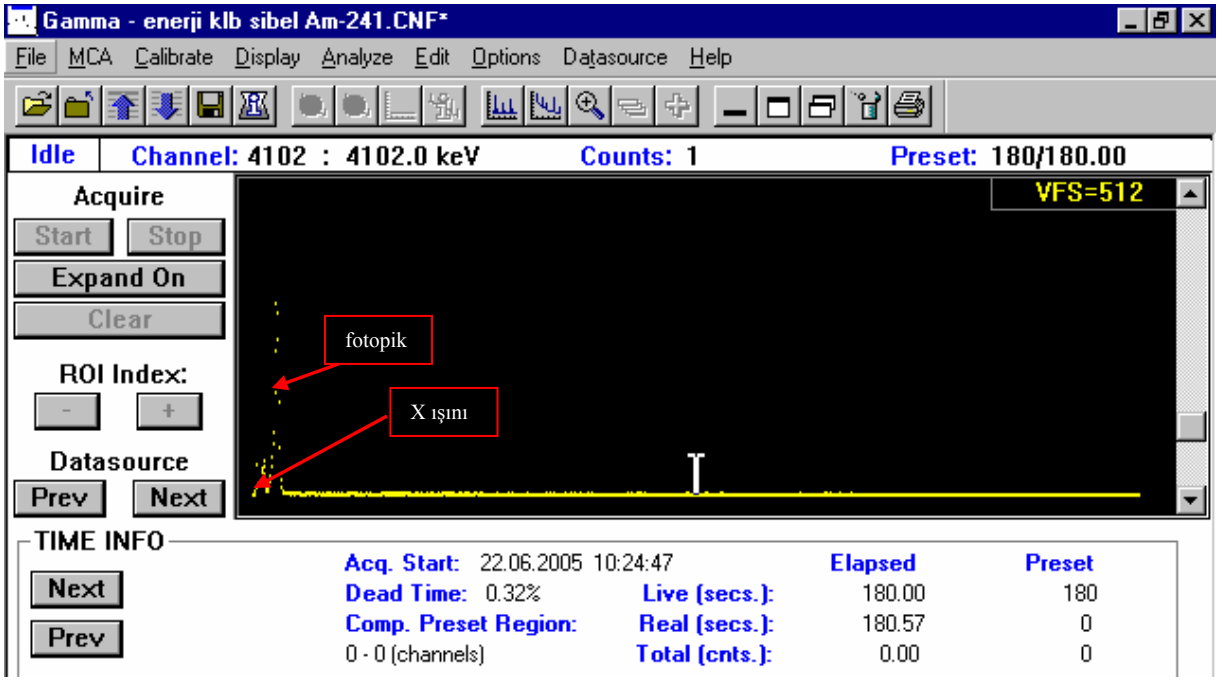
Şekil 4.2 t kalınlıkta bir hedefe gelen tek enerjili bir foton demeti

Deneyde, Cs-137, Co-60 ve Eu-152 kaynakları için soğurucu kalınlıklarında sayım değerleri alınarak gerçek ve gözlenen kütle azalım katsayıları bulunarak enerjiyle değişimleri incelendi.

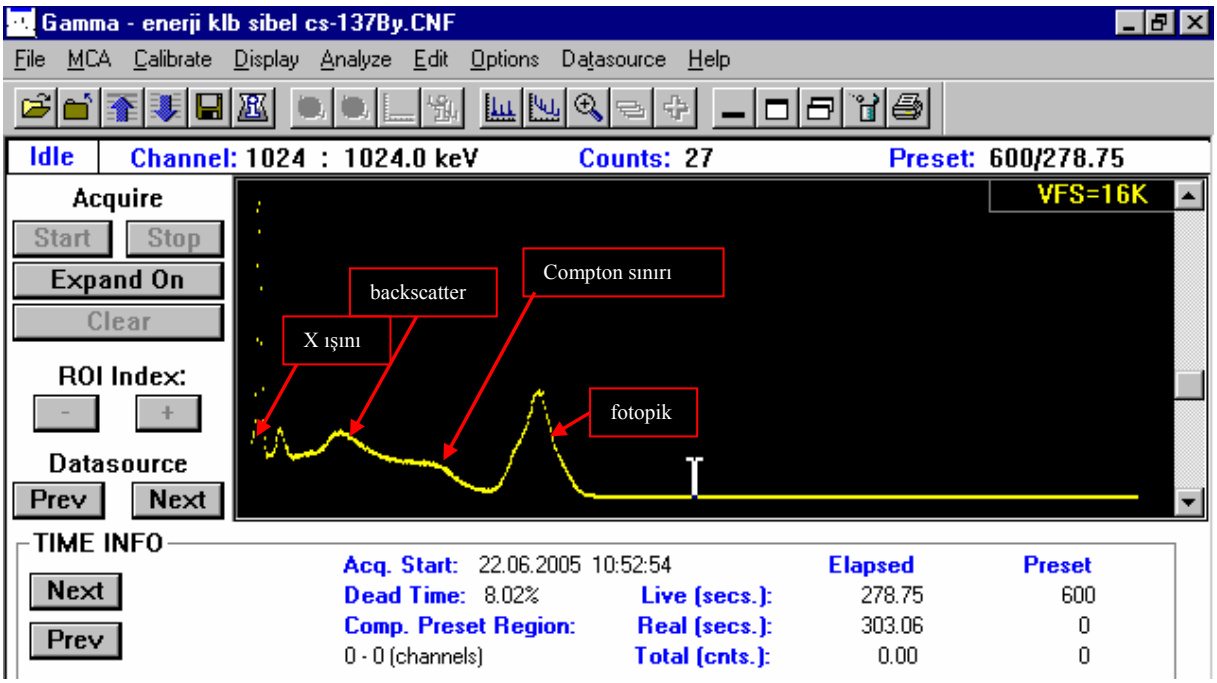
Sonuçta, gözlenen μ değerleri ile gerçek μ değerlerinin yakın çıktığı görüldü. Enerji arttıkça fotonların soğurucu ortamda yaptıkları etkileşmeler azalacağından kütle azalım katsayısının azalması bekleniyordu. Gözlenen **μ - enerji** grafiğinde de artan enerji ile kütle azalım katsayısının azaldığı gözlendi.

4.2. Laboratuar Deneyleri Sonuçları

4.2.1 Deneyde kullanılan kaynaklara ait spektrumlar



Şekil 4.3 Am-241 kaynağı ile elde edilen spektrum

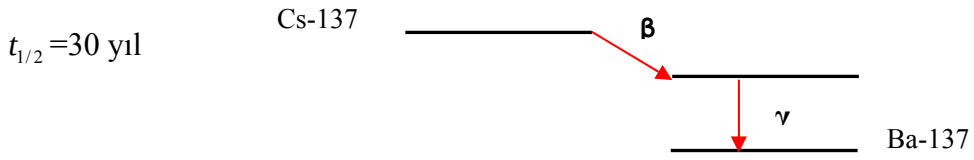


Şekil 4.4 Cs-137 kaynağı ile elde edilen spektrum

4.2.2 Deney yorumları

Yapılan deneylerden sonra elde ettiğimiz spektrumlarla ile ilgili olarak şu yorumlarda bulunabiliriz.

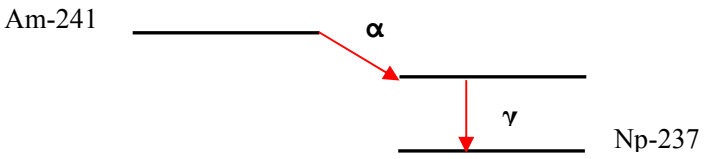
CS-137 spektrumunda; 662 keV de fotopik görülmektedir,. Compton sınırını rahatlıkla anlaşılabilmektedir. Düşük enerjilere gidildikçe, 200-250 keV civarında backscatter pik (geri saçılım piki) görülmektedir. Backscatter piki etrafındaki maddeden (Pb veya duvar olabilir) compton saçılan gamalardan dolayı oluşmaktadır. Aynı zamanda, yukarıdaki spektrumda, daha düşük enerjilerde ise, Ba-137'den kaynaklanan karakteristik X-ışını görülmektedir (Cs-137 çekirdeği Ba-137 çekirdeğine bozunur (Şekil 4.5).). Bu X-ışınının sebebi ise internal concersion (iç dönüşüm) dediğimiz olaydır. Yani, çekirdeğin fazla enerjisi gama yollamak yerine bu enerjiyi bir elektrona vermesi ve elektronun atomdan koparılmasıdır. Boş olan elektronun yerine başka bir elektronun düşmesi ve düşerken bir X ışını yayınlamasıdır.



Şekil 4.5 Cs-137 çekirdeğinin bozunum şeması

Am-241 spektrumunda ise; 59.5 keV de bir pik ve daha düşük enerji bölgelerinde zayıf pikler görülmektedir. Fotopik merkezi 59,5 keV, gama kaynağının enerjisini vermektedir. Düşük enerji bölgesindeki diğer önemli pikler, 17,8 ve 13,9 keV de Np-237 den kaynaklanan karakteristik X ışınlarıdır (Am-241 çekirdeği Np-237 çekirdeğine bozunur (Şekil 4.6).). Ayrıca, 30 keV civarında X-ray escape dediğimiz (Mcgowan 1954) olaydan kaynaklanan bir pik görmeyi bekleyebiliriz. Bu pik, dedektör yüzeyine çarpan gama ışınlarının, NaI kristalindaki I atomu k-elektronunu yerinden koparması ile ortaya çıkan X ışınlarının dedektör dışına kaçması ile oluşur.

$t_{1/2}$ =432 yıl



Şekil 4.6 Am-241 çekirdeğinin bozunum şeması

4.3 Deneyler Esnasında Alınan Doz Miktarı

Deneyler esnasında Am-241 kaynağından yayınlana 59,5 keV'lik gama radyasyonuna 2 saat boyunca maruz kalındığı varsayılarak, birim kütle başına radyasyon tarafından depo edilen enerjiyi yani deneyler esnasında alınan dozu ve belirli bir radyasyonun biyolojik sistem üzerindeki etkisini yani doz eşdeğerini hesaplayabiliriz.

A_0 ; başlangıç aktifliği A_0 =5µci (Ocak 99 için)

A; şimdiki aktiflik $A = A_0 e^{-\lambda t}$; $\lambda = \dfrac{0,693}{t_{1/2}}$

$Doz = \dfrac{AtE}{M}$; t (radyasyona maruz kalınan süre) =2 saat,

M (radyasyona maruz kalan canlının kütlesi)=60 kg

E(radyasyon kaynağının enerjisi)=60 keV

Buna göre deneyler esnasında alınan doz;

$Doz = 4,67.10^{-6}\, gray = 4,67.10^{-4}\, Rad$ olarak hesaplanır.

Doz eşdeğeri ise; radyasyonun soğurulan dozu ile kalite faktörüne (QF) bağlıdır.Doz eşdeğeri DE, bu iki niceliğin çarpılmasıyla elde edilir.

DE=DxQF

Kalite faktörü gama radyasyonu için 1, alfa radyasyonu için 20 olarak verilmiştir.Deneyler esnasında alfa parçacıklarının bize ulaşmadığı, alınan dozun sadece gama ışınlarından kaynaklandığını varsayarsak;

$DE = 4,67.10^{-4}.1 = 4,67.10^{-4}\,rem$ olarak hesaplanır.

Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi (ICRP), yıllık tüm vücut için soğurulan doz sınırlarını halk için 0,5 rem/yıl olarak belirlemiştir. Deneyler esnasında yıllık tüm vücut için soğurulan doz, 0,17 rem/yıl' dır. Bu değer halk için verilen standartları aşmamaktadır.

5. GEANT BİLGİSAYAR PROGRAMI

5.1 Tanım

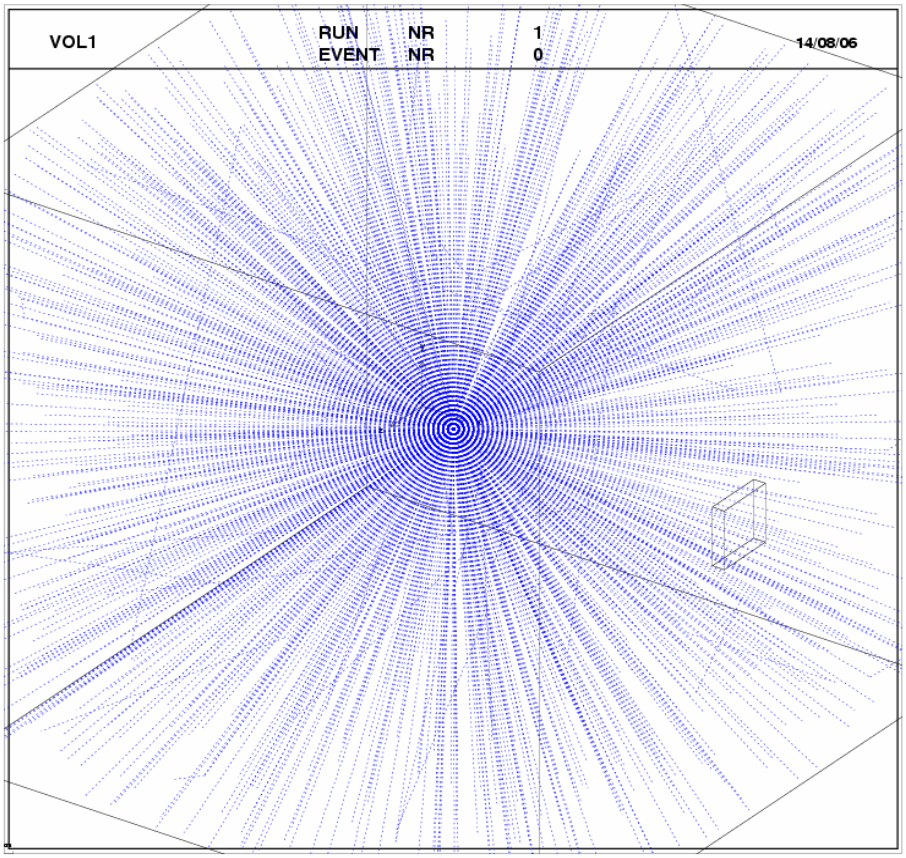
Giriş bölümünde de bahsettiğimiz gibi bu tez çalışması "Geant" isimli bir bilgisayar programı ile yapıldı. Geant, "EUROPEN ORGANISATION FOR NUCLEAR RESEARCH-CERN" tarafından geliştirilmiş ve halen desteklenen bir programdır. Monte Carlo yöntemi ile çalışmaktadır. Bu yöntem, istatistiksel teknikler kullanarak bir deneyi veya olayı taklit eder. Geant, geniş kullanımlı bir simülasyon programıdır (wwwasd.web.cern.ch/wwwasd/geant). Bir parçacığın madde içinden geçişini ve geçiş anında bıraktığı enerjiyi hesaplar. Gerekli olan tüm denklemler ve data tabloları program içinde veya kütüphanesinde mevcuttur. Geant, C++ veya Fortran program dilini kullanır. Birçok fizikçi ve yazılım mühendisi tarafından oluşturulan bir işbirliği grubu tarafından program geliştirilmekte, yenilenmekte ve kullanıcılara birçok doküman sağlanmaktadır. Bu sebepten, program dilini bilmeyen kullanıcılar bile örnek programlar yardımıyla programı istemleri doğrultusunda uyarlayabilirler. Program, yüksek eneri fiziği, nükleer fizik, hızlandırıcı fiziği, astrofizik ile medikal ve biyoloji gibi alanlarda kullanılmaktadır.

5.2 Tek Dedektör Modeli

Geant ile yaptığımız uygulamalara ilk olarak tek dedektörü inceleyerek başladık. Aşağıda Şekil 5.1'de görüldüğü üzere içi hava ile dolu bir oda içerisinde, duvara tam olarak yerleştirilmiş bir NaI dedektörü sistemi yaptık.

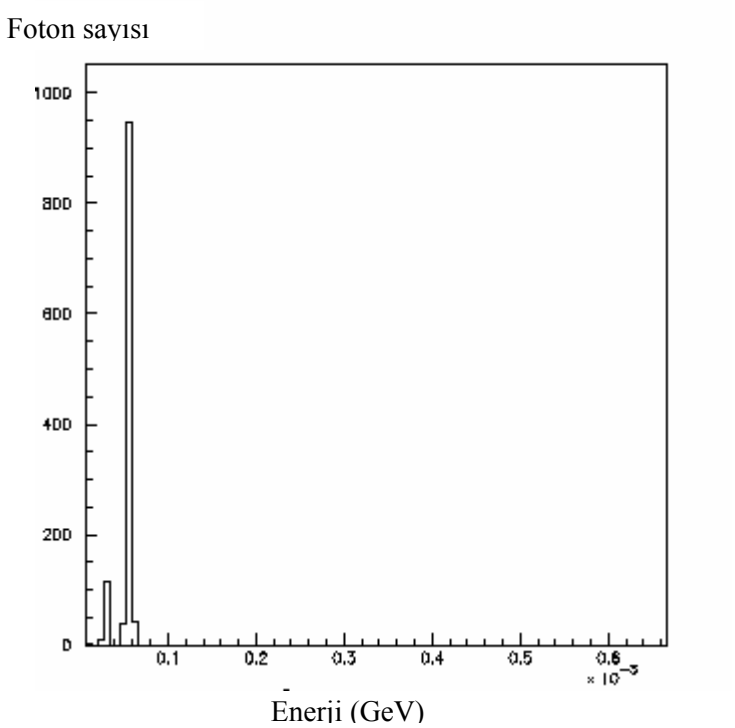
Oda 4x4x4 m., dedektör ise 2x10x10 cm. ebadındadır. Dedektörün tam karşısından izotropik olarak gama yayınlayan bir kaynak yerleştirdik. Tek dedektör modelinde de, asıl çalışmamız olan havaalanı modeli gibi, odanın ve dedektörlerin ebadını, ortamdaki havayı ve kaynağın gerçekte olduğu gibi her yöne eşit şekilde yayınlanmasını istedik.

Şekil 5.1'de kaynaktan yayınlanan gama ışınlarının dedektöre çarptığı görülmektedir. Burada mavi çizgiler gamaları göstermektedir. Bölüm 3'de de değindiğimiz gibi, dedektöre gelen gamalar hiçbir etkileşime girmeden çıkabilir, enerjisinin bir kısmını bırakarak çıkabilir ya da tamamen enerjisini dedektöre bırakabilir.Bu şekilde dedektöre giren gamaların geliş doğrultusundan saparak başka yönlere çıktığını görüyoruz. Dedektöre depolanan enerjileri ise, enerji- gama ışını sayısı spektrumunda görebileceğiz.



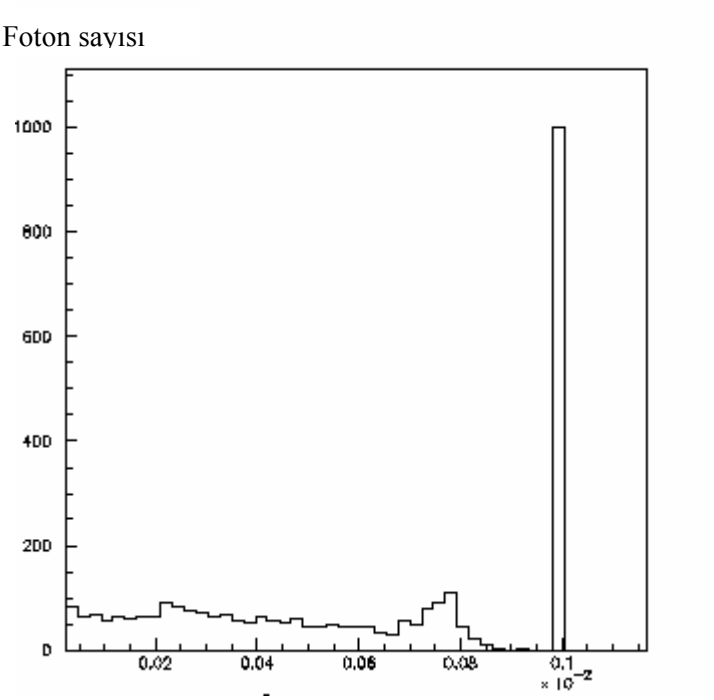
Şekil 5.1 Bir oda içerisinde bulunan tek NaI dedektörü

Şekil 5.2'de, dedektöre gelen 60 keV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum görülmektedir. Dedektöre gelen radyasyonun enerjisi çok küçük olduğundan yalnızca fotopik görülmektedir. Fotopikin merkezi gelen gama enerjisinin enerjisini vermektedir. 1.02 MeV değerinin altındaki enerjilerde çift oluşum olmadığından, bu piki görmemekteyiz.



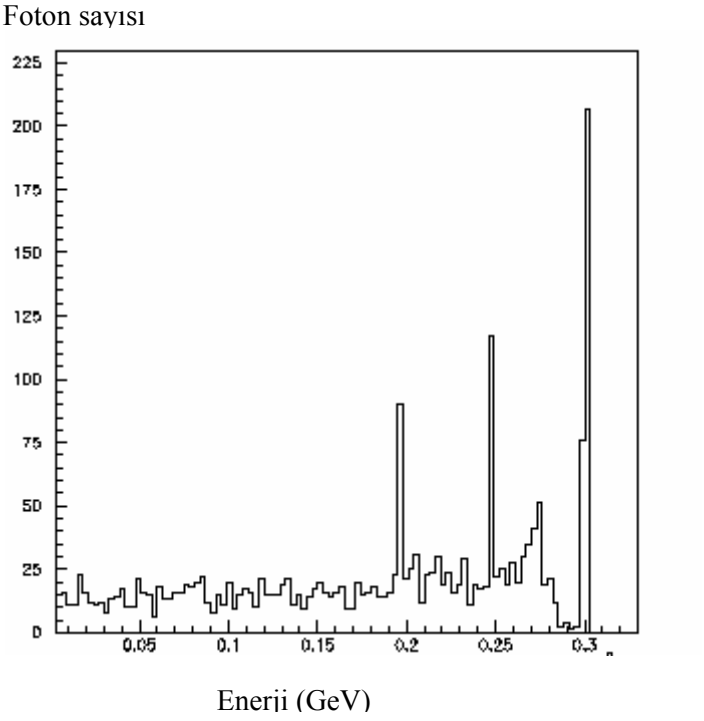
Şekil 5.2 Dedektöre gelen 60 keV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum

Şekil 5.3'de, dedektöre gelen 1 Mev enerjili gama ışınlarının, dedektördeki ölçümünü göstermektedir. Spektrumda görülen fotopik, gelen radyasyonun enerjisini yani 1 MeV'yi göstermektedir. Yine burada da, 1.02 MeV değerinin altındaki enerjilerde çift oluşum olmadığından, çift veya tek kaçma piki görmemekteyiz. Compton bölgesi 0 ile 0,8 MeV arasındadır. 0,8 ile 1.0 MeV arasındaki bölge, birden fazla Compton saçılması olduğunu gösterir (Knoll 1999).



Şekil 5.3 Dedektöre gelen 1 MeV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum

Şekil 5.4'de ise, 3 MeV enerjili gama radyasyonunun dedektör tarafından ölçümünden elde edilen grafik verilmiştir. Fotopik merkezi 3 Mev olup, 2,5 MeV değerindeki tek kaçma piki ve 2 MeV değerinde çift kaçma piki görülmektedir. Compton bölgesi 0 ile 2,77 MeV arasındadır.



Şekil 5.4 Dedektöre gelen 3 MeV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum

Yapılan bu çalışmada, ortamda hava da bulunduğundan, gamalar, hava molekülleri ile de etkileşime gireceklerdir. Ancak bu ihmal edilebilecek kadar azdır.

Odanın genişliği t=2 m. μ/ρ(hava)= 0,2 cm^2 /g gama enerjisi=60 keV olarak alındığında;

Kaynaktan yayınlanan gamalar ile hava ile etkileşime girmeyen gamaların oranı;

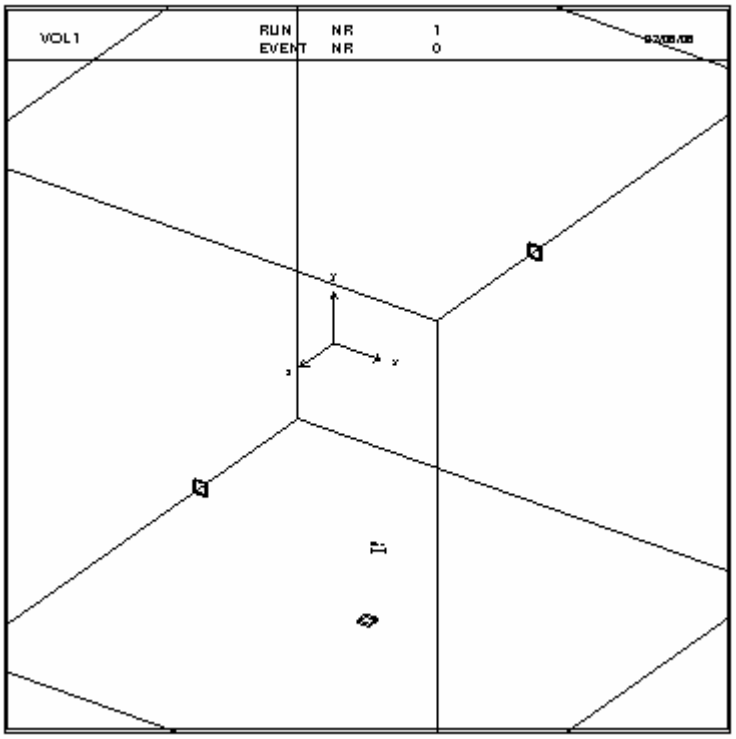
$I = I_0 e^{-\mu t}$ formülünü kullanarak I / I_0=0,95 olarak bulunur.

Bu oran da gösteriyor ki, hava ile etkileşime giren gamaların sayısı, yayınlana gamaların sayısının sadece %5'i katıdır.

5.3 Havaalanı Ortamında Üç Dedektör Modeli

Bu çalışmada, hava alanı olarak tasarladığımız oda içerisindeki Am kaynağının yerini tespit etmeye çalışacağız. Geant ortamında dört hacim simule ettik. Bunlardan birinci hacim en büyüğü olup, oda olarak değerlendirdik. İçi hava ile doludur, bu hacmin içerisine diğer üç hacmi yerleştirdik. Bunları ise NaI dedektörü olarak seçtik. Üç

dedektörü, tam duvarlara yaslanacak şekilde, (x,y,z)=(0, -195,0), (0,0,195) ve (0,0,-195) koordinatlarına yerleştirdik. Şekil 5.5'de görüldüğü gibi dedektör 2 yerde, dedektör 3 +z ekseni üzerinde ve dedektör 3 –z ekseni üzerinde bulunmaktadır. Burada x, y, z uzunlukları cm olarak verilmiştir. Orijin, yani (x,y,z)=(0,0,0) noktası odanın tam orta noktasıdır. Odanın ebadı 4x4x4 metre, dedektörlerin her birinin ebadı ise 2x10x10 cm'dir



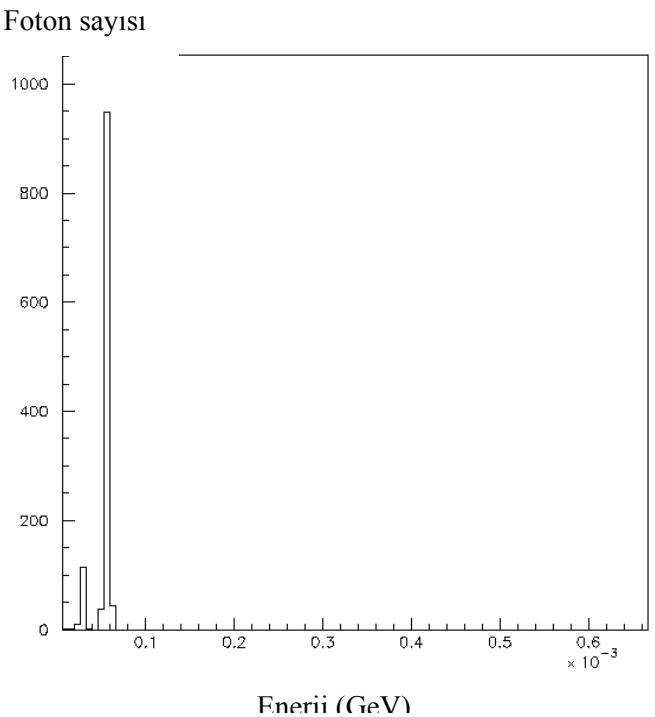
Şekil 5.5 Bir oda içerisinde bulunan üç adet NaI dedektörü

Oda içerisinde, hava bulunduğundan, saçılan gama ışınlarının bir kısmı hava molekülleri ile etkileşime girmektedir. Radyasyon kaynaklarından yayınlanan gama ışınları izotropik olduğundan, çalışmamızdaki radyasyon kaynağından da, gama ışınları her yöne eşit şekilde dağılmaktadır.

Oda içerindeki dedektörlerin yerleri sabit tutulup, gama kaynağının yeri 40 cm aralıklarla değiştirildi. Bu işlem üç boyutlu olarak yapıldı ve sadece odanın dörtte bir kısmında uygulandı. Çünkü bu tarama işlemi oldukça uzun süren bir zaman

gerektirmekteydi ve odanın tamamı için uygulamak yerine, uygulanan yüzey ile diğer yüzeyler arasındaki ölçümler arasında simetri olup olmadığı araştırıldı. Gama kaynağının bulunduğu her koordinat için dedektörlerin her birinden ölçümler alındı. Bu ölçümler ile gama ışınlarının geliş yönü tayininin yapılıp yapılamayacağı incelendi.

Şekil 5.6'da (40, -40, 80) koordinatında bulunan bir gama kaynağından yayınlanan gamaları ölçen dedektör 2'ye ait spektrum verilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız kaynak Am kaynağı olup, şekilde 60 keV'de fotopik görülmektedir.



Şekil 5.6 Dedektör 2'ye gelen 60keV enerjili gama ışınlarının dedektör ile ölçümünden sonra elde edilen spektrum

Üç dedektör için elde edilen toplam foton etkileşme sayısı (enerji spektrumundaki toplam sayma) çizelge 5.1'de verilmiştir.

Toplam sayma, dedektöre gönderilen gama ışınları ile orantılı olduğundan, bu sayılar duruma ve zamana bağlı olarak değişme gösterebilirler. Burada yön tayini için önemli olan, bir dedektör için alınan saymanın, diğer dedektörlere oranıdır. Bu oran yine Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Yapılan ölçümlerde, bir dedektörün verdiği toplam saymanın, kaynağın dedektöre olan mesafesi ve dedektörün gama radyasyonuna maruz kalan alan büyüklüğüne bağlı olarak değişim gösterdiği gözlendi. Bu beklediğimiz bir durumdu. Bölüm 4'de değindiğimiz gibi, dedektörün mutlak verimi dedektörün kapladığı katı açıya, yani alanına ve kaynaktan uzaklığının karesine bağlıdır. Uygulamalarımızda gördük ki, kaynak dedektöre ne kadar yakınsa, dedektörle etkileşen gama sayısı fazlalaşmakta, ancak gama ışınlarının çarptığı dedektör alanı küçük ise, bu durum dedektörle etkileşen gama sayısını azaltmaktadır. Bu bilgilerden yola çıkarak, dedektörlerden aldığımız ölçümleri değerlendirerek, yerini bilmediğimiz bir gama kaynağının yerini tespit etmemiz mümkündür.

Kaynak, odanın ortasında yani, (x,y,z)= (0,0,0) noktasına yerleştirildiği durumda, üç dedektörün katı açısı birbirine eşit olmakta ve dolayısıyla elde edilecek saymaların birbirine eşit olması beklenmektedir. Çizelge 5.1'de , bu sayıların istatistiksel hata çerçevesinde uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1'de, kaynak (x,y,z) = (0,-195,0) koordinatına yerleştirildiğinde, gama kaynağı dedektör 2'ye en yakın durumunda olduğu için sayım sayısı çok yüksek olduğu, dedektör 3 ve dedektör 4'ün sayımlarının yaklaşık birbirine eşit olduğu görülmektedir. Ancak kaynak bu koordinatlardan, (x,y,z) = (0,-195,40) koordinatlarına getirilince, kaynak ile dedektör 2 arasındaki uzaklık arttığı için, sayımın azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, dedektör 3 ve dedektör 4'de de sayımlarda azalmalar olmuştur. Bunun sebebi ise, dedektörlerin, kaynağı gören yüzeylerinin daha küçük olmasıdır. Ama, dedektör 4'deki azalmanın daha fazla olduğu gözlendi ki, bu beklenen bir durumdu çünkü, kaynak bu yer değişiminde, dedektör 3'e yaklaşmakta ve dedektör 4'den uzaklaşmaktadır.

y= 0.-40, -80, -120 ve -160 için elde edilen veriler EK 1 (Çizelge 1)'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 60 keV enerjiye sahip ve y=-195 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları

Koordinatlar Açılar	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(0,-195,0)	$2975x10^3$	1340	1242	**2220,15**	**2395,33**	**1,079**
(0,-195,40)	8990	1125	826	**7,99**	**10,88**	**1,362**
(0,-195,80)	1745	900	604	**1,94**	**2,89**	**1,490**
(0,-195,120)	766	633	433	**1,210**	**1,769**	**1,462**
(0,-195,160)	393	414	364	**0,949**	**1,079**	**1,137**
(0,-195,195)	239	255	303	**0,937**	**0,789**	**0,842**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(40,-195,0)	8938	1295	1275	**6,901**	**7,010**	**1,016**
(40,-195,40)	11230	1184	829	**9,485**	**13,546**	**1,428**
(40,-195,80)	2347	878	642	**2,673**	**3,656**	**1,368**
(40,-195,120)	916	675	464	**1,357**	**2,039**	**1,455**
(40,-195,160)	454	506	392	**0,897**	**1,158**	**1,290**
(40,-195,195)	292	297	296	**0,983**	**0,986**	**1,003**

Çizelge 5.1 60 keV enerjiye sahip ve y=-195 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(80,-195,0)	1856	1273	1298	**1,458**	**1,430**	**0,981**
(80,-195,40)	2348	1208	867	**1,944**	**2,708**	**1,393**
(80,-195,80)	2708	942	634	**2,875**	**4,271**	**1,486**
(80,-95,120)	1107	762	464	**1,453**	**2,386**	**1,642**
(80,-195,160)	522	571	374	**0,914**	**1,396**	**1,527**
(80,-195,195)	375	382	309	**0,982**	**1,214**	**1,236**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(120,-195,0)	734	1293	1340	**0,568**	**0,548**	**0,965**
(120,-195,40)	930	1176	878	**0,791**	**1,059**	**1,339**
12(0,-195,80)	1082	991	672	**1,092**	**1,610**	**1,474**
(120,-195,120)	1201	790	484	**1,520**	**2,481**	**1,632**
(120,-195,160)	623	602	373	**1,035**	**1,670**	**1,614**
(120,-195,195)	397	378	314	**1,050**	**1,264**	**1,204**

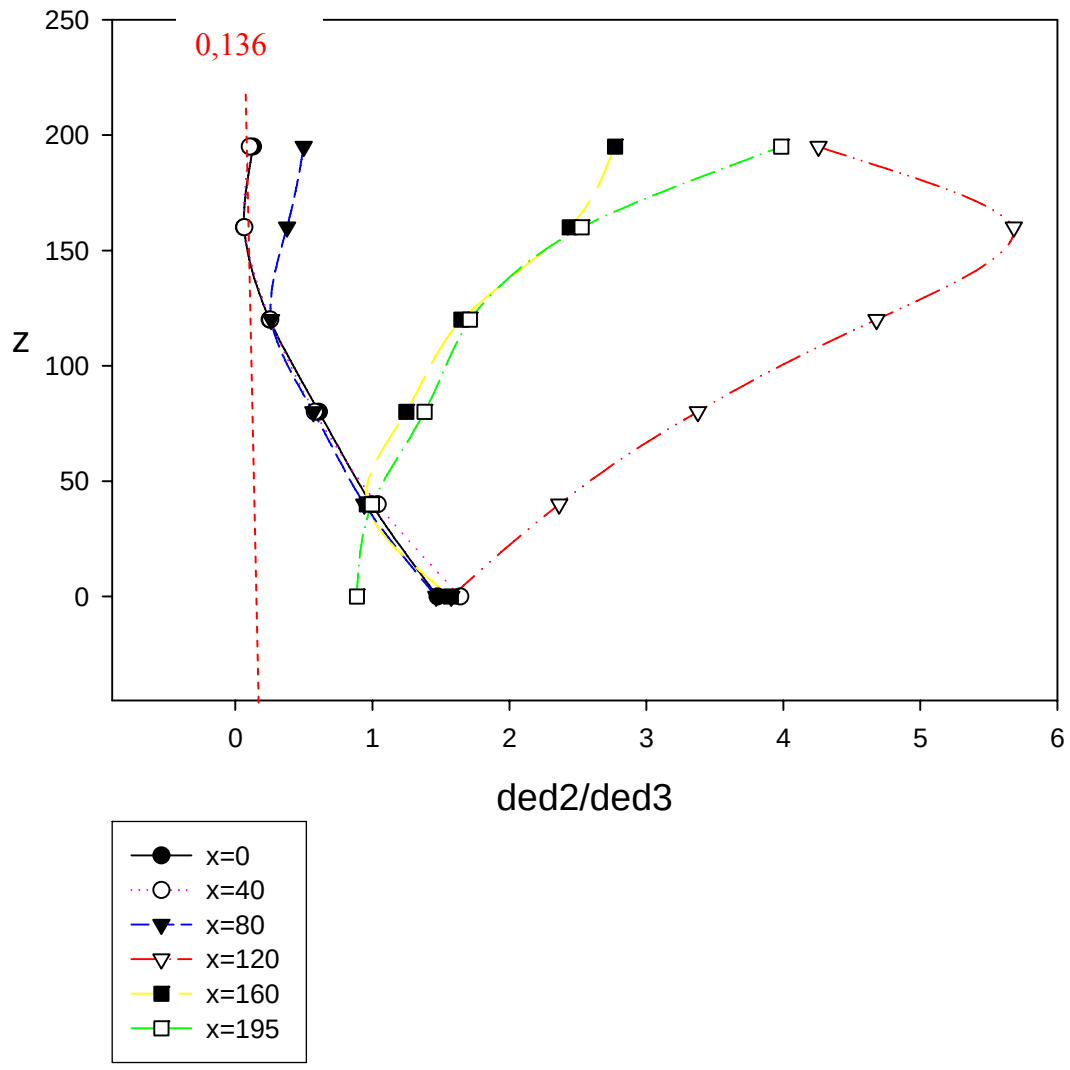
Çizelge 5.1 60 keV enerjiye sahip ve y=-195 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(160,-195,0)	423	1343	1369	**0,315**	**0,309**	**0,981**
(160,-195,40)	443	1223	884	**0,362**	**0,501**	**1,383**
(160,-195,80)	564	1040	686	**0,542**	**0,822**	**1,516**
(160,-195,120)	595	816	503	**0,729**	**1,182**	**1,622**
(160,-195,160)	673	596	360	**1,129**	**1,869**	**1,655**
(160,-195,195)	444	489	314	**0,908**	**1,414**	**1,557**

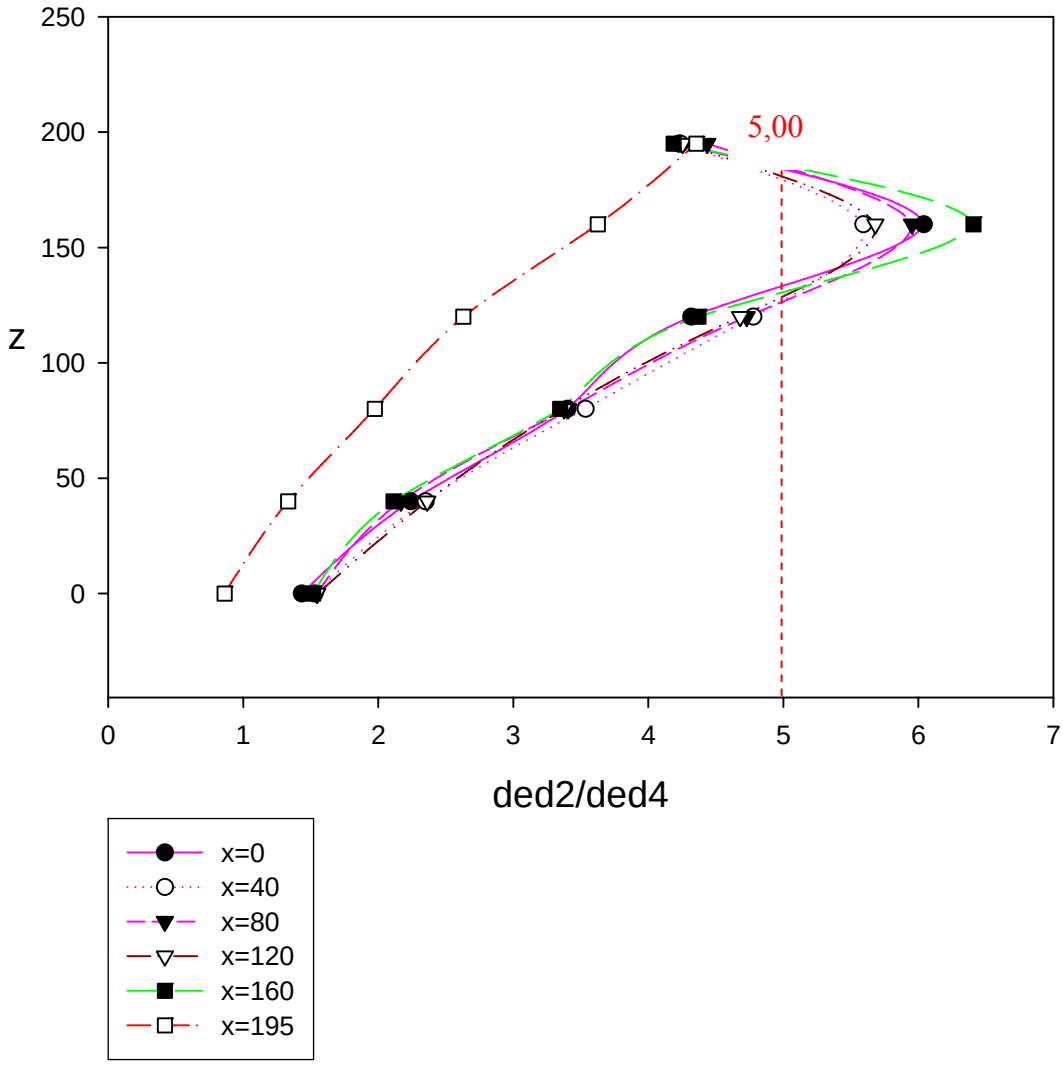
	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(195,-195,0)	259	1274	1415	**0,203**	**0,183**	**0,900**
(195,-195,40)	308	1203	849	**0,256**	**0,363**	**1,415**
(195,-195,80)	315	991	618	**0,318**	**0,510**	**1,604**
(195,-195,120)	402	781	489	**0,515**	**0,822**	**1,597**
(195,-195,160)	432	582	366	**0,742**	**1,180**	**1,590**
(195,-195,195)	446	422	305	**1,057**	**1,462**	**1,384**

5.4 Grafikler

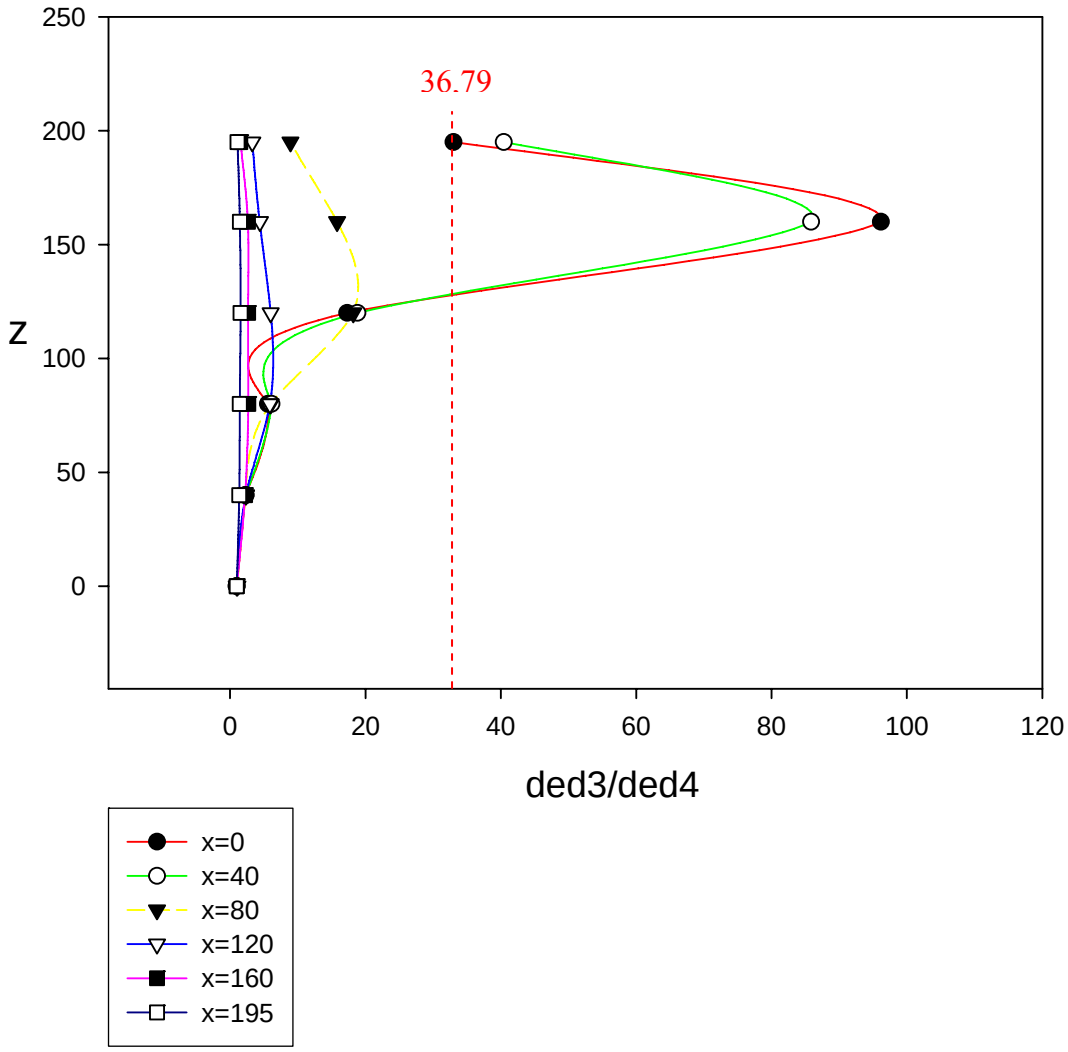
Yukarıdaki verileri kullanarak, oda içerisinde bilinmeyen bir gama kaynağının yerini bulabilmek amacı ile kullanılabilecek grafikler çizdik. Bu grafiklerde, y=0,-40,-80,-120,-160,-195 katmanlarındaki her bir değişik x değeri için dedektör2 / dedektör 3, dedektör2 / dedektör 4 ve dedektör3 / dedektör 4 oranları ile z değerleri arasındaki bağlantı gösterilmiştir. Aşağıda Şekil 5.7 - 5.9'da y= - 40 katmanları için grafikler verilmiştir. Grafiklerin tümü Ekler bölümünde Ek 2 'de verilmiştir.



Şekil 5.7 Farklı x değerleri için, dedektör 2/dedektör 3 oranı ile z ile değişimi



Şekil 5.8 Farklı x değerleri için, dedektör 2/dedektör 4 oranının, z ile değişimi



Şekil 5.9 Farklı x değerleri için, dedektör 3/dedektör 4 oranının, z ile değişimi

5.5 Bilinmeyen Kaynak Örneği

Örneğin, bir havaalanında yeri bilinmeyen bir bölgeye Am-241 kaynağı yerleştirildiğini varsayalım. Kaynak göz hizasında bir kutu içerisinde bulunmaktadır. Yani y=-40 civarındadır. Oranlar ded 2/ded 3=0,136, ded 2/ded 4=5,00 ve ded 3/ded 4=36,79 olarak ölçülmüştür. Bu oranları, EK 1 (Çizelge 1)'deki oranlar ile karşılaştırarak kaynağın yerini tespit etmeye çalışmak mümkündür. Daha kolay bir yöntem, çizelge 1'de verilen oranlardan elde edilen grafikleri incelemektir. Bu örnekte Şekil 5.8 - 5.10'daki grafikler incelerek, gama kaynağının yeri x= 0, -40 cm, z= 130 cm veya x= 0, -40 cm, z= 190 cm olarak tespit edilmiştir. Bu tahmin, kaynağın gerçek yeri olan (x,y,z)= (20,-40,140) noktası etrafında bir alan belirlemekte ve kaynağın bulunmasını kolaylaştırmaktadır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Uyguladığımız metot ile bir havaalanı mekanı içerisindeki yeri bilinmeyen bir radyoaktif kaynağın yer tespitinin yapılıp yapılamayacağını test ettik. Metodun kullanılabileceğini ancak, başarılı sonuçlar elde etmek için daha geliştirilebilmesi gerektiğini gördük. Burada başarılı sonuç ile kastedilen kaynağın yerinin birkaç cm^3 lük bir hacim içinde belirlenmesidir.

İlk olarak, dedektör sayısının, boyutları ve yerlerinin bu çalışma kapsamında yapılandan daha detaylı bir şekilde incelenmesi ve verilen mekan için optimize edilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, mekan içerisinde gama kaynakları ile yapılan taramaların burada 40 cm aralıklarla yapılandan daha sık olması gerekmektedir. Son olarak da, bir gama kaynağının yerinin tespiti bilgisayar programı yardımı ile yapılması gerekir.

Yaptığımız uygulamada, gama kaynağının +x ile –x koordinatlarının hangisinde olduğunun ayırt edilemediğini gördük. Bu sorun, x koordinatı üzerinde bir dedektör olmamasından kaynaklanmaktadır. Ancak, x yönüne bir dedektör yerleştirilirse bu sorun ortadan kalkacaktır.

Ortamımızda bulunan üç dedektörden ikisi duvarlara asılı şekilde, diğeri ise yerde bulunmaktadır. Kullanım kolaylığı nedeni ile bu dedektörün tavana yerleştirilmesi önerilebilir.

Kullandığımız üç dedektör arasındaki saçılmalar dikkate alınarak, bu durumun sonuçları nasıl etkilediği incelenebilir.

Mekanda birden fazla kaynak bulunması mümkündür. Bu durumda kaynakların ne olduğu ve yerlerinin tespiti konusu incelenmelidir.

KAYNAKLAR

AGATA, 2006. Web sitesi: www-gsi-vms.gsi.de/eb/html/agata.htm. Erişim Tarihi: 15.08.2006.

Agostinelli, S., Allison, J., Amako, J. Apostolakis, J., et al. 2003. GEANT4-a Simulation Toolkit. Nucl. Inst. Meth, 506;250.

Amptek, 2005 . Web sitesi: http://www.amptek.com. Erişim Tarihi:03.06.2006.

Anonim. 1999. İ.D.B.İstihbarat Dairesi Başkanlığı Raporu, 25 s., Ankara

Application Software Gorup.1994. GEANT Description and Simulation Tool. Cern, Switzerland.

CERN, 2004. Web sitesi: www.cern.ch. Erişim Tarihi: 15.08.2006

Glenn, T. Seaborg, 2006. Web sitesi :http://www.britannica.com/nobel/macro/5001 20 326.html. Erişim Tarihi: 10 .09.2006

Knoll ,F.K. 1999. Radiation Detection and Measurement. Published by John Wiley &Sons, Inc, 802 s., NewYork.

Krane, K.S. 2001. Nükleer Fizik. Palme, 825 s., Ankara

Lee, I.Y., Deleplanque, M.A. and Vetter, K. 2003. Developments in large gama-ray detector arrays. Reports on Progress in Physics, Rep.Prog.Phy.66(2003)-1095-1144

Richard, B.F., Virginia S. S., Coral M. B., Frank, S.Y., Zipkin, C. and Zipkin, J. 1996. The 8th edition of the Table of Isotopes. Published by John Wiley &Sons, Inc., 127s,

McGowan, F., 1954. Physics Review., 93,163

ZAGARİN, 2006. Web sitesi: http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,7089,00.html. Erişim Tarihi: 10.09.2006

EKLER

EK 1 FARKLI KOORDİNATLAR İÇİN VERİLER 43
EK 2 FARKLI KOORDİNATLAR İÇİN GRAFİKLER.....59

EK 1 FARKLI KOORDİNATLAR İÇİN VERİLER

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(0,-160,0)	28870	1228	1192	**23,510**	**24,220**	**1,030**
(0,-160,40)	28850	1778	853	**16,226**	**33,822**	**2,084**
(0,-160,80)	4649	1510	552	**3,099**	**8,422**	**2,736**
(0,-160,120)	1573	1137	461	**1,383**	**3,412**	**2,466**
(0,-160,160)	746	750	296	**0,995**	**2,520**	**2,533**
(0,-160,195)	456	391	289	**1,166**	**1,577**	**1,353**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(40,-160,0)	29420	1176	1267	**25,017**	**23,220**	**0,928**
(40,-160,40)	30260	1940	787	**15,598**	**38,450**	**2,465**
(40,-16080)	4925	1667	586	**2,954**	**8,404**	**2,845**
(40,-160,120)	1693	1194	448	**1,418**	**3,780**	**2,665**
(40,-160,160)	807	812	371	**0,994**	**2,175**	**2,189**
(40,-160,195)	473	508	274	**0,931**	**1,763**	**1,854**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(80,-160,0)	4620	1202	1295	**3,844**	**3,567**	**0,928**
(80,-160,40)	5133	1997	849	**2,570**	**6,046**	**2,352**
(80,-160,80)	5127	1626	573	**3,153**	**8,948**	**2,838**
(80,-160,120)	1884	1231	465	**1,530**	**4,051**	**2,647**
(80,-160,160)	900	863	334	**1,043**	**2,695**	**2,584**
(80,-160,195)	529	527	304	**1,003**	**1,740**	**1,734**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(120,-160,0)	1581	1308	1280	**1,209**	**1,235**	**1,022**
(120,-160,40)	1781	2073	897	**0,859**	**1,986**	**2,311**
12(0,-160,80)	1895	1843	596	**1,028**	**3,180**	**3,092**
(120,-160,120)	1973	1353	496	**1,458**	**3,978**	**2,728**
(120,-160,160)	973	956	357	**1,018**	**2,725**	**2,678**
(120,-160,195)	550	632	282	**0,870**	**1,950**	**2,241**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(160,-160,0)	737	1302	1335	**0,566**	**0,552**	**0,975**
(160,-160,40)	811	2077	886	**0,390**	**0,915**	**0,915**
(160,-160,80)	892	1710	677	**0,522**	**1,318**	**2,526**
(160,-160,120)	925	1367	459	**0,677**	**2,015**	**2,978**
(160,-160,160)	1018	914	386	**1,114**	**2,637**	**2,368**
(160,-160,195)	600	628	298	**0,955**	**2,013**	**2,107**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(195,-160,0)	418	1319	1348	**0,299**	**0,310**	**0,978**
(195,-160,40)	501	1249	913	**0,401**	**0,549**	**1,368**
(195,-160,80)	487	1034	654	**0,471**	**0,745**	**1,581**
(195,-160,120)	563	805	472	**0,699**	**1,193**	**1,706**
(195,-160,160)	579	587	384	**0,986**	**1,508**	**1,529**
(195,-160,195)	636	420	284	**1,514**	**2,239**	**1,479**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(0,-120,0)	6939	1156	1152	**6,003**	**6,023**	**1,003**
(0,-120,40)	7593	1787	823	**4,249**	**9,226**	**2,171**
(0,-120,80)	7334	3284	558	**2,233**	**13,143**	**5,885**
(0,-120,120)	2520	2597	446	**0,970**	**5,650**	**5,823**
(0,-120,160)	1103	1540	376	**0,716**	**2,934**	**4,096**
(0,-120,195)	692	771	286	**0,898**	**2,419**	**2,696**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(40,-120,0)	7486	1178	1252	**6,355**	**5,979**	**0,941**
(40,-120,40)	7915	1932	825	**4,097**	**9,594**	**2,342**
(40,-12080)	7935	3482	561	**2,279**	**14,144**	**6,207**
(40,-120,120)	2573	2726	473	**0,944**	**5,440**	**5,763**
(40,-120,160)	1248	1752	345	**0,712**	**3,617**	**5,078**
(40,-120,195)	749	910	293	**0,823**	**2,556**	**3,106**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(80,-120,0)	7596	1249	1210	**6,082**	**6,278**	**1,032**
(80,-120,40)	8046	1980	875	**4,064**	**9,195**	**2,263**
(80,-120,80)	8172	3571	584	**2,288**	**13,993**	**6,115**
(80,-120,120)	2873	2691	481	**1,068**	**5,973**	**5,595**
(80,-120,160)	1270	1933	349	**0,657**	**3,639**	**5,539**
(80,-120,195)	750	1053	294	**0,713**	**2,551**	**3,582**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(120,-120,0)	2542	1303	1247	**1,951**	**2,038**	**1,045**
(120,-120,40)	2573	2115	837	**1,217**	**3,074**	**2,527**
12(0,-120,80)	2830	3570	565	**0,793**	**5,009**	**6,319**
(120,-120,120)	2768	2867	455	**0,965**	**6,084**	**6,301**
(120,-120,160)	1363	1976	344	**0,690**	**3,962**	**5,744**
(120,-120,195)	817	1163	288	**0,702**	**2,837**	**4,038**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(160,-120,0)	1185	1294	1225	**0,916**	**0,967**	**1,056**
(160,-120,40)	1250	2076	886	**0,602**	**1,411**	**2,343**
(160,-120,80)	1243	1691	636	**0,735**	**1,954**	**2,659**
(160,-120,120)	1321	1381	460	**0,957**	**2,872**	**3,002**
(160,-120,160)	1340	955	377	**1,403**	**3,554**	**2,533**
(160,-120,195)	813	583	294	**1,395**	**2,765**	**1,983**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(195,-120,0)	706	1287	1363	**0,549**	**0,518**	**0,944**
(195,-120,40)	691	1185	912	**0,583**	**0,758**	**1,299**
(195,-120,80)	727	934	610	**0,778**	**1,192**	**1,531**
(195,-120,120)	756	791	501	**0,956**	**1,509**	**1,579**
(195,-120,160)	788	517	348	**1,524**	**2,264**	**1,486**
(195,-120,195)	865	376	277	**2,301**	**3,123**	**1,357**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(0,-80,0)	3152	1099	1162	**2,868**	**2,713**	**0,946**
(0,-80,40)	3195	1843	848	**1,734**	**3,768**	**2,173**
(0,-80,80)	3393	3387	564	**1,002**	**6,016**	**6,005**
(0,-80,120)	3258	7421	452	**0,439**	**7,208**	**16,418**
(0,-80,160)	1572	4507	379	**0,349**	**4,148**	**11,892**
(0,-80,195)	864	1792	261	**0,482**	**3,310**	**6,866**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(40,-80,0)	3210	1159	1233	**2,770**	**2,603**	**0,940**
(40,-80,40)	3375	1911	745	**1,766**	**4,530**	**2,565**
(40,-80,80)	3418	3542	606	**0,965**	**5,640**	**5,845**
(40,-80,120)	3523	7843	466	**0,449**	**7,560**	**16,830**
(40,-80,160)	1559	5072	310	**0,307**	**5,029**	**16,361**
(40,-80,195)	946	2308	273	**0,410**	**3,465**	**8,454**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(80,-80,0)	3377	1247	1211	**2,708**	**2,789**	**1,030**
(80,-80,40)	3432	1936	842	**1,773**	**4,076**	**2,299**
(80,-80,80)	3644	3726	608	**0,978**	**5,993**	**6,128**
(80,-80,120)	3615	8188	411	**0,441**	**8,796**	**19,922**
(80,-80,160)	1623	5396	369	**0,301**	**4,398**	**14,623**
(80,-80,195)	966	2687	299	**0,360**	**3,231**	**8,987**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(120,-80,0)	3425	1354	1260	**2,530**	**2,718**	**1,075**
(120,-80,40)	3600	1973	839	**1,825**	**4,291**	**2,352**
12(0,-80,80)	3673	3713	603	**0,989**	**6,091**	**6,158**
(120,-80,120)	3715	2817	443	**1,319**	**8,386**	**6,359**
(120,-80,160)	1757	1886	338	**0,932**	**5,198**	**5,580**
(120,-80,195)	989	1050	287	**0,942**	**3,446**	**3,659**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(160,-80,0)	1555	1259	1248	**1,235**	**1,246**	**1,009**
(160,-80,40)	1546	1952	860	**0,792**	**1,798**	**2,270**
(160,-80,80)	1648	1659	615	**0,993**	**2,680**	**2,698**
(160,-80,120)	1722	1295	425	**1,330**	**4,052**	**3,047**
(160,-80,160)	1700	893	330	**1,904**	**5,152**	**2,706**
(160,-80,195)	1019	550	294	**1,853**	**3,466**	**1,871**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(195,-80,0)	864	1272	1258	**0,679**	**0,687**	**1,011**
(195,-80,40)	926	1134	888	**0,817**	**1,043**	**1,277**
(195,-80,80)	949	934	634	**1,016**	**1,497**	**1,473**
(195,-80,120)	1007	763	470	**1,319**	**2,142**	**1,623**
(195,-80,160)	1006	522	358	**1,927**	**2,810**	**1,458**
(195,-80,195)	1088	338	274	**3,219**	**3,971**	**1,234**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(0,-40,0)	1675	1135	1168	**1,476**	**1,434**	**0,972**
(0,-40,40)	1770	1783	790	**0,993**	**2,241**	**2,257**
(0,-40,80)	1905	3127	560	**0,609**	**3,402**	**5,584**
(0,-40,120)	1848	7407	428	**0,249**	**4,318**	**17,306**
(0,-40,160)	1818	28940	301	**0,063**	**6,040**	**96,146**
(0,-40,195)	1133	8846	268	**0,128**	**4,228**	**33,007**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(40,-40,0)	1864	1135	1220	**1,642**	**1,528**	**0,930**
(40,-40,40)	1846	1776	785	**1,039**	**2,352**	**2,262**
(40,-40,80)	1952	3376	552	**0,578**	**3,536**	**6,116**
(40,-40,120)	2055	8090	430	**0,254**	**4,779**	**18,814**
(40,-40,160)	1980	30380	354	**0,065**	**5,593**	**85,819**
(40,-40,195)	1174	11200	277	**0,104**	**4,238**	**40,433**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(80,-40,0)	1827	1246	1181	**1,466**	**1,547**	**1,055**
(80,-40,40)	1818	1931	838	**0,941**	**2,169**	**2,304**
(80,-40,80)	1986	3491	583	**0,569**	**3,407**	**5,988**
(80,-40,120)	2038	7834	431	**0,260**	**4,729**	**18,176**
(80,-40,160)	1947	5170	327	**0,377**	**5,954**	**15,810**
(80,-40,195)	1176	2357	265	**0,499**	**4,438**	**8,894**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(120,-40,0)	1912	1213	1234	**1,576**	**1,549**	**0,983**
(120,-40,40)	2012	1995	851	**2,364**	**2,364**	**2,344**
(120,-40,80)	1985	3460	588	**3,376**	**3,376**	**5,884**
(120,-40,120)	2064	2644	441	**4,680**	**4,680**	**5,995**
(120,-40,160)	2159	1666	380	**5,682**	**5,682**	**4,384**
(120,-40,195)	1213	935	285	**4,256**	**4,256**	**3,281**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(160,-40,0)	1897	1206	1249	**1,573**	**1,519**	**0,966**
(160,-40,40)	1853	1935	877	**0,958**	**2,113**	**2,206**
(160,-40,80)	1972	1582	589	**1,247**	**3,348**	**2,686**
(160,-40,120)	2151	1304	492	**1,650**	**4,372**	**2,650**
(160,-40,160)	2038	835	318	**2,441**	**6,409**	**2,626**
(160,-40,195)	1244	449	297	**2,771**	**4,189**	**1,512**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(195,-40,0)	1092	1231	1265	**0,887**	**0,863**	**0,973**
(195,-40,40)	1116	1120	837	**0,996**	**1,333**	**1,338**
(195,-40,80)	1177	853	596	**1,380**	**1,975**	**1,431**
(195,-40,120)	1205	704	458	**1,712**	**2,631**	**1,537**
(195,-40,160)	1251	495	345	**2,527**	**3,626**	**1,435**
(195,-40,195)	1259	316	289	**3,984**	**4,356**	**1,093**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(0,0,0)	1083	1024	1021	**1,057**	**1,061**	**1,003**
(0,0,40)	1100	1677	739	**0,656**	**1,488**	**2,269**
(0,0,80)	1176	3115	525	**0,378**	**2,240**	**5,933**
(0,0,120)	1163	7008	414	**0,166**	**2,809**	**16,928**
(0,0,160)	1224	28990	331	**0,042**	**3,698**	**87,583**
(0,0,195)	1256	2976x103	284	**0,0004**	**4,423**	**124000**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(40,0,0)	1099	1089	1122	**1,012**	**0,980**	**0,968**
(40,0,40)	1072	1771	718	**0,605**	**1,493**	**2,467**
(40,0,80)	1188	3393	551	**0,350**	**2,156**	**6,158**
(40,0,120)	1156	7534	413	**0,153**	**2,799**	**18,242**
(40,0,160)	1222	28830	316	**0,042**	**3,867**	**91,234**
(40,0,195)	1249	8893	299	**0,140**	**4,177**	**29,742**

Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(80,0,0)	1127	1152	1212	**0,978**	**0,930**	**0,950**
(80,0,40)	1152	1903	796	**0,605**	**1,447**	**2,390**
(80,0,80)	1263	3412	594	**0,370**	**2,239**	**5,744**
(80,0,120)	1234	7385	422	**0,167**	**2,924**	**17,500**
(80,0,160)	1279	4646	336	**0,275**	**3,807**	**13,827**
(80,0,195)	1300	1877	278	**0,693**	**4,676**	**6,752**

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(120,0,0)	1151	1238	1171	**0,930**	**0,983**	**1,057**
(120,0,40)	1255	1880	795	**0,668**	**1,579**	**2,364**
(120,0,80)	1244	3281	615	**0,379**	**2,023**	**5,335**
(120,0,120)	1338	2481	406	**0,539**	**3,296**	**6,111**
(120,0,160)	1308	1639	359	**0,798**	**3,643**	**4,565**
(120,0,195)	1341	730	1. 268	**1,837**	**5,004**	**2,724**

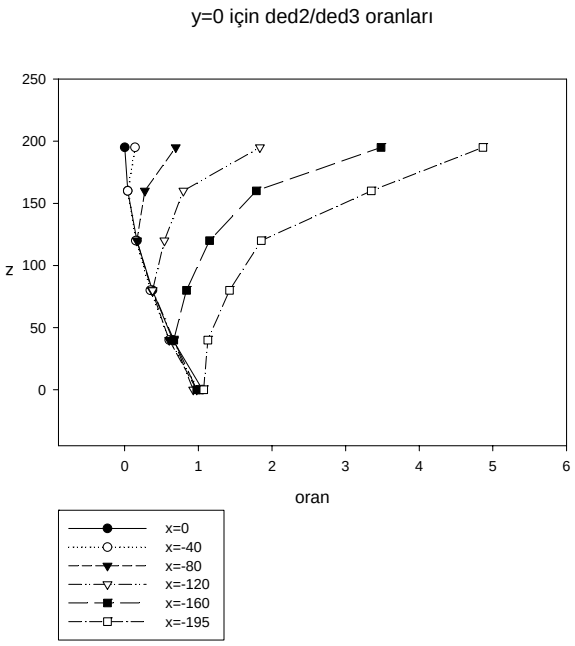
Çizelge 1. 60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama kaynağının, üçlü dedektör sistemindeki her dedektöre çarpan foton sayıları ve oranları (devam)

	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(160,0,0)	1191	1215	1164	**0,980**	**1,023**	**1,044**
(160,0,40)	1261	1893	794	**0,666**	**1,588**	**2,384**
(160,0,80)	1296	1545	607	**0,839**	**2,135**	**2,545**
(160,0,120)	1322	1147	395	**1,153**	**3,347**	**2,904**
(160,0,160)	1369	766	330	**1,787**	**4,148**	**2,321**
(160,0,195)	1340	385	302	**3,481**	**4,437**	**1,275**

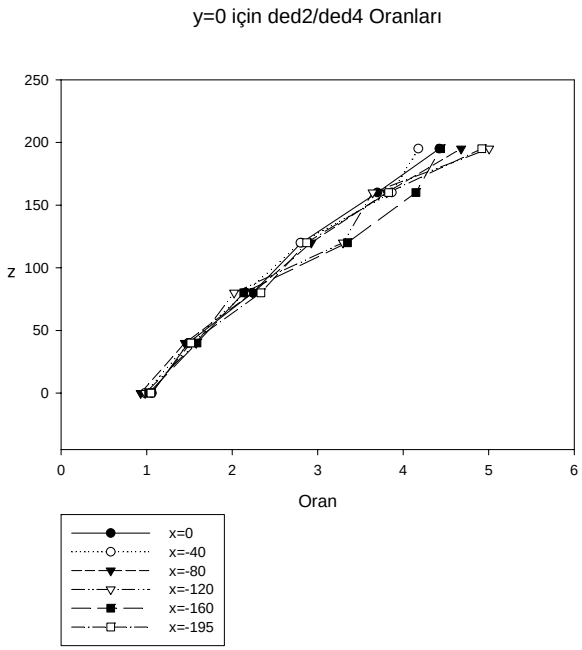
	Dedektör 2	Dedektör 3	Dedektör 4	**Ded 2 / Ded 3**	**Ded 2 / Ded 4**	**Ded 3 / Ded 4**
(195,0,0)	1256	1170	1196	**1,074**	**1,050**	**0,978**
(195,0,40)	1231	1090	812	**1,129**	**1,516**	**1,342**
(195,0,80)	1319	926	565	**1,424**	**2,335**	**1,639**
(195,0,120)	1286	693	448	**1,856**	**2,871**	**1,547**
(195,0,160)	1390	415	363	**3,349**	**3,829**	**1,144**
(195,0,195)	1333	274	271	**4,865**	**4,919**	**1,011**

EK 2 FARKLI KOORDİNATLAR İÇİN GRAFİKLER

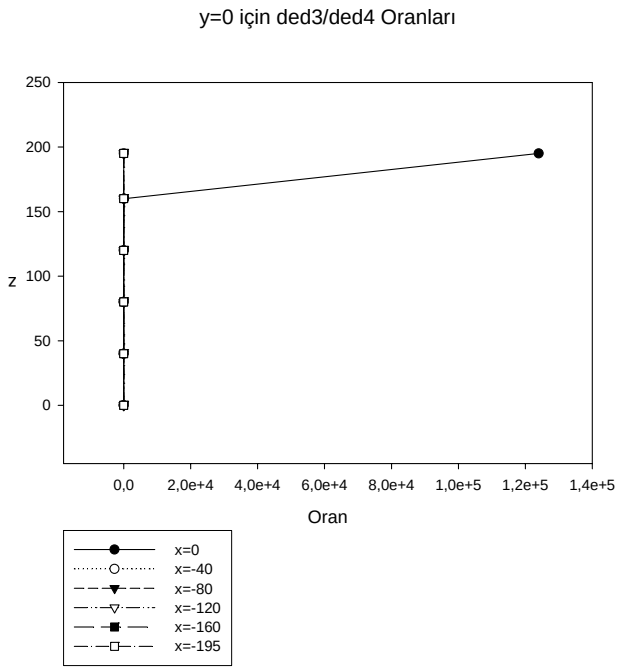
60 keV enerjiye sahip ve y=0, -40, -80, -120 ve -160 katmanındaki değişik koordinatlarda bulunan gama ışın sayılarının oranları için elde edilen grafikler aşağıdaki gibidir.



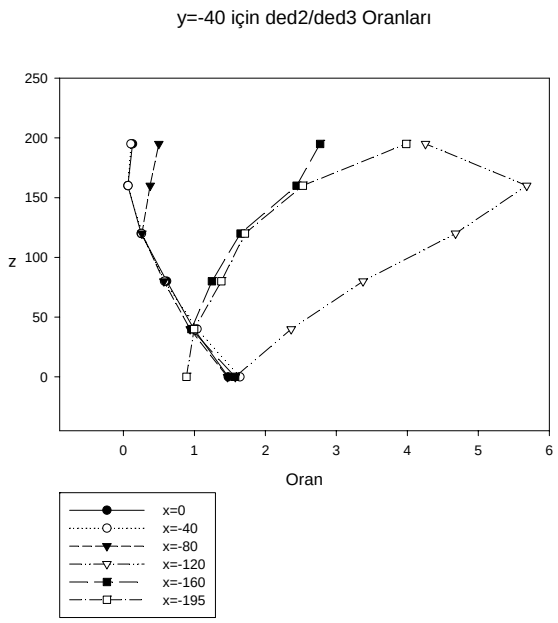
(a)



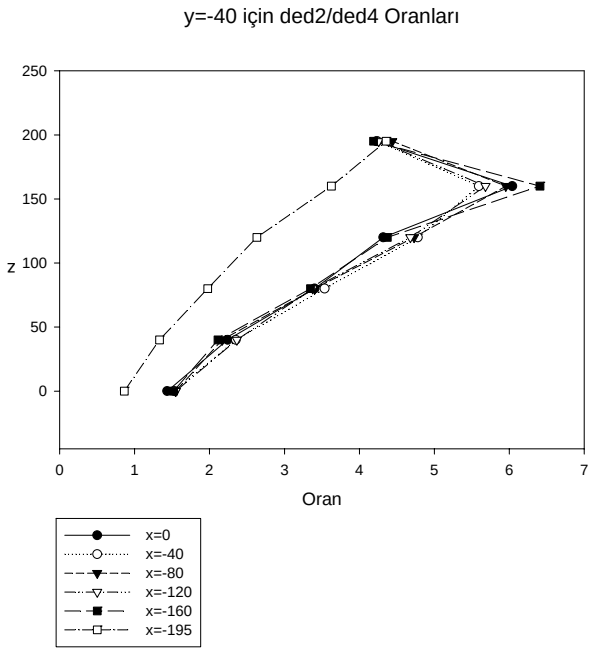
(b)



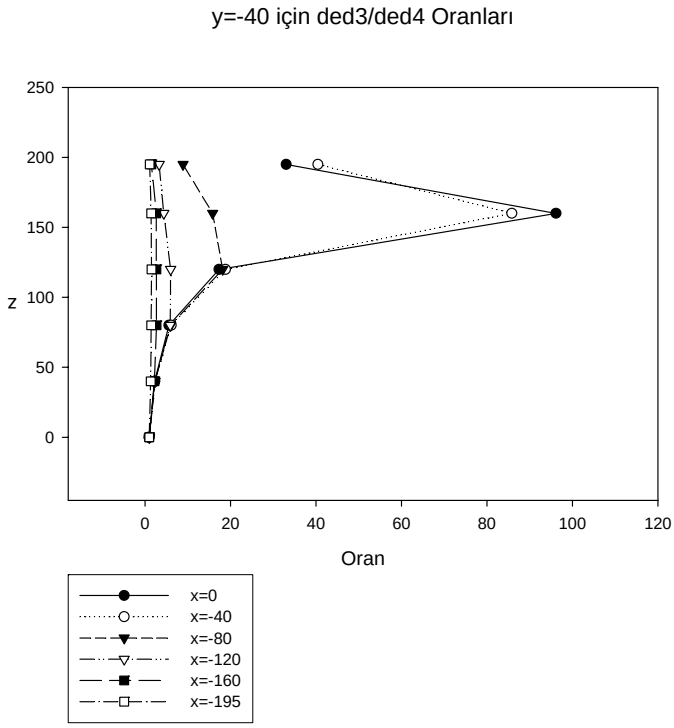
(c)


y=-40 için ded2/ded3 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

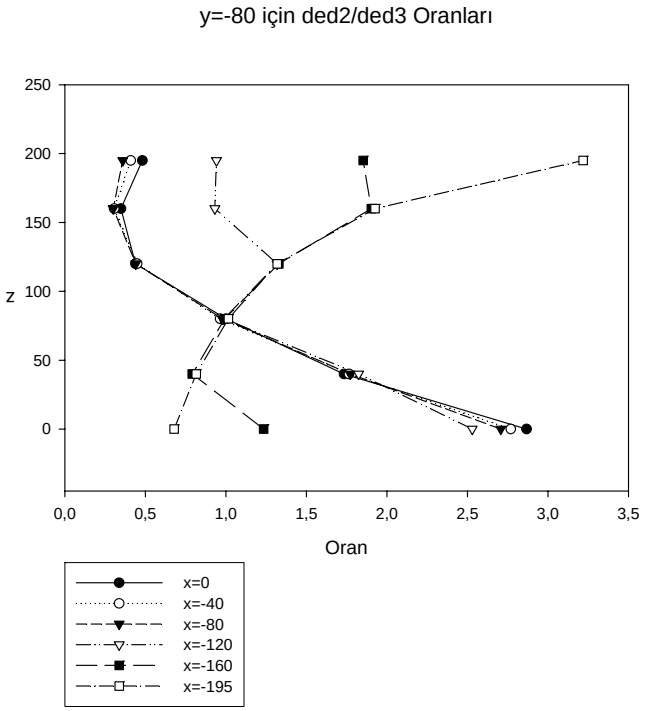
(a)


y=-40 için ded2/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

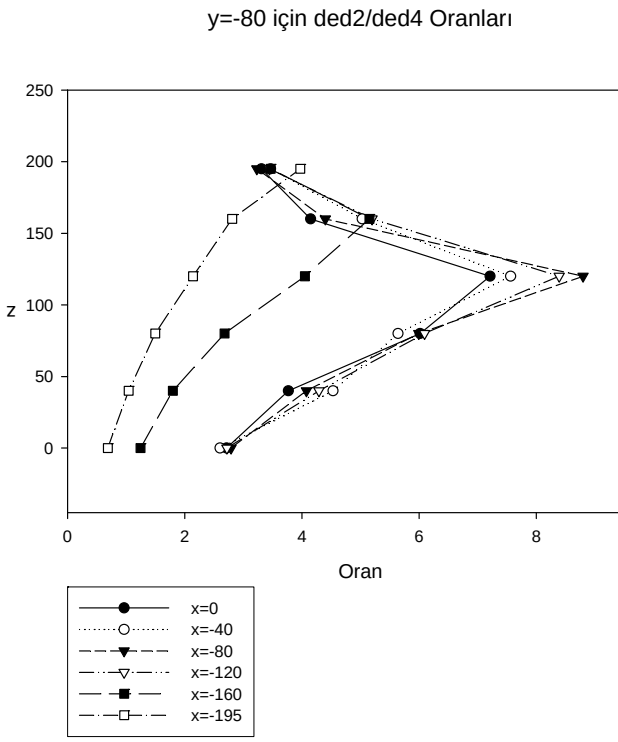
(b)


y=-40 için ded3/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

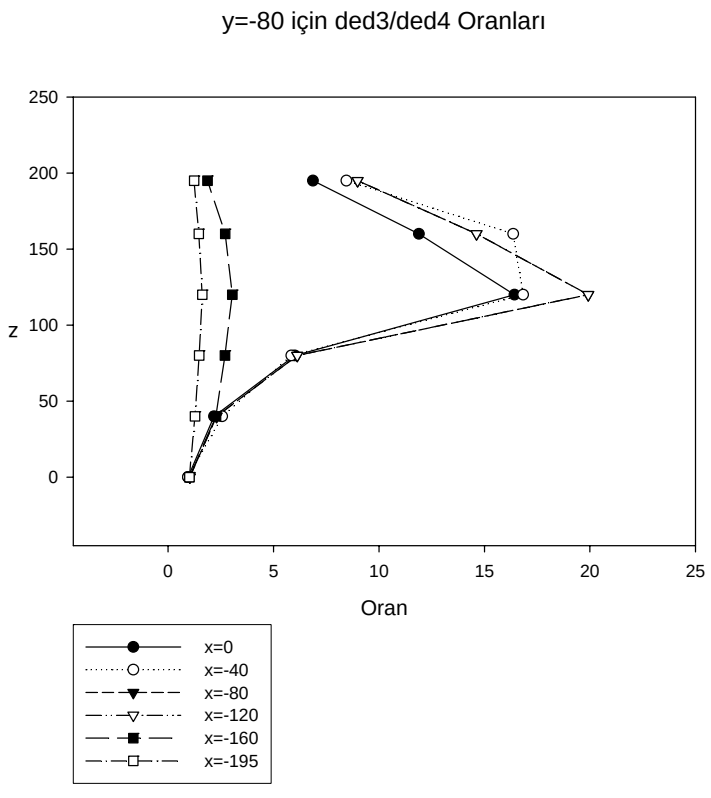
(c)


y=-80 için ded2/ded3 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

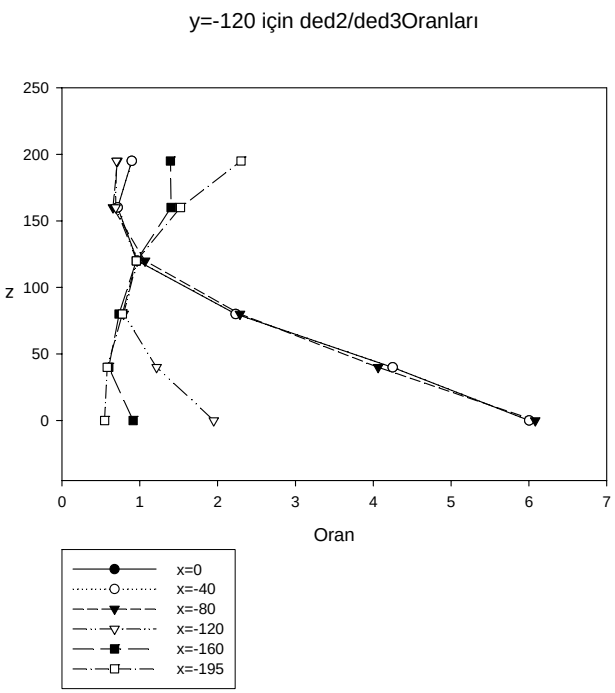
(a)


y=-80 için ded2/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

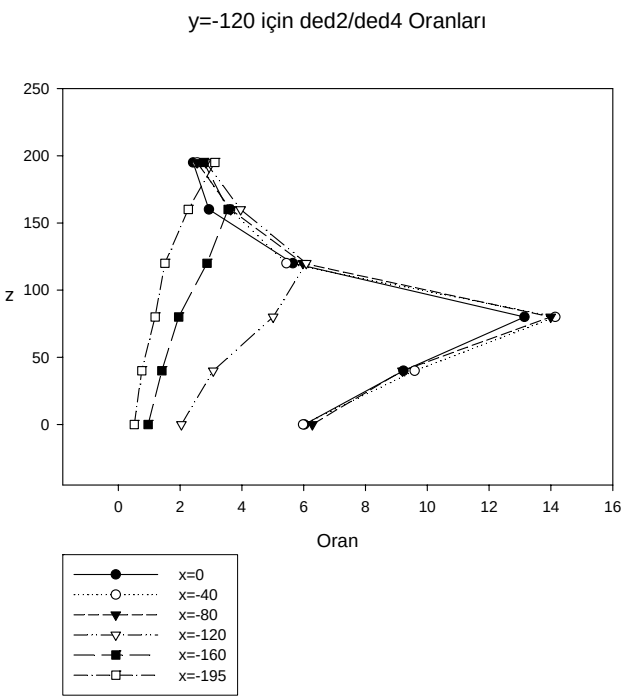
(b)


y=-80 için ded3/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

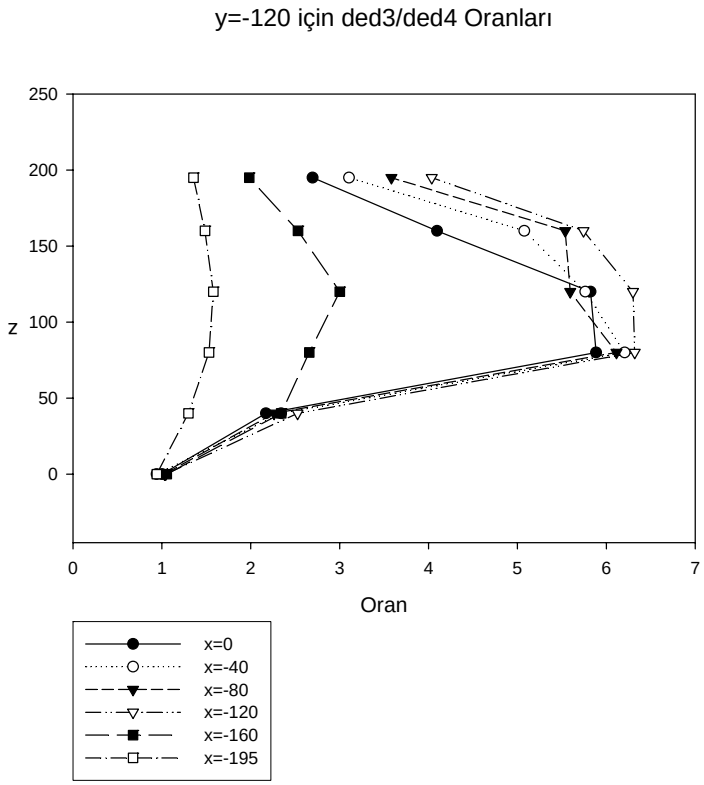
(c)


y=-120 için ded2/ded3Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

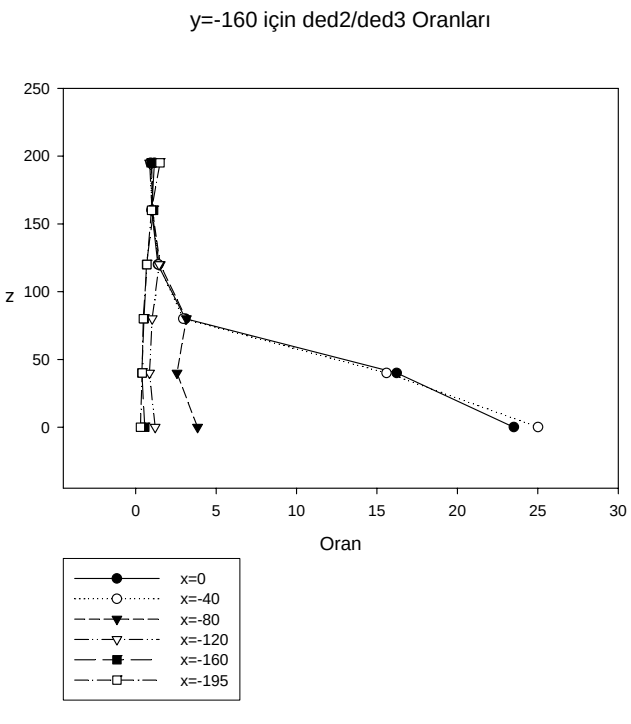
(a)


y=-120 için ded2/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

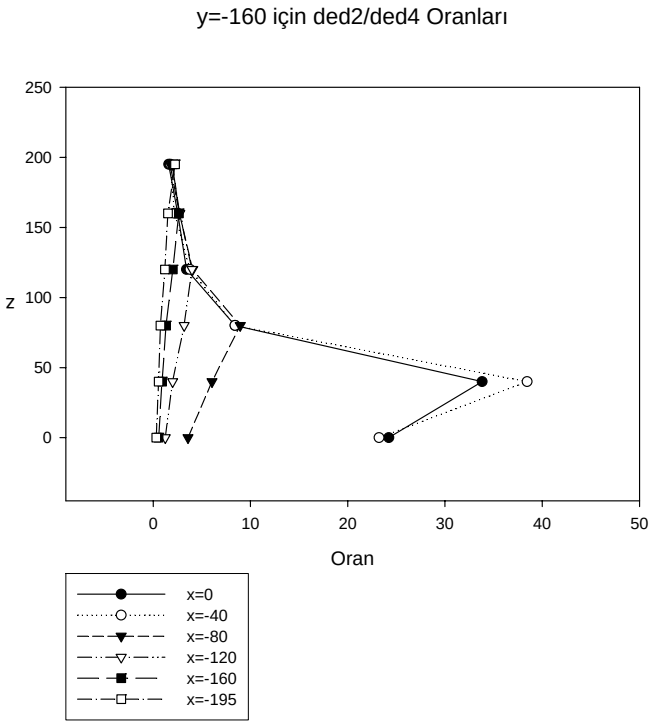
(b)


y=-120 için ded3/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

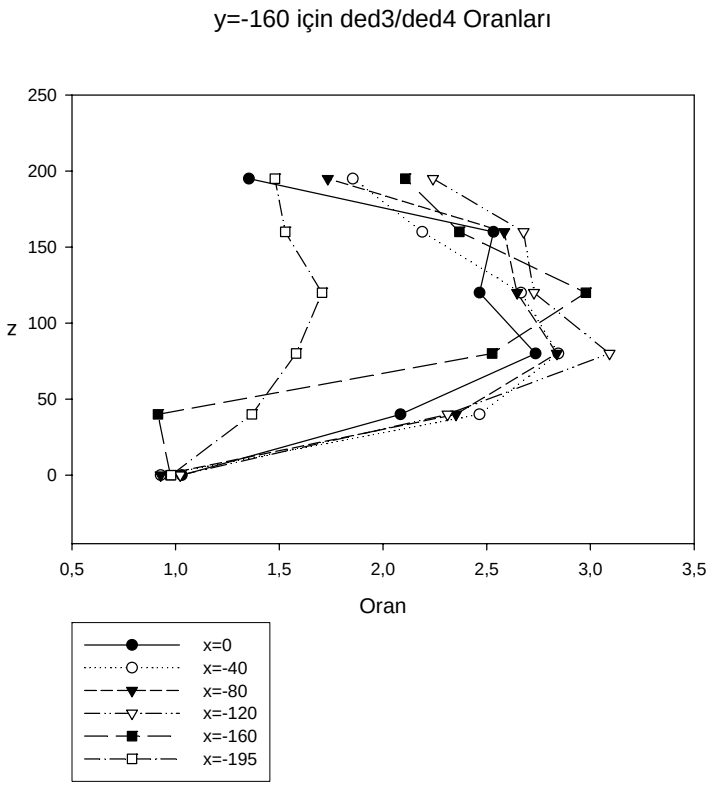
(c)


y=-160 için ded2/ded3 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

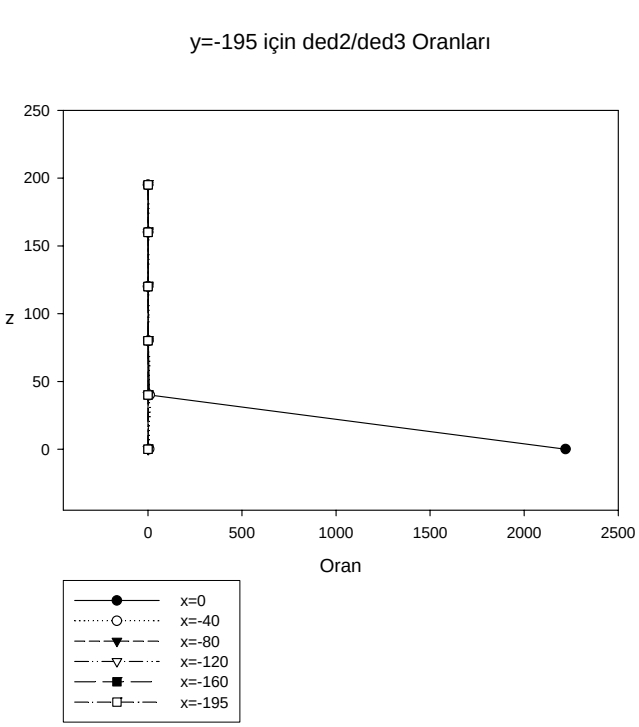
(a)

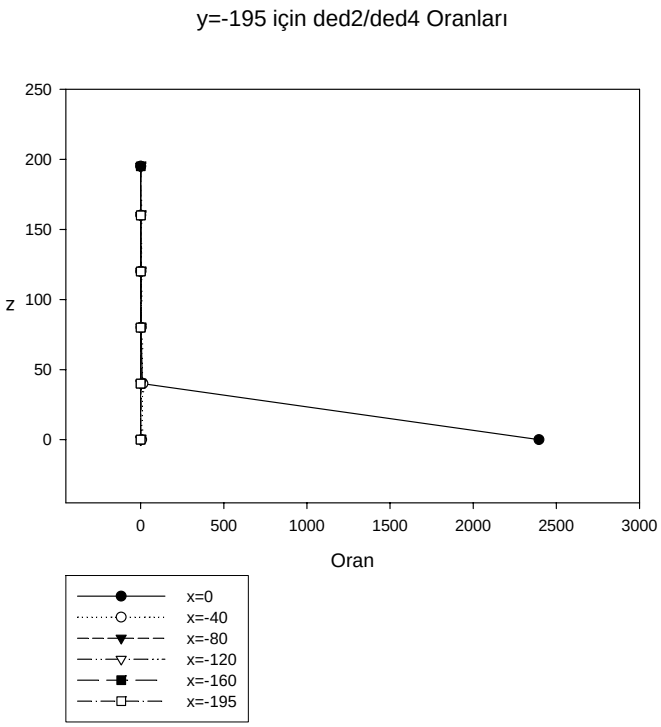

y=-160 için ded2/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

(b)

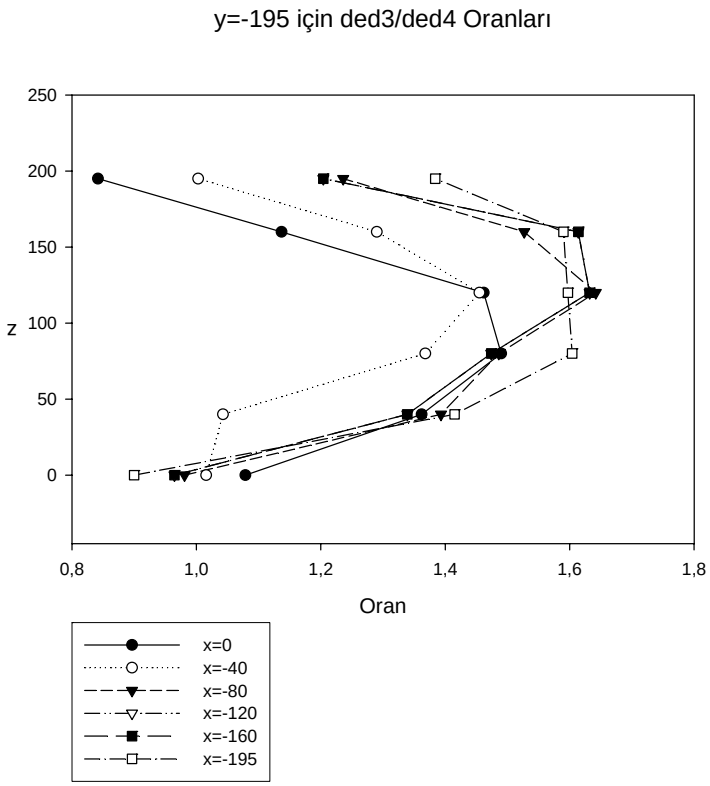

y=-160 için ded3/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

(c)


y=-195 için ded2/ded3 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195


y=-195 için ded2/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

(a) **(b)**


y=-195 için ded3/ded4 Oranları
z
Oran
x=0
x=-40
x=-80
x=-120
x=-160
x=-195

(c)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Sibel ÖZÇAKIR TOPYILDIZ

Doğum Yeri: Polatlı

Doğum Tarihi: 21/03/1981

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu

Lise: Çankaya Kılıçarslan Lisesi (1999)

Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü (2003)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı (2003-2006)

Çalıştığı Kurum

Ankara Kriminal Polis Laboratuvarı Müdürlüğü