

57361

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAMMA IŞINLARININ  
KOHERENT VE İNKOHERENT  
SAÇILMA TESİR KESİTLERİNİN  
İNCELENMESİ**

AYSUN ERGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
NÜKLEER FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 29/07/1996 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Cihan ÖZMUTLU .....(Danışman)

Prof. Dr. Salih DİNÇER

Prof. Dr. Haldun ÖZYOL

BURSA-1996

**Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU**  
**DOKÜMANTASYON TEZİ**

## **ÖZET**

27 değişik ortam için ( $1 \cdot 10^{-4}$  - 8) MeV enerji aralığında incoherent saçılma tesir kesiti değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinde serbest elektronlardan diferansiyel saçılma tesir kesiti "Klein-Nishina" ifadesi, atomik elektronlardan saçılmada atomik elektronun bağ etkisini ortaya koyan saçılma fonksiyonu ile çarpılmış ve nümerik olarak integre edilmiştir.

Benzer olarak yine 27 değişik ortam için ( $1 \cdot 10^{-4}$  - 8) MeV enerji aralığında coherent saçılma tesir kesiti değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinde serbest elektronlardan diferansiyel saçılma tesir kesiti "Thomson" ifadesi, atomik elektronlardan saçılmada atomik elektronun bağ etkisini ortaya koyan atomik form faktörü ile çarpılmış ve nümerik olarak integre edilmiştir.

Coherent toplam diferansiyel tesir kesitlerinin nümerik integrasyonunda, ufak açı ve düşük enerji bölgelerinde diferansiyel tesir kesitinin ve atomik form faktörünün çok şiddetli değişmesi nedeniyle nümerik integrasyonda logaritmik bölge seçimi yapılmıştır.

Bir gamanın coherent, incoherent ve coherent artı incoherent olarak  $0-\theta$  açısına toplam saçılma olasılıkları tanımlanmıştır. Bu olasılıklar, alüminyum, demir, bakır, altın ve kurşun ortamları için 45 açı değerinde ve 10 farklı enerji değerleri için elde edilmiştir.

Yukarıda tanımlanan olasılıkların kullanılması ile bir ortamda gama takibi yapılmıştır.

Sonuç olarak, bir kere ve ard arda iki kere saçılma yapmış gamaların enerji spektrumları elde edilmiştir.

## ABSTRACT

Coherent scattering cross sections, incoherent scattering cross sections and total scattering (coherent plus incoherent) cross sections values are obtained for 27 different media and  $(1 \cdot 10^{-4} - 8)$  MeV gamma energy interval by numerical integration using the differential coherent and differential incoherent scattering cross sections with form factors and scattering functions values. Coherently, incoherently and coherently plus incoherently scattering probabilities defined. They are calculated for 45 different values. Energy spectra of once scattered and twice scattered gamma rays for different media and for  $(1 \cdot 10^{-4} - 8)$  MeV energy intervals are obtained.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

## ÖZET

## ABSTRACT

1. GİRİŞ .....	1
2. GAMA IŞINLARI VE GAMA IŞINLARININ MADDE İLE ETKİLEŞMELERİ .....	2
2.1. Gama Işınları .....	2
2.2. Gama Işınlarının Madde İle Etkileşmeleri .....	3
2.2.1. Gama Işınlarının Soğurulması .....	3
2.2.1.A- Fotoelektrik Olay .....	3
2.2.1.B- Elektron-Pozitron Çifti Oluşumu .....	6
2.2.2. Gama Işınlarının Saçılması .....	7
2.2.2.1. Coherent Saçılma .....	7
2.2.2.1.A- Thomson Saçılması .....	7
2.2.2.1.B- Rayleigh Saçılması .....	7
2.2.2.1.C- Delbruck Saçılması .....	7
2.2.2.1.D- Nükleer Saçılması .....	8
2.2.2.2. İncoherent Saçılma .....	8
3. TESİR KESİTİ .....	11
3.1. Lineer Zayıflama Katsayısı .....	11
3.2. Kütle Zayıflama Katsayısı .....	11
3.3 Fotoelektrik Tesir Kesiti .....	12
3.4. Diferansiyel Saçılma Tesir Kesiti .....	13
3.4.1. Coherent Saçılma Tesir Kesiti .....	14
3.4.2. İncoherent Saçılma Tesir Kesiti .....	15
4. SAÇILMA OLASILIĞI .....	17
5. MONTE CARLO YÖNTEMİ .....	19
5.1. Bir Deneyin Örneklenmesi .....	19
6. COHERENT VE İNCOHERENT SAÇILMA TESİR KESİTLERİNİN HESABI .....	23
6.1. Coherent Saçılma Tesir Kesitinin Hesabı .....	24
6.2. İncoherent Saçılma Tesir Kesitinin Hesabı .....	34
7. SAÇILMA OLASILIĞININ HESABI .....	43
8. MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE BİR KERE VE ARD ARDA İKİ KERE SAÇILMA YAPMIŞ GAMANIN ENERJİ DAĞILIMLARININ BULUNMASI .....	66
8.1. Bir Kere Saçılma Yapmış Gamanın Enerji Dağılımının Bulunması .....	66
8.2. Ard Arda İki Kere Saçılma Yapmış Gamanın Enerji Dağılımının Bulunması .....	79

9. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	91
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>94</b>
EK-1: ARD ARDA İKİ KERE SAÇILMA YAPMIŞ GAMANIN SAÇILMADAN SONRAKİ ENERJİ DAĞILIMINI VEREN BİLGİSAYAR AKIŞ DİYAGRAMI.....	95
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>101</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>102</b>



## 1. GİRİŞ

Gamaların tesir kesit değerleri üzerinde, literatürde çok geniş zaman aralığına yayılan pek çok sayıda çalışmaya rastlanır. Hubbell (1969), 100 adet ortam için gama tesir kesit değerlerini hesaplamış ve tablolar halinde yayınlamıştır. Ayrıca yine 100 adet ortam için incoherent ve coherent diferansiyel saçılma tesir kesitlerinin elde edilmesinde kullanılan atomik form faktörü ve saçılma fonksiyonu değerlerini de yayınlamıştır.

Gamaların etkileşmeleri, etkileşme yaptıkları ortama enerji aktarımının incelenmesi açısından büyük önem taşır. Bir ortama gama enerjisi aktarımı konusundaki en duyarlı çalışmalar Monte Carlo benzetişim uygulamalarıdır.

Bir ortamda, gama takibinde, tesir kesitlerinin, özellikle saçılma tesir kesit değerlerinin duyarlılıkla bilinmesi büyük önem taşır. Düşük gama enerjilerinde, saçılma tesir kesitinde, coherent saçılma etkilidir. Dolayısıyla, atoma bağlı elektronlardan coherent saçılmada bağ etkisi veya bu etkiyi belirleyen atomik form faktörü etkilidir. Ayrıca, atomik elektronlardan incoherent saçılmada, elektronun bağ etkisini belirleyen saçılma fonksiyonu da, incoherent diferansiyel saçılma tesir kesiti elde edilmesinde gözardı edilemeyecek önemli bir faktördür.

Bir ortamda, gama takibinde, coherent ve incoherent diferansiyel saçılma tesir kesitlerinin elde edilmesinde sırasıyla, atomik form faktörü ve saçılma fonksiyonu kullanılarak değer elde edilmesi büyük önem taşır. Ayrıca, coherent veya incoherent saçılma yapmış bir gamanın,  $0-\theta$  açısına, toplam saçılma olasılığının tanımlanması ve saçılma olasılığı yardımıyla, bir ortamda gamanın takibi, yeni ve kısa bir yöntem olarak denenmiştir.

Çalışmada, 27 farklı ortam için,  $(1 \cdot 10^{-4} - 8)$  MeV enerji aralığında, toplam coherent ve toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri hesaplanmış ve klasik değerlerle karşılaştırılmıştır.

Saçılma olasılığı değerleri, alüminyum, demir, bakır, altın, kurşun ortamları ve 7 farklı enerji değeri için, hesaplanmıştır.

Bir ortamda, bir kere ve ard arda iki kere saçılma yapmış gamaların enerji spektrumları elde edilmiştir.

## 2. GAMA IŞINLARI VE GAMA IŞINLARININ MADDE İLE ETKİLEŞMELERİ

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, atomun yapısının, Rutherford'un teklif ettiği gibi; hemen hemen kütleinin tamamının toplandığı pozitif yüklü küçük bir çekirdek ile daha uzaktaki elektronlardan oluştuğu saptanmıştır. Nötronun 1932 yılında Chadwick tarafından keşfedilmesiyle, atomun sadece elektronlar ve protonlardan oluşmadığı, aynı zamanda nötronların da atom yapısını oluşturmada etkin olduğu ortaya çıktı. Nötron, kütlesi hemen hemen protonun kütlesine eşit yüksüz parçacıktır. Buna göre atomun, üç temel parçacık olan elektron, proton ve nötrondan oluştuğu saptanmıştır. Bu parçacıklardan protonlar ve nötronlar atomun çekirdeğini oluştururlar. Çekirdeğin kütlesi, yaklaşık olarak kendisini oluşturan protonların ve nötronların kütlelerinin toplamına, yükü ise protonların toplam yüküne eşittir. Üç temel parçacıktan biri olan elektronlar ise, çekirdek etrafında dolanırlar.

### 2.1. Gama Işınları

Bir atomdaki elektronlar, atom çekirdeğinin etrafında, çekirdekten belli uzaklıkta ve değişen yarıçaplardaki yörüngeler üzerinde dolanırlar. Her bir yörünge farklı bir enerji seviyesine karşılık gelmektedir. Atomdaki elektronların tamamı, bu enerji seviyelerini alttan itibaren doldururlar. Bu durumdaki atom taban enerji seviyesindedir. Herhangi bir nedenle elektronlardan biri ya da birkaçı daha üst enerji seviyelerine çıkmışlar ise, atom uyarılmış olur. Üst enerji seviyelerine çıkan elektron veya elektronlar uyarılmış halde kalamayıp kısa bir zaman içerisinde, X ışını parçalanması yaparak daha alt boş enerji seviyelerini doldururlar; atom taban enerji seviyesine iner. Bu geçiş enerji seviyeleri arasındaki fark enerjisi, atomdan elektromagnetik ışına veya elektron salma şeklinde açığa çıkar. Salınan elektromagnetik ışına x-ışını denir.

Atomlarda olduğu gibi çekirdekler de belirli enerji düzeylerine sahiptirler. Çekirdeği oluşturan nükleonlar (proton ve nötronlar), çekirdek enerji düzeylerini alttan itibaren doldururlar. Bu durumdaki çekirdek taban enerji seviyesindedir. Nükleonlardan biri ya da birkaçının alt enerji düzeylerinde boşluk bırakarak daha üst enerji düzeylerine çıkmalarıyla çekirdek uyarılmış olur. Uyarılan çekirdek, kısa bir zaman içerisinde, gama

parçalanması yaparak taban enerji seviyesine iner. Çekirdeğin daha üst bir enerji seviyesinden daha alt bir enerji seviyesine inmesine gama parçalanması denir. Gama parçalanmasında çekirdek, ya gama ışını yayınlar; bu durumda gamanın enerjisi, enerji seviyeleri farkına eşittir, ya iç değişim elektronu yayınlar; iç değişim elektronunun enerjisi, enerji seviyeleri farkından elektronun bağlanma enerjisinin çıkarılmasına eşittir, ya da elektron-pozitron çifti yayınlanır.

Radyoaktif çekirdek (radyonüklid), taban enerji seviyesinde olduğu halde kararlı olmayan çekirdektir. Bu çekirdek, kararlı hale gelinceye kadar ard arda parçalanmalar yapar. Radyoaktif çekirdekler,  $\alpha$  veya  $\beta$  parçalanmalarıyla kararlı durum ararlar.  $\alpha$  veya  $\beta$  parçalanmaları, genellikle ürün elementin uyarılmış enerji seviyesine olmaktadır. Uyarılmış enerji seviyesinde bulunan ürün element, mutlaka bir veya birkaç gama parçalanması yaparak taban enerji seviyesine iner. Çekirdek, herhangi bir şekilde, örneğin bir nükleer reaksiyon sonucu enerji soğurarak uyarılmış enerji seviyesine çıkabilir.

Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale geçerken yayınladıkları elektromagnetik dalga veya parçacıklara “radyasyon” ve olaya da “radyoaktivite” denilmektedir.  $\alpha$  parçalanmasında çekirdekten bir Helyum atomu yayınlanır.  $\beta$  parçalanması; (-)  $\beta$  parçalanması, (+)  $\beta$  parçalanması ve K yakalanması şeklinde meydana gelir. (-)  $\beta$  elektron, (+)  $\beta$  pozitrondur. Gama bozunmasında yayınlanan gama ışını ise yüksek enerjili fotondur.

## ***2.2. Gama Işınlınının Madde İle Etkileşmeleri***

Gama ışınlarınının madde ile etkileşmesi, Tablo (2.1)'de verildiği gibi; soğurulma, saçılma ve çoklu foton etkileri olmak üzere üç türdür. En baskın gama etkileşmeleri; fotoelektrik olay, elektron-pozitron çift oluşumu, coherent ve incoherent saçılma.

Bu çalışmada, yukarıda sözü edilen dört etkileşme türü önem kazanmaktadır. Bu sebepten dolayı, bu etkileşmeleri incelemekte yarar vardır.

### ***2.2.1. Gama Işınlınının Soğurulması***

#### ***2.2.1.A- Fotoelektrik Olay***

Düşük enerjideki gama fotonları çoğunlukla fotoelektrik olay meydana getiriler. Bu



olayda gelen foton, ortamdaki atomların elektronlarının birine tüm enerjisini verecek şekilde etkileşir ve yok olur. Soğurulan fotonun enerjisinin bir kısmı, elektronu yörüngesinden koparmaya harcanır ki bu enerji, “bağlanma enerjisi” olarak bilinir. Enerjinin geri kalan kısmı da yayınlanan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Fotonun enerjisi,

$$E_{\gamma} = E_b + E_k \quad (2.1)$$

ifadesiyle verilir. Burada

$E_{\gamma} = hv$  ; gamanın enerjisi,

$E_k$ ; elektronun kinetik enerjisi,

$E_b = hv_0$  ; elektronun bağlanma enerjisi olup,  $v_0$  , elektronu atomdan kopartmaya yarayan en küçük frekanstır. Eşik frekansı olarak da adlandırılır.

Yayınlanan elektronun enerjisi,

$$E_k = h (v - v_0) \quad (2.2)$$

şeklinde de elde edilir.

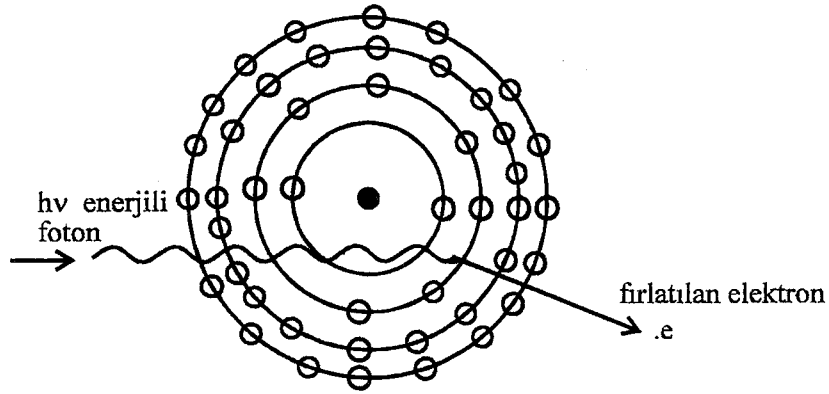
Fotoelektrik olay neticesinde, atomdan fırlayan elektron, hafif yüklü parçacık olarak ortamda etkileşir. Etkileşimde, elektron, ortam atomları ile coulomb etkileşmesi yapar; atomların iyonize veya eksite olmasına sebep olur. Eğer eksitasyon şeklinde etkileşme olmuşsa ve olay neticesinde x ışını yayınlanmış ise, ortama aktarılan enerjinin bir kısmı x ışınına dönüşmüş olur.

Hafif yüklü parçacık olan elektronun ikinci olay çeşidi ise, ortam atomlarının oluşturduğu elektrik alan içerisinde geçerken ivmelenmesi yani hızlanması veya yavaşlaması olayıdır. Bu olaya “bremsstrahlung” olayı da denir. Elektron, ivmelenme ile enerjisinin bir kısmını x ışını olarak kaybeder. Fotoelektrik olay neticesinde atomdan fırlayan enerji elektronun ortama aktardığı enerji x ışınına dönüşmüş olur.

Tablo 2.1: Temel Foton Etkileşimlerinin Sınıflandırılması

Etkileşme türü	Soğrulma	Saçılma		Çoklu foton etkileri
		Esnek (coherent)	Esnek olmayan (incoherent)	
Etkileşilen parçacıklar	(a)	(b)	(c)	(d)
1) Atomik elektronlar	Fotoelektrik etki $\sigma_{fe} \begin{cases} \sim Z^4 \text{ (düşük enerjide)} \\ \sim Z^5 \text{ (yüksek enerjide)} \end{cases}$	Rayleigh saçılması $\sigma_R \sim Z^2 \text{ (düşük enerji sınırında)}$	Compton saçılması $\sigma \sim Z$ $inc$	İki foton Compton saçılması $\sim Z$
2) Nükleonlar	Fotonükleer tepkimeler ( $\gamma, n$ ), ( $\gamma, p$ ), fotofisyon vb. $\sigma_{fn} \sim Z(E \geq 10 \text{ MeV})$	Esnek nükleer saçılma $(\gamma, \gamma) \sim Z^2$	Esnek olmayan nükleer saçılma $(\gamma, \gamma')$	
3) Yüklü parçacıkları saran elektriksel alan	1) Çekirdek alanında elektron - pozitron çifti oluşumu $\sigma_{pp} \sim Z^2 (E \geq 1.02 \text{ MeV})$ 2) Elektron alanında elektron - pozitron çifti oluşumu $\sigma_{pe} \sim Z (E \geq 2.04 \text{ MeV})$	Delbruck saçılması $\sim Z^4$		
4) Mezonlar	3) Nükleon - antinükleon çifti oluşumu $(E > 3 \text{ GeV})$ Fotomezon oluşumu $(E > 150 \text{ MeV})$	Modifiye edilmiş $(\gamma, \gamma)$		

"Sürekli çizgili çerçeve içindekiler madde içinde foton zayıflamasına katkısı büyük olan etkileşimleri; noktalı çerçeve içindekiler ise belirtilen enerji bölgelerinde toplam etkileşmeye göre katkısı % 1 ya da daha az olan etkileşimleri göstermektedir."



Şekil 2.1: Fotoelektrik Olayın Şematik Gösterimi

### 2.2.1.B- Elektron-Pozitron Çifti Oluşumu

Çift hasil olma olayı, yüksek enerjili gama ışınlarının madde ile etkileşmelerinde görülen bir olay çeşitidir. Gelen gama ışınları, ortam atomlarının oluşturduğu yüksek değerdeki bir elektrik alan içerisinde geçerken yok olur, bu yok oluş neticesinde aynı kütleli fakat zıt yüklü iki parçacık yayınlanır. Bu parçacıklar, durgun kütle enerjileri toplamı  $2m_0c^2 = 1,022 \text{ MeV}$  olan elektron ve pozitrondur. Çift hasil olma olayının meydana gelebilmesi için, gelen gama ışınları, en az  $1,022 \text{ MeV}$  enerji değerine sahip olmalıdırlar. Bu enerji eşik enerjisi olarak da adlandırılmaktadır.

Gelen gama ışınlarının enerjilerine bağlı olarak, eşik enerjisinden artı kalan enerji, oluşan elektron ve pozitrona ve geri tepen atoma kinetik enerji olarak aktarılır. Enerji korunum ifadesi,

$$E = hv = 2m_0c^2 + E_+ + E_- + E_{\text{çekirdek}}$$

ile verilir [7]. Burada,  $hv$  gelen fotonun enerjisi,  $2m_0c^2$  elektron ve pozitronun durgun kütle enerjileri toplamıdır.  $E_+$ ,  $E_-$  ve  $E_{\text{çekirdek}}$  sırasıyla pozitron, elektron ve çekirdeğin kinetik enerjileridir. Çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğu için, çekirdek tarafından alınan kinetik enerji payı çok azdır. Bundan dolayı ihmal edilir ve enerji korunum ifadesi,

$$E = hv = 2m_0c^2 + E_+ + E_- \quad (2.3)$$

halini alır.

Çift hasil olma olayı neticesinde meydana gelen elektron ve pozitron, enerjilerini

kaybedene dek ortamda, iyonizasyon, eksitasyon ve bremsstrahlung olaylarını meydana getirir. Enerjisini kaybeden pozitron durgun hale geldiğinde, karşılaştığı ilk elektronla birleşir. Neticede, enerjileri 0,511 MeV olan, birbirine zıt yönde iki gama ışını yayınlanır. Bu gama ışınları ortamda Compton saçılması, fotoelektrik olay yaparlar ya da ortamdan kaçarlar.

### *2.2.2. Gama Işınlarının Saçılması*

Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi olaylarından birisi de saçılmadır. Saçılmayı, coherent saçılma ve incoherent saçılma olmak üzere iki grupta toplayabiliriz.

#### *2.2.2.1. Coherent Saçılma*

Coherent saçılmada enerji değişimi olmaz. Gelen foton ile saçılan fotonun dalga boyları aynıdır. Coherent saçılma için yeni bir sınıflama yapabiliriz.

##### *2.2.2.1.A- Thomson Saçılması*

Saçılma olayını, klasik elektromagnetik kurama dayanarak açıklayan J. J. Thomson'a göre bir foton, bir maddenin atomuna geldiğinde, atomun elektronu ile etkileşmekte ve getirdiği enerji ile elektronu titreştirmektedir. Daha sonra bu titreşim yine bir foton olarak yayınlanmaktadır. Bu olayda atomun elektronu, maddeye çarpan ve bir enerjiye sahip tüm parçacık veya ışın için bir saçıcı görevi görmektedir. Saçılan ışın gelen ışınla aynı frekansa sahiptir.

##### *2.2.2.1.B- Rayleigh Saçılması*

Fotonların atoma sıkı bağlı elektronlar tarafından saçılmasıdır. Atomlar ne uyarılmış, ne de iyonize olmuş durumdadırlar. Rayleigh saçılması, çok ağır elementlerde ve düşük enerjilerde oluşur. Rayleigh saçılmasının tesir kesiti  $Z^2$  ile orantılıdır.

##### *2.2.2.1.C- Delbruck Saçılması*

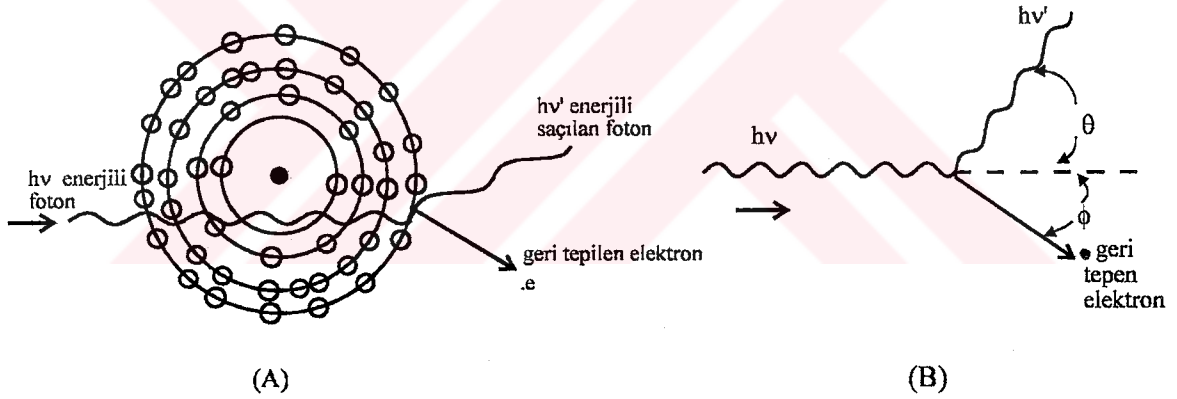
Fotonun atom çekirdeği veya elektronların oluşturduğu elektrik alanla etkileşmesi sonucu oluşur. Bu olayın etkisi oldukça küçük olduğundan deney sonuçlarında çok açık olarak gözlenemez. Delbruck saçılmasının tesir kesiti  $Z^4$  ile orantılıdır.

### 2.2.2.1.D- Nükleer Saçılması

Gelen fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu gözlenir. Nükleer saçılmanın tesir kesiti  $Z^2$  ile orantılıdır.

### 2.2.2.2. İncoherent Saçılma

Serbest elektrondan incoherent saçılma veya compton saçılması, enerjileri (0,1-10) MeV aralığındaki fotonların madde ile etkileşmesinde baskın olarak görülen bir olay çeşitidir. Compton saçılmasında foton, daha az bir enerji ile geliş doğrultusundan belli bir açıda saçılır. Arta kalan enerji ise, geri tepen elektron tarafından alınır. Saçılan foton, tekrar compton saçılması veya fotoelektrik olay yapar veya ortamdaki kaçır. Saçılan elektron ise, enerjisini kaybedinceye dek ortamda iyonizasyon, eksitasyon ve Bremsstrahlung olaylarını meydana getirir.



**Şekil 2.2:** (A) Compton olayının şematik gösterimi  
(B) Compton olayının geometrik gösterimi

Frekansı  $\nu$  olan bir foton, başlangıçta durgun olan  $m_0$  kütleli bir elektronla çarpışır, geliş doğrultusu ile  $\theta$  açısı yaparak  $\nu'$  frekansında saçılır. Çarpışmada elektron, gelme doğrultusu ile bir  $\phi$  açısı altında  $E_e$  enerjisi ile tepilir. Enerji ve momentum korunur. Korunum kuralları;

Enerji korunumu:

$$h\nu = h\nu' + E_k \quad (2.4)$$

Momentum korunumu:

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos\theta + \frac{m_0 \vartheta}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}} \cos\phi \quad (\text{x-bileşeni}) \quad (2.5)$$

$$\frac{h\nu'}{c} \sin\theta = \frac{m_0 \vartheta}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}} \sin\phi \quad (\text{y-bileşeni}) \quad (2.6)$$

$\beta = \frac{\vartheta}{c}$  alınarak denklem (2.5) ve denklem (2.6) yeniden yazıldığında,

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos\theta + \frac{m_0 \beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cos\phi \quad (\text{x-bileşeni}) \quad (2.5.a)$$

$$\frac{h\nu'}{c} \sin\theta = \frac{m_0 \beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \sin\phi \quad (\text{y-bileşeni}) \quad (2.6.a)$$

elde edilir. Denklem (2.5.a) ve denklem (2.6.a), dalga uzunlukları cinsinden yazıldığında,

$$\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'} \cos\theta = \frac{m_0 \beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cos\phi \quad (2.5.b)$$

$$\frac{h}{\lambda'} \sin\theta = \frac{m_0 \beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \sin\phi \quad (2.6.b)$$

elde edilir. Denklem (2.5.b) ve denklem (2.6.b)'nin karelerini alıp topladığımızda,

$$\frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2} = \frac{2h^2 \cos\theta}{\lambda\lambda'} + \frac{m_0^2 \beta^2 c^2}{1 - \beta^2} \quad (2.7)$$

elde edilir. Aynı şekilde denklem(2.4) bağıntısı yazıldığında,

$$\frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2} = \frac{m_0^2 c^2}{1 - \beta^2} - m_0^2 c^2 + 2h m_0 c \left( \frac{1}{\lambda'} - \frac{1}{\lambda} \right) + \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} \quad (2.8)$$

elde edilir. Denklem (2.7) ve denklem (2.8) eşitlendiğinde,

$$\frac{2h^2}{\lambda\lambda'} (\cos\theta - 1) = 2hm_0c \left( \frac{1}{\lambda'} - \frac{1}{\lambda} \right)$$

elde edilir. Dalga uzunluklarındaki değişme,

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta) \quad (2.9)$$

olur. Denklem (2.9)'da  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  alınarak gerekli düzenlemeler yapıldığında,

$$\nu' = \frac{1}{\frac{1}{\nu} + \frac{h}{m_0c^2} (1 - \cos\theta)}$$

bulunur. Bağıntının sağ yanı  $\nu$  ile çarpılıp bölünüp, eşitliğin her iki yanı  $h$  ile çarpıldığında,

$$E' = h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2} (1 - \cos\theta)} \quad (2.10)$$

elde edilir; saçılan fotonun enerjisini vermektedir.

Geri tepen elektronun kinetik enerjisi,

$$\begin{aligned} E_k &= E - E' \\ &= h\nu - h\nu' \\ &= \frac{(1 - \cos\theta) \frac{(h\nu)^2}{m_0c^2}}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2} (1 - \cos\theta)} \end{aligned} \quad (2.11)$$

elde edilir. Elektronun kinetik enerjisi, saçılan fotonun enerjisine bağlı olarak değişir.

### 3. TESİR KESİTİ

Bilindiği gibi, gama ışınları madde ile en baskın dört çeşit etkileşme yapmaktadır. Bunlar: Fotoelektrik olay, incoherent saçılma (compton saçılması), coherent saçılma ve çift hasil olma olaylarıdır. Bu olayların her birinin meydana gelme olasılığı, gelen gama ışınlarının enerjilerine ve etkileştiği ortamın yapısına bağlı olarak değişir. Etkileşmelerin meydana gelme olasılığını belirleyen temel fizik parametresi, tesir kesitidir.

Tesir kesiti, gama radyasyonunun madde ile etkileşmesinde, atom başına toplam etkileşmeyi meydana getirmek üzere gördüğü etkin alandır. Tesir kesiti  $\sigma$  harfi ile gösterilir. Alan boyutunda ve birimi  $\text{cm}^2$  veya b (barn) ile verilir ( $1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ ).

Toplam tesir kesiti, fotonun madde ile etkileşmesinde meydana getireceği tüm olası etkileşmelerin tesir kesitlerinin toplamından ibarettir.

$$\sigma = \sigma_{\text{fe}} + \sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}} + \sigma_{\text{pp}} \quad (3.1)$$

Burada,  $\sigma_{\text{fe}}$ ,  $\sigma_{\text{coh}}$ ,  $\sigma_{\text{inc}}$  ve  $\sigma_{\text{pp}}$  sırasıyla, fotoelektrik, coherent saçılma, incoherent saçılma ve çift hasil olma olayı tesir kesitleridir.

#### 3.1. Lineer Zayıflama Katsayısı

Bir gamanın, madde derinliğinde, birim uzunlukta gördüğü etkin alan sayısı, lineer zayıflama katsayısı olarak tanımlanır[1].

$$\mu = \sigma \cdot N \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de görüldüğü gibi,  $\mu$  ile gösterilen lineer zayıflama katsayısı, tesir kesiti ile birim hacimdeki atom sayısı olan  $N$ 'nin çarpımına eşittir. Birimi  $\text{cm}^{-1}$  dir. Lineer zayıflama katsayısı, gamanın birim uzunlukta yapacağı toplam etkileşme adedi olarak da tanımlanabilir.

#### 3.2. Kütle Zayıflama Katsayısı

Kütle zayıflama katsayısı da lineer zayıflama katsayısı gibi yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Tanım olarak kütle zayıflama katsayısı, gamanın etkileştiği ortamda,



birim alana düşen kütle başına etkileşme adedidir. Matematiksel olarak,

$$\mu_m = \frac{\mu}{g} \quad (3.3)$$

ile verilir [1]. Denklem (3.3)'den de görüldüğü gibi  $\mu_m$  ile gösterilen kütle zayıflama katsayısı, lineer zayıflama katsayısının, ortamın yoğunluğuna bölünmesi ile elde edilir. Birimi  $\text{cm}^2/\text{g}$  dır. Bir gamanın bir  $\text{g}/\text{cm}^2$  derinliğinde yapacağı toplam etkileşme adedidir.

### 3.3 Fotoelektrik Tesir Kesiti

Fotoelektrik tesir kesiti için, J. H. Hubbell (1969) tarafından verilen ve literatürde yaygın olarak kullanılan bir ifade mevcuttur. Verilen bu ifade, atom numarası  $13 \lesssim Z \lesssim 92$  aralığında olan ortamlar ve enerjileri  $0,2 \text{ MeV} \lesssim E$  bölgesine düşen gama ışınları için iyi bir yaklaşımdır. Fotoelektrik tesir kesiti ifadesi,

$$\sigma_{fe} \cong Z^5 \sum_{n=1}^4 \frac{a_n + b_n Z}{1 + c_n Z} E^{-P_n} \left( \frac{b}{\text{atom}} \right) \quad (3.4)$$

ile verilir [1]. İfadedeki  $a_n$ ,  $b_n$ ,  $c_n$  ve  $P_n$  parametreleri Tablo (3.1)'de verilmiştir[1].

**Tablo 3.1:** Fotoelektrik Tesir Kesitine Ait Parametrelerin Değerleri

n	$a_n$	$b_n$	$c_n$	$P_n$
1	$1.6268 \cdot 10^{-9}$	$-2.683 \cdot 10^{-12}$	$4.173 \cdot 10^{-2}$	1
2	$1.5274 \cdot 10^{-9}$	$-5.110 \cdot 10^{-13}$	$1.027 \cdot 10^{-2}$	2
3	$1.3300 \cdot 10^{-9}$	$-2.177 \cdot 10^{-12}$	$2.013 \cdot 10^{-2}$	3,5
4	$-9.12 \cdot 10^{-11}$	0	0	4

Denklem (3.4)'den de görüldüğü gibi, fotoelektrik tesir kesiti, ortamın atom numarasına ve gelen gama ışınının enerjisine bağlıdır.

### 3.4. Diferansiyel Saçılma Tesir Kesiti

Gama fotonunun madde ile etkileşmesi saçılma ise, saçılan gamanın geliş doğrultusuna göre belli bir açıya saçılmasını belirleyen büyüklük, diferansiyel saçılma tesir kesiti olarak tanımlanır.

$d\sigma$ , gamanın  $\theta$  açısında  $d\theta$  açı aralığına ve  $\phi$  açısında  $d\phi$  açı aralığına saçılma tesir kesiti olarak tanımlanır.  $\theta$  ve  $\phi$  açısında birim katı açıya saçılma tesir kesiti ise bu tanıma göre aşağıdaki şekilde yazılabilir.

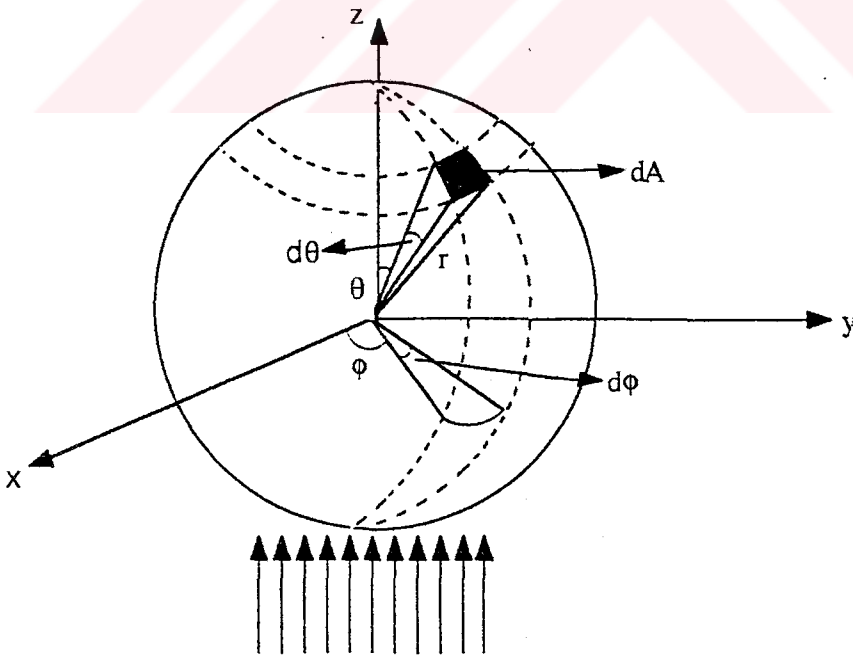
$$d\sigma = \frac{d\sigma}{d\Omega} * d\Omega \quad (\text{tesir kesiti/steradyan}) \quad (3.5)$$

Her açıya toplam saçılma tesir kesiti ise,

$$\sigma = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} * d\Omega \quad (3.6)$$

ifadesiyle verilir.

$d\Omega$  katı açısının değerini hesaplamak için Şekil (3.1)'den yararlanabiliriz.



Şekil 3.1:  $\theta$  açısında  $d\theta$  aralığına diferansiyel saçılma

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \frac{(rd\theta)(r\sin\theta d\phi)}{r^2} = \sin\theta d\theta d\phi \quad (3.7)$$

denklem (3.6) ve (3.7)'den,

$$\sigma = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} * \sin\theta d\theta d\phi \quad (3.8)$$

ifadesi elde edilir. Eğer diferansiyel tesir kesiti  $\phi$ 'ye bağımlı değilse,  $\theta$  açısında  $d\theta$  aralığına saçılma tesir kesiti,

$$d\sigma = \frac{d\sigma}{d\Omega} * 2\pi \sin\theta d\theta \quad (3.9)$$

ve her açıya toplam saçılma tesir kesiti ise,

$$\sigma = \int_{\theta=0}^{\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega} * d\Omega \quad (3.10)$$

ifadesiyle elde edilir. Burada,  $d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$ ,  $\theta$  açısında  $d\theta$  açı aralığının gördüğü katı açıdır.

### 3.4.1. Coherent Saçılma Tesir Kesiti

Bir gamanın serbest elektrondan diferansiyel coherent saçılma tesir kesiti Thomson tarafından verilmiştir. Elektron başına diferansiyel Thomson tesir kesiti,

$$d\sigma_T(\theta) = \frac{r_e^2}{2} (1 + \cos^2\theta) * d\Omega \quad (3.11)$$

denklemleri ile verilir.[2] Burada,

$$r_e = \frac{e^2}{m_0 c^2} ; \text{klasik elektron yarıçapı,}$$

$e$ ; elektronun yükü,

$m_0$ ; elektronun durgun kütlesi,

$c$ ; ışık hızı

$\theta$ ; gamanın saçılma açısıdır.

Atoma bağı elektronlardan coherent saçılmada, bağ etkisi için form faktörü olarak adlandırılan  $F(X,Z)$  faktörü verilmiştir [2] [3] [4]. Form faktörü daha ziyade düşük foton enerjilerinde etkilidir. Atoma bağı elektronlardan, atom başına diferansiyel coherent saçılma tesir kesiti, form faktörüne bağı olarak aşağıdaki ifade ile verilir.

$$d\sigma_{\text{coh}} = d\sigma_{\text{T}}(\theta) * [F(X,Z)]^2 \quad (3.12)$$

Toplam coherent saçılma tesir kesiti, fotonun tüm açılara veya her yöne coherent saçılma tesir kesiti olarak tanımlanır. Denklem (3.12)'nin,  $\theta = 0$  ile  $\theta = \pi$  arasında integre edilmesiyle elde edilir.

$$\sigma_{\text{coh}} = \int_{\theta=0}^{\pi} d\sigma_{\text{T}}(\theta) * [F(X,Z)]^2 \quad (3.13)$$

$1*10^{-4}$  MeV'den 100 MeV enerji değerine kadar, 100 adet ortam için, toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri, logaritmik aralıklar alınarak, her bir aralığa karşılık gelen sayısal değerlerin toplanmasıyla nümerik olarak Hubbell tarafından bulunmuştur. Sonuçlar tablolar halinde verilmiştir [2].

### 3.4.2. *Incoherent Saçılma Tesir Kesiti*

Bir gamanın serbest elektrondan diferansiyel incoherent saçılma tesir kesiti Klein-Nishina tarafından verilmiştir. Elektron başına diferansiyel Klein-Nishina tesir kesiti,

$$d\sigma_{\text{KN}}(\theta) = \frac{r_e^2}{2} [1 + k(1 - \cos\theta)]^{-2} \left[ 1 + \cos^2\theta + \frac{k^2(1 - \cos\theta)^2}{1 + k(1 - \cos\theta)} \right] * d\Omega \quad (3.14)$$

denklemleri ile verilir[2]. Burada,

$$k = \frac{E}{m_0 c^2} ; \text{elektronun durgun kütle enerjisi biriminde gama enerjisi,}$$

$\theta$  ; gamanın saçılma açısıdır.

Atoma bağı elektronlardan, incoherent saçılmada, bağ etkisi için saçılma fonksiyonu olarak adlandırılan,  $S(X,Z)$  faktörü verilmiştir [2] [3] [4]. Atoma bağı elektronlardan, atom başına diferansiyel incoherent saçılma tesir kesiti saçılma fonksiyonuna bağı olarak aşağıdaki ifade ile verilir.

$$d\sigma_{inc} = d\sigma_{KN}(\theta) * S(X, Z) \quad (3.15)$$

Toplam incoherent saçılma tesir kesiti, fotonun tüm açılara veya her yöne incoherent saçılma tesir kesiti olarak tanımlanır. Denklem (3.15)'in  $\theta = 0$  ile  $\theta = \pi$  arasında integre edilmesiyle elde edilir.

$$\sigma_{inc} = \int_{\theta=0}^{\pi} d\sigma_{KN}(\theta) * S(X, Z) \quad (3.16)$$

$1*10^{-4}$  MeV'den 100 MeV enerji değerine kadar 100 adet ortam için, toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri; lineer aralıklar alınarak, her bir aralığa karşılık gelen sayısal değerlerin toplanmasıyla nümerik olarak Hubbell tarafından bulunmuştur. Sonuçlar tablolar halinde verilmiştir [2].

Gamanın coherent artı incoherent toplam saçılma tesir kesiti, denklem (3.13) ile denklem (3.16)'nın toplanmasıyla elde edilir.

#### 4. SAÇILMA OLASILIĞI

Bir gama, bir ortamda, daha önce belirtildiği gibi çeşitli etkileşmeler yapar. Gamanın yaptığı etkileşme saçılma ise, özellikle incoherent saçılmada, saçılma açısı saçılan gamanın enerjisini belirler. Bir ortama enerji aktarımı hesaplamaları ile ilgili çalışmalarda, gamanın coherent veya incoherent saçılma sonucunda,  $0-\theta$  açısına toplam saçılma olasılığı tanımı büyük önem taşır. Monte Carlo benzetim yöntemi ile gama takibinde bu tanım, yeteri sıklıktaki enerji bölgeleri için elde edildiğinde, gama takibinde büyük kolaylık sağlar.

Bir gamanın  $0-\theta$  açısına toplam coherent saçılma olasılığı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Toplam saçılma olasılığı kesikli açı değerleri için hesaplanır ise belli bir açı değerinde açı aralığına saçılma olasılığı, bu aralığı sınırlayan açılar için toplam saçılma olasılıklarının farkı olarak elde edilir.

$$P_{\text{coh}} = \frac{\int_0^\theta d\sigma_{\text{coh}}}{\int_0^\pi d\sigma_{\text{coh}}} = \frac{\int_0^\theta \frac{r_e^2}{2} (1 + \cos^2 \theta) * [F(X,Z)]^2 * 2\pi \sin \theta d\theta}{\sigma_{\text{coh}}} \quad (4.1)$$

Gamanın  $0-\theta$  açısına toplam incoherent saçılma olasılığı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$P_{\text{incoh}} = \frac{\int_0^\theta d\sigma_{\text{inc}}}{\int_0^\pi d\sigma_{\text{inc}}} = \frac{\int_0^\theta \frac{r_e^2}{2} [1 + k(1 - \cos \theta)]^{-2} * \left[ 1 + \cos^2 \theta + \frac{k^2 (1 - \cos \theta)^2}{1 + k(1 - \cos \theta)} \right] * S(X,Z) * 2\pi \sin \theta d\theta}{\sigma_{\text{inc}}} \quad (4.2)$$

Gamanın  $0-\theta$  açısına toplam coherent artı incoherent saçılma olasılığı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$P_{\text{top}} = \frac{\int_0^\theta (d\sigma_{\text{coh}} + d\sigma_{\text{inc}})}{\int_0^\pi (d\sigma_{\text{coh}} + d\sigma_{\text{inc}})}$$

$$P_{\text{top}} = \frac{\int_0^\theta \left\{ \left[ \frac{r_e^2}{2} (1 + \cos^2 \theta) [F(X,Z)]^2 \right] + \left[ \frac{r_e^2}{2} [1 + k(1 - \cos \theta)]^{-2} \left[ 1 + \cos^2 \theta + \frac{k^2 (1 - \cos \theta)^2}{1 + k(1 - \cos \theta)} \right] S(X,Z) \right\} * 2\pi \sin \theta d\theta}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}}} \quad (4.3)$$

Burada,  $\theta$  saçılma açısı,  $d\theta$  saçılma açı aralığıdır. (4.1), (4.2) ve (4.3) denklemlerinin integralini analitik olarak almak mümkün değildir.  $\theta$ 'nın 0 ile  $\pi$  arasında değişen çeşitli değerleri için ve gama enerjisinin çeşitli enerji aralıkları için, bu olasılıkların nümerik olarak değerleri elde edilmiş ve tablolar halinde verilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesindeki ayrıntı, ilerideki bölümlerde açıklanmıştır.



## 5. MONTE CARLO YÖNTEMİ

Benzetişim yöntemleri, matematiksel veya mantıksal modeller kullanarak bilgisayar aracılığıyla sistem üzerinde deneyler yapmaya yarayan sayısal yöntemlerdir. Monte Carlo benzetişim yöntemi de bu yöntemlerden birisidir.

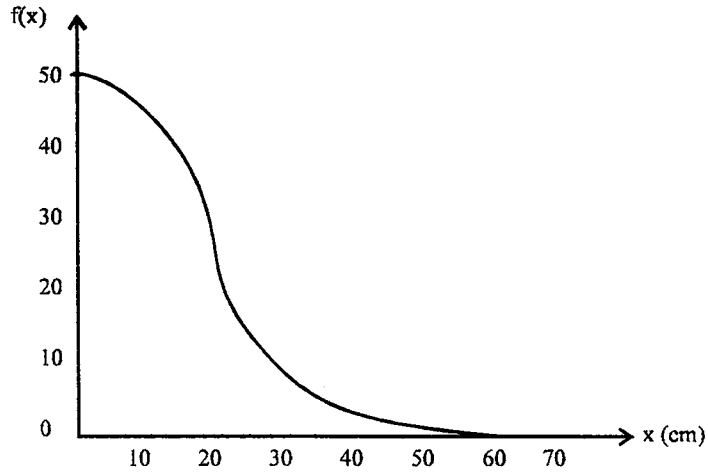
Genel olarak Monte Carlo uygulamalarında karmaşık sistemler ele alınır [6]. Bu sistemlerdeki sonuçların analitik olarak hesaplanması mümkün değildir. Bunun nedeni: Sistemdeki gelişigüzellik ve bir çok farklı fiziksel olgunun olaya karışmasıdır. Sonuçta fiziksel olguların tümünün katkıları ile sıklık dağılımları elde edilir. Bu sıklık dağılımlarının belirlenmesi çok önemlidir ve burada yapılacak hatalar tüm benzetim sonuçlarının bir işe yaramamasına yol açacaktır. Dağılımlar, geçmiş kayıtlar veya deneyler yoluyla elde edilebileceği gibi yarı sezgisel öngörülere de dayandırılabilir.

### 5.1. Bir Deneyin Örneklenmesi

Monte Carlo benzetimi öncelikle sistemde yer alan değişkenlerin sıklık dağılımlarının belirlenmesini gerektirir. Sıklık dağılımlarının belirlenmesini daha anlaşılabilir olması bakımından bir örnekle açıklayalım: Belli uzaklıkta belirlenen bir hedefe atılan mermi düşünelim. Her atışta, merminin hedeften ne kadar uzağa düştüğünün belirlenmesi istenebilir. Olayın her tekrarlanışında gelişigüzel bir sonuç ortaya çıkar. Merminin atış yönü, rüzgârın hızı...v.b. gibi etkenler, sonuçların gelişigüzel olmalarına sebep teşkil ederler.

Merminin saplandığı nokta ile hedef arasındaki uzaklık  $x$  ile gösterilsin ve olay yeteri kadar tekrar edilsin. Elde edilen sonuçlardan  $x$ 'e bağlı bir sıklık fonksiyonu oluşur. Bu kabaca Şekil (5.1)'deki gibi olabilir.



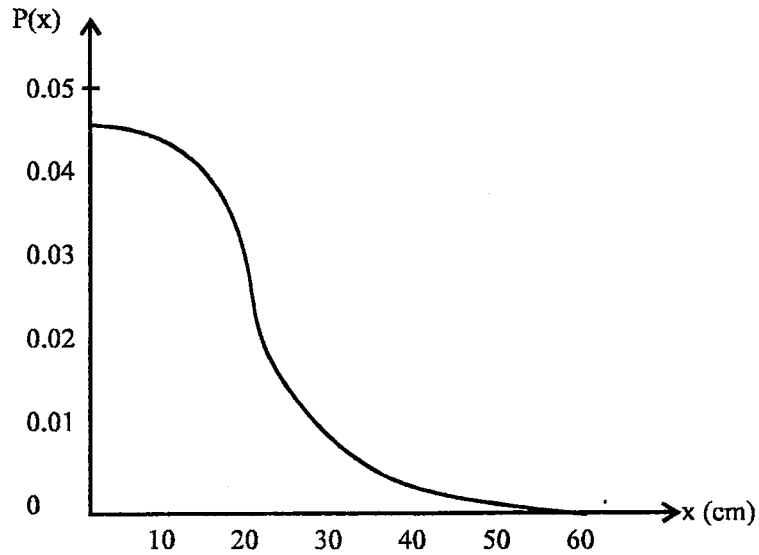


*Şekil 5.1: x'e Bağlı Sıklık Fonksiyonu*

Sıklık fonksiyonu kullanılarak olasılık yoğunluk fonksiyonunu oluşturmak mümkündür. Oluşturulacak olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$p(x) = \frac{f(x)}{\int_0^{x_0} f(x) dx} \quad (5.1)$$

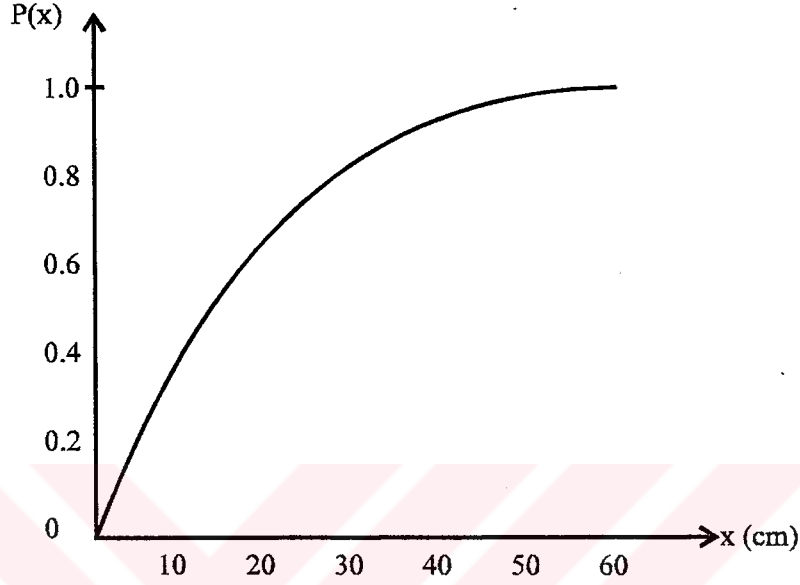
Denklem (5.1)'de  $x_{\max} = x_0$  ve  $x_{\min} = 0$  olup, her örneğe göre değişen sınır değerleridir.



*Şekil 5.2: x'e Bağlı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu*

Toplam olasılık yoğunluk fonksiyonunu aşağıdaki gibi tanımlamak mümkündür.

$$P(x) = \int_0^x p(x') dx' \quad (5.2)$$



*Şekil 5.3: x'e Bağlı Toplam Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu*

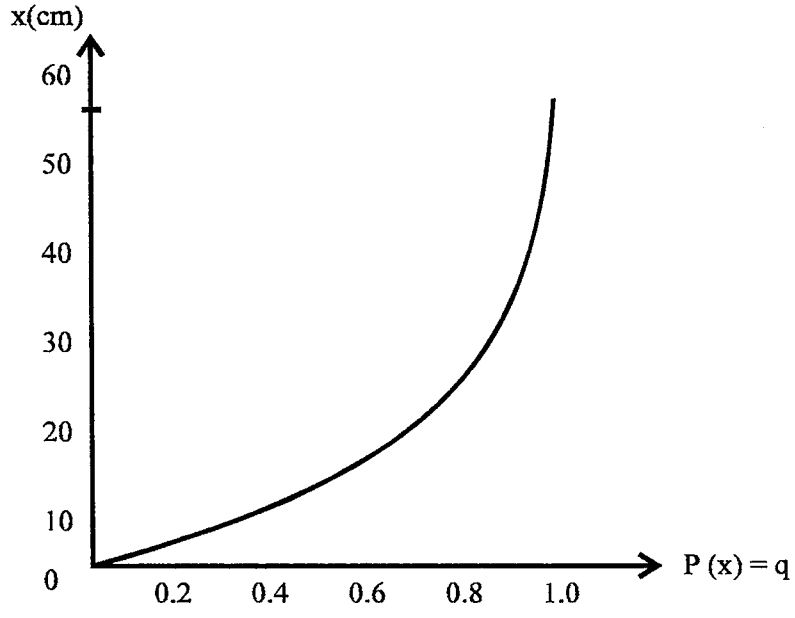
Elde edilen x'e bağlı toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu  $P(x)$ , 0 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır. Eğer biz, 0 ile 1 arasında değişen gelişigüzel sayılar üretebilir ve  $P(x)$  fonksiyonu yardımıyla bu gelişigüzel sayılara karşılık x değerleri bulabilirsek Monte Carlo benzetim yöntemini uygulamış oluruz. Üretilen gelişigüzel sayıları  $q$  ile gösterelim.  $q$  sayıları da 0 ile 1 arasında değişen sayılar olduğuna göre

$$P(x) = q \quad (5.3)$$

ile ifade edebiliriz. Bu  $q$  sayılarına karşılık x değerlerini de

$$x = P^{-1}(q) \quad (5.4)$$

ile tanımlamak mümkündür.



*Şekil 5.4: Şekil (1.5) ile verilen  $P(x)$  fonksiyonunun tersine çözümü*

## 6. COHERENT VE İNCOHERENT SAÇILMA TESİR KESİTLERİNİN HESABI

Coherent ve incoherent diferansiyel saçılma tesir kesitleri denklem (3.12) ve denklem (3.15)'de verilmiştir. Denklemlerden de görüldüğü gibi diferansiyel saçılma tesir kesitleri hem enerji hem de ortama bağlıdır. Ortam bağımlılığını coherent saçılmada form faktörü, incoherent saçılmada ise saçılma fonksiyonu belirler. Denklem (3.13) ve (3.16)'nın analitik olarak integre edilmesi mümkün olamamaktadır. Bu nedenle toplam coherent ve toplam incoherent saçılma tesir kesitlerinin elde edilmesi için, her bir ortam için verilen form faktörü ve saçılma fonksiyonları kullanılarak, nümerik olarak elde edilir.

Simpson kuralı, nümerik integral hesabıdır. Nümerik integral hesabı, değişkenin belli aralıklara bölünmesi ve her bir aralığa karşılık gelen sayısal değerlerin toplanmasıyla bulunur.

Atoma bağlı elektronlardan, coherent saçılmada, bağ etkisini veren ve form faktörü olarak adlandırılan  $F(X,Z)$ , küçük gama enerjilerinde büyük olup, enerji arttıkça şiddetli olarak azalmaktadır. Bu nedenle toplam coherent saçılma tesir kesiti değeri, logaritmik eşelleme yoluyla bulunmuştur.

Atoma bağlı elektronlardan, incoherent saçılmada, bağ etkisini veren ve saçılma fonksiyonu olarak adlandırılan  $S(X,Z)$ , küçük gama enerjilerinde küçük olup, enerji arttıkça artmaktadır. Bu nedenle toplam incoherent saçılma tesir kesiti değeri, lineer eşelleme yoluyla bulunmuştur.

Çalışma Ag, Al, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Co, Cs, Cu, Fe, Ge, H, Hg, He, I, K, Li, Mg, N, Na, Ni, Pb, Ra, Si, U, Zn ortamlarında ve  $(1 \cdot 10^{-4} - 8)$  MeV enerji aralığında atom başına toplam coherent ve toplam incoherent saçılma tesir kesitleri hesaplanmıştır. Elde edilen neticeler, Hubbell tarafından elde edilen neticeler ile karşılaştırılmıştır. Bu tür bir hesaplamayı benzer bir yöntem ile hesap etmekteki amaç, denklem (4.1), (4.2) ve (4.3) ile verilen saçılma olasılıklarının hesaplanmasındaki duyarlılığı tahmin etmektir.

### 6.1. Coherent Saçılma Tesir Kesiti Hesabı

Diferansiyel coherent ve incoherent saçılma tesir kesitleri ifadelerinde enerji ve saçılma açısını karakterize eden X değişkeni aşağıdaki şekilde verilir.

$$X = \frac{\sin(\theta/2)}{\lambda(\text{Å})} \quad (6.1)$$

Burada,

$\theta$  ; saçılma açısı,

$$\lambda(\text{Å}) = \frac{0.012398520}{E(\text{MeV})} ; \text{Angstrom biriminde foton dalga boyudur.}$$

Atom başına coherent saçılma tesir kesitinin bulunmasında önemi büyük olan, elektronun atoma bağ etkisini ortaya koyan  $F(X,Z)$  atomik form faktörünün, denklem (6.1)'de, X'in küçük değerlerinde büyük, artan X değerlerinde ise şiddetli olarak azaldığı gözlenmiştir [2]. Bu nedenle ufak X değerlerinde daha sık, büyük X değerlerinde daha geniş eşelleme yapılmak istenmiştir. Bu amaçla  $F(X,Z)$  değerleri kullanılarak hesaplanan toplam coherent saçılma tesir kesiti, nümerik olarak, logaritmik eşelleme yoluyla bulunmuştur.

Denklem (6.1),  $\cos\theta$  cinsinden aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$X = \frac{\left[ \frac{1 - \cos\theta}{2} \right]^{1/2} E(\text{MeV})}{0.012398520} \quad (6.2)$$

Denklem (6.2)'deki  $1 - \cos\theta$  ifadesi,  $\theta=0$  için 0 ve  $\theta=\pi$  için 2 değerini almaktadır. Herhangi bir E enerji değerinde, 0'dan 2'ye kadar değişen  $1 - \cos\theta$  değeri, logaritmik aralıklara bölünmüştür.

n adet alt aralığa bölünmüş integral aralığının  $(1 - \cos\theta)$ , i. alt aralığının genişliğini veren ifadeyi aşağıdaki şekilde yazmamız mümkündür.

$$\Delta a_i = \frac{a + \frac{a}{2^n - 1}}{2^n} 2^{i-1} \quad (6.3)$$

Burada,

$n$  ; aralık sayısı,

$a = 2$  ; toplam integral aralığı,

$i$  ; kaçınıcı aralıkta olduğumuzu belirten sayı olup,  $i = 1$  için birinci aralığı ve  $i = n$  için sonuncu aralığı vermektedir.

Denklem (6.3) kullanılarak, her bir logaritmik aralığın orta noktası,

$h_i = 1 - \cos\theta_i$  olmak üzere;

$$h_i = h_{i-1} + \frac{\Delta a_{i-1}}{2} + \frac{\Delta a_i}{2} \quad (6.4)$$

ifadesiyle tespit edilmiştir. Burada  $h_0$  ve  $\Delta a_0$  sıfır değerindedir.

Denklem (6.4), denklem (6.2)'de yerine konularak her bir logaritmik aralığın orta noktasına karşılık gelen  $X$  değerleri,

$$X_i = \frac{\left[\frac{h_i}{2}\right]^{-1/2} E(\text{MeV})}{0.012398520} \quad (6.5)$$

ifadesiyle bulunmuştur. Bulduğumuz  $X$  değerlerine karşılık gelen  $F(X,Z)$  değerleri, Hubbell tarafından verilen tablolardan alınmıştır. Ara değerler için yamuk kaidesi uygulanmıştır.

Denklem (6.4)'den her bir logaritmik aralığın orta noktasına karşılık gelen  $\theta$  saçılma açısı değerleri,

$$\cos \theta_i = 1 - h_i$$

$$\sin \theta_i = \sqrt{1 - (1 - h_i)^2}$$

$$\theta_i = \arctan \left[ \frac{\sqrt{1 - (1 - h_i)^2}}{1 - h_i} \right] \quad (6.6)$$

ifadesi ile tespit edilmiştir. Bulduğumuz her bir  $\theta$  saçılma açısı için, denklem (3.11)'den

elektron başına diferansiyel Thomson tesir kesiti hesaplanmıştır. Denklem (3.11)'de katı açı ifadesini veren  $2\pi \sin\theta d\theta$  yerine  $2\pi d(1 - \cos\theta)$  ifadesi konulmasıyla, logaritmik eşellemeye göre, elektron başına diferansiyel Thomson tesir kesiti nümerik integrasyon için aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$d\sigma_T(\theta_i) = \frac{r_e^2}{2} [1 + \cos^2 \theta_i] 2\pi d(1 - \cos\theta_i) \quad (6.7.a)$$

veya;

$$\Delta\sigma_T(\theta_i) = \frac{r_e^2}{2} [1 + \cos^2 \theta_i] 2\pi \Delta a_i \quad (6.7.b)$$

Burada,

$\Delta a_i$  : n adet alt aralığa bölünen integral aralığının  $(1 - \cos\theta)$ , i. alt aralığının genişliğini veren ifadedir.

Denklem (6.7), atomik form faktörü  $F(X,Z)$  ile çarpılarak atom başına diferansiyel coherent saçılma tesir kesiti,

$$d\sigma_{coh_i} = d\sigma_T(\theta_i) * [F(X_i, Z)]^2 \quad (6.8)$$

ifadesiyle bulunmuştur. Her bir logaritmik aralığa karşılık bulduğumuz atom başına diferansiyel coherent saçılma tesir kesiti değerleri toplanarak, toplam coherent saçılma tesir kesiti bulunmuştur.

$$\sigma_{coh} = \sum_{i=1}^n d\sigma_{coh_i} \quad (6.9)$$

$(1 \cdot 10^{-4} - 8)$  MeV enerji aralığında, 27 değişik ortam için bulduğumuz toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri Tablo (6.1)'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

**Tablo-6.1.1:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Hidrojen (H-1)		Helyum (He-2)		Lityum (Li-3)		Berilyum (Be-4)	
	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$
1E-04	6.405 E-01	6.650 E-01	2.564 E+00	2.660 E+00	5.755 E+00	5.982 E+00	1.024 E+01	1.064 E+01
2E-04	6.379 E-01	6.617 E-01	2.560 E+00	2.655 E+00	5.708 E+00	5.922 E+00	1.019 E+01	1.057 E+01
3E-04	6.335 E-01	6.659 E-01	2.553 E+00	2.648 E+00	5.631 E+00	5.837 E+00	1.009 E+01	1.046 E+01
4E-04	6.275 E-01	6.503 E-01	2.544 E+00	2.637 E+00	5.527 E+00	5.724 E+00	9.964 E+00	1.032E+01
5E-04	6.197 E-01	6.421 E-01	2.531 E+00	2.624 E+00	5.399 E+00	5.589 E+00	9.800 E+00	1.015 E+01
6E-04	6.108 E-01	6.323 E-01	2.516 E+00	2.608 E+00	5.258 E+00	5.436 E+00	9.615 E+00	9.948 E+00
8E-04	5.882 E-01	6.087 E-01	2.477 E+00	2.567 E+00	4.937 E+00	5.096 E+00	9.163 E+00	9.474 E+00
1E-03	5.624 E-01	5.806 E-01	2.432 E+00	2.517 E+00	4.602 E+00	4.744 E+00	8.663 E+00	8.935 E+00
2E-03	4.041 E-01	4.142 E-01	2.098 E+00	2.162 E+00	3.277 E+00	3.375 E+00	6.086 E+00	6.247 E+00
3E-03	2.702 E-01	2.764 E-01	1.700 E+00	1.743 E+00	2.594 E+00	2.675 E+00	4.382 E+00	4.507 E+00
4E-03	1.834 E-01	1.881 E-01	1.338 E+00	1.369 E+00	2.171 E+00	2.234 E+00	3.421 E+00	3.524 E+00
5E-03	1.309 E-01	1.341 E-01	1.052 E+00	1.072 E+00	1.841 E+00	1.890 E+00	2.836 E+00	2.918 E+00
6E-03	9.685 E-02	9.987 E-02	8.292 E-01	8.492 E-01	1.565 E+00	1.602 E+00	2.421 E+00	2.493 E+00
8E-03	5.932 E-02	6.126 E-02	5.443 E-01	5.592 E-01	1.137 E+00	1.164 E+00	1.844 E+00	1.891 E+00
1E-02	4.002 E-02	4.121 E-02	3.808 E-01	3.921 E-01	8.391 E-01	8.631 E-01	1.433 E+00	1.468 E+00
2E-02	1.088 E-02	1.119 E-02	1.130 E-01	1.166 E-01	2.752 E-01	2.852 E-01	5.182 E-01	5.344 E-01
3E-02	4.933 E-03	5.062 E-03	5.280 E-02	5.432 E-02	1.339 E-01	1.383 E-01	2.583 E-01	2.671 E-01
4E-02	2.790 E-03	2.866 E-03	3.016 E-02	3.113 E-02	7.789 E-02	8.079 E-02	1.536 E-01	1.591 E-01
5E-02	1.791 E-03	1.840 E-03	1.952 E-02	2.010 E-02	5.109 E-02	5.273 E-02	1.023 E-01	1.050 E-01
6E-02	1.248 E-03	1.280 E-03	1.364 E-02	1.403 E-02	3.588 E-02	3.703 E-02	7.177 E-02	7.430 E-02
8E-02	7.021 E-04	7.211 E-04	7.687 E-03	7.933 E-03	2.033 E-02	2.107 E-02	4.118 E-02	4.262 E-02
1E-01	4.496 E-04	4.619 E-04	4.943 E-03	5.089 E-03	1.315 E-02	1.356 E-02	2.689 E-02	2.755 E-02
2E-01	1.125 E-04	1.156 E-04	1.240 E-03	1.276 E-03	3.314 E-03	3.417 E-03	6.817 E-03	6.980 E-03
3E-01	5.029 E-05	5.138 E-05	5.532 E-04	5.676 E-04	1.475 E-03	1.521 E-03	3.034 E-03	3.110 E-03
4E-01	2.814 E-05	2.890 E-05	3.102 E-04	3.194 E-04	8.300 E-04	8.558 E-04	1.710 E-03	1.751 E-03
5E-01	1.799 E-05	1.850 E-05	1.988 E-04	2.044 E-04	5.325 E-04	5.478 E-04	1.089 E-03	1.121 E-03
6E-01	1.257 E-05	1.285 E-05	1.383 E-04	1.420 E-04	3.692 E-04	3.805 E-04	7.597 E-04	7.788 E-04
8E-01	7.035 E-06	7.226 E-06	7.757 E-05	7.986 E-05	2.076 E-04	2.141 E-04	4.280 E-04	4.382 E-04
1E+00	4.496 E-06	4.625 E-06	4.970 E-05	5.111 E-05	1.332 E-04	1.370 E-04	2.724 E-04	2.805 E-04
2E+00	1.125 E-06	1.156 E-06	1.243 E-05	1.278 E-05	3.330 E-05	3.425 E-05	6.810 E-05	7.011 E-05
3E+00	4.977 E-07	5.139 E-07	5.505 E-06	5.679 E-06	1.481 E-05	1.522 E-05	3.044 E-05	3.116 E-05
4E+00	2.812 E-07	2.891 E-07	3.106 E-06	3.194 E-06	8.325 E-06	8.563 E-06	1.703 E-05	1.753 E-05
5E+00	1.807 E-07	1.850 E-07	1.988 E-06	2.044 E-06	5.307 E-06	5.481 E-06	1.090 E-05	1.122 E-05
6E+00	1.244 E-07	1.285 E-07	1.376 E-06	1.420 E-06	3.702 E-06	3.806 E-06	7.611 E-06	7.791 E-06
8E+00	7.030 E-08	7.227 E-08	7.766 E-07	7.986 E-07	2.081 E-06	2.141 E-06	4.257 E-06	4.382 E-06

$\sigma_{coh}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{coh}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.



**Tablo-6.1.2:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Azot (N-7)		Sodyum (Na-11)		Magnezyum (Mg-12)		Alüminyum (Al-13)	
	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$
1E-04	3.137 E+01	3.255 E+01	7.745 E+01	8.037 E+01	9.221 E+01	9.569 E+01	1.082 E+02	1.124 E+02
2E-04	3.131 E+01	3.247 E+01	7.722 E+01	8.010 E+01	9.192 E+01	9.534 E+01	1.079 E+02	1.119 E+02
3E-04	3.119 E+01	3.234 E+01	7.682 E+01	7.965 E+01	9.142 E+01	9.479 E+01	1.073 E+02	1.112 E+02
4E-04	3.102 E+01	3.215 E+01	7.626 E+01	7.904 E+01	9.074 E+01	9.404 E+01	1.064 E+02	1.103 E+02
5E-04	3.079 E+01	3.191 E+01	7.554 E+01	7.828 E+01	8.985 E+01	9.312 E+01	1.053 E+02	1.091 E+02
6E-04	3.052 E+01	3.162 E+01	7.475 E+01	7.743 E+01	8.886 E+01	9.202 E+01	1.041 E+02	1.078 E+02
8E-04	2.984 E+01	3.090 E+01	7.289 E+01	7.545 E+01	8.643 E+01	8.946 E+01	1.011 E+02	1.046 E+02
1E-03	2.904 E+01	3.003 E+01	7.083 E+01	7.327 E+01	8.374 E+01	8.659 E+01	9.774 E+01	1.010 E+02
2E-03	2.366 E+01	2.433 E+01	6.069 E+01	6.264 E+01	6.952 E+01	7.170 E+01	7.987 E+01	8.231 E+01
3E-03	1.816 E+01	1.861 E+01	5.201 E+01	5.354 E+01	5.854 E+01	6.037 E+01	6.619 E+01	6.818 E+01
4E-03	1.387 E+01	1.421 E+01	4.406 E+01	4.522 E+01	5.005 E+01	5.146 E+01	5.636 E+01	5.798 E+01
5E-03	1.089 E+01	1.110 E+01	3.701 E+01	3.786 E+01	4.285 E+01	4.391 E+01	4.860 E+01	4.994 E+01
6E-03	8.694 E+00	8.926 E+00	3.096 E+01	3.167 E+01	3.653 E+01	3.743 E+01	4.207 E+01	4.314 E+01
8E-03	6.070 E+00	6.244 E+00	2.207 E+01	2.261 E+01	2.675 E+01	2.739 E+01	3.160 E+01	3.234 E+01
1E-02	4.596 E+00	4.722 E+00	1.632 E+01	1.680 E+01	2.002 E+01	2.058 E+01	2.399 E+01	2.465 E+01
2E-02	1.824 E+00	1.867 E+00	5.951 E+00	6.142 E+00	7.327 E+00	7.568 E+00	8.853 E+00	9.146 E+00
3E-02	9.585 E-01	9.811 E-01	3.189 E+00	3.272 E+00	3.936 E+00	4.043 E+00	4.757 E+00	4.895 E+00
4E-02	5.855 E-01	6.015 E-01	1.974 E+00	2.033 E+00	2.450 E+00	2.524 E+00	2.975 E+00	3.067 E+00
5E-02	3.927 E-01	4.043 E-01	1.333 E+00	1.377 E+00	1.661 E+00	1.716 E+00	2.029 E+00	2.094 E+00
6E-02	2.830 E-01	2.903 E-01	9.700 E-01	9.938 E-01	1.211 E+00	1.241 E+00	1.479 E+00	1.517 E+00
8E-02	1.653 E-01	1.699 E-01	5.684 E-01	5.856 E-01	7.110 E-01	7.328 E-01	8.707 E-01	8.975 E-01
1E-01	1.077 E-01	1.111 E-01	3.717 E-01	3.857 E-01	4.658 E-01	4.834 E-01	5.721 E-01	5.929 E-01
2E-01	2.781 E-02	2.870 E-02	9.758 E-02	1.014 E-01	1.228 E-01	1.276 E-01	1.514 E-01	1.571 E-01
3E-01	1.253 E-02	1.284 E-02	4.421 E-02	4.560 E-02	5.570 E-02	5.747 E-02	6.869 E-02	7.084 E-02
4E-01	7.015 E-03	7.239 E-03	2.477 E-02	2.576 E-02	3.124 E-02	3.248 E-02	3.859 E-02	4.006 E-02
5E-01	4.538 E-03	4.639 E-03	1.615 E-02	1.652 E-02	2.036 E-02	2.084 E-02	2.511 E-02	2.571 E-02
6E-01	3.145 E-03	3.224 E-03	1.113 E-02	1.149 E-02	1.404 E-02	1.449 E-02	1.734 E-02	1.788 E-02
8E-01	1.758 E-03	1.814 E-03	6.219 E-03	6.468 E-03	7.849 E-03	8.161 E-03	9.700 E-03	1.007 E-02
1E+00	1.136 E-03	1.162 E-03	4.049 E-03	4.142 E-03	5.107 E-03	5.226 E-03	6.301 E-03	6.450 E-03
2E+00	2.842 E-04	2.904 E-04	1.013 E-03	1.036 E-03	1.278 E-03	1.307 E-03	1.577 E-03	1.614 E-03
3E+00	1.259 E-04	1.291 E-04	4.479 E-04	4.605 E-04	5.656 E-04	5.812 E-04	6.988 E-04	7.173 E-04
4E+00	7.105 E-05	7.261 E-05	2.533 E-04	2.590 E-04	3.195 E-04	3.269 E-04	3.943 E-04	4.035 E-04
5E+00	4.539 E-05	4.647 E-05	1.613 E-04	1.658 E-04	2.035 E-04	2.092 E-04	2.513 E-04	2.583 E-04
6E+00	3.149 E-05	3.228 E-05	1.120 E-04	1.151 E-04	1.414 E-04	1.453 E-04	1.747 E-04	1.794 E-04
8E+00	1.776 E-05	1.815 E-05	6.333 E-05	6.476 E-05	7.989 E-05	8.173 E-05	9.857 E-05	1.009 E-04

$\sigma_{coh}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{coh}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo-6.1.3:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Silisyum (Si-14)		Potasyum (K-19)		Kalsiyum (Ca-20)		Demir (Fe-26)	
	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$
1E-04	1.256 E+02	1.303 E+02	2.312 E+02	2.400 E+02	2.562 E+02	2.659 E+02	4.330 E+02	4.493 E+02
2E-04	1.252 E+02	1.298 E+02	2.304 E+02	2.390 E+02	2.552 E+02	2.647 E+02	4.322 E+02	4.483 E+02
3E-04	1.245 E+02	1.291 E+02	2.290 E+02	2.375 E+02	2.536 E+02	2.630 E+02	4.307 E+02	4.466 E+02
4E-04	1.236 E+02	1.281 E+02	2.272 E+02	2.355 E+02	2.515 E+02	2.606 E+02	4.286 E+02	4.444 E+02
5E-04	1.224 E+02	1.269 E+02	2.249 E+02	2.331 E+02	2.487 E+02	2.577 E+02	4.259 E+02	4.415 E+02
6E-04	1.211 E+02	1.254 E+02	2.224 E+02	2.303 E+02	2.457 E+02	2.544 E+02	4.228 E+02	4.381 E+02
8E-04	1.178 E+02	1.220 E+02	2.165 E+02	2.241 E+02	2.384 E+02	2.467 E+02	4.151 E+02	4.300 E+02
1E-03	1.141 E+02	1.179 E+02	2.101 E+02	2.173 E+02	2.305 E+02	2.383 E+02	4.063 E+02	4.204 E+02
2E-03	9.280 E+01	9.557 E+01	1.773 E+02	1.828 E+02	1.911 E+02	1.970 E+02	3.531 E+02	3.642 E+02
3E-03	7.561 E+01	7.782 E+01	1.469 E+02	1.509 E+02	1.591 E+02	1.636 E+02	3.017 E+02	3.106 E+02
4E-03	6.360 E+01	6.544 E+01	1.210 E+02	1.242 E+02	1.327 E+02	1.362 E+02	2.568 E+02	2.638 E+02
5E-03	5.479 E+01	5.632 E+01	1.013 E+02	1.036 E+02	1.117 E+02	1.142 E+02	2.187 E+02	2.239 E+02
6E-03	4.769 E+01	4.899 E+01	8.579 E+01	8.813 E+01	9.476 E+01	9.721 E+01	1.864 E+02	1.909 E+02
8E-03	3.656 E+01	3.744 E+01	6.562 E+01	6.748 E+01	7.209 E+01	7.408 E+01	1.390 E+02	1.425 E+02
1E-02	2.825 E+01	2.897 E+01	5.279 E+01	5.416 E+01	5.781 E+01	5.940 E+01	1.078 E+02	1.109 E+02
2E-02	1.056 E+01	1.089 E+01	2.199 E+01	2.253 E+01	2.467 E+01	2.528 E+01	4.630 E+01	4.758 E+01
3E-02	5.667 E+00	5.835 E+00	1.174 E+01	1.209 E+01	1.322 E+01	1.359 E+01	2.552 E+01	2.611 E+01
4E-02	3.559 E+00	3.668 E+00	7.432 E+00	7.651 E+00	8.365 E+00	8.615 E+00	1.607 E+01	1.654 E+01
5E-02	2.439 E+00	2.513 E+00	5.169 E+00	5.301 E+00	5.827 E+00	5.976 E+00	1.108 E+01	1.144 E+01
6E-02	1.778 E+00	1.825 E+00	3.786 E+00	3.891 E+00	4.276 E+00	4.394 E+00	8.241 E+00	8.438 E+00
8E-02	1.050 E+00	1.082 E+00	2.276 E+00	2.339 E+00	2.579 E+00	2.650 E+00	5.006 E+00	5.145 E+00
1E-01	6.916 E-01	7.157 E-01	1.515 E+00	1.557 E+00	1.720 E+00	1.767 E+00	3.346 E+00	3.460 E+00
2E-01	1.837 E-01	1.904 E-01	4.080 E-01	4.199 E-01	4.644 E-01	4.779 E-01	9.153 E-01	9.483 E-01
3E-01	8.342 E-02	8.594 E-02	1.862 E-01	1.908 E-01	2.122 E-01	2.175 E-01	4.216 E-01	4.339 E-01
4E-01	4.692 E-02	4.864 E-02	1.052 E-01	1.083 E-01	1.199 E-01	1.235 E-01	2.386 E-01	2.472 E-01
5E-01	3.048 E-02	3.122 E-02	6.811 E-02	6.961 E-02	7.779 E-02	7.942 E-02	1.570 E-01	1.593 E-01
6E-01	2.108 E-02	2.171 E-02	4.732 E-02	4.846 E-02	5.399 E-02	5.530 E-02	1.080 E-01	1.110 E-01
8E-01	1.180 E-02	1.223 E-02	2.654 E-02	2.733 E-02	3.030 E-02	3.119 E-02	6.055 E-02	6.270 E-02
1E+00	7.653 E-03	7.835 E-03	1.714 E-02	1.751 E-02	1.959 E-02	1.999 E-02	3.967 E-02	4.020 E-02
2E+00	1.915 E-03	1.961 E-03	4.294 E-03	4.384 E-03	4.957 E-03	5.005 E-03	9.950 E-03	1.007 E-02
3E+00	8.499 E-04	8.715 E-04	1.911 E-03	1.949 E-03	2.183 E-03	2.225 E-03	4.401 E-03	4.479 E-03
4E+00	4.790 E-04	4.903 E-04	1.074 E-03	1.096 E-03	1.227 E-03	1.252 E-03	2.489 E-03	2.520 E-03
5E+00	3.055 E-04	3.138 E-04	6.862 E-04	7.017 E-04	7.835 E-04	8.011 E-04	1.579 E-03	1.612 E-03
6E+00	2.125 E-04	2.179 E-04	4.778 E-04	4.874 E-04	5.459 E-04	5.564 E-04	1.101 E-03	1.120 E-03
8E+00	1.197 E-04	1.226 E-04	2.685 E-04	2.742 E-04	3.069 E-04	3.130 E-04	6.225 E-04	6.299 E-04

$\sigma_{coh}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{coh}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo-6.1.4:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Kobalt (Co-27)		Nikel (Ni-28)		Bakır (Cu-29)		Çinko (Zn-30)	
	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$
1E-04	4.670 E+02	4.845 E+02	5.023 E+02	5.211 E+02	5.389 E+02	5.590 E+02	5.767 E+02	5.982 E+02
2E-04	4.662 E+02	4.835 E+02	5.015 E+02	5.201 E+02	5.382 E+02	5.581 E+02	5.759 E+02	5.972 E+02
3E-04	4.647 E+02	4.819 E+02	5.000 E+02	5.185 E+02	5.369 E+02	5.567 E+02	5.745 E+02	5.957 E+02
4E-04	4.626 E+02	4.796 E+02	4.979 E+02	5.162 E+02	5.351 E+02	5.548 E+02	5.724 E+02	5.934 E+02
5E-04	4.599 E+02	4.768 E+02	4.952 E+02	5.134 E+02	5.327 E+02	5.522 E+02	5.697 E+02	5.906 E+02
6E-04	4.569 E+02	4.734 E+02	4.922 E+02	5.100 E+02	5.300 E+02	5.492 E+02	5.666 E+02	5.872 E+02
8E-04	4.491 E+02	4.653 E+02	4.844 E+02	5.018 E+02	5.230 E+02	5.420 E+02	5.588 E+02	5.790 E+02
1E-03	4.402 E+02	4.555 E+02	4.754 E+02	4.920 E+02	5.150 E+02	5.331 E+02	5.497 E+02	5.690 E+02
2E-03	3.855 E+02	3.978 E+02	4.194 E+02	4.328 E+02	4.622 E+02	4.772 E+02	4.913 E+02	5.072 E+02
3E-03	3.315 E+02	3.413 E+02	3.628 E+02	3.736 E+02	4.042 E+02	4.163 E+02	4.299 E+02	4.429 E+02
4E-03	2.836 E+02	2.913 E+02	3.119 E+02	3.205 E+02	3.490 E+02	3.586 E+02	3.734 E+02	3.838 E+02
5E-03	2.424 E+02	2.482 E+02	2.676 E+02	2.742 E+02	2.999 E+02	3.071 E+02	3.230 E+02	3.311 E+02
6E-03	2.071 E+02	2.121 E+02	2.294 E+02	2.350 E+02	2.570 E+02	2.633 E+02	2.787 E+02	2.855 E+02
8E-03	1.546 E+02	1.585 E+02	1.717 E+02	1.759 E+02	1.922 E+02	1.970 E+02	2.100 E+02	2.151 E+02
1E-02	1.196 E+02	1.231 E+02	1.326 E+02	1.364 E+02	1.482 E+02	1.524 E+02	1.621 E+02	1.667 E+02
2E-02	5.092 E+01	5.237 E+01	5.590 E+01	5.753 E+01	6.166 E+01	6.348 E+01	6.709 E+01	6.912 E+01
3E-02	2.820 E+01	2.884 E+01	3.109 E+01	3.179 E+01	3.434 E+01	3.512 E+01	3.751 E+01	3.838 E+01
4E-02	1.775 E+01	1.827 E+01	1.958 E+01	2.014 E+01	2.162 E+01	2.224 E+01	2.366 E+01	2.433 E+01
5E-02	1.221 E+01	1.262 E+01	1.343 E+01	1.390 E+01	1.481 E+01	1.533 E+01	1.618 E+01	1.677 E+01
6E-02	9.096 E+00	9.310 E+00	1.002 E+01	1.025 E+01	1.104 E+01	1.129 E+01	1.207 E+01	1.235 E+01
8E-02	5.525 E+00	5.680 E+00	6.083 E+00	6.253 E+00	6.699 E+00	6.886 E+00	7.320 E+00	7.525 E+00
1E-01	3.692 E+00	3.823 E+00	4.064 E+00	4.213 E+00	4.474 E+00	4.641 E+00	4.888 E+00	5.075 E+00
2E-01	1.012 E+00	1.050 E+00	1.116 E+00	1.159 E+00	1.230 E+00	1.278 E+00	1.346 E+00	1.400 E+00
3E-01	4.665 E-01	4.805 E-01	5.150 E-01	5.309 E-01	5.680 E-01	5.857 E-01	6.222 E-01	6.419 E-01
4E-01	2.640 E-01	2.739 E-01	2.916 E-01	3.027 E-01	3.217 E-01	3.340 E-01	3.525 E-01	3.662 E-01
5E-01	1.741 E-01	1.765 E-01	1.925 E-01	1.951 E-01	2.126 E-01	2.154 E-01	2.332 E-01	2.362 E-01
6E-01	1.196 E-01	1.230 E-01	1.322 E-01	1.361 E-01	1.459 E-01	1.502 E-01	1.600 E-01	1.647 E-01
8E-01	6.705 E-02	6.950 E-02	7.412 E-02	7.686 E-02	8.181 E-02	8.487 E-02	8.971 E-02	9.310 E-02
1E+00	4.401 E-02	4.456 E-02	4.870 E-02	4.929 E-02	5.380 E-02	5.443 E-02	5.905 E-02	5.971 E-02
2E+00	1.104 E-02	1.117 E-02	1.222 E-02	1.235 E-02	1.350 E-02	1.364 E-02	1.482 E-02	1.497 E-02
3E+00	4.880 E-03	4.966 E-03	5.399 E-03	5.493 E-03	5.964 E-03	6.067 E-03	6.547 E-03	6.657 E-03
4E+00	2.762 E-03	2.794 E-03	3.058 E-03	3.090 E-03	3.379 E-03	3.413 E-03	3.709 E-03	3.745 E-03
5E+00	1.751 E-03	1.788 E-03	1.937 E-03	1.978 E-03	2.141 E-03	2.184 E-03	2.350 E-03	2.397 E-03
6E+00	1.220 E-03	1.242 E-03	1.350 E-03	1.374 E-03	1.492 E-03	1.517 E-03	1.637 E-03	1.665 E-03
8E+00	6.907 E-04	6.984 E-04	7.646 E-04	7.727 E-04	8.449 E-04	8.534 E-04	9.276 E-04	9.364 E-04

$\sigma_{coh}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{coh}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo-6.1.5:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Germanyum (Ge-32)		Gümüş (Ag-47)		Iyot (I-53)		Sezyum (Cs-55)	
	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$
1E-04	6.561 E+02	6.806 E+02	1.416 E+03	1.469 E+03	1.801 E+03	1.868 E+03	1.938 E+03	2.011 E+03
2E-04	6.551 E+02	6.794 E+02	1.414 E+03	1.467 E+03	1.798 E+03	1.865 E+03	1.934 E+03	2.006 E+03
3E-04	6.532 E+02	6.773 E+02	1.411 E+03	1.463 E+03	1.793 E+03	1.859 E+03	1.926 E+03	1.997 E+03
4E-04	6.505 E+02	6.744 E+02	1.406 E+03	1.458 E+03	1.786 E+03	1.852 E+03	1.916 E+03	1.986 E+03
5E-04	6.471 E+02	6.708 E+02	1.400 E+03	1.451 E+03	1.777 E+03	1.843 E+03	1.904 E+03	1.973 E+03
6E-04	6.431 E+02	6.664 E+02	1.393 E+03	1.443 E+03	1.767 E+03	1.831 E+03	1.890 E+03	1.958 E+03
8E-04	6.331 E+02	6.559 E+02	1.375 E+03	1.425 E+03	1.741 E+03	1.804 E+03	1.856 E+03	1.923 E+03
1E-03	6.216 E+02	6.433 E+02	1.354 E+03	1.402 E+03	1.712 E+03	1.772 E+03	1.820 E+03	1.884 E+03
2E-03	5.496 E+02	5.673 E+02	1.216 E+03	1.255 E+03	1.515 E+03	1.563 E+03	1.614 E+03	1.666 E+03
3E-03	4.791 E+02	4.937 E+02	1.062 E+03	1.094 E+03	1.315 E+03	1.355 E+03	1.406 E+03	1.448 E+03
4E-03	4.184 E+02	4.304 E+02	9.190 E+02	9.446 E+02	1.147 E+03	1.180 E+03	1.224 E+03	1.260 E+03
5E-03	3.659 E+02	3.756 E+02	7.973 E+02	8.169 E+02	1.007 E+03	1.035 E+03	1.076 E+03	1.105 E+03
6E-03	3.197 E+02	3.279 E+02	6.939 E+02	7.122 E+02	8.881 E+02	9.118 E+02	9.508 E+02	9.770 E+02
8E-03	2.454 E+02	2.514 E+02	5.442 E+02	5.588 E+02	7.016 E+02	7.196 E+02	7.560 E+02	7.756 E+02
1E-02	1.910 E+02	1.962 E+02	4.429 E+02	4.553 E+02	5.670 E+02	5.831 E+02	6.126 E+02	6.295 E+02
2E-02	7.853 E+01	8.096 E+01	2.003 E+02	2.054 E+02	2.643 E+02	2.713 E+02	2.865 E+02	2.942 E+02
3E-02	4.421 E+01	4.527 E+01	1.117 E+02	1.150 E+02	1.494 E+02	1.532 E+02	1.633 E+02	1.671 E+02
4E-02	2.800 E+01	2.879 E+01	7.272 E+01	7.488 E+01	9.684 E+01	9.978 E+01	1.058 E+02	1.089 E+02
5E-02	1.914 E+01	1.984 E+01	5.139 E+01	5.268 E+01	6.860 E+01	7.053 E+01	7.477 E+01	7.701 E+01
6E-02	1.427 E+01	1.460 E+01	3.795 E+01	3.895 E+01	5.124 E+01	5.249 E+01	5.608 E+01	5.739 E+01
8E-02	8.653 E+00	8.896 E+00	2.302 E+01	2.368 E+01	3.121 E+01	3.209 E+01	3.423 E+01	3.518 E+01
1E-01	5.780 E+00	6.007 E+00	1.554 E+01	1.600 E+01	2.103 E+01	2.169 E+01	2.301 E+01	2.379 E+01
2E-01	1.599 E+00	1.664 E+00	4.407 E+00	4.537 E+00	5.998 E+00	6.189 E+00	6.571 E+00	6.797 E+00
3E-01	7.397 E-01	7.635 E-01	2.048 E+00	2.099 E+00	2.804 E+00	2.876 E+00	3.080 E+00	3.163 E+00
4E-01	4.195 E-01	4.359 E-01	1.176 E+00	1.204 E+00	1.614 E+00	1.653 E+00	1.774 E+00	1.819 E+00
5E-01	2.778 E-01	2.813 E-01	7.718 E-01	7.794 E-01	1.066 E+00	1.071 E+00	1.176 E+00	1.180 E+00
6E-01	1.907 E-01	1.963 E-01	5.370 E-01	5.451 E-01	7.404 E-01	7.501 E-01	8.156 E-01	8.263 E-01
8E-01	1.070 E-01	1.110 E-01	3.033 E-01	3.092 E-01	4.185 E-01	4.260 E-01	4.607 E-01	4.694 E-01
1E+00	7.042 E-02	7.118 E-02	1.975 E-01	1.987 E-01	2.738 E-01	2.740 E-01	3.025 E-01	3.020 E-01
2E+00	1.768 E-02	1.785 E-02	4.984 E-02	4.996 E-02	6.926 E-02	6.900 E-02	7.659 E-02	7.610 E-02
3E+00	7.815 E-03	7.939 E-03	2.221 E-02	2.224 E-02	3.083 E-02	3.071 E-02	3.406 E-02	3.388 E-02
4E+00	4.427 E-03	4.466 E-03	1.249 E-02	1.251 E-02	1.737 E-02	1.728 E-02	1.922 E-02	1.906 E-02
5E+00	2.805 E-03	2.859 E-03	7.969 E-03	8.009 E-03	1.107 E-02	1.106 E-02	1.224 E-02	1.220 E-02
6E+00	1.955 E-03	1.986 E-03	5.559 E-03	5.564 E-03	7.721 E-03	7.687 E-03	8.531 E-03	8.480 E-03
8E+00	1.107 E-03	1.117 E-03	3.126 E-03	3.130 E-03	4.349 E-03	4.323 E-03	4.812 E-03	4.769 E-03

$\sigma_{coh}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{coh}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo-6.1.6:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Baryum (Ba-56)		Altın (Au-79)		Civa (Hg-80)		Kurşun (Pb-82)	
	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$
1E-04	2.009 E+03	2.085 E+03	4.001 E+03	4.150 E+03	4.103 E+03	4.256 E+03	4.310 E+03	4.471 E+03
2E-04	2.004 E+03	2.079 E+03	3.997 E+03	4.145 E+03	4.098 E+03	4.250 E+03	4.305 E+03	4.465 E+03
3E-04	1.996 E+03	2.069 E+03	3.990 E+03	4.137 E+03	4.091 E+03	4.242 E+03	4.296 E+03	4.454 E+03
4E-04	1.984 E+03	2.057 E+03	3.980 E+03	4.126 E+03	4.080 E+03	4.230 E+03	4.283 E+03	4.440 E+03
5E-04	1.970 E+03	2.041 E+03	3.966 E+03	4.112 E+03	4.065 E+03	4.215 E+03	4.266 E+03	4.422 E+03
6E-04	1.953 E+03	2.024 E+03	3.951 E+03	4.096 E+03	4.049 E+03	4.197 E+03	4.247 E+03	4.401 E+03
8E-04	1.915 E+03	1.983 E+03	3.912 E+03	4.055 E+03	4.007 E+03	4.153 E+03	4.198 E+03	4.350 E+03
1E-03	1.873 E+03	1.939 E+03	3.867 E+03	4.005 E+03	3.959 E+03	4.100 E+03	4.141 E+03	4.289 E+03
2E-03	1.653 E+03	1.706 E+03	3.556 E+03	3.674 E+03	3.632 E+03	3.754 E+03	3.779 E+03	3.905 E+03
3E-03	1.445 E+03	1.489 E+03	3.195 E+03	3.295 E+03	3.266 E+03	3.368 E+03	3.398 E+03	3.505 E+03
4E-03	1.261 E+03	1.298 E+03	2.847 E+03	2.930 E+03	2.914 E+03	3.000 E+03	3.041 E+03	3.132 E+03
5E-03	1.110 E+03	1.139 E+03	2.538 E+03	2.607 E+03	2.601 E+03	2.671 E+03	2.723 E+03	2.797 E+03
6E-03	9.808 E+02	1.008 E+03	2.266 E+03	2.329 E+03	2.324 E+03	2.388 E+03	2.438 E+03	2.505 E+03
8E-03	7.822 E+02	8.027 E+02	1.840 E+03	1.889 E+03	1.887 E+03	1.938 E+03	1.983 E+03	2.036 E+03
1E-02	6.354 E+02	6.526 E+02	1.520 E+03	1.561 E+03	1.561 E+03	1.603 E+03	1.641 E+03	1.686 E+03
2E-02	2.975 E+02	3.055 E+02	6.952 E+02	7.141 E+02	7.169 E+02	7.363 E+02	7.612 E+02	7.816 E+02
3E-02	1.704 E+02	1.743 E+02	4.056 E+02	4.171 E+02	4.179 E+02	4.299 E+02	4.428 E+02	4.558 E+02
4E-02	1.104 E+02	1.136 E+02	2.682 E+02	2.754 E+02	2.766 E+02	2.841 E+02	2.936 E+02	3.018 E+02
5E-02	7.791 E+01	8.032 E+01	1.881 E+02	1.941 E+02	1.943 E+02	2.004 E+02	2.071 E+02	2.133 E+02
6E-02	5.858 E+01	5.992 E+01	1.414 E+02	1.449 E+02	1.459 E+02	1.496 E+02	1.552 E+02	1.592 E+02
8E-02	3.581 E+01	3.678 E+01	8.761 E+01	8.996 E+01	9.041 E+01	9.287 E+01	9.614 E+01	9.880 E+01
1E-01	2.404 E+01	2.488 E+01	5.930 E+01	6.145 E+01	6.128 E+01	6.346 E+01	6.532 E+01	6.757 E+01
2E-01	6.872 E+00	7.115 E+00	1.705 E+01	1.772 E+01	1.763 E+01	1.831 E+01	1.881 E+01	1.951 E+01
3E-01	3.226 E+00	3.314 E+00	8.145 E+00	8.371 E+00	8.422 E+00	8.654 E+00	8.989 E+00	9.232 E+00
4E-01	1.858 E+00	1.907 E+00	4.733 E+00	4.860 E+00	4.897 E+00	5.027 E+00	5.235 E+00	5.368 E+00
5E-01	1.234 E+00	1.237 E+00	3.179 E+00	3.169 E+00	3.288 E+00	3.278 E+00	3.512 E+00	3.502 E+00
6E-01	8.552 E-01	8.663 E-01	2.211 E+00	2.228 E+00	2.288 E+00	2.306 E+00	2.447 E+00	2.465 E+00
8E-01	4.829 E-01	4.923 E-01	1.254 E+00	1.273 E+00	1.298 E+00	1.318 E+00	1.390 E+00	1.410 E+00
1E+00	3.176 E-01	3.168 E-01	8.297 E-01	8.226 E-01	8.588 E-01	8.516 E-01	9.185 E-01	9.111 E-01
2E+00	8.045 E-02	7.984 E-02	2.121 E-01	2.089 E-01	2.196 E-01	2.164 E-01	2.351 E-01	2.317 E-01
3E+00	3.575 E-02	3.555 E-02	9.456 E-02	9.320 E-02	9.798 E-02	9.654 E-02	1.050 E-01	1.034 E-01
4E+00	2.019 E-02	2.000 E-02	5.354 E-02	5.249 E-02	5.547 E-02	5.437 E-02	5.945 E-02	5.825 E-02
5E+00	1.285 E-02	1.281 E-02	3.424 E-02	3.362 E-02	3.548 E-02	3.483 E-02	3.805 E-02	3.731 E-02
6E+00	8.958 E-03	8.897 E-03	2.383 E-02	2.336 E-02	2.471 E-02	2.420 E-02	2.652 E-02	2.593 E-02
8E+00	5.055 E-03	5.004 E-03	1.349 E-02	1.314 E-02	1.398 E-02	1.362 E-02	1.500 E-02	1.459 E-02

$\sigma_{coh}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{coh}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo-6.1.7:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam coherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Bizmut(Bi-83)		Radyum (Ra-88)		Uranyum(U-92)	
	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$	$\sigma_{coh}$	$\sigma_{coh}^*$
1E-04	4.416 E+03	4.581 E+03	4.963 E+03	5.150 E+03	5.424 E+03	5.627 E+03
2E-04	4.411 E+03	4.574 E+03	4.953 E+03	5.137 E+03	5.415 E+03	5.616 E+03
3E-04	4.401 E+03	4.564 E+03	4.937 E+03	5.119 E+03	5.399 E+03	5.598 E+03
4E-04	4.388 E+03	4.549 E+03	4.915 E+03	5.095 E+03	5.377 E+03	5.575 E+03
5E-04	4.370 E+03	4.531 E+03	4.887 E+03	5.066 E+03	5.349 E+03	5.545 E+03
6E-04	4.350 E+03	4.509 E+03	4.856 E+03	5.032 E+03	5.318 E+03	5.511 E+03
8E-04	4.299 E+03	4.456 E+03	4.782 E+03	4.954 E+03	5.242 E+03	5.431 E+03
1E-03	4.241 E+03	4.391 E+03	4.701 E+03	4.867 E+03	5.157 E+03	5.340 E+03
2E-03	3.861 E+03	3.990 E+03	4.257 E+03	4.399 E+03	4.672 E+03	4.827 E+03
3E-03	3.466 E+03	3.575 E+03	3.818 E+03	3.937 E+03	4.187 E+03	4.318 E+03
4E-03	3.104 E+03	3.197 E+03	3.416 E+03	3.519 E+03	3.741 E+03	3.853 E+03
5E-03	2.782 E+03	2.859 E+03	3.072 E+03	3.158 E+03	3.358 E+03	3.451 E+03
6E-03	2.495 E+03	2.563 E+03	2.767 E+03	2.846 E+03	3.021 E+03	3.108 E+03
8E-03	2.031 E+03	2.085 E+03	2.273 E+03	2.334 E+03	2.485 E+03	2.552 E+03
1E-02	1.682 E+03	1.728 E+03	1.890 E+03	1.942 E+03	2.071 E+03	2.127 E+03
2E-02	7.838 E+02	8.047 E+02	9.002 E+02	9.238 E+02	1.000 E+03	1.026 E+03
3E-02	4.555 E+02	4.690 E+02	5.219 E+02	5.373 E+02	5.806 E+02	5.969 E+02
4E-02	3.023 E+02	3.108 E+02	3.471 E+02	3.573 E+02	3.859 E+02	3.973 E+02
5E-02	2.136 E+02	2.199 E+02	2.474 E+02	2.542 E+02	2.762 E+02	2.837 E+02
6E-02	1.600 E+02	1.641 E+02	1.851 E+02	1.898 E+02	2.070 E+02	2.121 E+02
8E-02	9.906 E+01	1.018 E+02	1.144 E+02	1.177 E+02	1.278 E+02	1.315 E+02
1E-01	6.739 E+01	6.967 E+01	7.815 E+01	8.064 E+01	8.738 E+01	9.012 E+01
2E-01	1.942 E+01	2.013 E+01	2.258 E+01	2.335 E+01	2.532 E+01	2.615 E+01
3E-01	9.279 E+00	9.528 E+00	1.079 E+01	1.108 E+01	1.210 E+01	1.242 E+01
4E-01	5.408 E+00	5.542 E+00	6.312 E+00	6.456 E+00	7.095 E+00	7.253 E+00
5E-01	3.627 E+00	3.617 E+00	4.228 E+00	4.220 E+00	4.755 E+00	4.748 E+00
6E-01	2.528 E+00	2.546 E+00	2.954 E+00	2.974 E+00	3.325 E+00	3.349 E+00
8E-01	1.438 E+00	1.457 E+00	1.685 E+00	1.704 E+00	1.902 E+00	1.922 E+00
1E+00	9.491 E-01	9.416 E-01	1.111 E+00	1.103 E+00	1.253 E+00	1.245 E+00
2E+00	2.431 E-01	2.396 E-01	2.852 E-01	2.814 E-01	3.226 E-01	3.184 E-01
3E+00	1.086 E-01	1.070 E-01	1.279 E-01	1.257 E-01	1.450 E-01	1.424 E-01
4E+00	6.149 E-02	6.025 E-02	7.241 E-02	7.083 E-02	8.223 E-02	8.026 E-02
5E+00	3.937 E-02	3.859 E-02	4.645 E-02	4.538 E-02	5.283 E-02	5.143 E-02
6E+00	2.745 E-02	2.682 E-02	3.246 E-02	3.154 E-02	3.700 E-02	3.575 E-02
8E+00	1.553 E-02	1.509 E-02	1.839 E-02	1.775 E-02	2.101 E-02	2.012 E-02

$\sigma_{coh}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{coh}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

## 6.2. İncoherent Saçılma Tesir Kesitinin Hesabı

Atom başına incoherent saçılma tesir kesitinin bulunmasında önemi büyük olan, elektronun atoma bağ etkisini ortaya koyan  $S(X,Z)$  saçılma fonksiyonu, denklem (6.1)'de,  $X$ 'in küçük değerlerinde küçük, artan  $X$  değerlerinde ise arttığı gözlenmiştir[2]. Bu nedenle, değişen  $X$  değerleri için lineer eşelleme yapılmak istenmiştir. Bu amaçla,  $S(X,Z)$  değerleri kullanılarak hesaplanan toplam incoherent saçılma tesir kesiti, nümerik olarak lineer eşelleme yoluyla bulunmuştur.

Denklem (6.1)'de verilen  $X$  değeri, herhangi bir  $E$  enerji değerinde,  $\theta$  saçılma açısına bağlı olarak değişmektedir.  $\theta$  saçılma açısı ise,  $(0-\pi)$  aralığında değişmektedir. Buna göre  $X$  değerleri,

$$X_i = \frac{\sin(\theta_i / 2) E (\text{MeV})}{0.012398520} \quad (6.10)$$

ifadesinde verildiği şekilde birer derece açı aralıkları ile bulunmuştur. Bulduğumuz  $X$  değerlerine karşılık gelen  $S(X,Z)$  saçılma fonksiyonu değerleri, Hubbell tarafından verilen tablolardan alınmıştır. Ara değerler için yamuk kaidesi uygulanmıştır.

Her bir  $\theta$  değeri için, denklem (3.14)'den elektron başına diferansiyel Klein-Nishina tesir kesiti,

$$\Delta \sigma_{\text{KN}}(\theta_i) = \frac{r_e^2}{2} [1 + k(1 - \cos\theta_i)]^{-2} \left[ 1 + \cos^2\theta_i + \frac{k^2 (1 - \cos\theta_i)^2}{1 + k(1 - \cos\theta_i)} \right] \Delta\Omega \quad (6.11)$$

ifadesiyle bulunmuştur. Burada,

$$\Delta\Omega = 2\pi \sin\theta \Delta\theta, \quad \Delta\theta = 1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad.}$$

Denklem (6.11), saçılma fonksiyonu  $S(X,Z)$  ile çarpılarak atom başına diferansiyel incoherent saçılma tesir kesiti,

$$d\sigma_{\text{inc}_i} = d\sigma_{\text{KN}}(\theta_i) * S(X_i, Z) \quad (6.12)$$

ifadesiyle bulunmuştur. Her bir  $\theta$  değeri için bulduğumuz atom başına diferansiyel incoherent saçılma tesir kesiti değerleri toplanarak, toplam incoherent saçılma tesir kesiti

bulunmuştur.

$$\sigma_{inc} = \sum_{i=0}^{180} d \sigma_{inc_i} \quad (6.13)$$

( $1 \cdot 10^{-4}$  - 8) MeV enerji aralığında, 27 değişik ortam için bulduğumuz toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri Tablo (6.2)'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.





**Tablo-6.2.1:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Hidrojen (H-1)		Helyum (He-2)		Lityum (Li-3)		Berilyum (Be-4)	
	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$
1E-04	1.094 E-03	9.552 E-04	1.595 E-03	1.524 E-03	6.560 E-03	5.741 E-03	4.336 E-03	3.773 E-03
2E-04	3.912 E-03	3.802 E-03	3.856 E-03	3.793 E-03	2.322 E-02	2.260 E-02	1.568 E-02	1.524 E-02
3E-04	8.617 E-03	8.494 E-03	7.177 E-03	7.081 E-03	5.007 E-02	4.944 E-02	3.449 E-02	3.401 E-02
4E-04	1.509 E-02	1.496 E-02	1.193 E-02	1.183 E-02	8.517 E-02	8.462 E-02	6.012 E-02	5.961 E-02
5E-04	2.333 E-02	2.310 E-02	1.814 E-02	1.796 E-02	1.267 E-01	1.261 E-01	9.218 E-02	9.138 E-02
6E-04	3.307 E-02	3.279 E-02	2.569 E-02	2.543 E-02	1.718 E-01	1.714 E-01	1.294 E-01	1.285 E-01
8E-04	5.694 E-02	5.629 E-02	4.494 E-02	4.426 E-02	2.643 E-01	2.656 E-01	2.167 E-01	2.153 E-01
1E-03	8.477 E-02	8.424 E-02	6.834 E-02	6.767 E-02	3.528 E-01	3.549 E-01	3.137 E-01	3.129 E-01
2E-03	2.475 E-01	2.478 E-01	2.321 E-01	2.317 E-01	6.366 E-01	6.378 E-01	7.887 E-01	7.907 E-01
3E-03	3.806 E-01	3.822 E-01	4.223 E-01	4.230 E-01	7.965 E-01	7.970 E-01	1.096 E+00	1.100 E+00
4E-03	4.658 E-01	4.675 E-01	5.930 E-01	5.948 E-01	9.355 E-01	9.361 E-01	1.288 E+00	1.291 E+00
5E-03	5.165 E-01	5.187 E-01	7.283 E-01	7.328 E-01	1.062 E+00	1.063 E+00	1.429 E+00	1.431 E+00
6E-03	5.486 E-01	5.503 E-01	8.339 E-01	8.385 E-01	1.174 E+00	1.177 E+00	1.546 E+00	1.548 E+00
8E-03	5.829 E-01	5.840 E-01	9.751 E-01	9.785 E-01	1.355 E+00	1.357 E+00	1.738 E+00	1.740 E+00
1E-02	5.985 E-01	5.993 E-01	1.056 E+00	1.059 E+00	1.480 E+00	1.483 E+00	1.886 E+00	1.888 E+00
2E-02	6.065 E-01	6.068 E-01	1.167 E+00	1.168 E+00	1.701 E+00	1.702 E+00	2.208 E+00	2.210 E+00
3E-02	5.923 E-01	5.924 E-01	1.162 E+00	1.163 E+00	1.717 E+00	1.718 E+00	2.254 E+00	2.256 E+00
4E-02	5.758 E-01	5.759 E-01	1.139 E+00	1.139 E+00	1.692 E+00	1.692 E+00	2.233 E+00	2.235 E+00
5E-02	5.596 E-01	5.597 E-01	1.111 E+00	1.111 E+00	1.655 E+00	1.656 E+00	2.192 E+00	2.193 E+00
6E-02	5.443 E-01	5.444 E-01	1.083 E+00	1.083 E+00	1.616 E+00	1.617 E+00	2.144 E+00	2.145 E+00
8E-02	5.166 E-01	5.166 E-01	1.030 E+00	1.030 E+00	1.540 E+00	1.540 E+00	2.047 E+00	2.047 E+00
1E-01	4.923 E-01	4.923 E-01	9.824 E-01	9.825 E-01	1.471 E+00	1.471 E+00	1.957 E+00	1.957 E+00
2E-01	4.064 E-01	4.064 E-01	8.122 E-01	8.124 E-01	1.217 E+00	1.218 E+00	1.622 E+00	1.623 E+00
3E-01	3.534 E-01	3.535 E-01	7.066 E-01	7.068 E-01	1.059 E+00	1.060 E+00	1.412 E+00	1.413 E+00
4E-01	3.166 E-01	3.168 E-01	6.332 E-01	6.334 E-01	9.496 E-01	9.499 E-01	1.266 E+00	1.266 E+00
5E-01	2.892 E-01	2.893 E-01	5.782 E-01	5.785 E-01	8.672 E-01	8.676 E-01	1.156 E+00	1.157 E+00
6E-01	2.675 E-01	2.676 E-01	5.349 E-01	5.352 E-01	8.023 E-01	8.028 E-01	1.070 E+00	1.070 E+00
8E-01	2.350 E-01	2.351 E-01	4.699 E-01	4.702 E-01	7.048 E-01	7.053 E-01	9.396 E-01	9.403 E-01
1E+00	2.112 E-01	2.114 E-01	4.224 E-01	4.228 E-01	6.336 E-01	6.341 E-01	8.447 E-01	8.455 E-01
2E+00	1.464 E-01	1.466 E-01	2.927 E-01	2.932 E-01	4.391 E-01	4.398 E-01	5.854 E-01	5.864 E-01
3E+00	1.151 E-01	1.153 E-01	2.302 E-01	2.307 E-01	3.453 E-01	3.460 E-01	4.604 E-01	4.613 E-01
4E+00	9.598 E-02	9.620 E-02	1.920 E-01	1.924 E-01	2.879 E-01	2.886 E-01	3.839 E-01	3.848 E-01
5E+00	8.287 E-02	8.308 E-02	1.657 E-01	1.662 E-01	2.486 E-01	2.492 E-01	3.315 E-01	3.323 E-01
6E+00	7.324 E-02	7.343 E-02	1.465 E-01	1.469 E-01	2.197 E-01	2.203 E-01	2.929 E-01	2.937 E-01
8E+00	5.989 E-02	6.007 E-02	1.198 E-01	1.201 E-01	1.797 E-01	1.802 E-01	2.396 E-01	2.403 E-01

$\sigma_{inc}$ : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{inc}^*$ : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo-6.2.2:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Azot (N-7)		Sodyum (Na-11)		Magnezyum (Mg-12)		Alüminyum (Al-13)	
	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$
1E-04	3.119 E-03	2.698 E-03	8.926 E-03	7.817 E-03	9.918 E-03	8.654 E-03	9.774 E-03	8.557 E-03
2E-04	1.151 E-02	1.118 E-02	3.150 E-02	3.067 E-02	3.547 E-02	3.450 E-02	3.452 E-02	3.357 E-02
3E-04	2.545 E-02	2.508 E-02	6.771 E-02	6.689 E-02	7.726 E-02	7.626 E-02	7.527 E-02	7.427 E-02
4E-04	4.470 E-02	4.428 E-02	1.149 E-01	1.142 E-01	1.330 E-01	1.320 E-01	1.301 E-01	1.290 E-01
5E-04	6.927 E-02	6.856 E-02	1.706 E-01	1.698 E-01	2.008 E-01	1.994 E-01	1.976 E-01	1.960 E-01
6E-04	9.859 E-02	9.770 E-02	2.315 E-01	2.308 E-01	2.773 E-01	2.759 E-01	2.746 E-01	2.730 E-01
8E-04	1.715 E-01	1.692 E-01	3.583 E-01	3.592 E-01	4.462 E-01	4.458 E-01	4.503 E-01	4.485 E-01
1E-03	2.581 E-01	2.560 E-01	4.835 E-01	4.848 E-01	6.216 E-01	6.228 E-01	6.397 E-01	6.394 E-01
2E-03	8.170 E-01	8.165 E-01	1.007 E+00	1.007 E+00	1.334 E+00	1.336 E+00	1.509 E+00	1.512 E+00
3E-03	1.388 E+00	1.392 E+00	1.508 E+00	1.507 E+00	1.841 E+00	1.841 E+00	2.117 E+00	2.120 E+00
4E-03	1.860 E+00	1.866 E+00	2.016 E+00	2.017 E+00	2.310 E+00	2.311 E+00	2.601 E+00	2.603 E+00
5E-03	2.213 E+00	2.225 E+00	2.497 E+00	2.503 E+00	2.758 E+00	2.762 E+00	3.039 E+00	3.041 E+00
6E-03	2.483 E+00	2.494 E+00	2.937 E+00	2.946 E+00	3.176 E+00	3.183 E+00	3.443 E+00	3.448 E+00
8E-03	2.850 E+00	2.858 E+00	3.664 E+00	3.674 E+00	3.899 E+00	3.907 E+00	4.157 E+00	4.163 E+00
1E-02	3.087 E+00	3.093 E+00	4.194 E+00	4.203 E+00	4.459 E+00	4.467 E+00	4.733 E+00	4.740 E+00
2E-02	3.640 E+00	3.645 E+00	5.328 E+00	5.335 E+00	5.733 E+00	5.741 E+00	6.134 E+00	6.142 E+00
3E-02	3.794 E+00	3.800 E+00	5.659 E+00	5.666 E+00	6.107 E+00	6.115 E+00	6.551 E+00	6.561 E+00
4E-02	3.807 E+00	3.811 E+00	5.755 E+00	5.761 E+00	6.223 E+00	6.230 E+00	6.687 E+00	6.695 E+00
5E-02	3.763 E+00	3.766 E+00	5.744 E+00	5.749 E+00	6.222 E+00	6.228 E+00	6.696 E+00	6.702 E+00
6E-02	3.698 E+00	3.700 E+00	5.681 E+00	5.685 E+00	6.162 E+00	6.167 E+00	6.639 E+00	6.645 E+00
8E-02	3.549 E+00	3.551 E+00	5.494 E+00	5.497 E+00	5.970 E+00	5.974 E+00	6.443 E+00	6.447 E+00
1E-01	3.402 E+00	3.403 E+00	5.288 E+00	5.291 E+00	5.753 E+00	5.756 E+00	6.215 E+00	6.218 E+00
2E-01	2.833 E+00	2.834 E+00	4.436 E+00	4.437 E+00	4.834 E+00	4.836 E+00	5.231 E+00	5.233 E+00
3E-01	2.469 E+00	2.469 E+00	3.872 E+00	3.873 E+00	4.221 E+00	4.223 E+00	4.571 E+00	4.573 E+00
4E-01	2.214 E+00	2.215 E+00	3.474 E+00	3.476 E+00	3.789 E+00	3.791 E+00	4.103 E+00	4.105 E+00
5E-01	2.022 E+00	2.023 E+00	3.175 E+00	3.177 E+00	3.463 E+00	3.465 E+00	3.750 E+00	3.752 E+00
6E-01	1.871 E+00	1.872 E+00	2.938 E+00	2.940 E+00	3.205 E+00	3.207 E+00	3.471 E+00	3.474 E+00
8E-01	1.644 E+00	1.645 E+00	2.582 E+00	2.584 E+00	2.817 E+00	2.819 E+00	3.051 E+00	3.053 E+00
1E+00	1.478 E+00	1.479 E+00	2.322 E+00	2.324 E+00	2.533 E+00	2.535 E+00	2.743 E+00	2.746 E+00
2E+00	1.024 E+00	1.026 E+00	1.610 E+00	1.612 E+00	1.756 E+00	1.759 E+00	1.902 E+00	1.905 E+00
3E+00	8.056 E-01	8.073 E-01	1.266 E+00	1.269 E+00	1.381 E+00	1.384 E+00	1.496 E+00	1.499 E+00
4E+00	6.718 E-01	6.734 E-01	1.056 E+00	1.058 E+00	1.152 E+00	1.154 E+00	1.248 E+00	1.251 E+00
5E+00	5.801 E-01	5.815 E-01	9.115 E-01	9.138 E-01	9.944 E-01	9.969 E-01	1.077 E+00	1.080 E+00
6E+00	5.126 E-01	5.140 E-01	8.056 E-01	8.077 E-01	8.788 E-01	8.811 E-01	9.520 E-01	9.545 E-01
8E+00	4.192 E-01	4.205 E-01	6.588 E-01	6.607 E-01	7.187 E-01	7.208 E-01	7.785 E-01	7.808 E-01

$\sigma_{inc}$ : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{inc}^*$ : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo 6.2.3:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Silisyum(Si-14)		Potasyum(K-19)		Kalsiyum (Ca-20)		Demir Fe-26)	
	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$
1E-04	8.783 E-03	7.674 E-03	1.558 E-02	1.366 E-02	1.785 E-02	1.561 E-02	1.219 E-02	1.062 E-02
2E-04	3.122 E-02	3.036 E-02	5.462 E-02	5.321 E-02	6.334 E-02	6.166 E-02	4.392 E-02	4.270 E-02
3E-04	6.844 E-02	6.751 E-02	1.167 E-01	1.154 E-01	1.366 E-01	1.349 E-01	9.579 E-02	9.451 E-02
4E-04	1.189 E-01	1.180 E-01	1.961 E-01	1.950 E-01	2.324 E-01	2.309 E-01	1.656 E-01	1.642 E-01
5E-04	1.189 E-01	1.803 E-01	2.880 E-01	2.868 E-01	3.460 E-01	3.441 E-01	2.515 E-01	2.496 E-01
6E-04	2.549 E-01	2.531 E-01	3.863 E-01	3.855 E-01	4.704 E-01	4.690 E-01	3.497 E-01	3.476 E-01
8E-04	4.258 E-01	4.230 E-01	5.884 E-01	5.892 E-01	7.320 E-01	7.336 E-01	5.734 E-01	5.711 E-01
1E-03	6.157 E-01	6.141 E-01	7.887 E-01	7.892 E-01	9.917 E-01	9.944 E-01	8.146 E-01	8.139 E-01
2E-03	1.577 E+00	1.580 E+00	1.755 E+00	1.755 E+00	2.062 E+00	2.064 E+00	1.969 E+00	1.970 E+00
3E-03	2.308 E+00	2.314 E+00	2.698 E+00	2.702 E+00	2.979 E+00	2.982 E+00	2.972 E+00	2.973 E+00
4E-03	2.857 E+00	2.861 E+00	3.541 E+00	3.547 E+00	3.799 E+00	3.804 E+00	3.903 E+00	3.906 E+00
5E-03	3.312 E+00	3.316 E+00	4.255 E+00	4.270 E+00	4.509 E+00	4.522 E+00	4.750 E+00	4.760 E+00
6E-03	3.718 E+00	3.723 E+00	4.857 E+00	4.874 E+00	5.123 E+00	5.139 E+00	5.520 E+00	5.533 E+00
8E-03	4.428 E+00	4.434 E+00	5.786 E+00	5.799 E+00	6.092 E+00	6.105 E+00	6.846 E+00	6.858 E+00
1E-02	5.014 E+00	5.020 E+00	6.471 E+00	6.481 E+00	6.803 E+00	6.814 E+00	7.908 E+00	7.921 E+00
2E-02	6.528 E+00	6.538 E+00	8.410 E+00	8.423 E+00	8.789 E+00	8.801 E+00	1.076 E+01	1.078 E+01
3E-02	6.992 E+00	7.002 E+00	9.135 E+00	9.152 E+00	9.558 E+00	9.576 E+00	1.191 E+01	1.193 E+01
4E-02	7.147 E+00	7.155 E+00	9.395 E+00	9.408 E+00	9.840 E+00	9.853 E+00	1.239 E+01	1.241 E+01
5E-02	7.165 E+00	7.172 E+00	9.458 E+00	9.468 E+00	9.912 E+00	9.922 E+00	1.255 E+01	1.257 E+01
6E-02	7.112 E+00	7.118 E+00	9.423 E+00	9.432 E+00	9.879 E+00	9.889 E+00	1.255 E+01	1.257 E+01
8E-02	6.913 E+00	6.918 E+00	9.215 E+00	9.223 E+00	9.669 E+00	9.677 E+00	1.234 E+01	1.235 E+01
1E-01	6.674 E+00	6.678 E+00	8.935 E+00	8.941 E+00	9.381 E+00	9.388 E+00	1.202 E+01	1.203 E+01
2E-01	5.628 E+00	5.630 E+00	7.598 E+00	7.602 E+00	7.989 E+00	7.994 E+00	1.032 E+01	1.033 E+01
3E-01	4.920 E+00	4.922 E+00	6.657 E+00	6.660 E+00	7.004 E+00	7.007 E+00	9.071 E+00	9.077 E+00
4E-01	4.417 E+00	4.419 E+00	5.984 E+00	5.987 E+00	6.296 E+00	6.299 E+00	8.165 E+00	8.170 E+00
5E-01	4.038 E+00	4.040 E+00	5.473 E+00	5.476 E+00	5.759 E+00	5.763 E+00	7.474 E+00	7.479 E+00
6E-01	3.738 E+00	3.740 E+00	5.067 E+00	5.071 E+00	5.333 E+00	5.337 E+00	6.924 E+00	6.929 E+00
8E-01	3.285 E+00	3.288 E+00	4.456 E+00	4.459 E+00	4.690 E+00	4.693 E+00	6.091 E+00	6.097 E+00
1E+00	2.954 E+00	2.957 E+00	4.007 E+00	4.011 E+00	4.218 E+00	4.222 E+00	5.480 E+00	5.486 E+00
2E+00	2.048 E+00	2.052 E+00	2.779 E+00	2.784 E+00	2.926 E+00	2.931 E+00	3.803 E+00	3.809 E+00
3E+00	1.611 E+00	1.614 E+00	2.186 E+00	2.191 E+00	2.301 E+00	2.306 E+00	2.991 E+00	2.997 E+00
4E+00	1.344 E+00	1.347 E+00	1.823 E+00	1.828 E+00	1.919 E+00	1.924 E+00	2.495 E+00	2.501 E+00
5E+00	1.160 E+00	1.163 E+00	1.574 E+00	1.578 E+00	1.657 E+00	1.661 E+00	2.154 E+00	2.160 E+00
6E+00	1.025 E+00	1.028 E+00	1.391 E+00	1.395 E+00	1.465 E+00	1.468 E+00	1.904 E+00	1.909 E+00
8E+00	8.384 E-01	8.409 E-01	1.138 E-01	1.141 E+00	1.198 E+00	1.201 E+00	1.557 E+00	1.562 E+00

$\sigma_{inc}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{inc}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo 6.2.4:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Kobalt(Co-27)		Nikel(Ni-28)		Bakır (Cu-29)		Çinko (Zn-30)	
	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$
1E-04	1.176 E-02	1.028 E-02	1.105 E-02	9.623 E-03	8.926 E-03	7.777 E-03	1.006 E-02	8.745 E-03
2E-04	4.177 E-02	4.063 E-02	3.987 E-02	3.876 E-02	3.209 E-02	3.120 E-02	3.651 E-02	3.549 E-02
3E-04	9.129 E-02	9.007 E-02	8.725 E-02	8.607 E-02	7.032 E-02	6.936 E-02	8.018 E-02	7.908 E-02
4E-04	1.580 E-01	1.568 E-01	1.512 E-01	1.500 E-01	1.220 E-01	1.210 E-01	1.393 E-01	1.382 E-01
5E-04	2.405 E-01	2.386 E-01	2.305 E-01	2.286 E-01	1.862 E-01	1.847 E-01	2.129 E-01	2.111 E-01
6E-04	3.351 E-01	3.330 E-01	3.217 E-01	3.197 E-01	2.604 E-01	2.586 E-01	2.979 E-01	2.959 E-01
8E-04	5.521 E-01	5.495 E-01	5.323 E-01	5.295 E-01	4.335 E-01	4.306 E-01	4.964 E-01	4.932 E-01
1E-03	7.879 E-01	7.869 E-01	7.626 E-01	7.613 E-01	6.262 E-01	6.241 E-01	7.162 E-01	7.145 E-01
2E-03	1.940 E+00	1.941 E+00	1.909 E+00	1.910 E+00	1.680 E+00	1.679 E+00	1.845 E+00	1.846 E+00
3E-03	2.953 E+00	2.955 E+00	2.926 E+00	2.927 E+00	2.728 E+00	2.730 E+00	2.863 E+00	2.864 E+00
4E-03	3.900 E+00	3.903 E+00	3.880 E+00	3.883 E+00	3.718 E+00	3.722 E+00	3.823 E+00	3.825 E+00
5E-03	4.767 E+00	4.777 E+00	4.761 E+00	4.771 E+00	4.624 E+00	4.633 E+00	4.720 E+00	4.728 E+00
6E-03	5.559 E+00	5.571 E+00	5.570 E+00	5.581 E+00	5.455 E+00	5.467 E+00	5.551 E+00	5.562 E+00
8E-03	6.929 E+00	6.941 E+00	6.978 E+00	6.990 E+00	6.921 E+00	6.932 E+00	7.021 E+00	7.032 E+00
1E-02	8.039 E+00	8.052 E+00	8.134 E+00	8.146 E+00	8.140 E+00	8.152 E+00	8.257 E+00	8.268 E+00
2E-02	1.106 E+01	1.108 E+01	1.134 E+01	1.135 E+01	1.157 E+01	1.159 E+01	1.183 E+01	1.185 E+01
3E-02	1.228 E+01	1.230 E+01	1.263 E+01	1.266 E+01	1.296 E+01	1.299 E+01	1.330 E+01	1.333 E+01
4E-02	1.280 E+01	1.282 E+01	1.320 E+01	1.322 E+01	1.358 E+01	1.360 E+01	1.396 E+01	1.399 E+01
5E-02	1.298 E+01	1.300 E+01	1.340 E+01	1.342 E+01	1.381 E+01	1.383 E+01	1.422 E+01	1.424 E+01
6E-02	1.299 E+01	1.300 E+01	1.342 E+01	1.343 E+01	1.384 E+01	1.386 E+01	1.427 E+01	1.428 E+01
8E-02	1.278 E+01	1.279 E+01	1.321 E+01	1.323 E+01	1.364 E+01	1.366 E+01	1.407 E+01	1.409 E+01
1E-01	1.245 E+01	1.246 E+01	1.288 E+01	1.289 E+01	1.331 E+01	1.332 E+01	1.373 E+01	1.374 E+01
2E-01	1.070 E+01	1.071 E+01	1.109 E+01	1.110 E+01	1.147 E+01	1.148 E+01	1.185 E+01	1.186 E+01
3E-01	9.414 E+00	9.420 E+00	9.756 E+00	9.763 E+00	1.010 E+01	1.011 E+01	1.044 E+01	1.045 E+01
4E-01	8.475 E+00	8.481 E+00	8.786 E+00	8.791 E+00	9.095 E+00	9.102 E+00	9.405 E+00	9.411 E+00
5E-01	7.759 E+00	7.764 E+00	8.044 E+00	8.050 E+00	8.328 E+00	8.335 E+00	8.613 E+00	8.619 E+00
6E-01	7.188 E+00	7.194 E+00	7.453 E+00	7.459 E+00	7.717 E+00	7.723 E+00	7.981 E+00	7.988 E+00
8E-01	6.325 E+00	6.330 E+00	6.558 E+00	6.564 E+00	6.791 E+00	6.797 E+00	7.024 E+00	7.031 E+00
1E+00	5.690 E+00	5.696 E+00	5.900 E+00	5.906 E+00	6.110 E+00	6.117 E+00	6.320 E+00	6.327 E+00
2E+00	3.949 E+00	3.955 E+00	4.095 E+00	4.102 E+00	4.241 E+00	4.248 E+00	4.387 E+00	4.394 E+00
3E+00	3.106 E+00	3.113 E+00	3.221 E+00	3.228 E+00	3.336 E+00	3.343 E+00	3.451 E+00	3.458 E+00
4E+00	2.591 E+00	2.597 E+00	2.687 E+00	2.693 E+00	2.782 E+00	2.789 E+00	2.878 E+00	2.885 E+00
5E+00	2.237 E+00	2.243 E+00	2.320 E+00	2.326 E+00	2.403 E+00	2.409 E+00	2.485 E+00	2.492 E+00
6E+00	1.977 E+00	1.982 E+00	2.050 E+00	2.056 E+00	2.123 E+00	2.129 E+00	2.197 E+00	2.203 E+00
8E+00	1.617 E+00	1.622 E+00	1.677 E+00	1.682 E+00	1.737 E+00	1.742 E+00	1.796 E+00	1.802 E+00

$\sigma_{inc}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{inc}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo 6.2.5:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Germenyum (Ge-32)		Gümüş (Ag-47)		Iyot (I-53)		Sezyum (Cs-55)	
	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$
1E-04	1.062 E-02	9.297 E-03	1.289 E-02	1.125 E-02	1.318 E-02	1.147 E-02	2.635 E-02	2.315 E-02
2E-04	3.753 E-02	3.649 E-02	4.611 E-02	4.484 E-02	4.766 E-02	4.632 E-02	9.175 E-02	8.943 E-02
3E-04	8.224 E-02	8.112 E-02	1.009 E-01	9.952 E-02	1.048 E-01	1.033 E-01	1.945 E-01	1.924 E-01
4E-04	1.430 E-01	1.418 E-01	1.749 E-01	1.735 E-01	1.829 E-01	1.812 E-01	3.245 E-01	3.227 E-01
5E-04	2.189 E-01	2.170 E-01	2.668 E-01	2.646 E-01	2.813 E-01	2.787 E-01	4.731 E-01	4.712 E-01
6E-04	3.071 E-01	3.049 E-01	3.728 E-01	3.703 E-01	3.967 E-01	3.936 E-01	6.315 E-01	6.301 E-01
8E-04	5.151 E-01	5.113 E-01	6.201 E-01	6.159 E-01	6.746 E-01	6.682 E-01	9.617 E-01	9.607 E-01
1E-03	7.485 E-01	7.458 E-01	8.953 E-01	8.922 E-01	9.929 E-01	9.878 E-01	1.300 E+00	1.298 E+00
2E-03	2.007 E+00	2.008 E+00	2.410 E+00	2.410 E+00	2.830 E+00	2.829 E+00	3.088 E+00	3.088 E+00
3E-03	3.134 E+00	3.138 E+00	3.888 E+00	3.892 E+00	4.607 E+00	4.614 E+00	4.858 E+00	4.863 E+00
4E-03	4.122 E+00	4.126 E+00	5.242 E+00	5.248 E+00	6.167 E+00	6.178 E+00	6.479 E+00	6.490 E+00
5E-03	5.018 E+00	5.025 E+00	6.478 E+00	6.488 E+00	7.500 E+00	7.519 E+00	7.881 E+00	7.905 E+00
6E-03	5.846 E+00	5.856 E+00	7.630 E+00	7.643 E+00	8.684 E+00	8.700 E+00	9.109 E+00	9.129 E+00
8E-03	7.319 E+00	7.328 E+00	9.699 E+00	9.715 E+00	1.075 E+01	1.076 E+01	1.120 E+01	1.121 E+01
1E-02	8.569 E+00	8.579 E+00	1.143 E+01	1.144 E+01	1.253 E+01	1.255 E+01	1.298 E+01	1.300 E+01
2E-02	1.236 E+01	1.238 E+01	1.649 E+01	1.651 E+01	1.819 E+01	1.822 E+01	1.877 E+01	1.880 E+01
3E-02	1.397 E+01	1.400 E+01	1.888 E+01	1.892 E+01	2.083 E+01	2.088 E+01	2.150 E+01	2.154 E+01
4E-02	1.472 E+01	1.475 E+01	2.014 E+01	2.017 E+01	2.225 E+01	2.228 E+01	2.295 E+01	2.299 E+01
5E-02	1.503 E+01	1.505 E+01	2.079 E+01	2.082 E+01	2.300 E+01	2.303 E+01	2.374 E+01	2.377 E+01
6E-02	1.510 E+01	1.512 E+01	2.109 E+01	2.112 E+01	2.337 E+01	2.340 E+01	2.413 E+01	2.416 E+01
8E-02	1.493 E+01	1.494 E+01	2.110 E+01	2.113 E+01	2.347 E+01	2.350 E+01	2.426 E+01	2.429 E+01
1E-01	1.458 E+01	1.459 E+01	2.076 E+01	2.078 E+01	2.315 E+01	2.318 E+01	2.394 E+01	2.397 E+01
2E-01	1.261 E+01	1.263 E+01	1.823 E+01	1.825 E+01	2.044 E+01	2.046 E+01	2.117 E+01	2.119 E+01
3E-01	1.112 E+01	1.113 E+01	1.617 E+01	1.619 E+01	1.817 E+01	1.818 E+01	1.883 E+01	1.885 E+01
4E-01	1.002 E+01	1.003 E+01	1.462 E+01	1.464 E+01	1.644 E+01	1.646 E+01	1.705 E+01	1.707 E+01
5E-01	9.181 E+00	9.188 E+00	1.342 E+01	1.343 E+01	1.510 E+01	1.512 E+01	1.566 E+01	1.568 E+01
6E-01	8.509 E+00	8.517 E+00	1.245 E+01	1.247 E+01	1.401 E+01	1.404 E+01	1.453 E+01	1.456 E+01
8E-01	7.490 E+00	7.497 E+00	1.097 E+01	1.099 E+01	1.236 E+01	1.238 E+01	1.282 E+01	1.284 E+01
1E+00	6.740 E+00	6.747 E+00	9.880 E+00	9.894 E+00	1.113 E+01	1.115 E+01	1.155 E+01	1.157 E+01
2E+00	4.679 E+00	4.687 E+00	6.867 E+00	6.880 E+00	7.741 E+00	7.756 E+00	8.032 E+00	8.048 E+00
3E+00	3.681 E+00	3.689 E+00	5.404 E+00	5.416 E+00	6.093 E+00	6.107 E+00	6.322 E+00	6.337 E+00
4E+00	3.070 E+00	3.077 E+00	4.508 E+00	4.519 E+00	5.083 E+00	5.095 E+00	5.274 E+00	5.287 E+00
5E+00	2.651 E+00	2.658 E+00	3.893 E+00	3.903 E+00	4.389 E+00	4.401 E+00	4.555 E+00	4.567 E+00
6E+00	2.343 E+00	2.349 E+00	3.441 E+00	3.450 E+00	3.880 E+00	3.890 E+00	4.026 E+00	4.037 E+00
8E+00	1.916 E+00	1.922 E+00	2.814 E+00	2.822 E+00	3.173 E+00	3.183 E+00	3.293 E+00	3.303 E+00

$\sigma_{inc}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{inc}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo 6.2.6:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Baryum (Ba-56)		Altın (Au-79)		Civa (Hg-80)		Kurşun (Pb-82)	
	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$
1E-04	3.075 E-02	2.694 E-02	1.558 E-02	1.366 E-02	1.700 E-02	1.481 E-02	1.785 E-02	1.561 E-02
2E-04	1.082 E-01	1.054 E-01	5.477 E-02	5.326 E-02	6.129 E-02	5.959 E-02	6.339 E-02	6.163 E-02
3E-04	2.311 E-01	2.284 E-01	1.196 E-01	1.179 E-01	1.343 E-01	1.325 E-01	1.385 E-01	1.366 E-01
4E-04	3.887 E-01	3.864 E-01	2.074 E-01	2.057 E-01	2.330 E-01	2.311 E-01	2.402 E-01	2.382 E-01
5E-04	5.713 E-01	5.689 E-01	3.168 E-01	3.141 E-01	3.556 E-01	3.527 E-01	3.668 E-01	3.637 E-01
6E-04	7.670 E-01	7.654 E-01	4.432 E-01	4.402 E-01	4.970 E-01	4.938 E-01	5.131 E-01	5.097 E-01
8E-04	1.168 E+00	1.170 E+00	7.401 E-01	7.347 E-01	8.260 E-01	8.209 E-01	8.558 E-01	8.499 E-01
1E-03	1.563 E+00	1.565 E+00	1.073 E+00	1.069 E+00	1.190 E+00	1.187 E+00	1.238 E+00	1.234 E+00
2E-03	3.396 E+00	3.396 E+00	2.929 E+00	2.929 E+00	3.105 E+00	3.105 E+00	3.309 E+00	3.310 E+00
3E-03	5.129 E+00	5.133 E+00	4.769 E+00	4.772 E+00	4.927 E+00	4.929 E+00	5.242 E+00	5.246 E+00
4E-03	6.729 E+00	6.738 E+00	6.509 E+00	6.511 E+00	6.661 E+00	6.664 E+00	7.004 E+00	7.009 E+00
5E-03	8.140 E+00	8.164 E+00	8.168 E+00	8.174 E+00	8.309 E+00	8.317 E+00	8.647 E+00	8.655 E+00
6E-03	9.378 E+00	9.400 E+00	9.756 E+00	9.770 E+00	9.884 E+00	9.898 E+00	1.020 E+01	1.022 E+01
8E-03	1.147 E+01	1.148 E+01	1.266 E+01	1.268 E+01	1.279 E+01	1.281 E+01	1.309 E+01	1.310 E+01
1E-02	1.324 E+01	1.326 E+01	1.512 E+01	1.514 E+01	1.527 E+01	1.529 E+01	1.560 E+01	1.562 E+01
2E-02	1.907 E+01	1.910 E+01	2.304 E+01	2.307 E+01	2.325 E+01	2.328 E+01	2.371 E+01	2.373 E+01
3E-02	2.183 E+01	2.188 E+01	2.749 E+01	2.756 E+01	2.774 E+01	2.781 E+01	2.824 E+01	2.831 E+01
4E-02	2.331 E+01	2.335 E+01	3.012 E+01	3.018 E+01	3.040 E+01	3.047 E+01	3.097 E+01	3.103 E+01
5E-02	2.411 E+01	2.414 E+01	3.162 E+01	3.167 E+01	3.193 E+01	3.198 E+01	3.256 E+01	3.261 E+01
6E-02	2.451 E+01	2.454 E+01	3.245 E+01	3.250 E+01	3.278 E+01	3.283 E+01	3.344 E+01	3.349 E+01
8E-02	2.465 E+01	2.468 E+01	3.304 E+01	3.308 E+01	3.339 E+01	3.343 E+01	3.409 E+01	3.414 E+01
1E-01	2.434 E+01	2.436 E+01	3.292 E+01	3.296 E+01	3.328 E+01	3.332 E+01	3.400 E+01	3.404 E+01
2E-01	2.154 E+01	2.156 E+01	2.975 E+01	2.980 E+01	3.010 E+01	3.015 E+01	3.080 E+01	3.085 E+01
3E-01	1.916 E+01	1.918 E+01	2.665 E+01	2.669 E+01	2.697 E+01	2.701 E+01	2.761 E+01	2.765 E+01
4E-01	1.735 E+01	1.737 E+01	2.423 E+01	2.426 E+01	2.452 E+01	2.455 E+01	2.511 E+01	2.515 E+01
5E-01	1.593 E+01	1.596 E+01	2.230 E+01	2.234 E+01	2.257 E+01	2.262 E+01	2.312 E+01	2.316 E+01
6E-01	1.479 E+01	1.482 E+01	2.073 E+01	2.078 E+01	2.098 E+01	2.104 E+01	2.150 E+01	2.155 E+01
8E-01	1.305 E+01	1.307 E+01	1.832 E+01	1.836 E+01	1.854 E+01	1.859 E+01	1.900 E+01	1.905 E+01
1E+00	1.176 E+01	1.178 E+01	1.652 E+01	1.656 E+01	1.673 E+01	1.677 E+01	1.714 E+01	1.718 E+01
2E+00	8.178 E+00	8.194 E+00	1.152 E+01	1.155 E+01	1.167 E+01	1.169 E+01	1.196 E+01	1.198 E+01
3E+00	6.437 E+00	6.452 E+00	9.074 E+00	9.096 E+00	9.188 E+00	9.210 E+00	9.417 E+00	9.440 E+00
4E+00	5.370 E+00	5.383 E+00	7.572 E+00	7.591 E+00	7.667 E+00	7.687 E+00	7.859 E+00	7.879 E+00
5E+00	4.638 E+00	4.650 E+00	6.540 E+00	6.558 E+00	6.623 E+00	6.641 E+00	6.788 E+00	6.806 E+00
6E+00	4.099 E+00	4.110 E+00	5.781 E+00	5.797 E+00	5.854 E+00	5.870 E+00	6.000 E+00	6.017 E+00
8E+00	3.353 E+00	3.363 E+00	4.729 E+00	4.743 E+00	4.788 E+00	4.803 E+00	4.908 E+00	4.923 E+00

$\sigma_{inc}$ : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{inc}^*$ : Hubbell tarafından bulunan değerler.

**Tablo 6.2.7:** Farklı enerji değerlerine karşılık, farklı elementler için bulunan toplam incoherent saçılma tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Enerji (MeV)	Bizmut (Bi-83)		Radyum (Ra-88)		Üranyum (U-92)	
	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$	$\sigma_{inc}$	$\sigma_{inc}^*$
1E-04	1.715 E-02	1.494 E-02	3.570 E-02	3.127 E-02	3.273 E-02	2.866 E-02
2E-04	6.168 E-02	5.996 E-02	1.259 E-01	1.226 E-01	1.156 E-01	1.125 E-01
3E-04	1.350 E-01	1.332 E-01	2.684 E-01	2.654 E-01	2.481 E-01	2.452 E-01
4E-04	2.345 E-01	2.326 E-01	4.503 E-01	4.478 E-01	4.204 E-01	4.177 E-01
5E-04	3.586 E-01	3.555 E-01	6.599 E-01	6.573 E-01	6.233 E-01	6.200 E-01
6E-04	5.022 E-01	4.987 E-01	8.837 E-01	8.820 E-01	8.447 E-01	8.421 E-01
8E-04	8.400 E-01	8.338 E-01	1.342 E+00	1.344 E+00	1.313 E+00	1.313 E+00
1E-03	1.219 E+00	1.214 E+00	1.796 E+00	1.798 E+00	1.788 E+00	1.789 E+00
2E-03	3.313 E+00	3.313 E+00	3.989 E+00	3.989 E+00	4.088 E+00	4.088 E+00
3E-03	5.329 E+00	5.335 E+00	6.119 E+00	6.123 E+00	6.300 E+00	6.305 E+00
4E-03	7.147 E+00	7.154 E+00	8.106 E+00	8.116 E+00	8.353 E+00	8.363 E+00
5E-03	8.807 E+00	8.818 E+00	9.865 E+00	9.889 E+00	1.020 E+01	1.023 E+01
6E-03	1.037 E+01	1.038 E+01	1.145 E+01	1.147 E+01	1.187 E+01	1.189 E+01
8E-03	1.325 E+01	1.326 E+01	1.429 E+01	1.430 E+01	1.480 E+01	1.481 E+01
1E-02	1.577 E+01	1.579 E+01	1.680 E+01	1.682 E+01	1.737 E+01	1.738 E+01
2E-02	2.394 E+01	2.397 E+01	2.521 E+01	2.525 E+01	2.615 E+01	2.619 E+01
3E-02	2.849 E+01	2.856 E+01	2.983 E+01	2.990 E+01	3.089 E+01	3.096 E+01
4E-02	3.126 E+01	3.132 E+01	3.270 E+01	3.276 E+01	3.384 E+01	3.390 E+01
5E-02	3.287 E+01	3.292 E+01	3.443 E+01	3.449 E+01	3.566 E+01	3.571 E+01
6E-02	3.377 E+01	3.382 E+01	3.542 E+01	3.548 E+01	3.672 E+01	3.678 E+01
8E-02	3.444 E+01	3.449 E+01	3.618 E+01	3.623 E+01	3.756 E+01	3.762 E+01
1E-01	3.436 E+01	3.440 E+01	3.614 E+01	3.618 E+01	3.755 E+01	3.759 E+01
2E-01	3.115 E+01	3.120 E+01	3.288 E+01	3.294 E+01	3.426 E+01	3.432 E+01
3E-01	2.793 E+01	2.797 E+01	2.953 E+01	2.957 E+01	3.080 E+01	3.085 E+01
4E-01	2.541 E+01	2.544 E+01	2.688 E+01	2.692 E+01	2.805 E+01	2.809 E+01
5E-01	2.339 E+01	2.344 E+01	2.476 E+01	2.481 E+01	2.585 E+01	2.590 E+01
6E-01	2.175 E+01	2.181 E+01	2.303 E+01	2.309 E+01	2.405 E+01	2.411 E+01
8E-01	1.923 E+01	1.928 E+01	2.036 E+01	2.042 E+01	2.127 E+01	2.133 E+01
1E+00	1.735 E+01	1.739 E+01	1.838 E+01	1.842 E+01	1.920 E+01	1.925 E+01
2E+00	1.210 E+01	1.213 E+01	1.283 E+01	1.286 E+01	1.341 E+01	1.344 E+01
3E+00	9.532 E+00	9.555 E+00	1.010 E+01	1.013 E+01	1.056 E+01	1.059 E+01
4E+00	7.954 E+00	7.975 E+00	8.433 E+00	8.454 E+00	8.815 E+00	8.838 E+00
5E+00	6.870 E+00	6.889 E+00	7.284 E+00	7.304 E+00	7.614 E+00	7.635 E+00
6E+00	6.073 E+00	6.090 E+00	6.439 E+00	6.457 E+00	6.731 E+00	6.750 E+00
8E+00	4.968 E+00	4.983 E+00	5.267 E+00	5.283 E+00	5.506 E+00	5.523 E+00

$\sigma_{inc}$  : Bu çalışmada bulunan değerler.

$\sigma_{inc}^*$  : Hubbell tarafından bulunan değerler.

## 7. SAÇILMA OLASILIĞININ HESABI

Gamanın bir ortamda yaptığı etkileşme saçılma ise, saçılma sonucunda,  $0-\theta$  açısına toplam coherent, incoherent ve coherent artı incoherent saçılma olasılıklarının hesaplanması mümkündür.

Gamanın  $0-\theta$  açısına toplam saçılma olasılıkları, denklem (4.1), (4.2) ve (4.3)'de verilmiştir. Denklemlerin integralini analitik olarak hesaplamak mümkün olmayıp nümerik hesaplama yoluna gidilmiştir.

Saçılma olasılıklarının bulunmasında önemli olan, enerji ve saçılma açısını karakterize eden X değişkeni denklem (6.10)'da verilmiştir. Bulunan X değerlerine karşılık gelen  $F(X,Z)$  atomik form faktörleri ile  $S(X,Z)$  saçılma fonksiyonları, Hubbell tarafından verilen tablolardan alınmıştır. Ara değerler için yamuk kaidesi uygulanmıştır.

$0-\theta$  açısına toplam coherent saçılma olasılığı, denklem (4.1)'in nümerik integrasyonu,

$$P_{\text{coh}_i} = P_{\text{coh}_{i-1}} + \frac{r_e^2}{2} \frac{[1 + \cos^2 \theta_i] * [F(X_i, Z)]^2}{\sigma_{\text{coh}}} 2\pi \sin \theta_i \frac{4\pi}{180} \quad (7.1)$$

ifadesiyle elde edilmiştir. Burada,

$i$  ; 1'den 45'e kadar değişen sayı değerlerine sahip olup;  $i=1$  için  $\theta=2$  derece,  $i=2$  için  $\theta=6$  derece,  $i=3$  için  $\theta=10$  derece,.....,  $i=45$  için  $\theta=178$  derecedir.

$\frac{4\pi}{180}$  ; 4 derecenin radyan cinsinden değeri olup,  $d\theta$  açı aralığını ifade eder.

$\sigma_{\text{coh}}$  ; seçilen bir gama enerjisinde, bir ortama ait toplam coherent saçılma tesir kesiti olup, 6. bölümde, logaritmik eşelleme yoluyla hesaplanan sayısal değeri kullanılmıştır.



0- $\theta$  açısına toplam incoherent saçılma olasılığı; denklem (4.2)'nin nümerik integrasyonu,

$$P_{inc_i} = P_{inc_{i-1}} + \frac{\frac{r_e^2}{2} [1 + k(1 - \cos\theta_i)]^{-2} \left[ 1 + \cos^2\theta_i + \frac{k^2 (1 - \cos\theta_i)^2}{1 + k(1 - \cos\theta_i)} \right] S(X_i, Z) 2\pi \sin\theta_i \frac{4\pi}{180}}{\sigma_{inc}} \quad (7.2)$$

ifadesiyle elde edilmiştir. Burada,

$i$  ; 1'den 45'e kadar değişen sayı değerlerine sahip olup;  $i=1$  için  $\theta=2$  derece,  $i=2$  için  $\theta=6$  derece,  $i=3$  için  $\theta=10$  derece,.....,  $i=45$  için  $\theta=178$  derecedir.

$\frac{4\pi}{180}$  ; 4 derecenin radyan cinsinden değeri olup,  $d\theta$  açı aralığını ifade eder.

$\sigma_{inc}$  ; seçilen bir gama enerjisinde, bir ortama ait toplam incoherent saçılma tesir kesiti olup, 6. bölümde, lineer eşelleme yoluyla hesaplanan sayısal değeri kullanılmıştır.

0- $\theta$  açısına toplam coherent artı incoherent toplam saçılma olasılığı; denklem (4.3)'ün nümerik integrasyonu,

$$P_{top_i} = P_{top_{i-1}} + \frac{\left\{ \frac{r_e^2}{2} (1 + \cos^2\theta_i) [F(X_i, Z)]^2 \right\} + \left\{ \frac{r_e^2}{2} [1 + k(1 - \cos\theta_i)]^{-2} \left[ 1 + \cos^2\theta_i + \frac{k^2 (1 - \cos\theta_i)^2}{1 + k(1 - \cos\theta_i)} \right] S(X_i, Z) \right\}}{\sigma_{coh} + \sigma_{inc}} 2\pi \sin\theta_i \frac{4\pi}{180} \quad (7.3)$$

ifadesiyle elde edilmiştir. Burada,

$i$  ; 1'den 45'e kadar değişen sayı değerlerine sahip olup;  $i=1$  için  $\theta=2$  derece,  $i=2$  için  $\theta=6$  derece,  $i=3$  için  $\theta=10$  derece,.....,  $i=45$  için  $\theta=178$  derecedir.

$\frac{4\pi}{180}$  ; 4 derecenin radyan cinsinden değeri olup,  $d\theta$  açı aralığını ifade eder.

$\sigma_{coh} + \sigma_{inc}$ ; seçilen bir gama enerjisinde, bir ortama ait toplam saçılma tesir kesitidir. 6. bölümde, logaritmik eşelleme yoluyla bulunan coherent ve lineer eşelleme yoluyla bulunan incoherent saçılma tesir kesitlerinin toplanmasından elde edilmiştir.

Toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığı değerleri; alüminyum, demir, bakır, altın, kurşun atomları ve 0.011 MeV, 0.030 MeV, 0.050 MeV, 0.1 MeV, 0.3 MeV, 0.5 MeV, 0.7 MeV, 1 MeV, 2 MeV, 3 MeV enerji değerleri için bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 7.1'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 7.1'de toplam saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi, alüminyum ortamı ve yukarıda belirtilen enerji değerleri için grafik olarak da verilmiştir.



**Tablo 7.1.1:** E=0.011 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.7784 E-02	0.7776 E-02	0.7222 E-02	0.5376 E-02	0.5351 E-02
0-8	0.2954 E-01	0.3003 E-01	0.2813 E-01	0.2105 E-01	0.2089 E-01
0-12	0.6163 E-01	0.6407 E-01	0.6076 E-01	0.4582 E-01	0.4529 E-01
0-16	0.1004	0.1068	0.1026	0.7807 E-01	0.7690 E-01
0-20	0.1432	0.1554	0.1511	0.1160	0.1140
0-24	0.1884	0.2075	0.2039	0.1580	0.1551
0-28	0.2348	0.2610	0.2587	0.2024	0.1987
0-32	0.2819	0.3145	0.3139	0.2479	0.2436
0-36	0.3287	0.3666	0.3679	0.2934	0.2888
0-40	0.3746	0.4162	0.4195	0.3381	0.3333
0-44	0.4190	0.4629	0.4683	0.3813	0.3765
0-48	0.4614	0.5064	0.5136	0.4228	0.4181
0-52	0.5015	0.5461	0.5551	0.4619	0.4574
0-56	0.5389	0.5821	0.5927	0.4986	0.4943
0-60	0.5737	0.6150	0.6270	0.5331	0.5290
0-64	0.6058	0.6449	0.6580	0.5653	0.5614
0-68	0.6352	0.6718	0.6859	0.5953	0.5915
0-72	0.6623	0.6963	0.7111	0.6232	0.6195
0-76	0.6872	0.7187	0.7341	0.6493	0.6457
0-80	0.7103	0.7394	0.7552	0.6738	0.6703
0-84	0.7316	0.7585	0.7745	0.6969	0.6934
0-88	0.7516	0.7763	0.7923	0.7187	0.7152
0-92	0.7704	0.7932	0.8090	0.7395	0.7361
0-96	0.7884	0.8094	0.8250	0.7596	0.7563
0-100	0.8055	0.8249	0.8401	0.7789	0.7757
0-104	0.8221	0.8399	0.8546	0.7977	0.7946
0-108	0.8381	0.8545	0.8687	0.8161	0.8131
0-112	0.8538	0.8690	0.8824	0.8341	0.8312
0-116	0.8692	0.8832	0.8958	0.8518	0.8491
0-120	0.8843	0.8972	0.9090	0.8691	0.8666
0-124	0.8991	0.9110	0.9218	0.8861	0.8837
0-128	0.9134	0.9244	0.9342	0.9026	0.9004
0-132	0.9273	0.9375	0.9463	0.9186	0.9167
0-136	0.9408	0.9503	0.9579	0.9339	0.9323
0-140	0.9536	0.9625	0.9690	0.9486	0.9472
0-144	0.9658	0.9741	0.9796	0.9624	0.9613
0-148	0.9772	0.9849	0.9894	0.9752	0.9744
0-152	0.9875	0.9949	0.9983	0.9869	0.9863
0-156	0.9968			0.9974	0.9970
0-160					
0-164					
0-168					
0-172					
0-176					
0-180	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

**Tablo 7.1.2:** E=0.030 MeV enerjili gamanın, alüminyum, demir, bakır, altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.1708 E-01	0.2111 E-01	0.2101 E-01	0.1715 E-01	0.1692 E-01
0-8	0.5380 E-01	0.7121 E-01	0.7374 E-01	0.6184 E-01	0.6041 E-01
0-12	0.9871 E-01	0.1337	0.1419	0.1224	0.1196
0-16	0.1479	0.1979	0.2128	0.1895	0.1863
0-20	0.1979	0.2577	0.2792	0.2580	0.2548
0-24	0.2453	0.3111	0.3380	0.3249	0.3217
0-28	0.2885	0.3582	0.3890	0.3886	0.3852
0-32	0.3271	0.3999	0.4330	0.4480	0.4445
0-36	0.3616	0.4377	0.4715	0.5025	0.4990
0-40	0.3928	0.4729	0.5059	0.5520	0.5489
0-44	0.4217	0.5060	0.5375	0.5962	0.5939
0-48	0.4488	0.5374	0.5667	0.6354	0.6341
0-52	0.4745	0.5672	0.5941	0.6700	0.6697
0-56	0.4992	0.5955	0.6200	0.7006	0.7014
0-60	0.5229	0.6221	0.6443	0.7274	0.7291
0-64	0.5455	0.6470	0.6671	0.7506	0.7532
0-68	0.5675	0.6704	0.6885	0.7714	0.7747
0-72	0.5887	0.6923	0.7088	0.7901	0.7938
0-76	0.6093	0.7127	0.7279	0.8068	0.8109
0-80	0.6293	0.7320	0.7460	0.8220	0.8263
0-84	0.6489	0.7502	0.7631	0.8363	0.8407
0-88	0.6682	0.7676	0.7795	0.8498	0.8542
0-92	0.6873	0.7842	0.7953	0.8626	0.8670
0-96	0.7062	0.8001	0.8105	0.8748	0.8791
0-100	0.7250	0.8156	0.8253	0.8865	0.8907
0-104	0.7439	0.8307	0.8398	0.8978	0.9018
0-108	0.7629	0.8454	0.8539	0.9087	0.9125
0-112	0.7820	0.8599	0.8679	0.9192	0.9228
0-116	0.8012	0.8742	0.8816	0.9296	0.9329
0-120	0.8205	0.8884	0.8953	0.9398	0.9429
0-124	0.8398	0.9025	0.9087	0.9499	0.9527
0-128	0.8591	0.9163	0.9220	0.9597	0.9623
0-132	0.8781	0.9298	0.9348	0.9692	0.9716
0-136	0.8967	0.9429	0.9473	0.9784	0.9806
0-140	0.9147	0.9554	0.9593	0.9872	0.9892
0-144	0.9319	0.9673	0.9706	0.9954	0.9974
0-148	0.9481	0.9785	0.9811		
0-152	0.9630	0.9887	0.9908		
0-156	0.9765	0.9978	0.9995		
0-160	0.9883				
0-164	0.9983				
0-168					
0-172					
0-176					
0-180	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

**Tablo 7.1.3:** E=0.050 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.2016 E-01	0.3144 E-01	0.3322 E-01	0.3268 E-01	0.3198 E-01
0-8	0.5552 E-01	0.9160 E-01	0.1016	0.1052	0.1027
0-12	0.9588 E-01	0.1525	0.1720	0.1892	0.1863
0-16	0.1341	0.2039	0.2309	0.2722	0.2690
0-20	0.1674	0.2480	0.2793	0.3503	0.3466
0-24	0.1968	0.2881	0.3207	0.4208	0.4174
0-28	0.2242	0.3265	0.3584	0.4825	0.4802
0-32	0.2511	0.3643	0.3945	0.5357	0.5350
0-36	0.2781	0.4010	0.4295	0.5812	0.5819
0-40	0.3054	0.4363	0.4633	0.6200	0.6219
0-44	0.3330	0.4696	0.4956	0.6537	0.6562
0-48	0.3608	0.5010	0.5264	0.6840	0.6866
0-52	0.3886	0.5303	0.5554	0.7116	0.7141
0-56	0.4161	0.5574	0.5824	0.7366	0.7388
0-60	0.4431	0.5825	0.6075	0.7590	0.7606
0-64	0.4696	0.6060	0.6309	0.7794	0.7804
0-68	0.4953	0.6281	0.6529	0.7981	0.7987
0-72	0.5204	0.6490	0.6734	0.8153	0.8155
0-76	0.5448	0.6686	0.6926	0.8311	0.8310
0-80	0.5685	0.6874	0.7109	0.8457	0.8454
0-84	0.5917	0.7656	0.7285	0.8592	0.8588
0-88	0.6144	0.7233	0.7456	0.8720	0.8713
0-92	0.6368	0.7406	0.7622	0.8839	0.8832
0-96	0.6589	0.7577	0.7784	0.8953	0.8945
0-100	0.6809	0.7746	0.7945	0.9061	0.9052
0-104	0.7029	0.7913	0.8103	0.9165	0.9155
0-108	0.7248	0.8080	0.8260	0.9264	0.9255
0-112	0.7469	0.8247	0.8417	0.9360	0.9350
0-116	0.7689	0.8413	0.8572	0.9453	0.9443
0-120	0.7910	0.8579	0.8727	0.9543	0.9533
0-124	0.8130	0.8744	0.8880	0.9630	0.9620
0-128	0.8348	0.8908	0.9033	0.9715	0.9705
0-132	0.8564	0.9069	0.9183	0.9799	0.9788
0-136	0.8774	0.9227	0.9329	0.9879	0.9869
0-140	0.8977	0.9379	0.9471	0.9957	0.9946
0-144	0.9170	0.9524	0.9606		
0-148	0.9352	0.9661	0.9732		
0-152	0.9519	0.9786	0.9849		
0-156	0.9670	0.9900	0.9954		
0-160	0.9802	0.9999			
0-164	0.9913				
0-168					
0-172					
0-176					
0-180	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

**Tablo 7.1.4:** E=0.1 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.1940 E-01	0.3912 E-01	0.4532 E-01	0.6832 E-01	0.6709 E-01
0-8	0.4566 E-01	0.8338 E-01	0.9882 E-01	0.1708	0.1707
0-12	0.6677 E-01	0.1171	0.1363	0.2644	0.2653
0-16	0.8625 E-01	0.1499	0.1694	0.3400	0.3438
0-20	0.1075	0.1833	0.2027	0.3984	0.4049
0-24	0.1315	0.2161	0.2362	0.4470	0.4545
0-28	0.1582	0.2475	0.2688	0.4913	0.4987
0-32	0.1870	0.2778	0.3004	0.5309	0.5378
0-36	0.2175	0.3076	0.3309	0.5674	0.5740
0-40	0.2492	0.3371	0.3607	0.6005	0.6070
0-44	0.2815	0.3668	0.3904	0.6305	0.6371
0-48	0.3139	0.3963	0.4194	0.6572	0.6640
0-52	0.3461	0.4251	0.4475	0.6807	0.6876
0-56	0.3778	0.4533	0.4750	0.7022	0.7093
0-60	0.4087	0.4810	0.5018	0.7224	0.7295
0-64	0.4388	0.5078	0.5278	0.7412	0.7483
0-68	0.4678	0.5338	0.5529	0.7588	0.7656
0-72	0.4958	0.5589	0.5771	0.7750	0.7815
0-76	0.5228	0.5831	0.6005	0.7901	0.7963
0-80	0.5489	0.6065	0.6230	0.8044	0.8101
0-84	0.5743	0.6291	0.6448	0.8180	0.8234
0-88	0.5989	0.6512	0.6661	0.8312	0.8362
0-92	0.6230	0.6728	0.6870	0.8439	0.8486
0-96	0.6468	0.6940	0.7074	0.8563	0.8606
0-100	0.6702	0.7150	0.7277	0.8685	0.8724
0-104	0.6935	0.7358	0.7477	0.8805	0.8841
0-108	0.7166	0.7564	0.7677	0.8923	0.8956
0-112	0.7397	0.7770	0.7876	0.9040	0.9069
0-116	0.7626	0.7975	0.8074	0.9156	0.9182
0-120	0.7855	0.8179	0.8271	0.9271	0.9294
0-124	0.8081	0.8381	0.8466	0.9383	0.9404
0-128	0.8304	0.8580	0.8658	0.9495	0.9512
0-132	0.8522	0.8774	0.8846	0.9603	0.9617
0-136	0.8734	0.8963	0.9028	0.9708	0.9720
0-140	0.8938	0.9145	0.9204	0.9809	0.9818
0-144	0.9131	0.9317	0.9370	0.9904	0.9910
0-148	0.9311	0.9478	0.9525	0.9993	0.9997
0-152	0.9476	0.9625	0.9668		
0-156	0.9625	0.9757	0.9795		
0-160	0.9754	0.9873	0.9907		
0-164	0.9863	0.9969			
0-168	0.9949				
0-172					
0-176					
0-180	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

**Tablo 7.1.5:** E=0.3 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.1289 E-01	0.2402 E-01	0.2991 E-01	0.9108 E-01	0.9426 E-01
0-8	0.2396 E-01	0.4316 E-01	0.4955 E-01	0.1455	0.1525
0-12	0.4098 E-01	0.6268 E-01	0.7041 E-01	0.1864	0.1938
0-16	0.6364 E-01	0.8556 E-01	0.9381 E-01	0.2222	0.2306
0-20	0.9111 E-01	0.1126	0.1208	0.2541	0.2632
0-24	0.1226	0.1436	0.1517	0.2860	0.2952
0-28	0.1572	0.1778	0.1855	0.3183	0.3274
0-32	0.1940	0.2141	0.2217	0.3516	0.3604
0-36	0.2323	0.2518	0.2591	0.3851	0.3936
0-40	0.2711	0.2900	0.2971	0.4185	0.4269
0-44	0.3099	0.3281	0.3349	0.4513	0.4594
0-48	0.3480	0.3654	0.3721	0.4831	0.4909
0-52	0.3851	0.4017	0.4081	0.5136	0.5211
0-56	0.4207	0.4366	0.4428	0.5430	0.5503
0-60	0.4548	0.4700	0.4759	0.5712	0.5781
0-64	0.4872	0.5017	0.5074	0.5979	0.6045
0-68	0.5180	0.5318	0.5374	0.6233	0.6296
0-72	0.5472	0.5604	0.5657	0.6474	0.6534
0-76	0.5750	0.5875	0.5927	0.6703	0.6760
0-80	0.6015	0.6134	0.6184	0.6920	0.6975
0-84	0.6268	0.6382	0.6430	0.7129	0.7181
0-88	0.6512	0.6620	0.6666	0.7330	0.7380
0-92	0.6748	0.6851	0.6895	0.7524	0.7571
0-96	0.6977	0.7075	0.7118	0.7712	0.7757
0-100	0.7201	0.7293	0.7334	0.7896	0.7939
0-104	0.7419	0.7507	0.7546	0.8075	0.8116
0-108	0.7633	0.7716	0.7754	0.8251	0.8290
0-112	0.7843	0.7922	0.7958	0.8423	0.8460
0-116	0.8049	0.8123	0.8158	0.8592	0.8627
0-120	0.8250	0.8319	0.8353	0.8758	0.8791
0-124	0.8446	0.8511	0.8543	0.8919	0.8950
0-128	0.8636	0.8697	0.8727	0.9075	0.9104
0-132	0.8819	0.8875	0.8905	0.9225	0.9252
0-136	0.8993	0.9046	0.9074	0.9369	0.9394
0-140	0.9158	0.9207	0.9234	0.9505	0.9529
0-144	0.9313	0.9358	0.9384	0.9632	0.9654
0-148	0.9455	0.9497	0.9522	0.9749	0.9770
0-152	0.9584	0.9623	0.9647	0.9855	0.9875
0-156	0.9699	0.9735	0.9759	0.9950	0.9969
0-160	0.9798	0.9832	0.9855		
0-164	0.9880	0.9913	0.9935		
0-168	0.9945	0.9976	0.9998		
0-172	0.9992				
0-176					
0-180	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

**Tablo 7.1.6:** E=0.5 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.7739 E-01	0.1384 E-01	0.1591 E-01	0.6905 E-01	0.7185 E-01
0-8	0.2053 E-01	0.2867 E-01	0.3181 E-01	0.1031	0.1064
0-12	0.4072 E-01	0.4874 E-01	0.5197 E-01	0.1301	0.1344
0-16	0.6742 E-01	0.7540 E-01	0.7852 E-01	0.1586	0.1630
0-20	0.9963 E-01	0.1075	0.1105	0.1906	0.1949
0-24	0.1361	0.1439	0.1468	0.2254	0.2298
0-28	0.1757	0.1831	0.1860	0.2621	0.2663
0-32	0.2171	0.2242	0.2269	0.2999	0.3040
0-36	0.2592	0.2659	0.2685	0.3384	0.3423
0-40	0.3011	0.3074	0.3099	0.3767	0.3804
0-44	0.3422	0.3481	0.3504	0.4142	0.4177
0-48	0.3819	0.3873	0.3896	0.4504	0.4536
0-52	0.4198	0.4249	0.4270	0.4850	0.4880
0-56	0.4558	0.4605	0.4625	0.5178	0.5206
0-60	0.4898	0.4942	0.4960	0.5488	0.5514
0-64	0.5219	0.5259	0.5277	0.5780	0.5804
0-68	0.5521	0.5558	0.5575	0.6055	0.6078
0-72	0.5807	0.5841	0.5856	0.6316	0.6337
0-76	0.6077	0.6108	0.6123	0.6562	0.6582
0-80	0.6334	0.6363	0.6377	0.6796	0.6815
0-84	0.6580	0.6606	0.6619	0.7020	0.7037
0-88	0.6816	0.6840	0.6852	0.7235	0.7251
0-92	0.7043	0.7065	0.7076	0.7441	0.7456
0-96	0.7263	0.7282	0.7293	0.7641	0.7655
0-100	0.7477	0.7493	0.7503	0.7835	0.7848
0-104	0.7684	0.7699	0.7708	0.8024	0.8035
0-108	0.7886	0.7898	0.7907	0.8207	0.8217
0-112	0.8082	0.8092	0.8100	0.8385	0.8394
0-116	0.8272	0.8281	0.8288	0.8558	0.8566
0-120	0.8457	0.8463	0.8470	0.8725	0.8732
0-124	0.8634	0.8639	0.8645	0.8886	0.8892
0-128	0.8805	0.8808	0.8813	0.9041	0.9046
0-132	0.8967	0.8968	0.8973	0.9188	0.9192
0-136	0.9121	0.9120	0.9125	0.9327	0.9331
0-140	0.9265	0.9263	0.9267	0.9458	0.9460
0-144	0.9398	0.9395	0.9399	0.9579	0.9581
0-148	0.9521	0.9516	0.9519	0.9690	0.9691
0-152	0.9631	0.9625	0.9628	0.9789	0.9790
0-156	0.9728	0.9721	0.9723	0.9877	0.9877
0-160	0.9811	0.9803	0.9806	0.9953	0.9952
0-164	0.9880	0.9872	0.9874		
0-168	0.9934	0.9926	0.9927		
0-172	0.9974	0.9964	0.9966		
0-176	0.9997	0.9988	0.9989		
0-180	1.0000	0.9996	0.9997	1.0000	1.0000



**Tablo 7.1.7:** E=0.7 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.6063 E-01	0.1144 E-01	0.1192 E-01	0.4890 E-01	0.5251 E-01
0-8	0.2063 E-01	0.2637 E-01	0.2727 E-01	0.7523 E-01	0.7975 E-01
0-12	0.4354 E-01	0.4933 E-01	0.5017 E-01	0.1006	0.1052
0-16	0.7374 E-01	0.7954 E-01	0.8034 E-01	0.1311	0.1358
0-20	0.1098	0.1155	0.1162	0.1660	0.1707
0-24	0.1500	0.1555	0.1563	0.2043	0.2089
0-28	0.1929	0.1982	0.1989	0.2451	0.2496
0-32	0.2371	0.2421	0.2427	0.2870	0.2913
0-36	0.2813	0.2860	0.2865	0.3289	0.3331
0-40	0.3246	0.3291	0.3295	0.3701	0.3741
0-44	0.3665	0.3707	0.3710	0.4097	0.4136
0-48	0.4064	0.4104	0.4106	0.4476	0.4514
0-52	0.4442	0.4480	0.4481	0.4834	0.4871
0-56	0.4798	0.4834	0.4834	0.5172	0.5207
0-60	0.5133	0.5166	0.5166	0.5489	0.5523
0-64	0.5447	0.5478	0.5478	0.5786	0.5819
0-68	0.5743	0.5772	0.5771	0.6066	0.6098
0-72	0.6022	0.6050	0.6048	0.6329	0.6361
0-76	0.6287	0.6313	0.6310	0.6579	0.6610
0-80	0.6538	0.6563	0.6560	0.6816	0.6846
0-84	0.6778	0.6802	0.6798	0.7043	0.7072
0-88	0.7009	0.7031	0.7027	0.7260	0.7288
0-92	0.7231	0.7251	0.7247	0.7469	0.7496
0-96	0.7445	0.7464	0.7459	0.7670	0.7696
0-100	0.7652	0.7670	0.7664	0.7865	0.7890
0-104	0.7852	0.7869	0.7863	0.8053	0.8077
0-108	0.8046	0.8061	0.8055	0.8235	0.8259
0-112	0.8233	0.8247	0.8241	0.8410	0.8433
0-116	0.8413	0.8426	0.8420	0.8580	0.8602
0-120	0.8587	0.8599	0.8592	0.8742	0.8764
0-124	0.8753	0.8764	0.8757	0.8898	0.8919
0-128	0.8911	0.8921	0.8914	0.9046	0.9067
0-132	0.9061	0.9070	0.9062	0.9187	0.9207
0-136	0.9202	0.9210	0.9202	0.9319	0.9338
0-140	0.9333	0.9340	0.9332	0.9442	0.9460
0-144	0.9454	0.9460	0.9452	0.9555	0.9573
0-148	0.9564	0.9570	0.9561	0.9658	0.9676
0-152	0.9663	0.9668	0.9659	0.9751	0.9768
0-156	0.9749	0.9754	0.9745	0.9832	0.9849
0-160	0.9824	0.9828	0.9818	0.9901	0.9918
0-164	0.9885	0.9889	0.9879	0.9959	0.9976
0-168	0.9933	0.9936	0.9927		
0-172	0.9968	0.9971	0.9961		
0-176	0.9988	0.9992	0.9982		
0-180	0.9995	0.9998	0.9988	1.0000	1.0000

**Tablo 7.1.8:** E=1 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

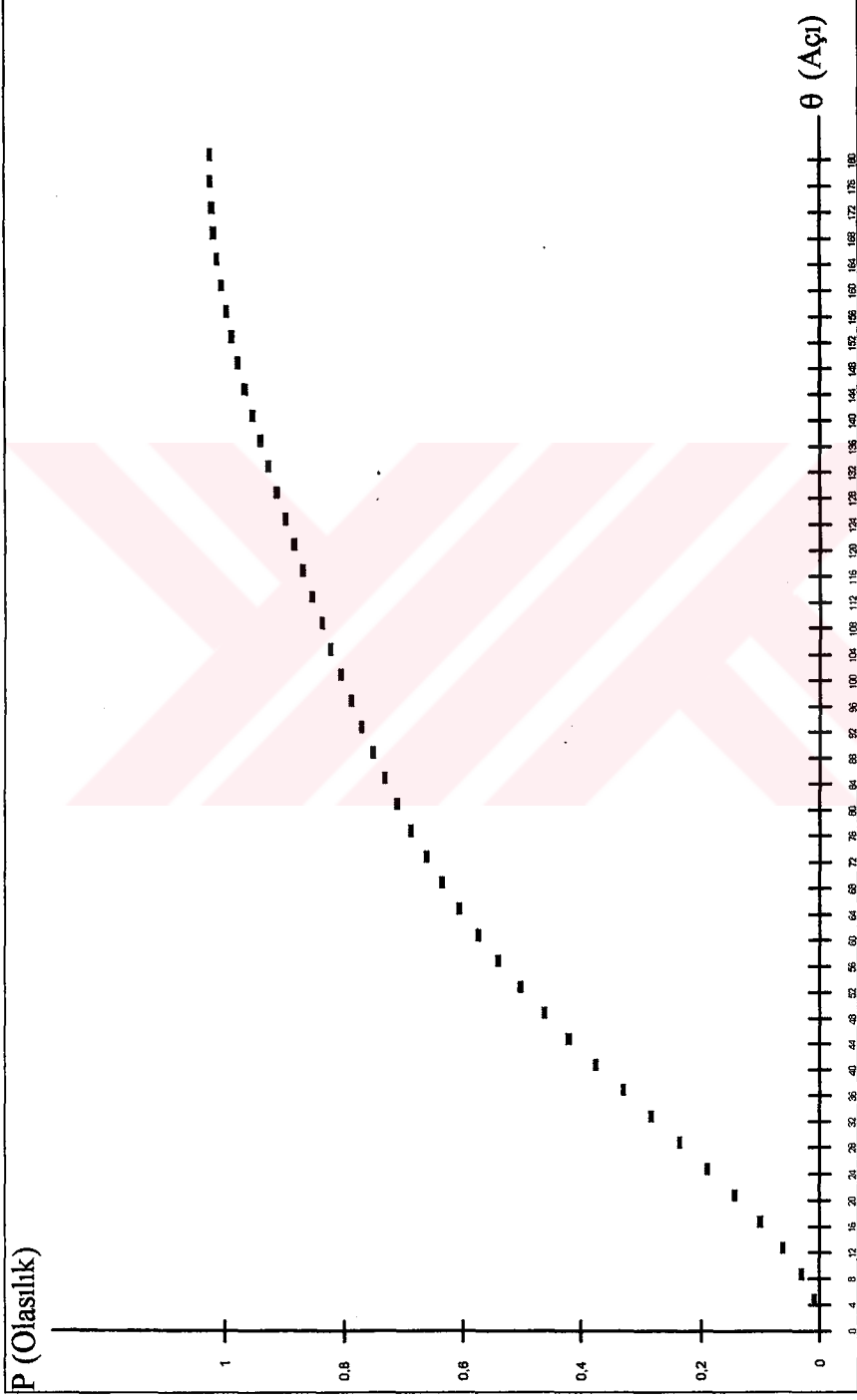
Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.6156 E-02	0.1006 E-01	0.1054 E-01	0.3041 E-01	0.3251 E-01
0-8	0.2305 E-01	0.2701 E-01	0.2752 E-01	0.5177 E-01	0.5436 E-01
0-12	0.4964 E-01	0.5367 E-01	0.5417 E-01	0.7913 E-01	0.8183 E-01
0-16	0.8424 E-01	0.8821 E-01	0.8871 E-01	0.1129	0.1156
0-20	0.1248	0.1286	0.1291	0.1524	0.1550
0-24	0.1691	0.1728	0.1733	0.1955	0.1981
0-28	0.2154	0.2190	0.2193	0.2405	0.2430
0-32	0.2620	0.2654	0.2657	0.2858	0.2882
0-36	0.3078	0.3110	0.3113	0.3303	0.3326
0-40	0.3520	0.3550	0.3552	0.3731	0.3754
0-44	0.3939	0.3968	0.3970	0.4138	0.4160
0-48	0.4335	0.4363	0.4364	0.4522	0.4543
0-52	0.4707	0.4733	0.4734	0.4882	0.4902
0-56	0.5055	0.5080	0.5080	0.5218	0.5237
0-60	0.5381	0.5405	0.5405	0.5533	0.5552
0-64	0.5687	0.5710	0.5709	0.5829	0.5846
0-68	0.5975	0.5997	0.5996	0.6106	0.6124
0-72	0.6248	0.6268	0.6267	0.6369	0.6385
0-76	0.6506	0.6526	0.6524	0.6617	0.6633
0-80	0.6752	0.6771	0.6769	0.6854	0.6869
0-84	0.6987	0.7005	0.7003	0.7080	0.7095
0-88	0.7212	0.7229	0.7227	0.7296	0.7311
0-92	0.7428	0.7444	0.7442	0.7504	0.7518
0-96	0.7636	0.7651	0.7649	0.7705	0.7718
0-100	0.7836	0.7851	0.7848	0.7897	0.7910
0-104	0.8028	0.8042	0.8039	0.8082	0.8094
0-108	0.8213	0.8227	0.8223	0.8260	0.8272
0-112	0.8391	0.8404	0.8400	0.8431	0.8443
0-116	0.8561	0.8573	0.8569	0.8595	0.8606
0-120	0.8723	0.8735	0.8731	0.8752	0.8762
0-124	0.8878	0.8889	0.8884	0.8900	0.8910
0-128	0.9024	0.9034	0.9030	0.9041	0.9050
0-132	0.9161	0.9171	0.9166	0.9173	0.9182
0-136	0.9289	0.9299	0.9294	0.9296	0.9305
0-140	0.9408	0.9417	0.9412	0.9410	0.9419
0-144	0.9516	0.9525	0.9520	0.9515	0.9523
0-148	0.9615	0.9623	0.9618	0.9610	0.9618
0-152	0.9703	0.9711	0.9705	0.9694	0.9702
0-156	0.9780	0.9787	0.9782	0.9768	0.9776
0-160	0.9845	0.9853	0.9847	0.9832	0.9839
0-164	0.9899	0.9907	0.9901	0.9884	0.9891
0-168	0.9941	0.9949	0.9943	0.9924	0.9931
0-172	0.9972	0.9979	0.9973	0.9953	0.9961
0-176	0.9990	0.9997	0.9991	0.9971	0.9978
0-180	0.9996	1.0000	0.9997	0.9977	0.9984

**Tablo 7.1.9:** E=2 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

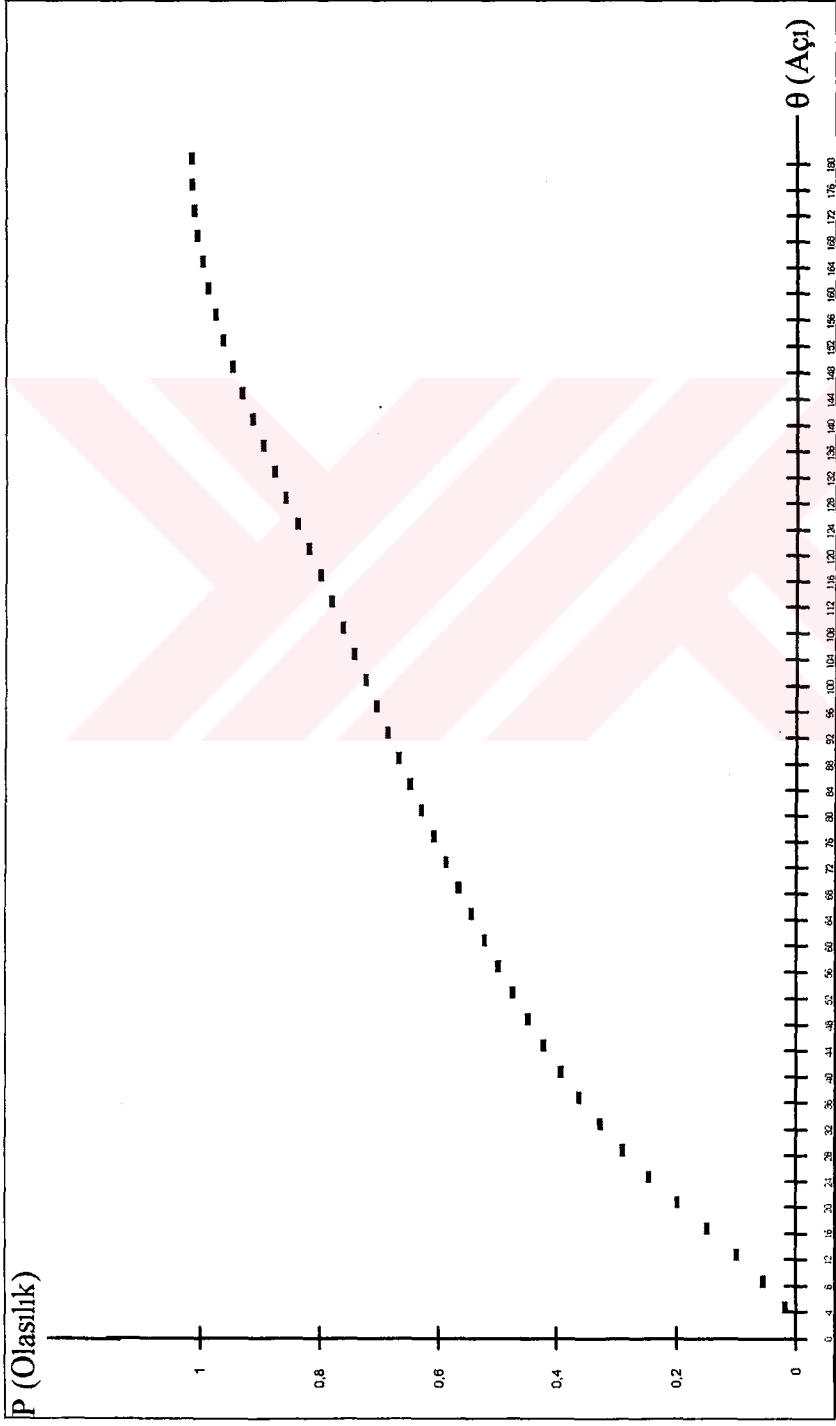
Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.8456 E-01	0.8773 E-02	0.9082 E-02	0.1707 E-02	0.1768 E-01
0-8	0.3217 E-01	0.3255 E-01	0.3287 E-01	0.4130 E-01	0.4199 E-01
0-12	0.6847 E-01	0.6882 E-01	0.6914 E-01	0.7743 E-01	0.7812 E-01
0-16	0.1136	0.1139	0.1142	0.1222	0.1229
0-20	0.1637	0.1639	0.1642	0.1719	0.1726
0-24	0.2155	0.2157	0.2160	0.2233	0.2239
0-28	0.2669	0.2670	0.2672	0.2741	0.2747
0-32	0.3163	0.3163	0.3166	0.3229	0.3235
0-36	0.3630	0.3630	0.3632	0.3690	0.3695
0-40	0.4067	0.4066	0.4068	0.4121	0.4125
0-44	0.4474	0.4472	0.4474	0.4522	0.4527
0-48	0.4852	0.4850	0.4852	0.4896	0.4900
0-52	0.5205	0.5203	0.5204	0.5244	0.5248
0-56	0.5535	0.5532	0.5534	0.5569	0.5573
0-60	0.5845	0.5841	0.5842	0.5874	0.5877
0-64	0.6135	0.6132	0.6133	0.6161	0.6164
0-68	0.6410	0.6406	0.6407	0.6432	0.6434
0-72	0.6670	0.6665	0.6666	0.6688	0.6690
0-76	0.6916	0.6912	0.6912	0.6931	0.6933
0-80	0.7151	0.7146	0.7146	0.7162	0.7164
0-84	0.7374	0.7369	0.7369	0.7382	0.7384
0-88	0.7587	0.7581	0.7581	0.7592	0.7593
0-92	0.7789	0.7784	0.7784	0.7792	0.7793
0-96	0.7983	0.7977	0.7977	0.7982	0.7983
0-100	0.8167	0.8161	0.8161	0.8164	0.8165
0-104	0.8342	0.8336	0.8336	0.8337	0.8338
0-108	0.8509	0.8502	0.8502	0.8501	0.8502
0-112	0.8667	0.8660	0.8660	0.8657	0.8657
0-116	0.8817	0.8809	0.8809	0.8805	0.8805
0-120	0.8958	0.8950	0.8950	0.8944	0.8944
0-124	0.9090	0.9082	0.9082	0.9074	0.9074
0-128	0.9214	0.9206	0.9206	0.9196	0.9196
0-132	0.9329	0.9321	0.9321	0.9310	0.9309
0-136	0.9435	0.9427	0.9427	0.9415	0.9414
0-140	0.9533	0.9525	0.9524	0.9511	0.9510
0-144	0.9622	0.9613	0.9613	0.9598	0.9598
0-148	0.9701	0.9693	0.9692	0.9677	0.9676
0-152	0.9772	0.9763	0.9763	0.9746	0.9746
0-156	0.9833	0.9825	0.9824	0.9807	0.9806
0-160	0.9885	0.9876	0.9876	0.9858	0.9857
0-164	0.9928	0.9919	0.9918	0.9900	0.9899
0-168	0.9961	0.9952	0.9951	0.9933	0.9932
0-172	0.9985	0.9976	0.9975	0.9956	0.9955
0-176	0.9999	0.9990	0.9989	0.9971	0.9969
0-180	1.0000	0.9995	0.9994	0.9975	0.9974

**Tablo 7.1.10:** E=3 MeV enerjili gamanın, alüminyum,demir,bakır,altın ve kurşun ortamlarında, farklı açılara göre saçılma olasılığı değerleri

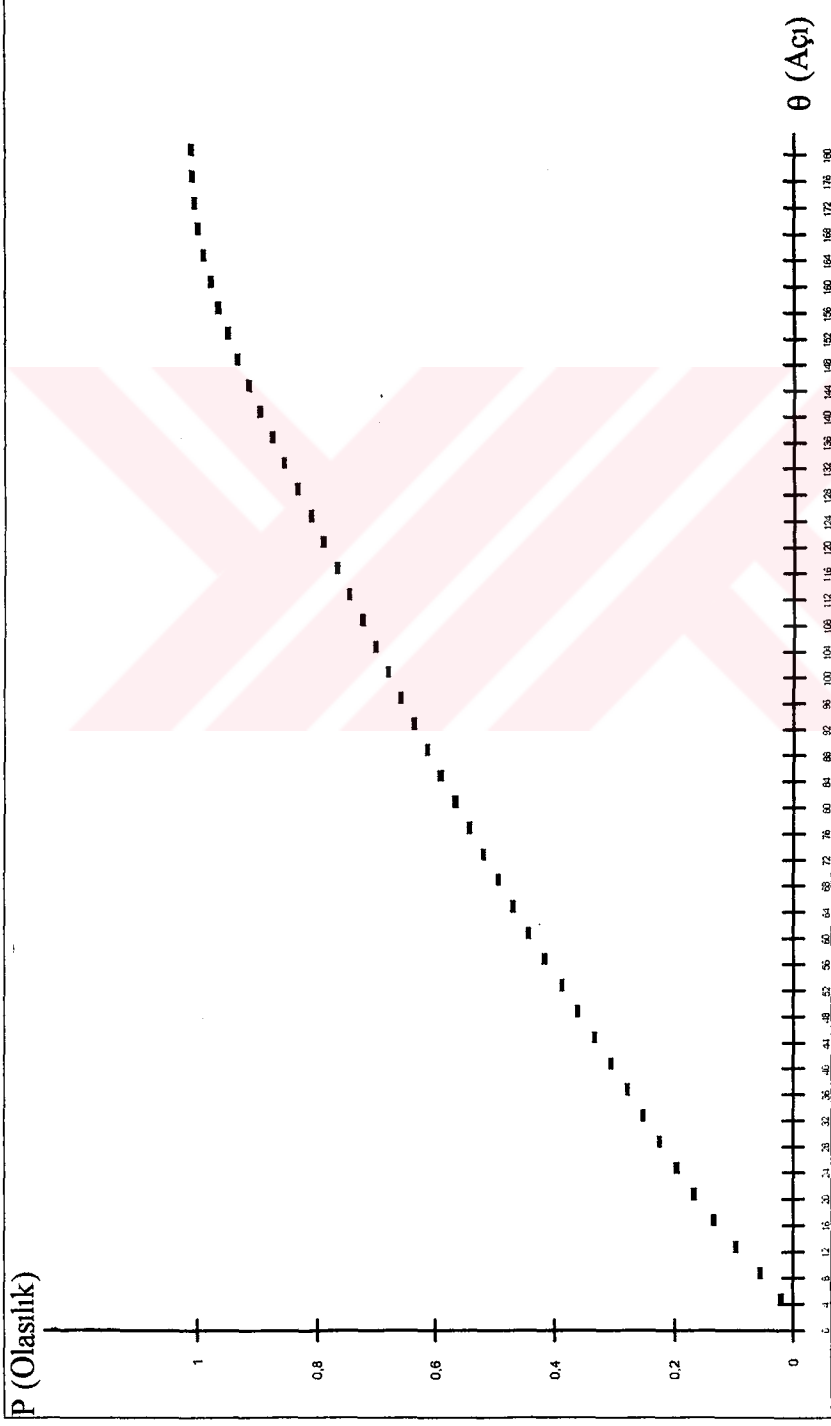
Açı	OLASILIK DEĞERLERİ				
	Alüminyum	Demir	Bakır	Altın	Kurşun
0-4	0.1056 E-01	0.1062 E-01	0.1065 E-01	0.1369 E-01	0.1403 E-01
0-8	0.4010 E-01	0.4016 E-01	0.4019 E-01	0.4326 E-01	0.4362 E-01
0-12	0.8388 E-01	0.8390 E-01	0.8393 E-01	0.8695 E-01	0.8730 E-01
0-16	0.1361	0.1361	0.1361	0.1389	0.1393
0-20	0.1916	0.1916	0.1916	0.1942	0.1945
0-24	0.2469	0.2468	0.2468	0.2491	0.2494
0-28	0.2998	0.2997	0.2997	0.3016	0.3019
0-32	0.3495	0.3493	0.3493	0.3509	0.3512
0-36	0.3956	0.3955	0.3954	0.3967	0.3969
0-40	0.4384	0.4381	0.4381	0.4391	0.4393
0-44	0.4779	0.4777	0.4776	0.4783	0.4785
0-48	0.5147	0.5144	0.5143	0.5148	0.5150
0-52	0.5489	0.5486	0.5485	0.5488	0.5489
0-56	0.5809	0.5806	0.5805	0.5805	0.5806
0-60	0.6109	0.6106	0.6105	0.6103	0.6104
0-64	0.6391	0.6388	0.6387	0.6383	0.6384
0-68	0.6658	0.6654	0.6653	0.6647	0.6648
0-72	0.6909	0.6905	0.6904	0.6896	0.6897
0-76	0.7147	0.7143	0.7142	0.7133	0.7133
0-80	0.7373	0.7369	0.7367	0.7357	0.7357
0-84	0.7587	0.7583	0.7581	0.7569	0.7569
0-88	0.7790	0.7786	0.7784	0.7771	0.7771
0-92	0.7983	0.7978	0.7977	0.7962	0.7962
0-96	0.8166	0.8161	0.8159	0.8143	0.8143
0-100	0.8339	0.8334	0.8333	0.8315	0.8315
0-104	0.8503	0.8498	0.8496	0.8478	0.8478
0-108	0.8658	0.8653	0.8651	0.8632	0.8631
0-112	0.8805	0.8799	0.8797	0.8777	0.8776
0-116	0.8942	0.8937	0.8935	0.8913	0.8913
0-120	0.9071	0.9065	0.9064	0.9041	0.9040
0-124	0.9192	0.9186	0.9184	0.9161	0.9160
0-128	0.9304	0.9298	0.9296	0.9272	0.9271
0-132	0.9408	0.9402	0.9400	0.9375	0.9374
0-136	0.9503	0.9497	0.9495	0.9470	0.9469
0-140	0.9590	0.9584	0.9582	0.9556	0.9555
0-144	0.9669	0.9663	0.9661	0.9635	0.9634
0-148	0.9740	0.9734	0.9732	0.9705	0.9704
0-152	0.9802	0.9796	0.9794	0.9767	0.9766
0-156	0.9856	0.9850	0.9848	0.9820	0.9819
0-160	0.9902	0.9896	0.9894	0.9866	0.9865
0-164	0.9940	0.9933	0.9931	0.9903	0.9902
0-168	0.9969	0.9963	0.9961	0.9932	0.9931
0-172	0.9990	0.9983	0.9981	0.9953	0.9951
0-176		0.9996	0.9994	0.9965	0.9964
0-180	1.0000	1.0000	0.9998	0.9969	0.9968



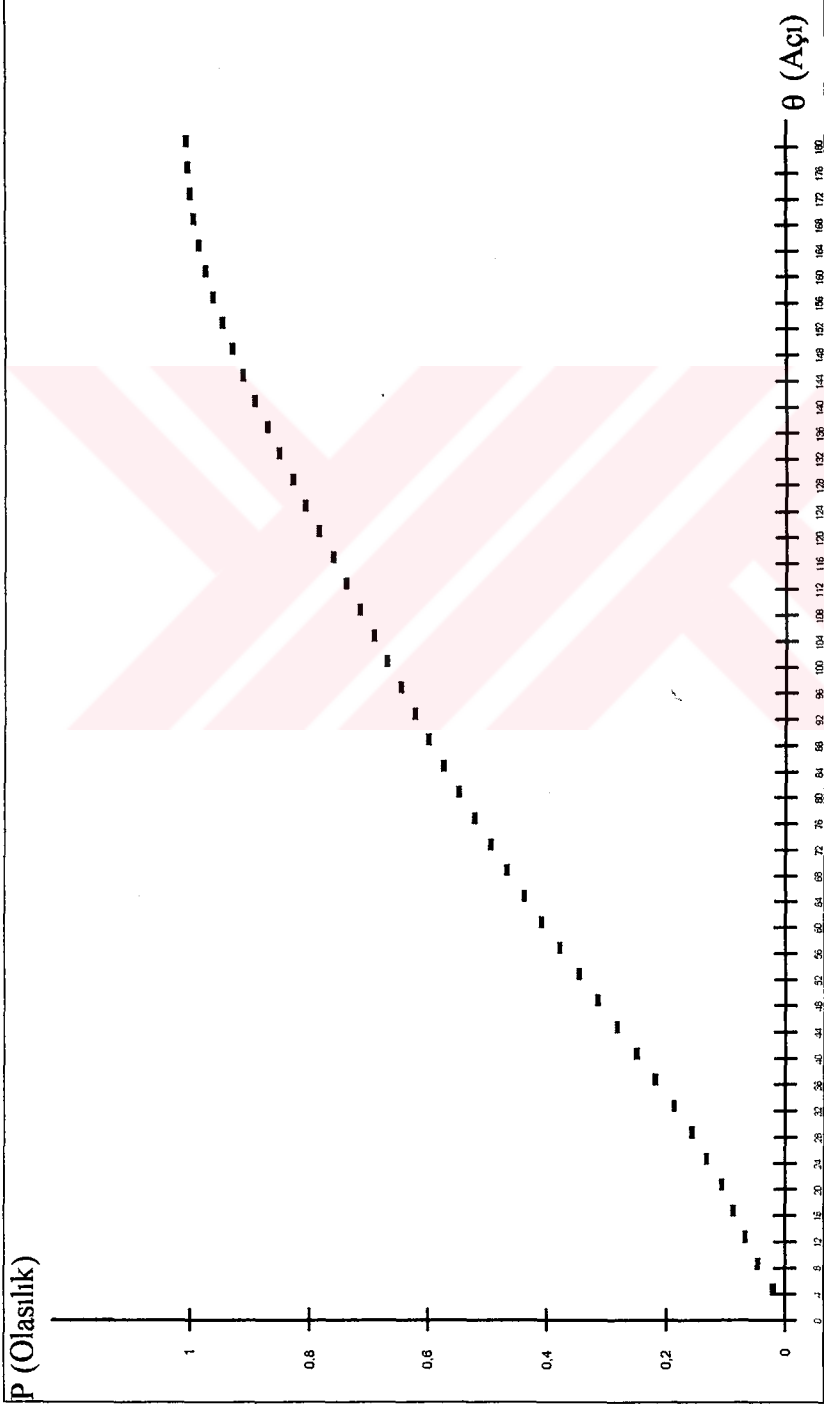
Şekil 7.1.1:  $E = 0.011$  MeV enerjili gamamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi



Şekil 7.1.2:  $E = 0.030$  MeV enerjili gamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi

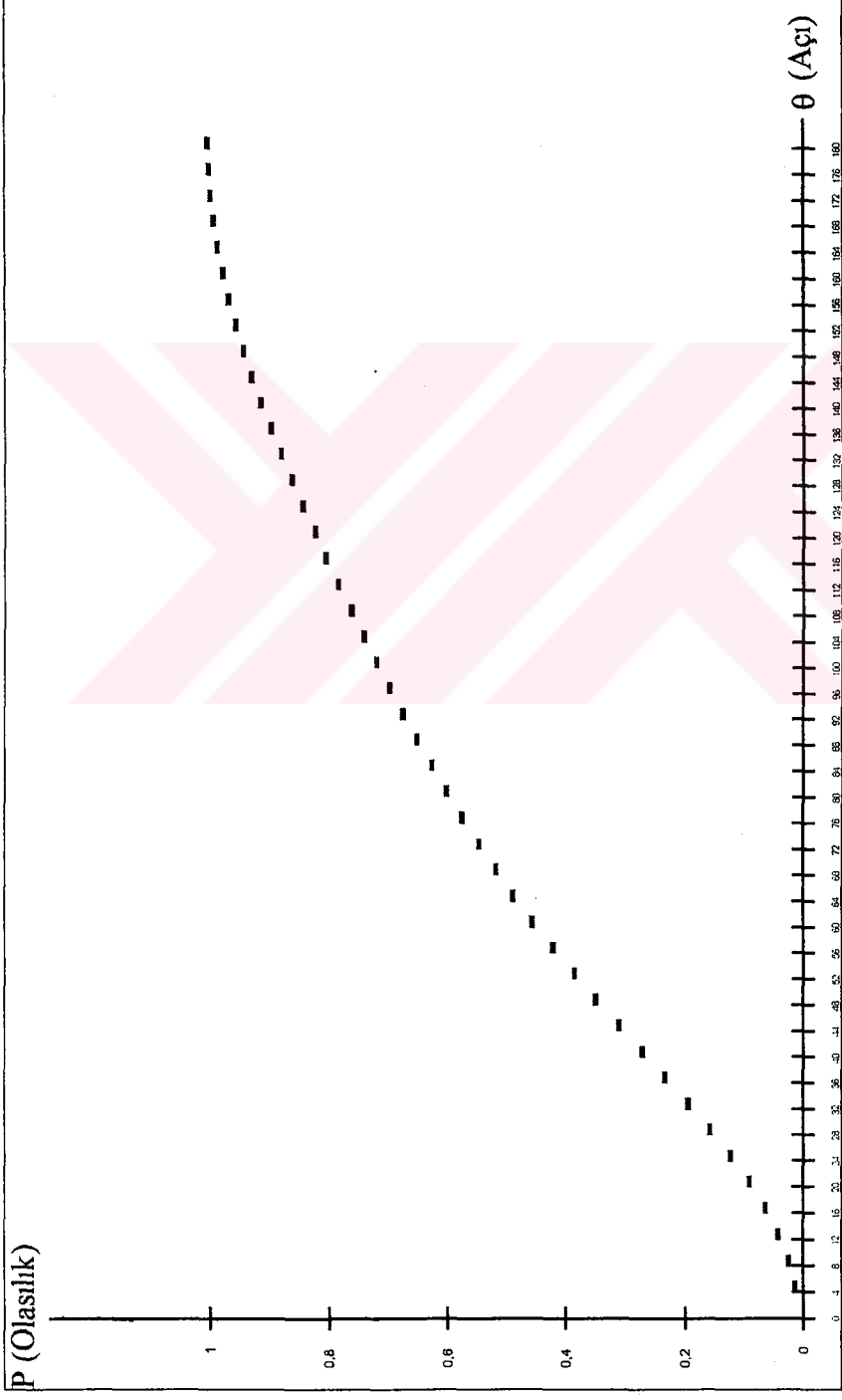


Şekil 7.1.3:  $E = 0.050$  MeV enerjili gammanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi

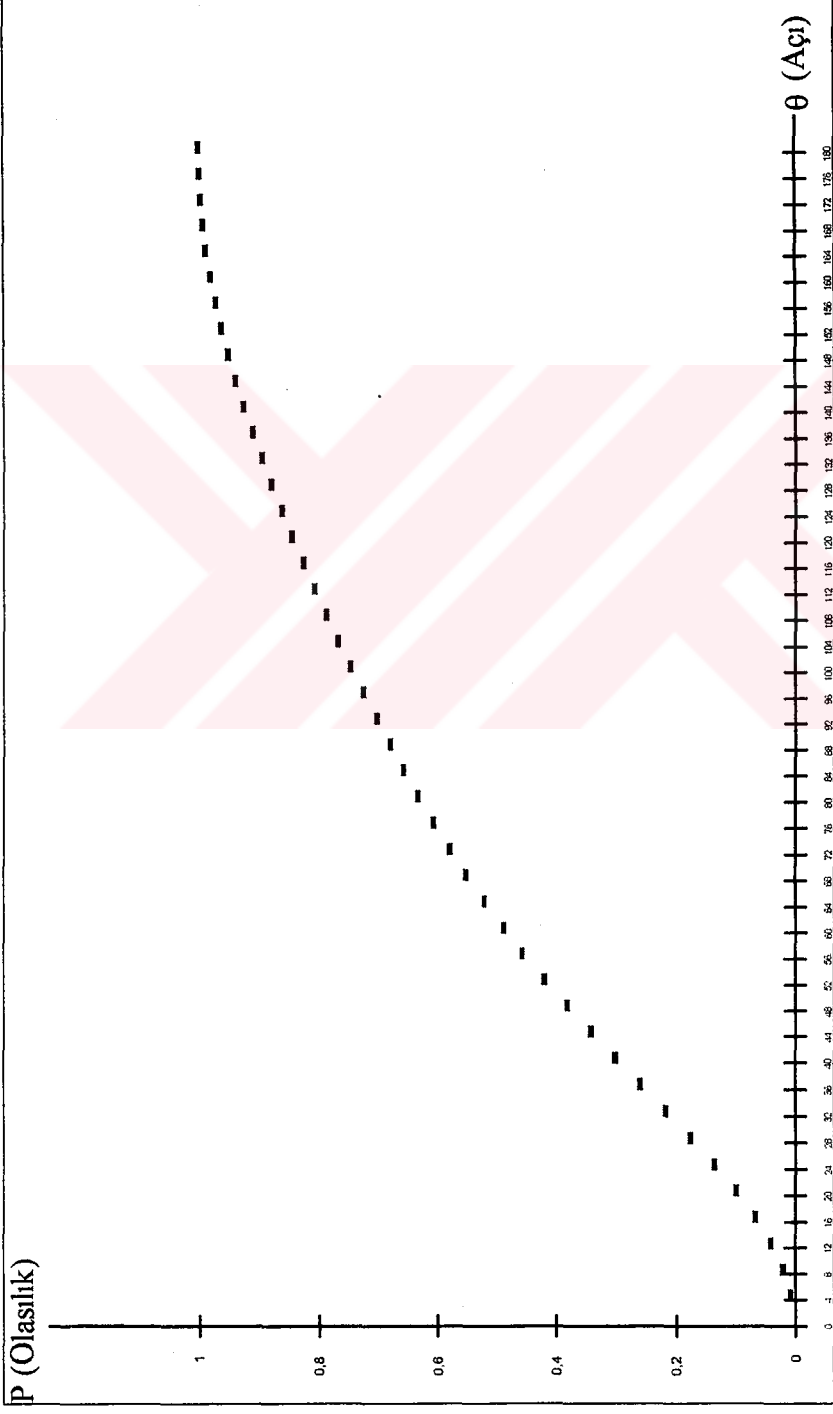


Şekil 7.1.4:  $E = 0.1$  MeV enerjili gamamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi

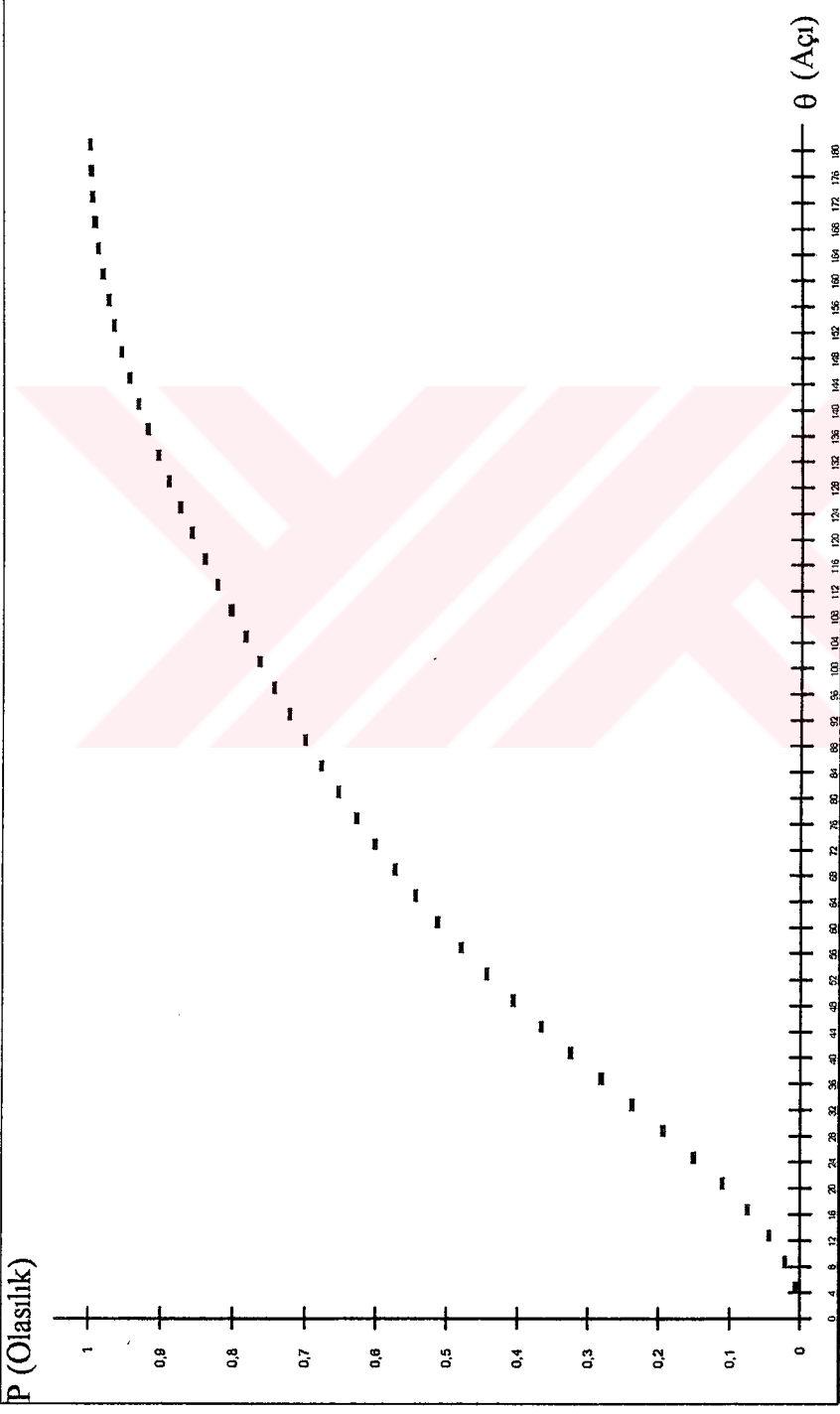




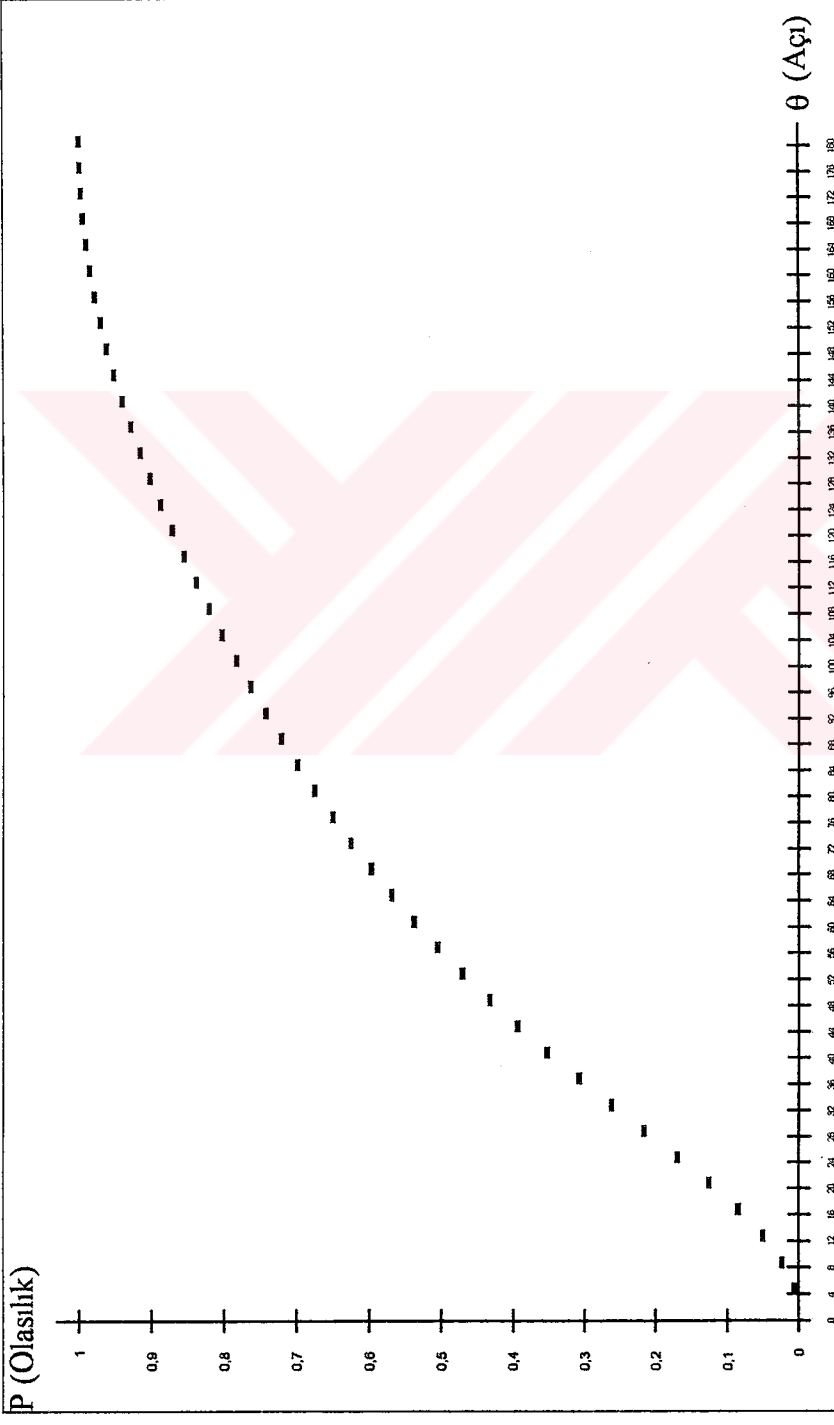
Şekil 7.1.5:  $E = 0.3$  MeV enerjili gamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi



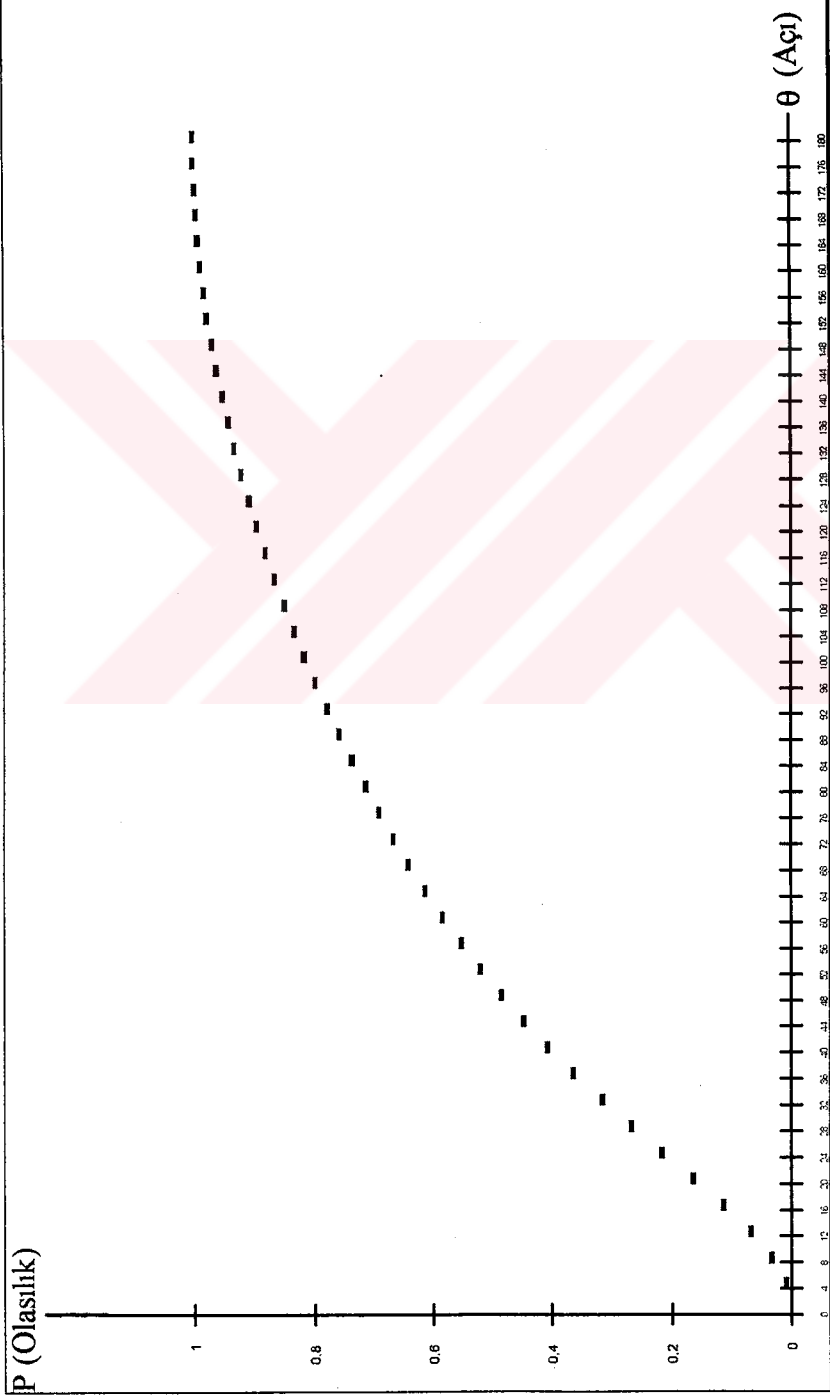
Şekil 7.1.6:  $E = 0.5$  MeV enerjili gamamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi



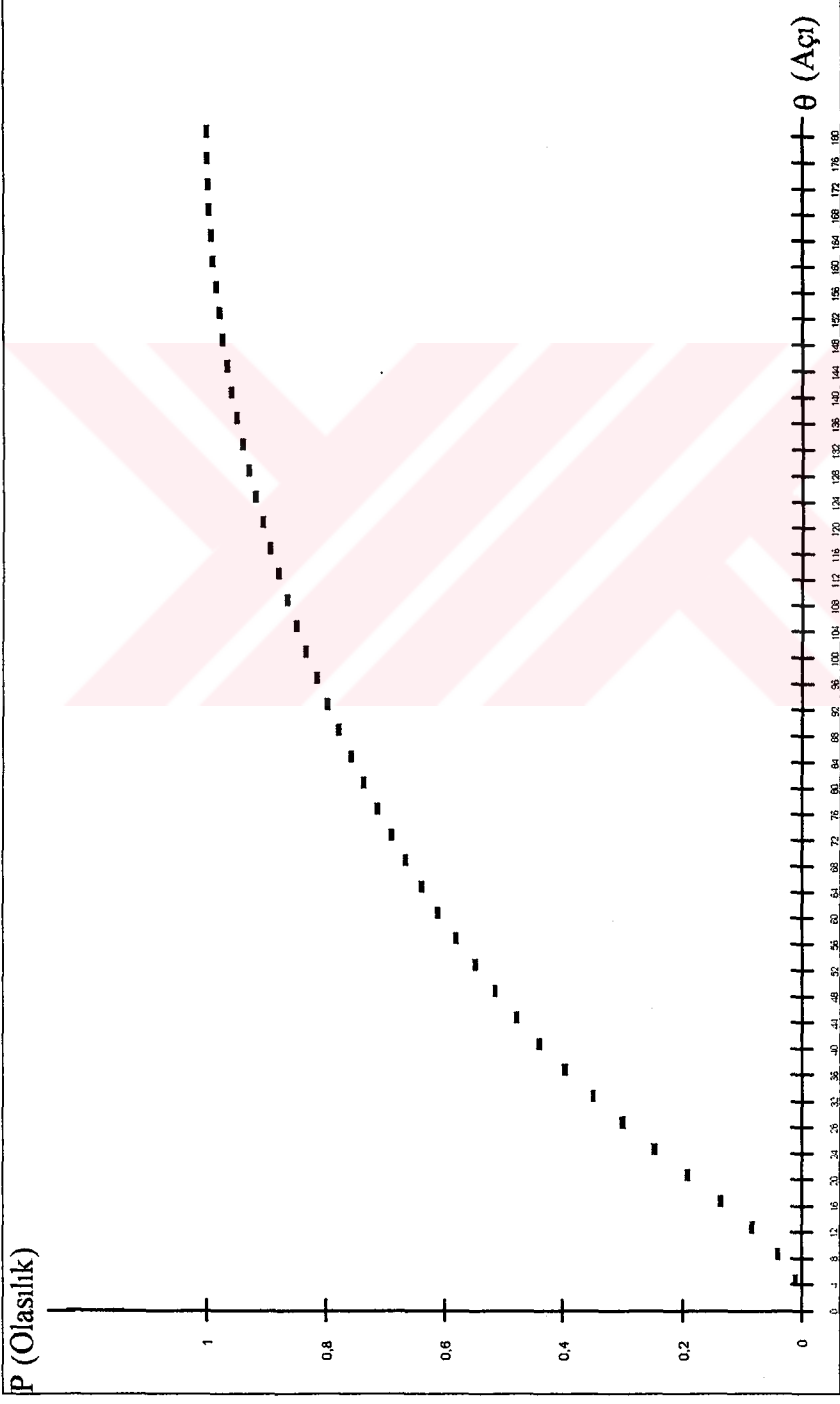
Şekil 7.1.7:  $E = 0.7$  MeV enerjili gamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi



Şekil 7.1.8:  $E = 1$  MeV enerjili gamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi



Şekil 7.1.9:  $E = 2$  MeV enerjili gamamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi



Şekil 7.1.10:  $E = 3$  MeV enerjili gamanın, alüminyum ortamında toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığının açığa bağlı değişimi

## 8. MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE BİR KERE VE ARD ARDA İKİ KERE SAÇILMA YAPMIŞ GAMANIN ENERJİ DAĞILIMLARININ BULUNMASI

### 8.1. Bir Kere Saçılma Yapmış Gamanın Enerji Dağılımının Bulunması

Bir kere saçılma yapmış gamanın, saçılmadan sonraki enerji dağılımı, (0.011 - 3) MeV enerji değerleri arasında ve alüminyum, demir, bakır, altın, kurşun ortamları için Monte Carlo benzetişim yöntemi uygulanarak elde edilmiştir.

Bir ortama giren gamanın yaptığı etkileşme saçılma ise, saçılmanın coherent saçılma ya da incoherent saçılma olma olasılıkları aşağıda verilmiştir.

$$P_{\text{coh}} = \frac{\sigma_{\text{coh}}}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}}} \quad (8.1)$$

$$P_{\text{inc}} = \frac{\sigma_{\text{inc}}}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}}} \quad (8.2)$$

Burada,

$\sigma_{\text{coh}}$ ; seçilen bir gama enerjisinde, bir ortama ait toplam coherent saçılma tesir kesiti olup, 6. bölümde, logaritmik eşelleme yoluyla hesaplanan sayısal değeri kullanılmıştır.

$\sigma_{\text{inc}}$ ; seçilen bir gama enerjisinde, bir ortama ait toplam incoherent saçılma tesir kesiti olup, 6. bölümde, lineer eşelleme yoluyla hesaplanan sayısal değeri kullanılmıştır.

$\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}}$ ; seçilen bir gama enerjisinde, bir ortama ait toplam saçılma tesir kesitidir. 6. bölümde, logaritmik eşelleme yoluyla bulunan coherent ve lineer eşelleme yoluyla bulunan incoherent saçılma tesir kesitlerinin toplanmasından elde edilmiştir.

0 ve 1 arasında eşit olasılıkla gelen bir  $q$  sayısı üretilmiş ve

$$0 < q < P_{\text{inc}} \quad (8.3)$$

olması halinde, saçılmanın incoherent saçılma olduğu tespit edilmiştir. İncoherent saçılma yaptığı tespit edilen gamanın, hangi açıda saçılma yaptığı ve saçılmadan sonraki

enerjisinin veya ortama bıraktığı enerjinin bilinmesi önemlidir.

Denklem (7.2)'de, farklı enerji değerleri ve farklı ortamlar için; 0'dan 180 dereceye kadar değişen  $\theta$  saçılma açılarına ait incoherent saçılma olasılıkları hesaplanmıştır. Buna göre; incoherent saçılma olasılık değerlerine karşılık gelen  $\theta$  saçılma açıları bilinmektedir. O halde; incoherent saçılma yaptığı tespit edilen bir gamanın, hangi açıda saçıldığını bulmak için, (0-1) arasında değişen yeni bir  $q$  sayısı üretmek gerekir. Yeniden üretilen bu sayı, incoherent saçılma olasılığı olduğu varsayılarak bu  $q$  sayısına ait  $\theta$  değeri bulunmuştur. Ara değerler için yamuk kaidesi uygulanmıştır.

$$P_{inc_i} = P_{inc_{i-1}} + \frac{\frac{r_e^2}{2} [1 + k (1 - \cos \theta_i)]^{-2} \left[ 1 + \cos^2 \theta_i + \frac{k^2 (1 - \cos \theta_i)^2}{1 + k (1 - \cos \theta_i)} \right] S(X_i, Z) 2\pi \sin \theta_i \frac{4\pi}{180}}{\sigma_{inc}}$$

$$q = P_{inc_i} \quad \text{ise} \quad \theta = \theta_i \quad (8.4.a)$$

$$P_{inc_{i+1}} > q > P_{inc_i} \quad \text{ise} \quad \theta = \theta_i + \frac{[\theta_{i+1} - \theta_i] * [q - P_{inc_i}]}{[P_{inc_{i+1}} - P_{inc_i}]} \quad (8.4.b)$$

Burada,

$i$  ; 1'den 45'e kadar değişen sayı değerlerine sahip olup;  $i=1$  için  $\theta=2$  derece,  $i=2$  için  $\theta=6$  derece,  $i=3$  için  $\theta=10$  derece,.....,  $i=45$  için  $\theta=178$  derecedir.

$P_{inc_i}$  ;  $i$ . sayı değerine ait incoherent saçılma olasılığıdır.

$\theta_i$  ;  $i$ . sayı değerine ait saçılma açısıdır.

Bu suretle, gamanın yapacağı saçılmanın incoherent saçılma olması halinde, saçılma açısı  $\theta$  tespit edilmiştir.  $\theta$  açısına saçılan gamanın enerjisi ise yaygın olarak bilinen bir ifade olup denklem (2.10)'da verilmiştir. Denklem (2.10) yardımı ile saçılan gamanın enerjisi bulunmuş ve bu enerjideki gama kutulanmıştır.

İlk üretilen  $q$  değerinin,

$$P_{inc} < q < 1 \quad (8.5)$$

olması halinde gamanın yapacağı saçılma, coherent olarak kabul edilmiş ve coherent

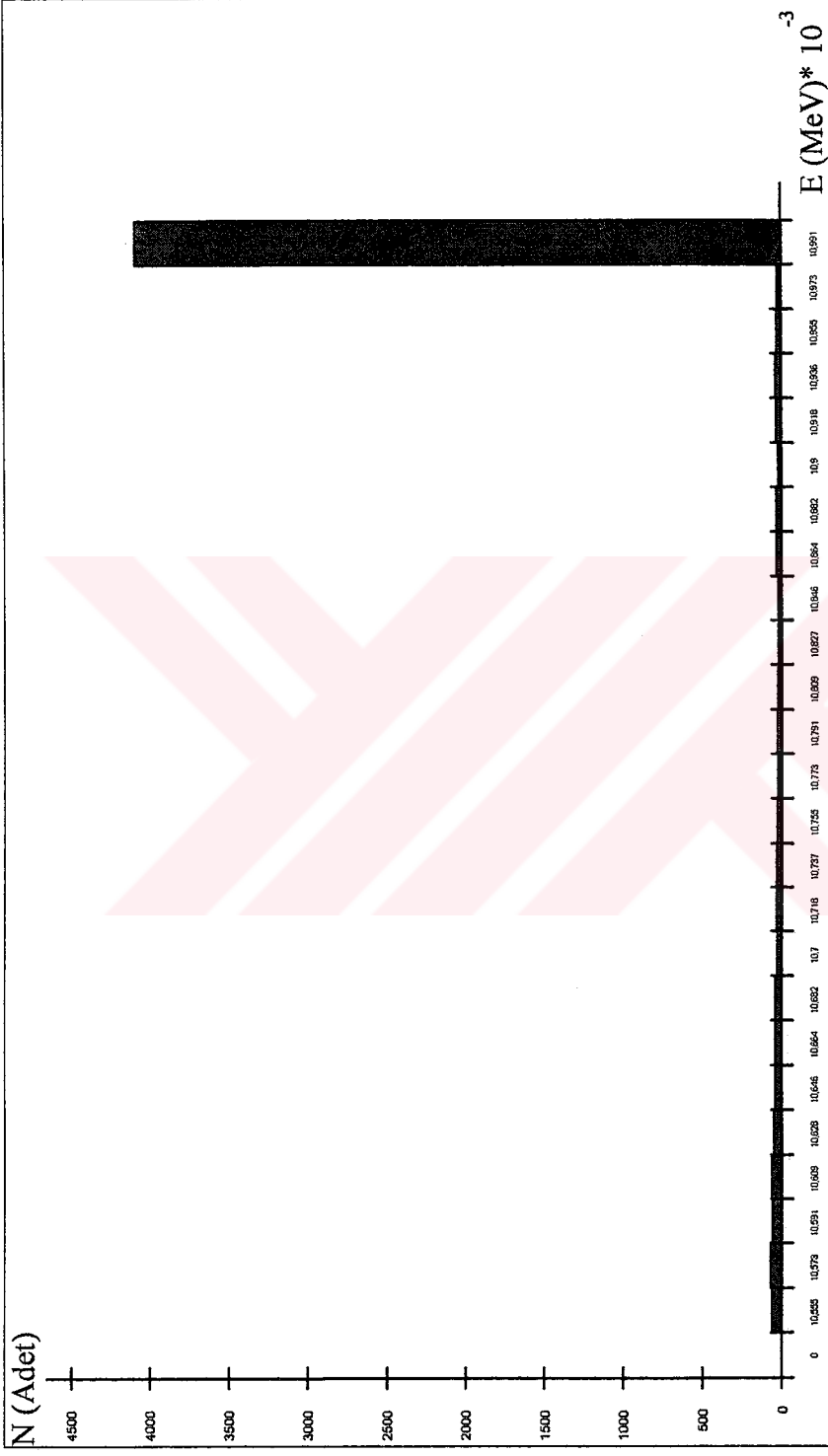


saçılmada gamanın enerji kaybetmediği göz önüne alınarak  $h\nu$  enerjili gama kutulanmıştır.

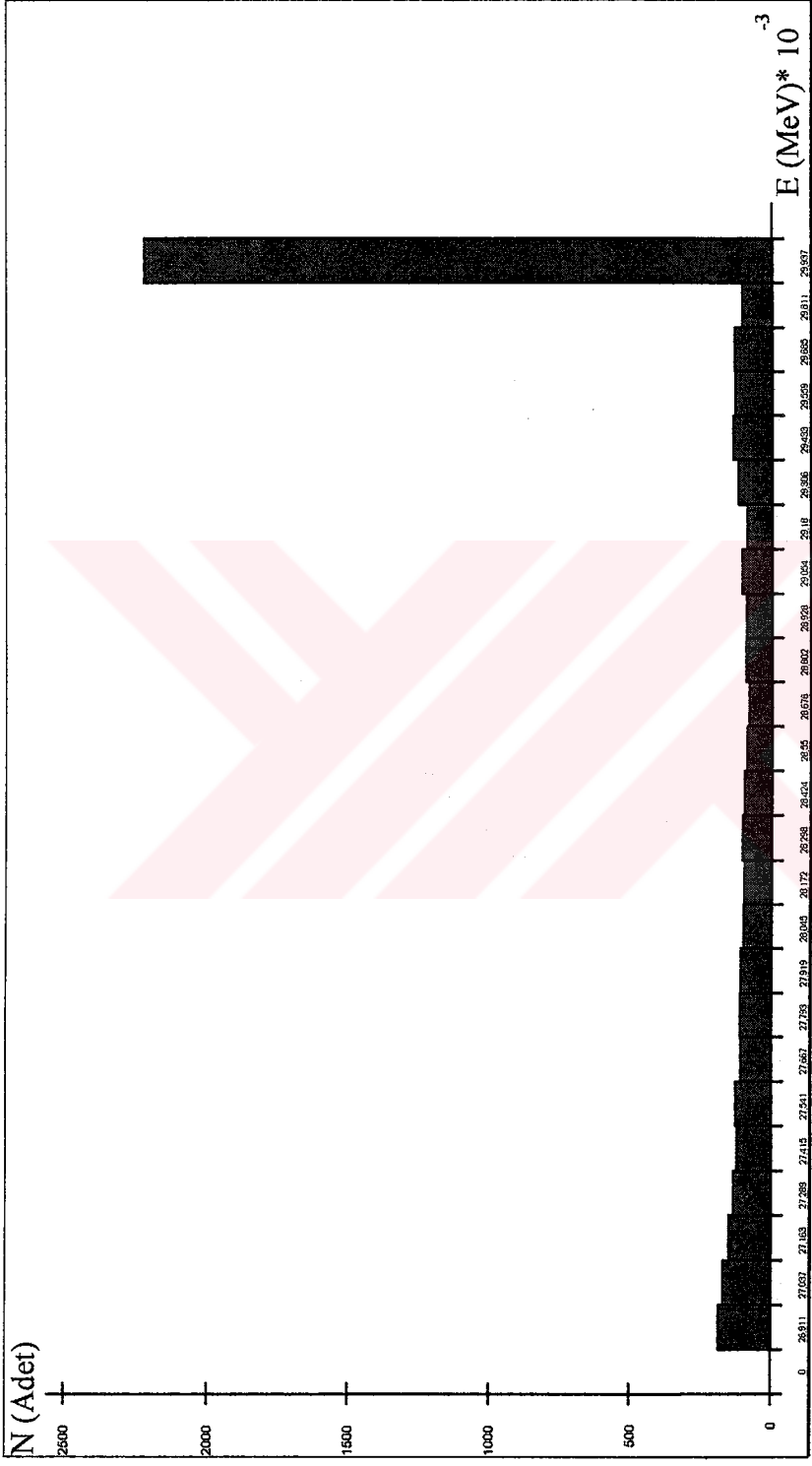
Yukarıda belirtilen işlemler, bilgisayar aracılığı ile 5000 kez tekrarlanmıştır. Sonuçta; aynı E enerji değerindeki gamaların, bir kere saçılmalarından sonraki enerji dağılımı elde edilmiştir.

Bir kere saçılma yapmış gamaların enerji dağılımı elde edilirken, gamanın yapacağı etkileşme çeşidi örneklenmemiştir. Bunun temel nedeni, istatistiği arttırmaktır. Fakat ard arda iki kere saçılma yapmış gamaların enerji spektrumlarının elde edilmesinde ikinci kez etkileşme çeşidinin belirtilmesi gerekir. Çünkü farklı enerjideki gamaların soğurulma olasılığı (fotoelektrik olay yapma olasılığı) farklı olacağından, ard arda iki kere saçılma yapmış gamaların enerji spektrumlarının değişimine sebep olur.

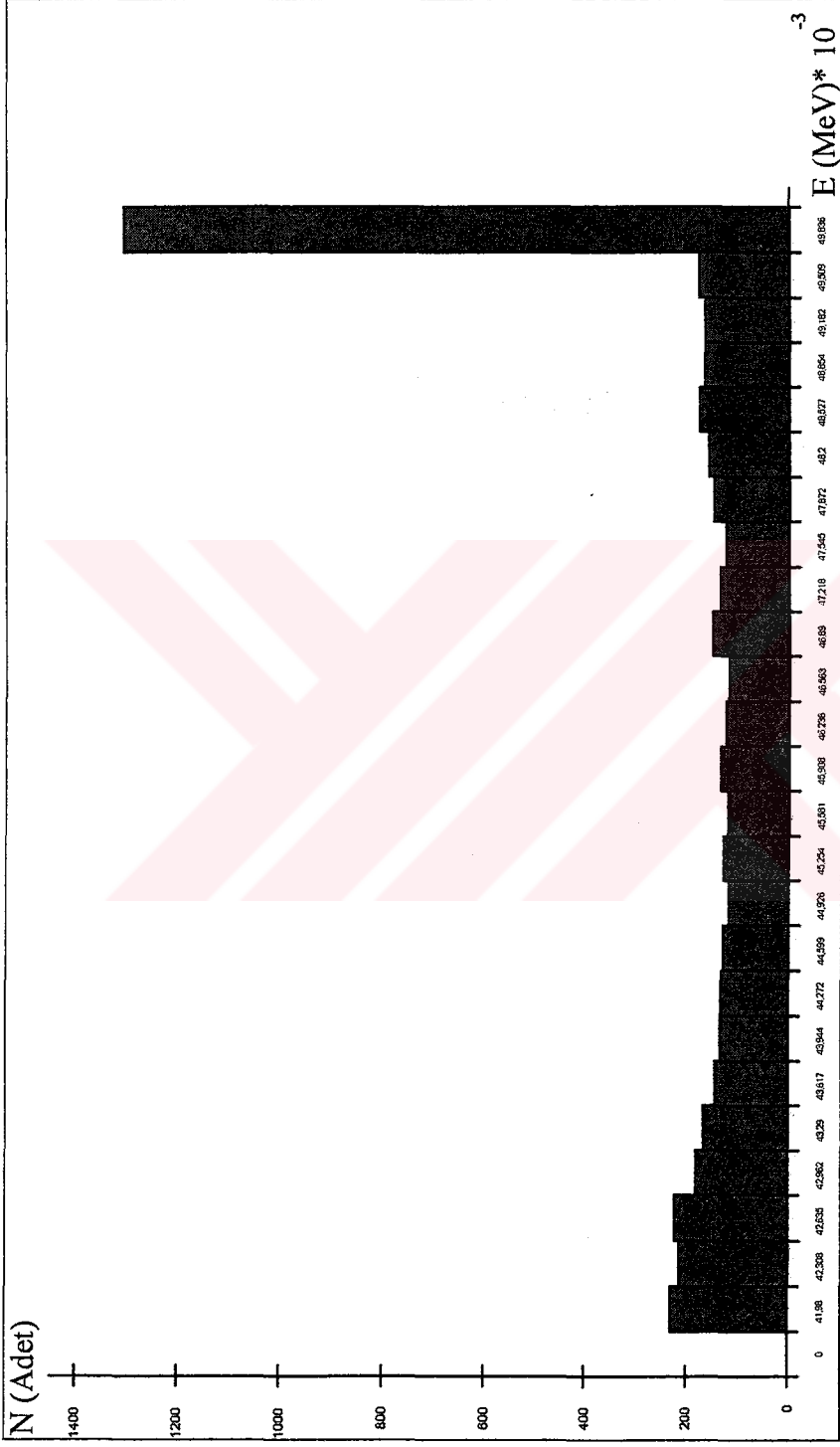
Şekil 8.1'de, bir kere saçılma yapmış gamanın, saçılmadan sonraki enerji dağılımı, alüminyum ortamı ve 0.011 MeV, 0.030 MeV, 0.050 MeV, 0.1 MeV, 0.3 MeV, 0.5 MeV, 0.7 MeV, 1 MeV, 2 MeV, 3 MeV enerji değerleri için grafik olarak verilmiştir.



Şekil 8.1.1: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=0.011$  MeV enerjili gamamanın enerji dağılımı

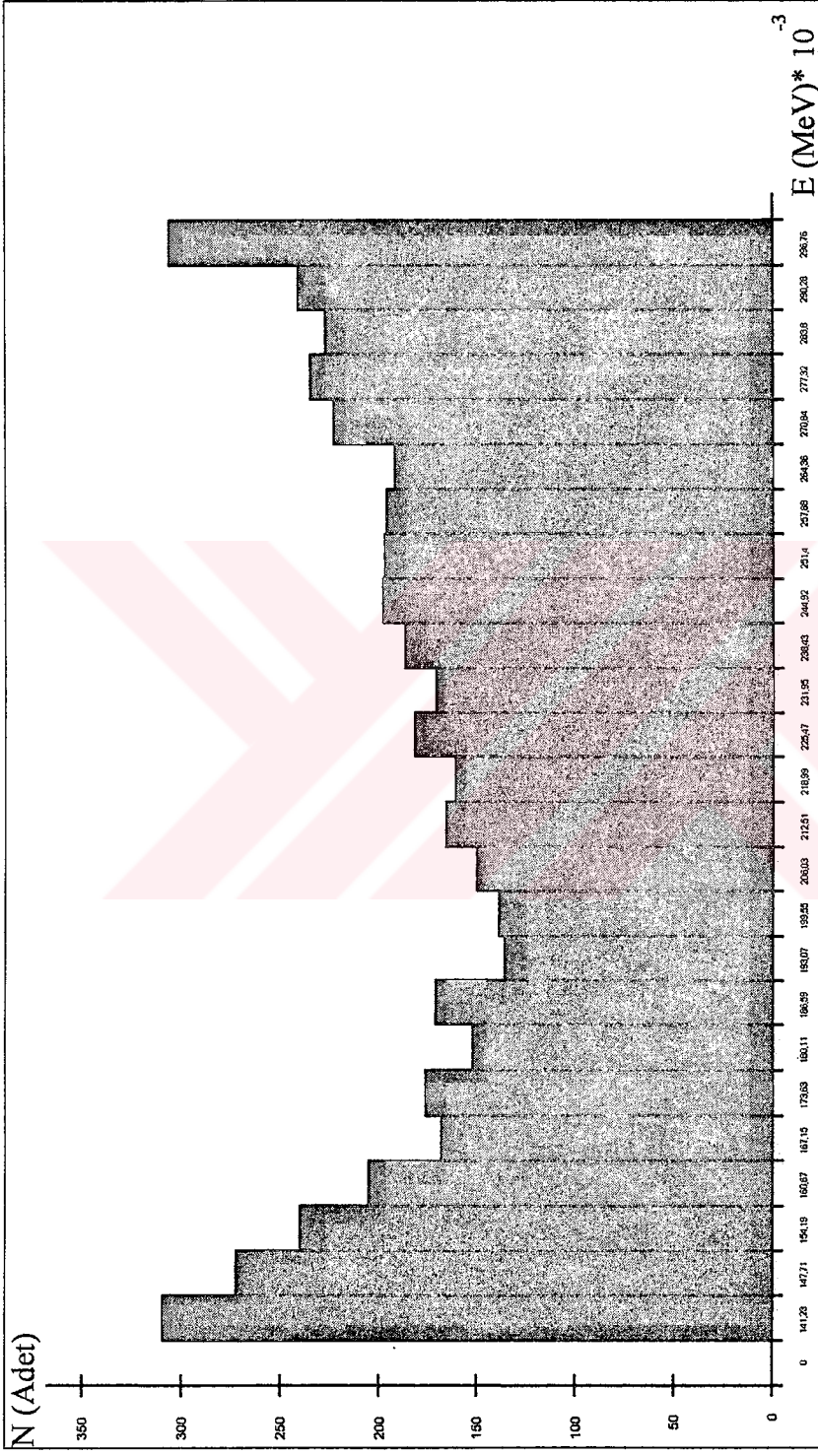


Şekil 8.1.2: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=0.030$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

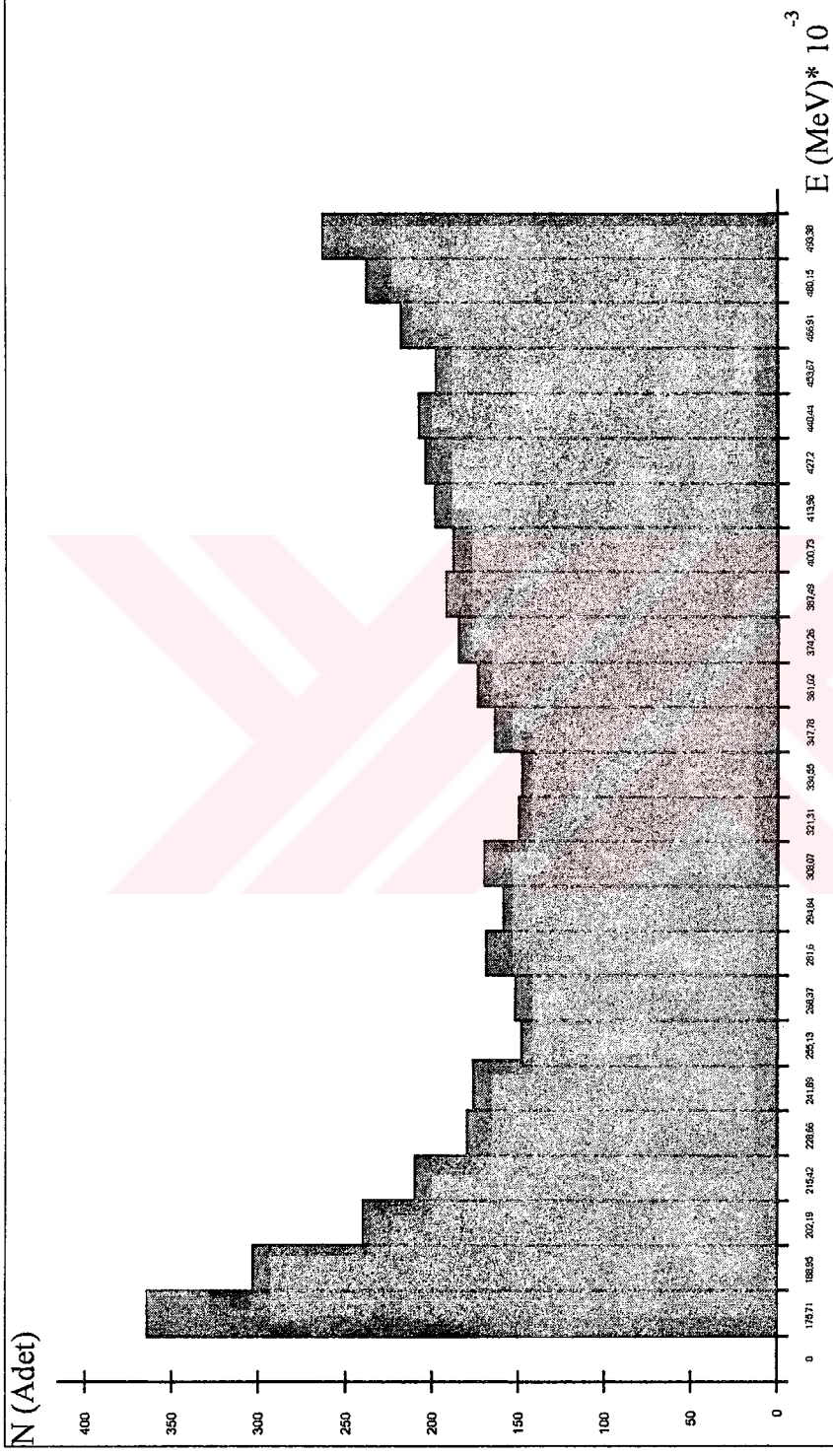


Şekil 8.1.3: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=0.050$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

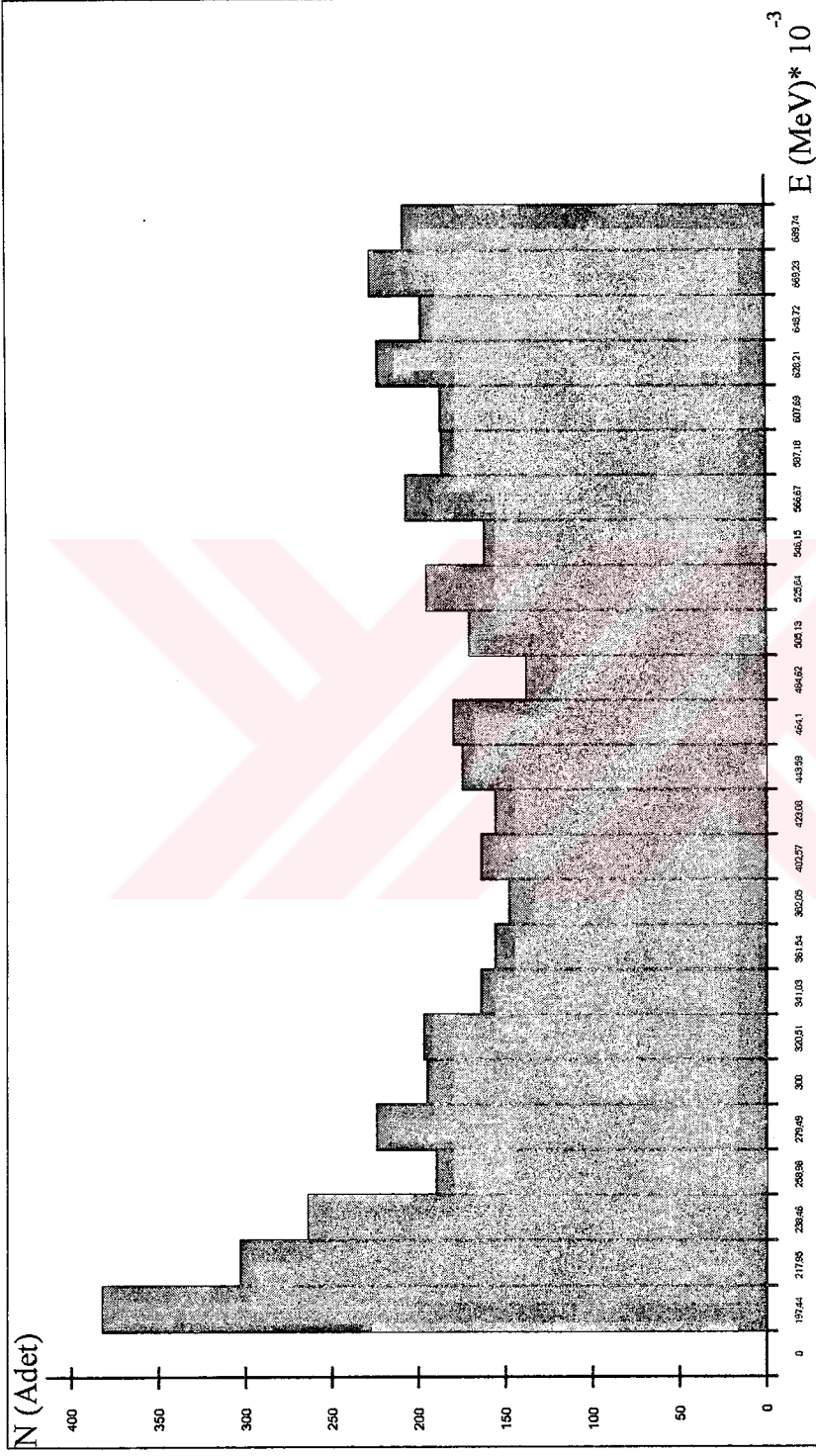




Şekil 8.1.5: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=0.3$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

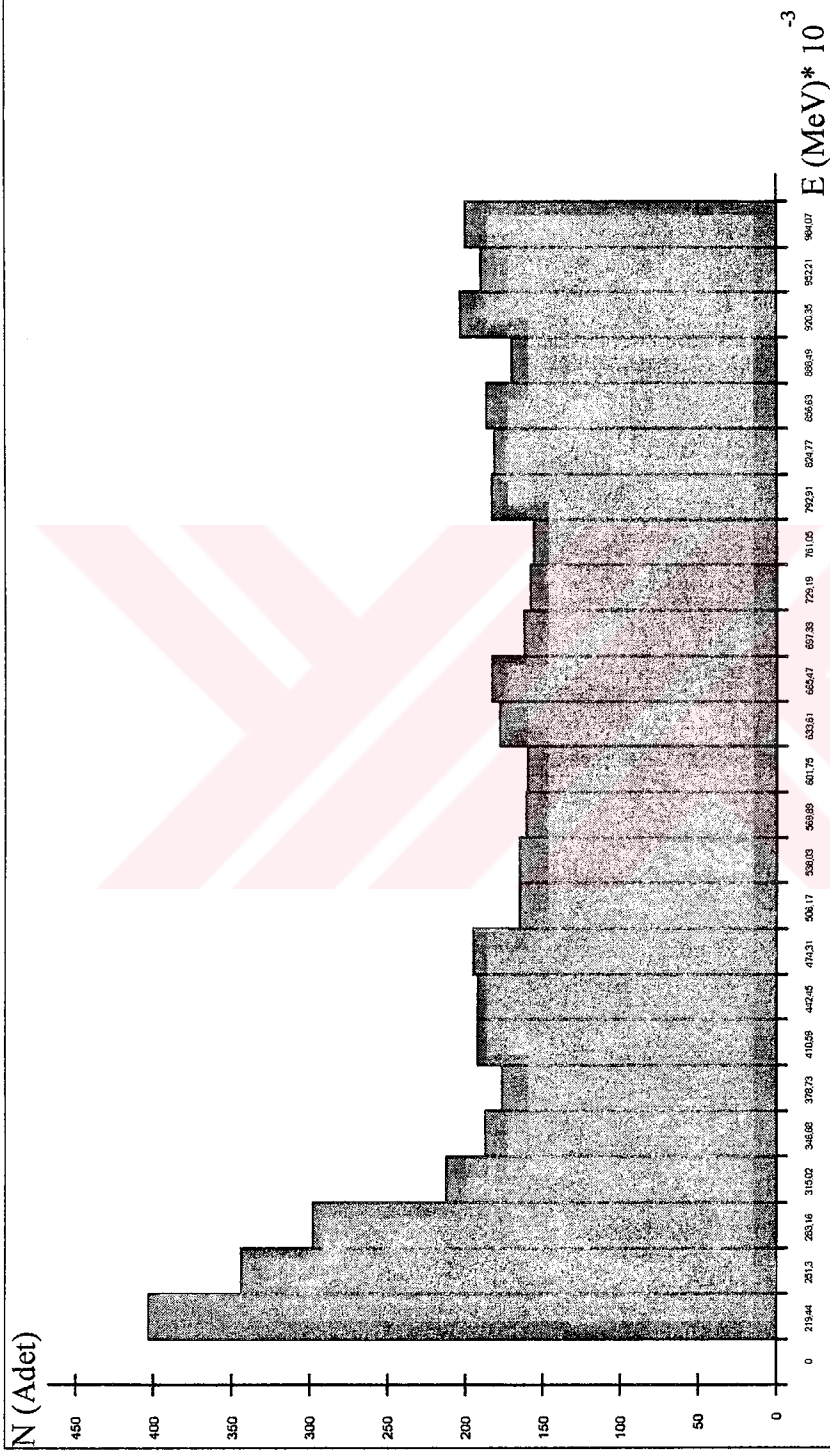


Şekil 8.1.6: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=0.5$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

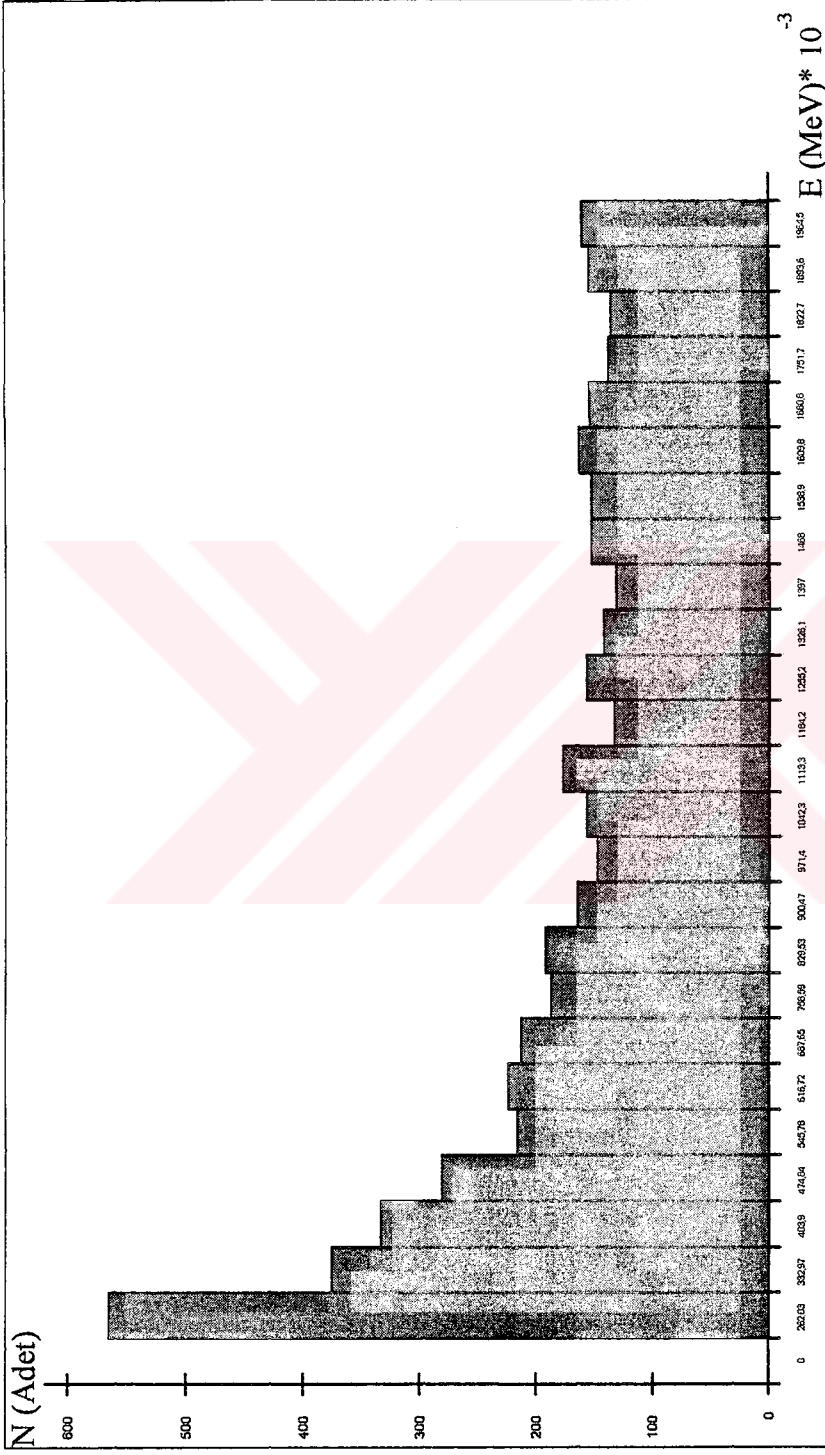


Şekil 8.1.7: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=0.7$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

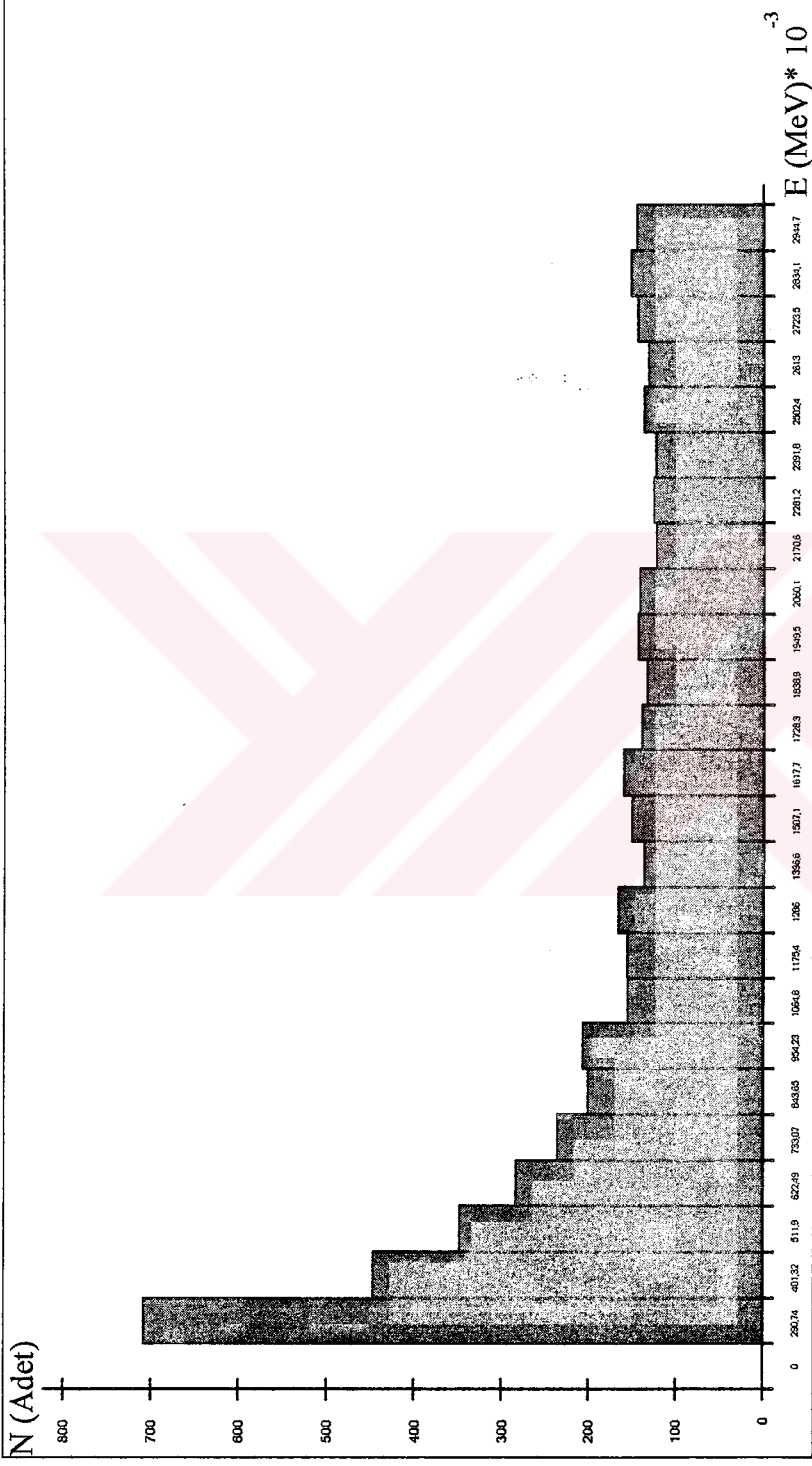




Şekil 8.1.8: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=1$  MeV enerjili gamamanın enerji dağılımı



Şekil 8.1.9: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=2$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı



Şekil 8.1.10: Alüminyum ortamında, bir kere saçılma yapmış  $E=3$  MeV enerjili gamamanin enerji dağılımı

## 8.2. Ard Arda İki Kere Saçılma Yapmış Gamanın Enerji Dağılımının Bulunması

Ard arda iki kere saçılma yapmış gamanın, saçılmadan sonraki enerji dağılımı, (0,011 - 3) MeV enerji değerleri arasında ve alüminyum, demir, bakır, altın, kurşun ortamları için yine Monte Carlo benzetişim yöntemi uygulanarak elde edilmiştir.

Bir kere saçılma yapmış gamanın, saçılmadan sonraki etkileşiminde meydana getirebileceği olay çeşitleri; coherent saçılma, incoherent saçılma ve fotoelektrik olay şeklinde ele alınmıştır. Bu nedenle, bir kere saçılma yapmış gamanın ikinci etkileşiminin coherent saçılma ya da incoherent saçılma ya da fotoelektrik olma olasılıkları aşağıda verilmiştir:

$$P_{\text{coh}} = \frac{\sigma_{\text{coh}}}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}} + \sigma_{\text{fe}}} \quad (8.6)$$

$$P_{\text{inc}} = \frac{\sigma_{\text{inc}}}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}} + \sigma_{\text{fe}}} \quad (8.7)$$

$$P_{\text{f}} = \frac{\sigma_{\text{f}}}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}} + \sigma_{\text{fe}}} \quad (8.8)$$

Burada,

$\sigma_{\text{fe}}$  ; seçilen bir ortama ait fotoelektrik tesir kesitidir. Değişen gama enerjilerine karşılık gelen fotoelektrik tesir kesiti değerleri, Hubbell tarafından verilen tablolardan alınmıştır [1]. Ara değerler için yamuk kaidesi uygulanmıştır.

0 ve 1 arasında eşit olasılıkla gelen bir q sayısı üretilmiş ve

$$0 < q < P_{\text{inc}} \quad (8.9)$$

olması halinde, ikinci saçılmanın incoherent saçılma olduğu tespit edilmiştir. İkinci kez incoherent saçılma yaptığı tespit edilen gamanın, birinci saçılımından sonraki enerjisi için, denklem (7.2)'de 0'dan 180 dereceye kadar değişen  $\theta$  saçılma açalarına ait incoherent saçılma olasılıkları hesaplanmıştır. Buna göre; incoherent saçılma olasılık değerlerine karşılık gelen  $\theta$  saçılma açıları bilinmektedir. O halde; ard arda iki kere incoherent saçılma yaptığı tespit edilen gamanın, hangi açıda saçıldığını bulmak için, (0-1) arasında

değişen yeni bir  $q$  sayısı üretmek gerekir. Yeniden üretilen bu sayı, incoherent saçılma olasılığı olduğu varsayılarak, bu  $q$  sayısına karşılık  $\theta$  değeri denklem (8.4) yardımıyla tespit edilmiştir.  $\theta$  açısına saçılan gamanın enerjisi ise denklem (2.10) bağıntısından bulunmuş ve kutulanmıştır.

İlk üretilen  $q$  değerinin,

$$P_{inc} < q < (P_{coh} + P_{inc}) \quad (8.10)$$

olması halinde, gamanın yapacağı saçılma, coherent olarak kabul edilmiş ve coherent saçılmada gamanın enerji kaybetmediği göz önüne alınarak, bir kere saçılma yapmış gamanın enerjisi kutulanmıştır.

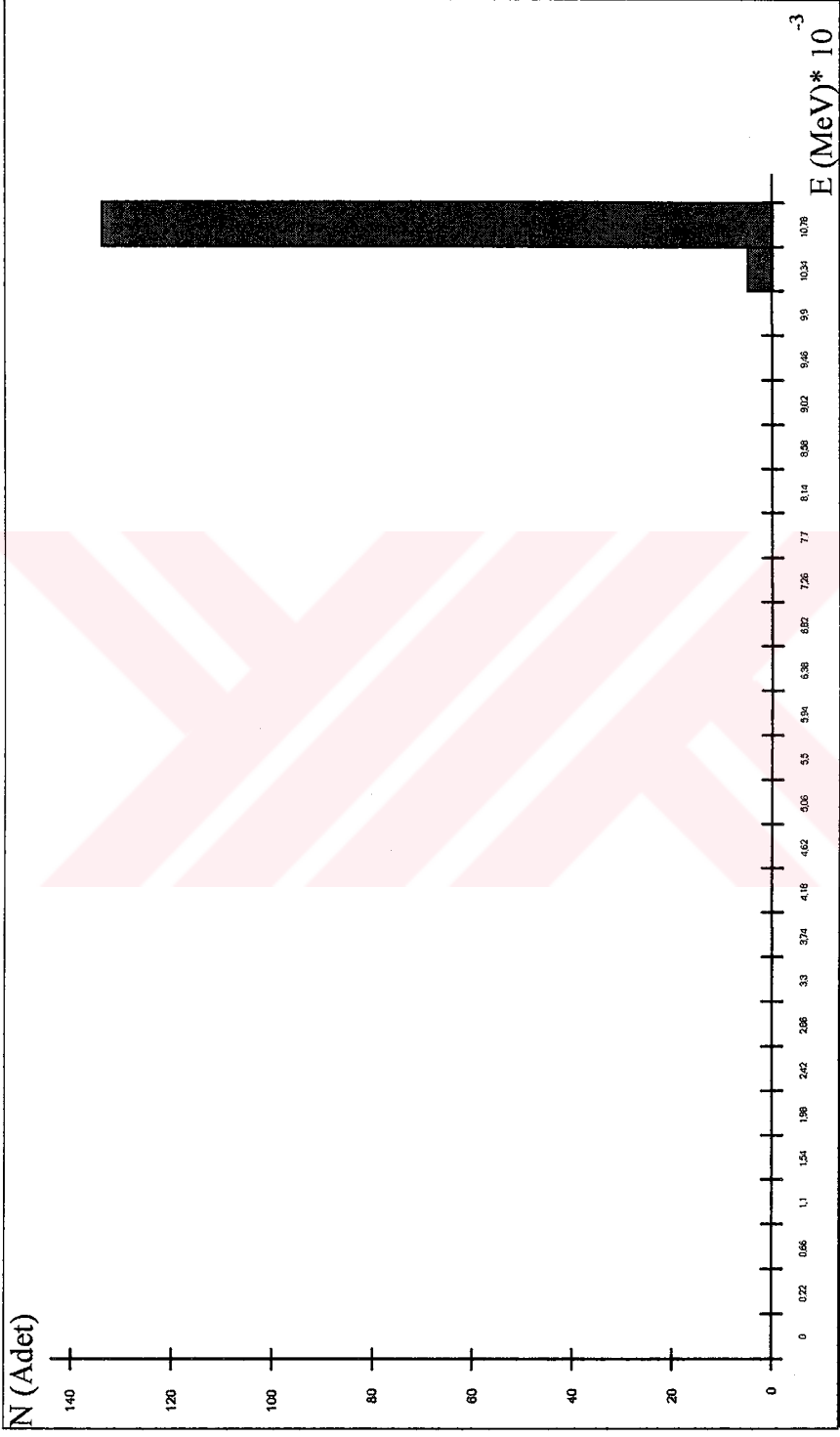
İlk üretilen  $q$  değerinin,

$$(P_{coh} + P_{inc}) < q < 1 \quad (8.11)$$

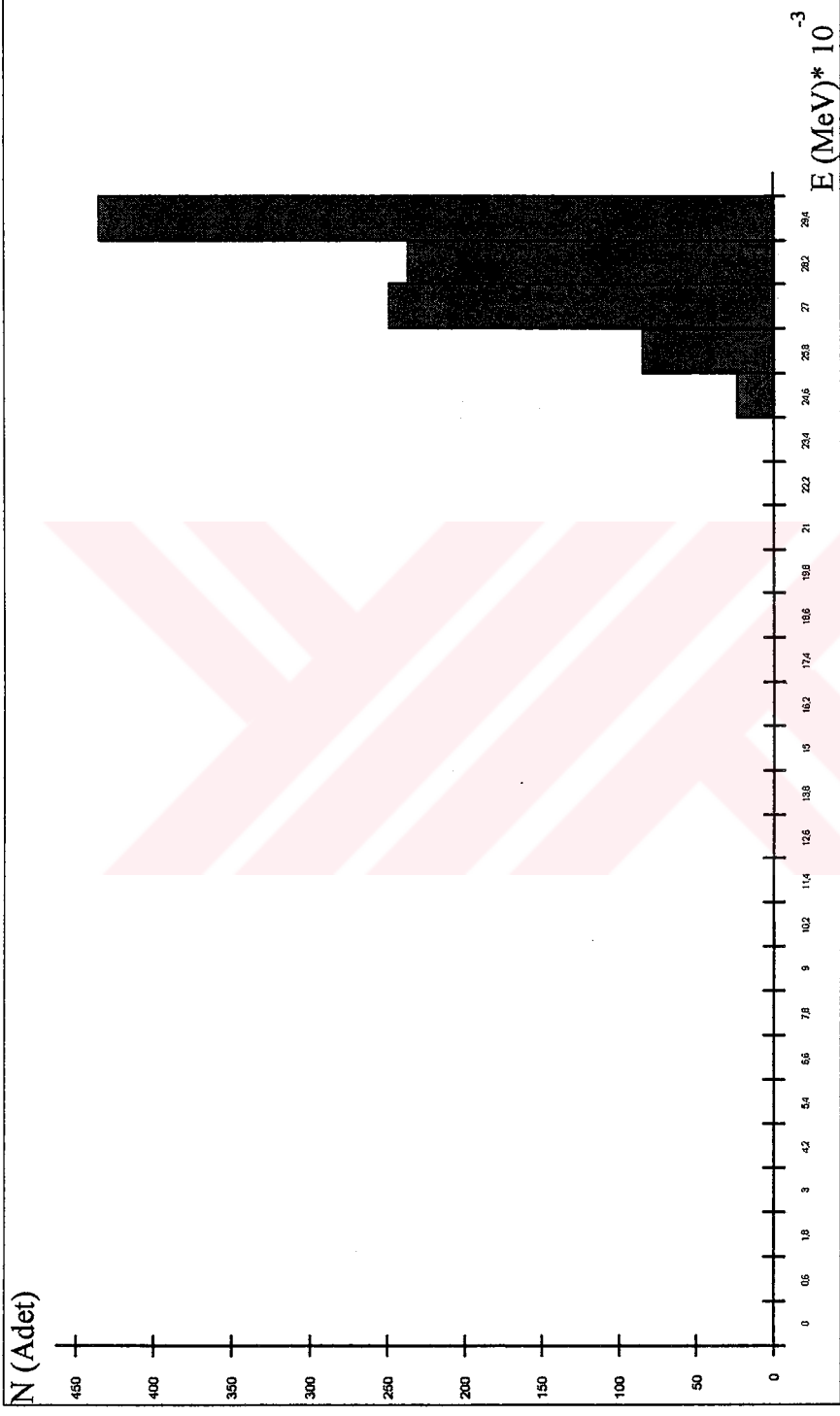
olması halinde, gamanın fotoelektrik olayı gerçekleştirdiği kabul edilmiş ve fotoelektrik olayda gamanın enerjisi tamamen soğurulduğundan, ikinci kez saçılma sonucunda gamanın enerjisi 0 olarak kutulanmıştır.

Yukarıda belirtilen işlemler, bilgisayar aracılığı ile 5000 kez tekrarlanmıştır. Sonuçta; aynı  $E$  enerji değerindeki gamaların, ard arda iki kere saçılmalarından sonraki enerji dağılımı elde edilmiştir.

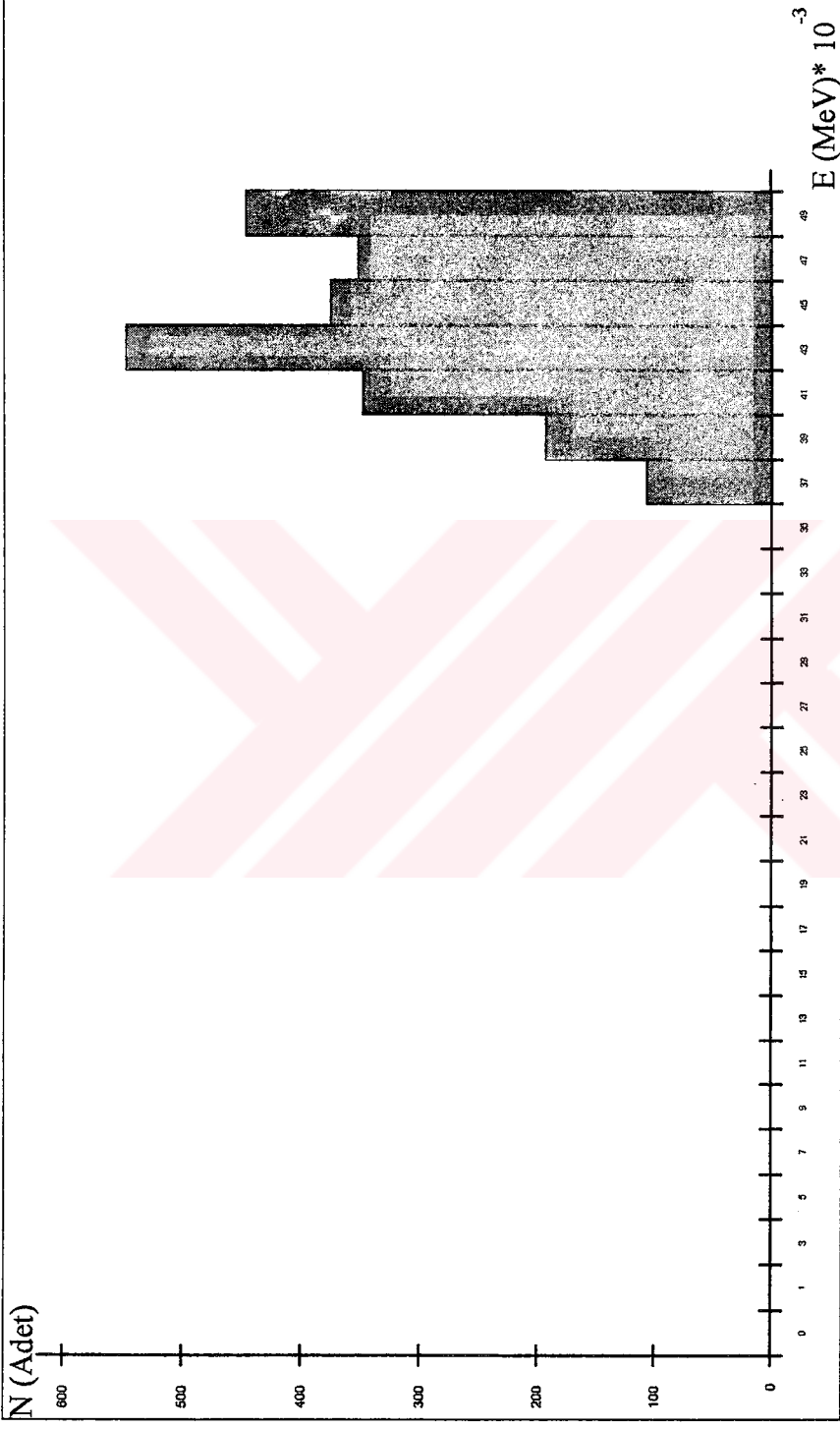
Şekil 8.2'de, ard arda iki kere saçılma yapmış gamanın, saçılmadan sonraki enerji dağılımı, alüminyum ortamı ve 0.011 MeV, 0.030 MeV, 0.050 MeV, 0.1 MeV, 0.3 MeV, 0.5 MeV, 0.7 MeV, 1 MeV, 2 MeV, 3 MeV enerji değerleri için grafik olarak verilmiştir.



Şekil 8.2.1: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=0.011$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

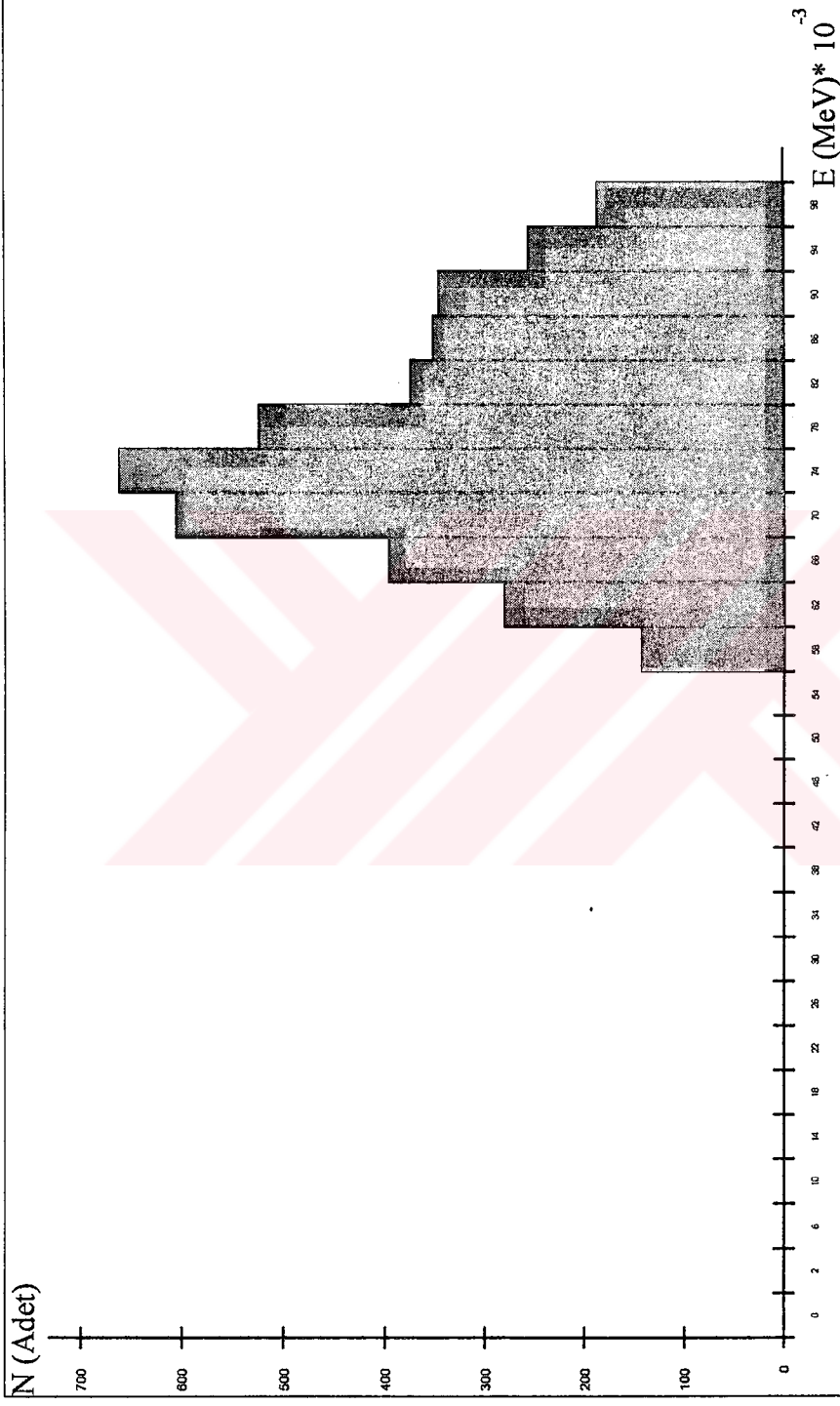


Şekil 8.2.2: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=0.030$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

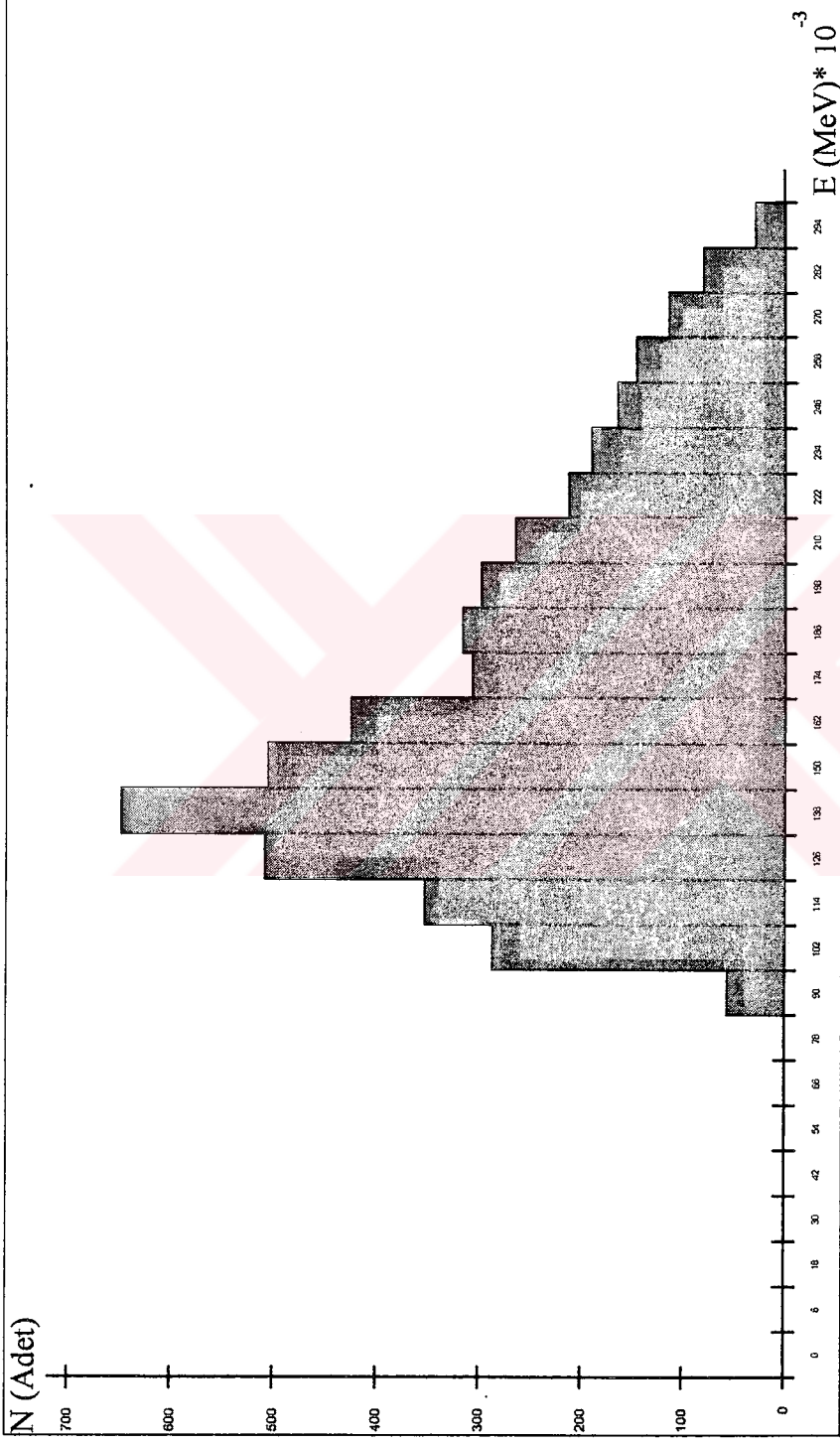


Şekil 8.2.3: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=0.050$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

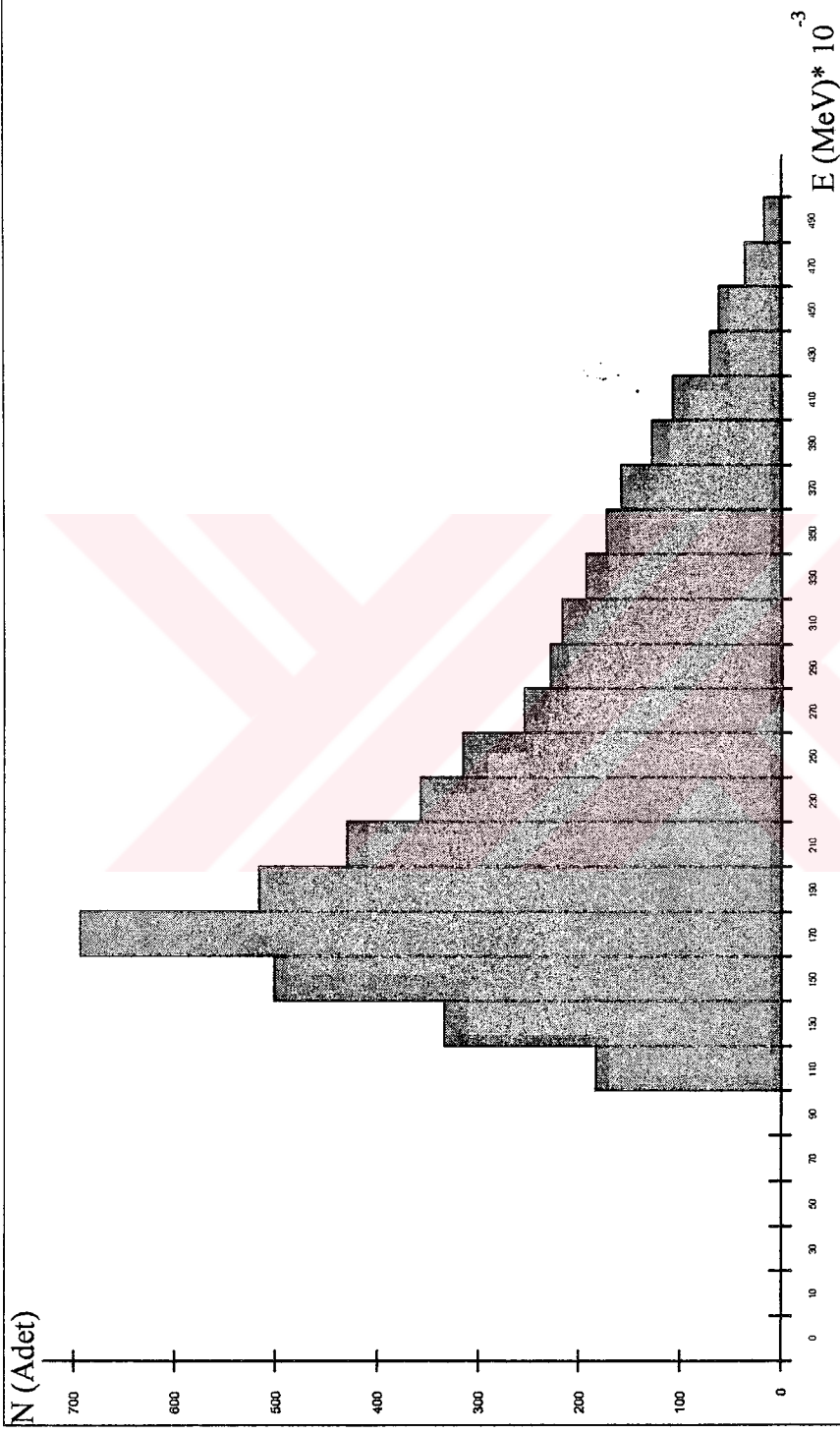




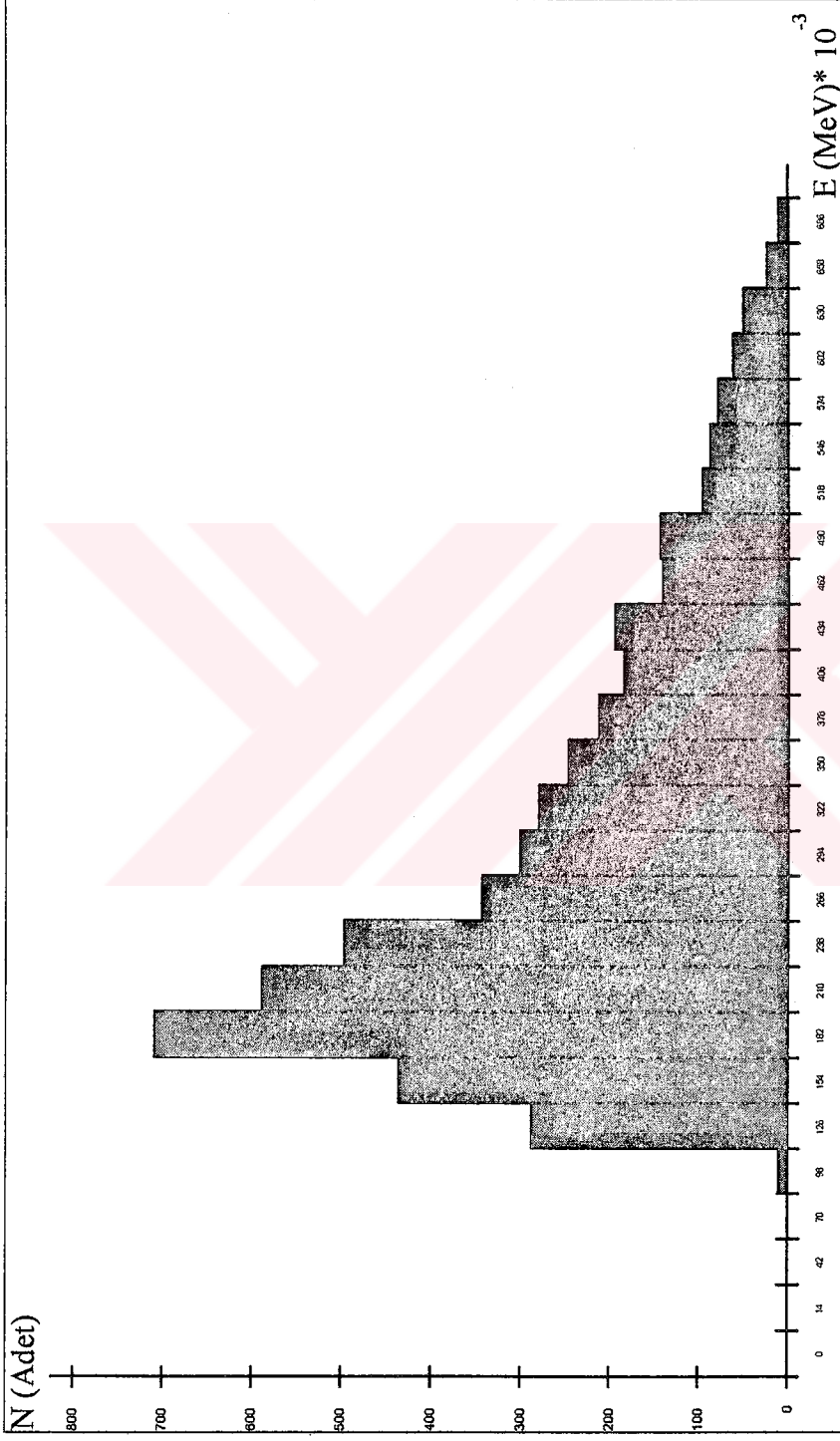
Şekil 8.2.4: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=0.1$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı



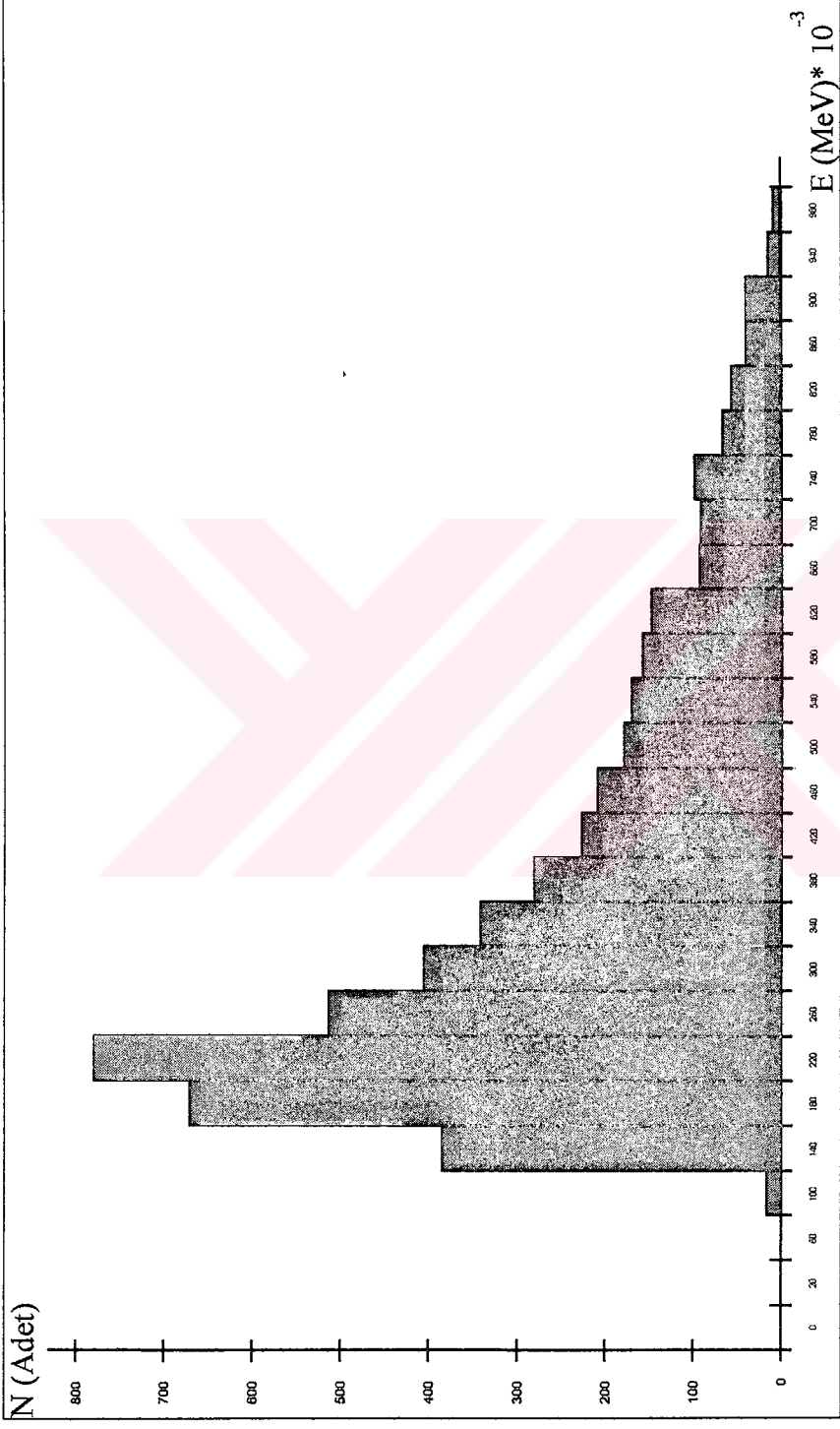
Şekil 8.2.5: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=0.3$  MeV enerjili gamamanın enerji dağılımı



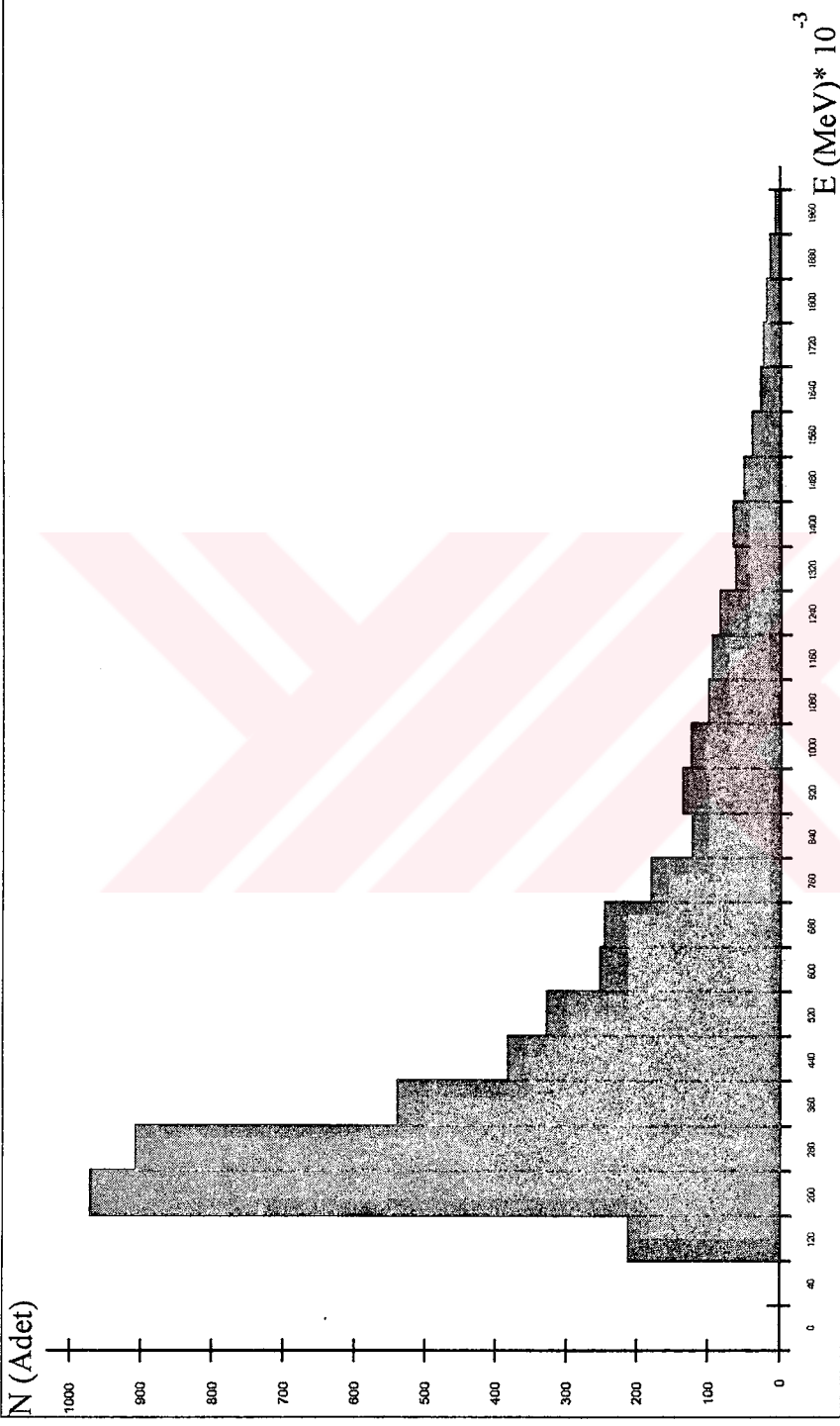
Şekil 8.2.6: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=0.5$  MeV enerjili gamamanin enerji dağılımı



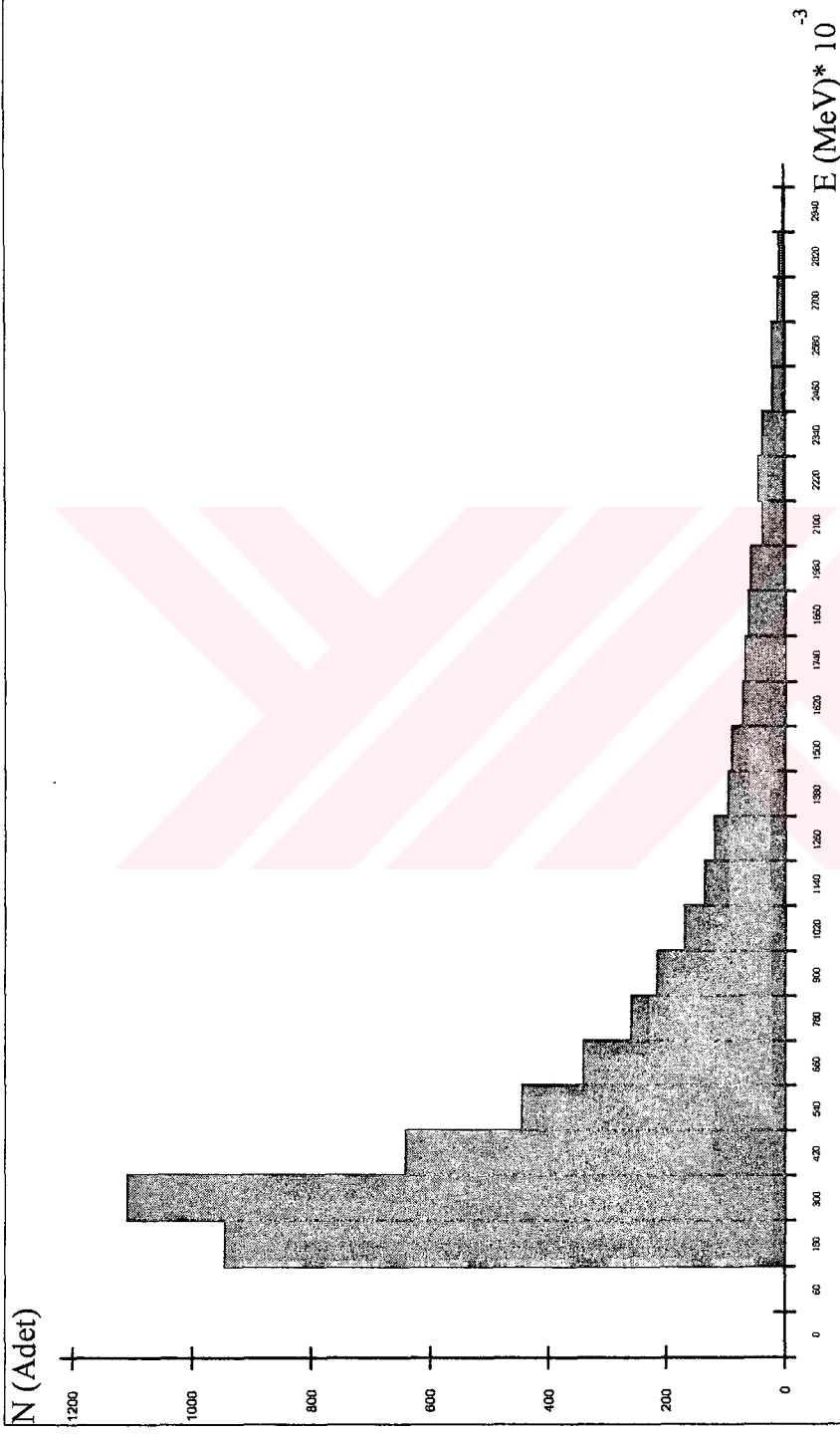
Şekil 8.2.7: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=0.7$  MeV enerjili gamamanın enerji dağılımı



Şekil 8.2.8: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=1$  MeV enerjili gamamanın enerji dağılımı



Şekil 8.2.9: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=2$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı



Şekil 8.2.10: Alüminyum ortamında, ard arda iki kere saçılma yapmış  $E=3$  MeV enerjili gammanın enerji dağılımı

## 9. SONUÇ VE TARTIŞMA

Ag, Al, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Co, Cs, Cu, Fe, Ge, H, He, I, K, Li, Mg, N, Na, Ni, Pb, Ra, Si, U, Zn ortamlarında ve  $(1 \cdot 10^{-4} - 8)$  MeV enerji aralığında atom başına toplam coherent ve toplam incoherent saçılma tesir kesitleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar nümerik integrasyon yoluyla yapılmıştır. Küçük açı ve düşük enerji bölgelerinde, diferansiyel coherent saçılma tesir kesitinin ve atomik form faktörünün çok şiddetli değişmesi nedeniyle nümerik integrasyonda logaritmik bölge seçimi yapılmıştır. Benzer olarak yine küçük açı ve düşük enerji bölgelerinde, diferansiyel incoherent saçılma tesir kesitinin ve saçılma fonksiyonunun değişiminin şiddetli olmaması nedeniyle nümerik integrasyonda lineer bölge seçimi yapılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de Hubbell tarafından bulunan değerler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Bir gamanın  $0-\theta$  açısına toplam coherent, incoherent ve coherent artı incoherent saçılma olasılıkları nümerik integrasyon yoluyla, elde edilmiştir. Toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılığı  $(0.011-3)$  MeV enerji aralığı ve alüminyum, demir, bakır, altın, kurşun ortamları için elde edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 7.1'de verilmiştir. Ayrıca toplam saçılma olasılığının açuya bağlı değişimi, Şekil 7.1'de aynı enerji aralığı ve alüminyum ortamı için grafik olarak da verilmiştir.

Bir kere saçılma yapmış gamanın, saçılmadan sonraki enerji dağılımı, saçılma olasılıkları kullanılarak Monte Carlo benzetişim yöntemi ile elde edilmiştir. İlk önce gamanın yapacağı saçılmanın coherent saçılma olma olasılığı ve incoherent saçılma olasılığı tanımlanmıştır. 0 ve 1 arasında eşit olasılıkla gelen bir q sayısı üretilmiş ve üretilen bu sayı değerine göre saçılma türü belirlenmiştir. Saçılmanın incoherent saçılma olması halinde yeni bir q sayısı daha üretilmiştir. Yeniden üretilen bu q sayısının, hv enerjili gamaya ait incoherent saçılma olasılığı olduğu varsayılarak, bu q sayısına karşılık gelen saçılma açısı tespit edilmiştir. Saçılma açısı bilinen gamanın saçılma enerjisi bulunup kutulanmıştır. Saçılmanın coherent saçılma olması halinde ise, gamanın enerji kaybetmediği göz önüne alınarak hv enerjili foton kutulanmıştır. İnceleme  $(0.011-3)$  MeV enerji aralığında, alüminyum, demir, bakır, altın, kurşun ortamları için elde edilmiş ve Şekil 8.1'de aynı enerji aralığı ve alüminyum ortamı için gösterilmiştir.



ve Şekil 8.1’de aynı enerji aralığı ve alüminyum ortamı için gösterilmiştir.

Ard arda iki kere saçılma yapmış gamanın, saçılmadan sonraki enerji dağılımı, saçılma olasılıkları kullanılarak Monte Carlo benzetişim yöntemi ile elde edilmiştir. Bir kere saçılma yapmış gamanın, saçılmadan sonraki etkileşiminde meydana getirebileceği olay çeşitleri; coherent saçılma, incoherent saçılma ve fotoelektrik olay şeklinde ele alınmıştır. Bunun için, gamanın yapacağı ikinci etkileşimin coherent saçılma, incoherent saçılma ve fotoelektrik olay olma olasılıkları tanımlanmıştır. 0 ile 1 arasında eşit olasılıkla gelen bir  $q$  sayısı üretilmiş ve üretilen bu sayı değerine göre saçılma türü belirlenmiştir. Saçılmanın incoherent saçılma olması halinde,  $h\nu'$  (bir kere saçılma yapmış gamanın enerjisi) enerjili gamaya ait incoherent saçılma olasılıkları hesaplanmıştır. Yeni bir  $q$  sayısı daha üretilmiş ve bu sayının  $h\nu'$  enerjili gamaya ait incoherent saçılma olasılığı olduğu varsayılarak yeniden üretilen  $q$  sayısına karşılık gelen saçılma açısı tespit edilmiştir. Bu açıya saçılan gamanın enerjisi bulunup kutulanmıştır. Saçılmanın coherent saçılma olması halinde, gamanın enerji kaybetmediği göz önüne alınarak  $h\nu'$  enerjili gama kutulanmıştır. Saçılmanın fotoelektrik olay olması halinde ise,  $h\nu'$  enerjili gamanın tamamen soğurulduğu göz önüne alınarak ikinci kez saçılma sonucunda gamanın enerjisi 0 olarak kutulanmıştır. İnceleme (0.011-3) MeV enerji aralığında, alüminyum, demir, bakır, altın, kurşun ortamları için elde edilmiş ve Şekil 8.2’de aynı enerji aralığı ve alüminyum ortamı için gösterilmiştir.

Ard arda iki kere saçılma yapmış gamanın enerji dağılımının elde edilmesine ait bilgisayar programı Ek-1’de verilmiştir.

Toplam coherent ve incoherent saçılma tesir kesitlerinin elde edilmesi ve Hubbell’in verdiği değerlerle karşılaştırılması, yapılan işin sıhhatini taşıması bakımından önem taşır. Bu değerlerin elde edilmesindeki amaç; coherent, incoherent ve coherent artı incoherent saçılma olasılıklarının duyarlılığını tahmin etmektir. Saçılma olasılıkları içerisinde özellikle, incoherent saçılma olasılık değerlerinin bilinmesi, gamanın bir ortamda incoherent saçılma yapması durumunda, saçılma açısı ve enerjisinin belirlenmesi bakımından büyük önem taşır.

Toplam (coherent artı incoherent) saçılma olasılıkları kullanılarak, toplam (coherent artı incoherent) saçılma adedinin açıya bağlı değişimi elde edilmiş ve bunun

toplam saçılma tesir kesitinin açığa bağlı değişimi ile uygunluk içerisinde olduğu görülmüştür.

Sonlu ortamlarda gama takibinde, öncelikle kaynaktan yayınlanan gamanın serbest yolu (etkileşme yapmadan uçtuğu mesafe) örneklenir. Serbest yolun sonunun sonlu ortam içinde olup olmadığı tahkik edilir. Nokta ortamın dışında ise yeni bir gama takibine başlanır. Eğer nokta sonlu ortam içinde ise olay türü örneklenir. Olay fotoelektrik ise yine yeni bir gama takibine başlanır. Olay saçılma ise, diferansiyel tesir kesiti yardımı ile saçılma açısı örneklenir, gamanın yeni enerjisi bulunur. Bu gama için tekrar serbest yol örnekleme yapılır. Nokta ortam dışında ise gama ortamdaki kaçmıştır. Yeni bir gama takibine geçilir ve bu şekilde, belirli adet kaynak gaması takip edilerek ortamdaki kaçan gamaların enerji spektrumu elde edilmiş olur. Bu olayda, en zor işlemlerden biri diferansiyel tesir kesitinin  $q$  random sayısı ile beraber kullanılmasıyla açı ve enerjinin belirlenmesidir.

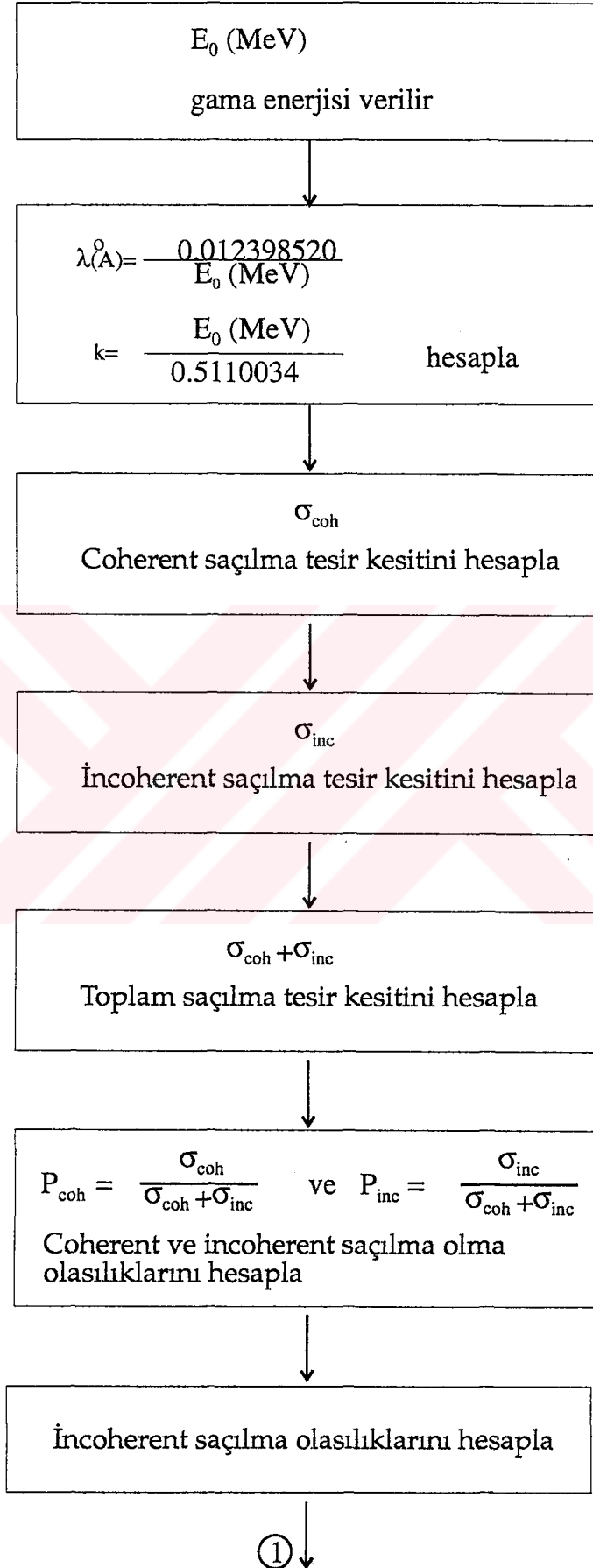
$$q = \frac{\int_0^{\theta} d\sigma}{\int_0^{\pi} d\sigma}$$

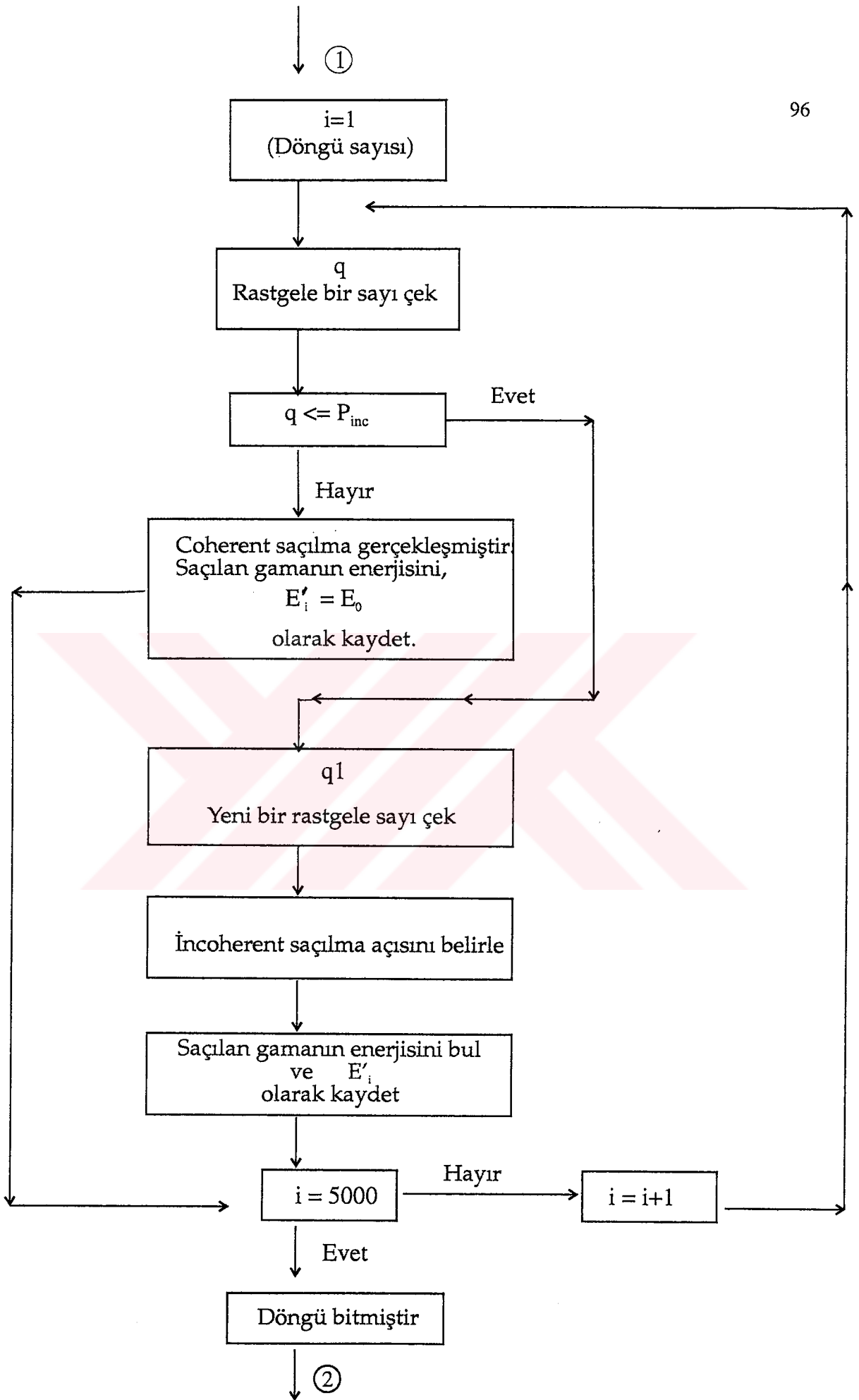
ifadesinin belli bir  $q$  değeri için  $\theta$ 'nın elde edilmesi büyük bir zorluk gösterir. Yaptığımız çalışmada, yukarıdaki ifadeyi saçılma olasılığı olarak tanımlayıp, belirli açı aralıkları ve belirli enerjiler için tablolar halinde elde ettik. Gama takibinde saçılan gamanın saçılma açısını ve enerjisini yukarıdaki denklemin çözümü yerine üretilen  $q$  sayısının değerini tablodan bulmak suretiyle,  $\theta$  saçılma açısını ve enerjisini tespit ettik. Bu suretle gama takibinde daha hızlı bir yöntem uygulamaya çalıştık.

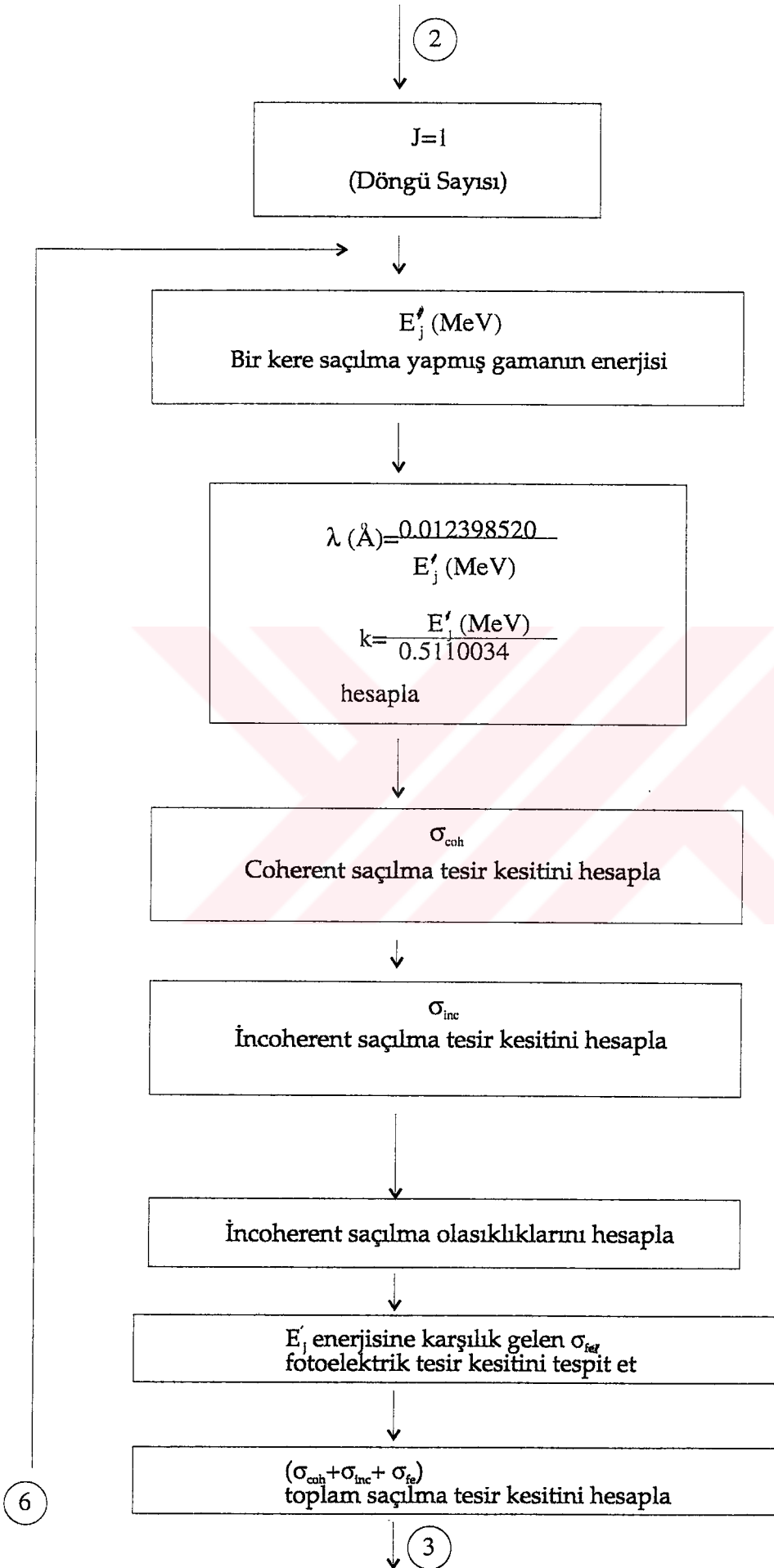
## KAYNAKLAR

- [1] Hubbell, J. H., Photon Cross Sections, Attenuation Coefficients and Energy Absorption Coefficients from 10 KeV to 100 GeV, NSRDS-NBS (U-S.) 29, 1969.
- [2] Hubbell, J. H. et Al, Scattering Factors and Cross Sections, J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol 4, No. 3, 1975.
- [3] J. H. Hubbell and T.  $\phi$ verb $\phi$ , J. Phys. Chem. Ref. Data 8 (1979) 69.
- [4] P. P. Kane, Lynn. Kissel, R. H. Pratt and S. C. Roy, Phys. Reports 140 (1986) 75.
- [5] GORDON G.; System Simulation, Prentice Hall Inc., 1982.
- [6] MALCOM Flendy Markov Chains And Monte Carlo Calculations in Polymer Science. Edited by George G. Lawry, Morcel Dekker, INC New York (1970).
- [7] LAPP Ralph E., ANDREWS Haward L. Nuclear Radiation Physics Third Edition Prentice-Hall, INC Englewood Cliffs, NJ.

EK:1 ARD ARDA İKİ KERE SAÇILMA YAPMIŞ GAMANIN  
SAÇILMADAN SONRAKİ ENERJİ DAĞILIMINI  
VEREN BİLGİSAYAR AKIŞ DİYAGRAMI







↓ (3)

$$P_{\text{coh}} = \frac{\sigma_{\text{coh}}}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}} + \sigma_{\text{fe}}} ; P_{\text{inc}} = \frac{\sigma_{\text{inc}}}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}} + \sigma_{\text{fe}}} ; P_{\text{fe}} = \frac{\sigma_{\text{fe}}}{\sigma_{\text{coh}} + \sigma_{\text{inc}} + \sigma_{\text{fe}}}$$

Coherent, İnc coherent ve fotoelektrik saçılma olma olasılıklarını hesapla

↓

q  
Rastgele bir sayı çek

$$q \leq P_{\text{inc}}$$

Evet

Hayır

$$q \leq (P_{\text{inc}} + P_{\text{coh}})$$

Evet

Hayır

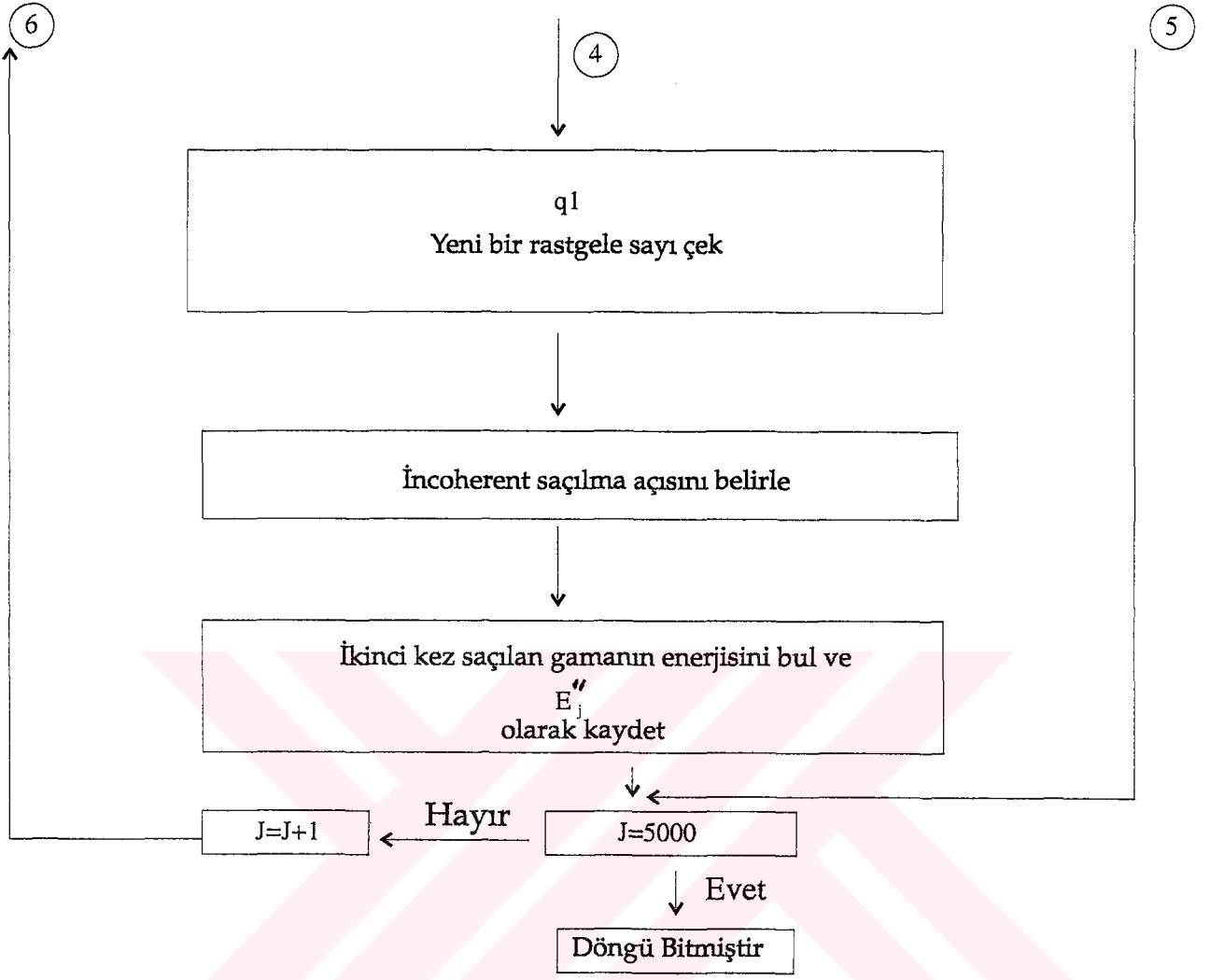
Fotoelektrik olay gerçekleşmiştir.  
İkinci kez saçılan gamanun enerjisini,  
 $E_j'' = 0$   
olarak kaydet

Coherent saçılma gerçekleşmiştir.  
ikinci kez saçılan gamanun enerjisini,  
 $E_j'' = E_j'$   
olarak kaydet

(5)

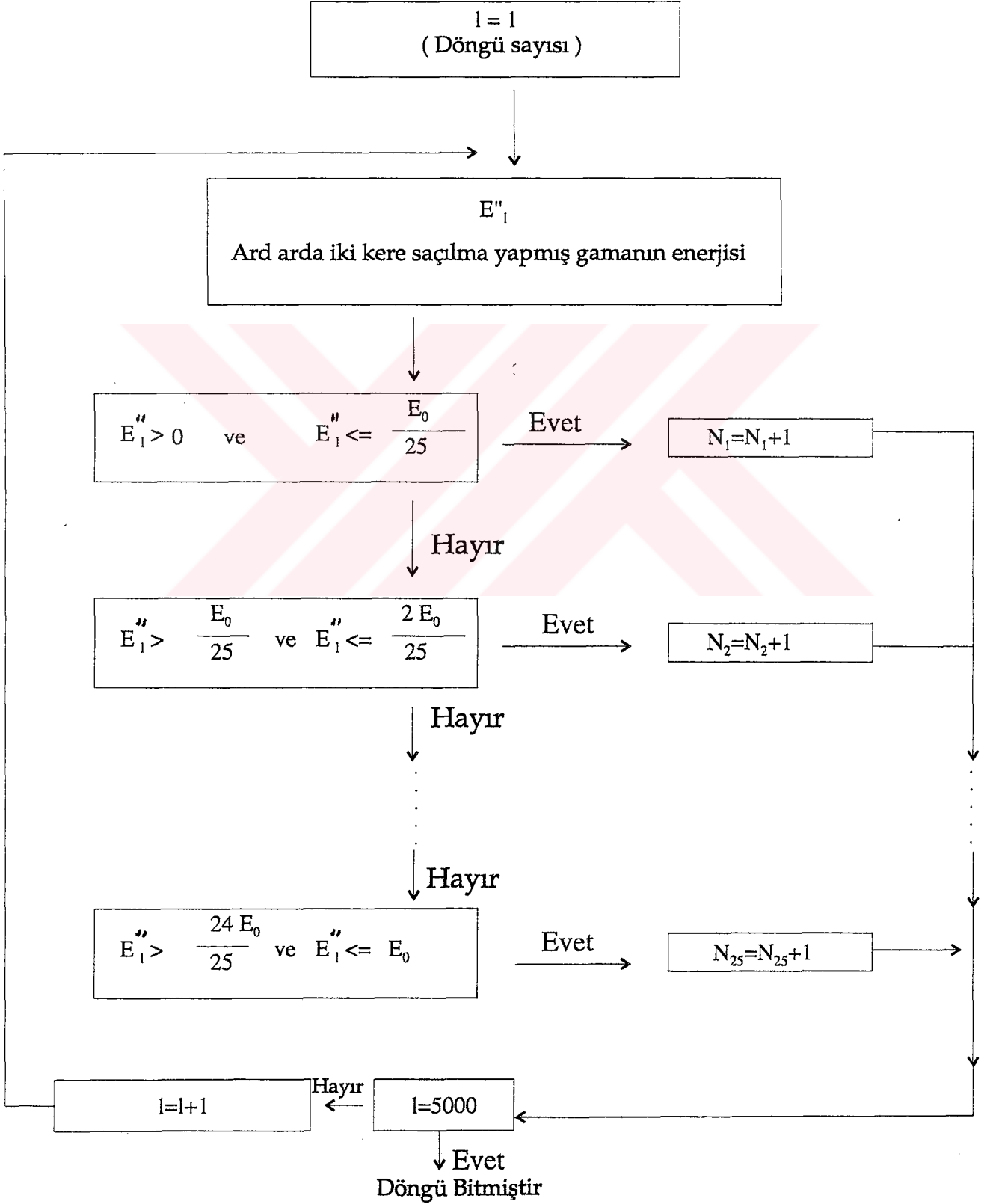
(5)

(4)





Ard arda iki kere saçılma yapmış gamanın enerjilerinin kutulanması ;



## TEŞEKKÜR

Çalıőmam boyunca, bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, tezimin yürütölmesi ve tamamlanmasını sağlayan Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Cihan ÖZMUTLU'ya TEŞEKKÜR ederim.



## ÖZGEÇMİŞ

02.07.1971 tarihinde Balıkesir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Balıkesir’de, yüksek öğrenimini ise Uludağ Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünde tamamladı. 1993 yılında U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Aynı zamanda Fizik Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen aynı fakültede çalışmalarını sürdürmektedir.

