



**NÜKLEER REAKTÖRLERİ İZLEMeye YÖNELİK ANTİNÖTRİNO  
ALGİCİNİN PASİF ZIRHLAMA TASARIMI VE SİMÜLASYONU**

**ERHAN KESER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANA BİLİM DALI  
Doç Dr. Sertaç ÖZTÜRK  
Ağustos-2019  
Her hakkı saklıdır**

T.C.  
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NÜKLEER REAKTÖRLERİ İZLEMeye YÖNELİK ANTİNÖTRİNO ALGICININ  
PASİF ZIRHLAMA TASARIMI VE SİMÜLASYONU

ERHAN KESER

TOKAT  
Ağustos 2019

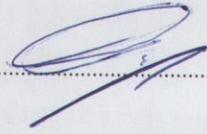
Her hakkı saklıdır

ERHAN KESER tarafından hazırlanan “Nükleer Reaktörleri İzlemeye Yönelik Antinötrino Algıcının Pasif Zırhlama Tasarımı ve Simülasyonu” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 7 Ağustos 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çekliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

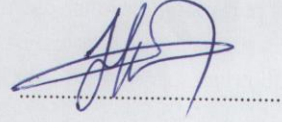
Jüri Üyeleri

İmza


Danışman  
Doç.Dr. Sertaç ÖZTÜRK



Üye  
Doç.Dr. Hüseyin TOPAKLI  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye  
Doç.Dr. Ahmet Alper BİLLUR  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



ONAY

  
Prof. Dr. Cetin ÇEKİC  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü v.



## **TEZ BEYANI**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

**ERHAN KESER**

**07 Ağustos 2019**



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## NÜKLEER REAKTÖRLERİ İZLEMeye YÖNELİK ANTİNÖTRİNO ALGICININ PASİF ZIRHLAMA TASARIMI VE SİMÜLASYONU

**ERHAN KESER**

**GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SERTAÇ ÖZTÜRK**

Nükleer reaktörler bilindiği üzere fizyon reaksiyonları sonucu enerji üreten santrallerdir. Büyük çekirdek daha küçük çekirdeklere dönüşürken aradaki kayıp kütle ısı enerjisine dönüşür bu ısı enerjisinden yararlanarak ta elektrik üretilir. Her bir fizyon sonucu 6  $\nu_e$  (elektron antinötrinosu) oluşur. Bu sebeple nükleer reaktörler yoğun bir nötrino kaynağıdır. Nükleer reaktörleri antinötrino akısını ölçerek nükleer reaktörün durumu ve termal gücü hakkında eş zamanlı bilgi sahibi olabiliriz. Antinötrino akısını ölçmek için tasarlanacak dedektör iç bölge ve dış bölge iki kısımdan oluşacaktır. İç bölge antinötrinoları tespit için kullanılacak olup dış bölge ise iç bölgeyi diğer parçacıklardan izole etmek için kullanılacaktır. Dış bölge aktif ve pasif zırhlama olarak iki bölüme ayrılacaktır. Aktif zırhlama genelde müon gibi ağır yüklü parçacıklarını dışarlarken, pasif zırhlama da ise kozmik ışıklardan gelen yüklü ve yüksüz parçacıkları durdurmak hedeflenmektedir. Bizim tezimiz bu dedektörün pasif zırhlama kısmının tasarımını oluşturacaktır. Bunun için GEANT4 isimli simülasyon programı kullanılmış olup tez çalışmasında hangi materyallerin kullanılmasının daha uygun olacağı GEANT4 programı verilerine göre ortaya konmuştur. Bu tezimizde oluşturacağımız dedektörün pasif zırhlama kısmına ait simülasyon çalışmalarının sonuçlarını irdedeceğiz.

2019, 72 Sayfa

**ANAHTAR KELİMELEER:**GEANT4, Antinötrino, Dedektör, Nükleer Reaktör, tasarım, simülasyon

## **ABSTRACT**

### **MASTER THESIS**

#### **PASSIVE SHEILDING DESIGN AND SIMULATION OF ANTINEUTRINO SENSOR FOR MONITORING NUCLEAR REACTORS**

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF PHYSICS**

**SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SERTAÇ ÖZTÜRK**

As it is known that nuclear reactors are the powerplants that produce energy as a result of Fusion reactions. While the big nucleus transforms the small nucleuses, the lost mass turns into radiant density. By using this radiant density, the electriciry is produced. As a result of every single fusion 6 notrinos occur. For this reason nuclear reactors are the source of a dense notrino. By monitoring nuclear reactor with antinotrino dedector, We can be informed about the situation and Thermal power of nuclear reactors. The new dedector will be composed of two parts as inner and external areas. The inner area will be used to detect antinotrinos and the external area will be used to isolate the inner area from other particles. External area will be divided into two parts as active and passive armouring. We aimed that the active armouring will exculuse muon particles and the passive armouring will stop charged and uncharged particles. Our thesis will compose the passive armouring of this reactor. To do this GEANT4 simulation programme is used and which substance should be used is decided according to GEANT4 datas. In our thesis We will scrutinize the simulation studies that belongs to our New dedector's passive armouring side.

2019, 72 PAGE

**KEYWORDS:** GEANT4, Antineutrino, Detection, Nuclear Reactor, Design, Simulation

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya konmasında, değerli bilgilerini benimle paylaşan, herhangi bir sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim ve sabırla bana yardımcı olan, samimiyetini benden esirgemeyip gelecekteki mesleki hayatımda da beni yönlendirip bana verdiği değerli bilgilerden yararlanacağımı düşündüğüm kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Sertaç ÖZTÜRK' e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

**Erhan KESER**

**Temmuz 2019**

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	2
2.1 Temel Parçacık Fiziği ve Parçacıkların Sınıflandırılması.....	2
2.1.1 Standart Model.....	5
2.1.2 Standart Modelin Açıklayamadığı Konular ; .....	7
2.2 Kozmik Işımlar.....	8
2.2.1 Kozmik Işın kaynakları;.....	9
2.2.2 Birincil Kozmik Işımlar .....	10
2.2.3 İkincil Kozmik Işımlar .....	12
2.3 Parçacıkların Madde ile Etkileşmesi.....	14
2.3.1 Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi.....	14
2.3.2 Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimi .....	26
2.4 Anrinötrino dedektörü.....	39
2.4.1 Cherenkov ışıması.....	39
2.4.2 Nötrinolar .....	40
2.4.3 Dedektör tasarımı;.....	41
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1 LINUX İşletim Sistemi .....	42
3.2 GEANT4 .....	42
3.2.1 GEANT4 Monte Carlo simülasyon kodu kullanım aşamaları: .....	43
4. BULGULAR .....	45
5. TARTIŞMA VE SONUÇ:.....	69
6. KAYNAKÇA.....	70
7. ÖZGEÇMİŞ .....	72

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$h\nu$

$h\nu'$

$I$

$I_0$

MBq

mCi

mec<sup>2</sup>

MeV

GeV

(n,  $\gamma$ ) :

(n,  $\alpha$ ) :

(n, 2n) :

(n, p) :

$\rho$

$\mu$

$\mu\text{m}$

$\mu\text{Ci}$

$\theta$

### Açıklamalar

Gelen Foton Enerjisi

Saçılan Foton Enerjisi

Etkileşmeden Sonra ki Foton Şiddeti

Gelen Foton Şiddeti

Mega becquerel

Mili curie

Elektronun durgun Kütle Enerjisi

Mega Elektron Volt

Giga Elektron Volt

Nötron-Gama Soğurma Etkileşimleri

Nötron-Alfa Soğurma Etkileşimleri

Nötron-2 Nötron Soğurma Etkileşimleri

Nötron-Proton Soğurma Etkileşimleri

Malzeme Yoğunluğu

Lineer Zayıflatma Katsayısı

Kütle Zayıflatma Katsayısı

Mikrocurie

Fotonun Geliş Doğrultusundan Sapma Açısı

### Kısaltmalar

SM

### Açıklamalar

Standart Model

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Kozmik ışın spektrumu .....	10
Şekil 2.2	Birincil kozmik ışınların akıya bağlı enerji değişim grafiği....	11
Şekil 2.3	Helyum-çinko elementlerin kozmik ışınların yapısında ve Güneş sisteminde bağlı bulunma oranları.....	12
Şekil 2.4	Birincil kozmik ışınların atmosferdeki etkileşimleri sonucu oluşan parçacık sağanağı.....	14
Şekil 2.5	Atomun uyarılması.....	15
Şekil 2.6	Alfa parçacıklarının hareketi.....	16
Şekil 2.7	Cherenkov ışınması, momentum yardımıyla parçacığın tanımlanması.....	17
Şekil 2.8	Ağır yüklü bir parçacığın elektron ile etkileşmesi.....	18
Şekil 2.9	Kinetik enerji- durdurma gücünün karşılaştırılması.....	21
Şekil 2.10	Parçacıkların kimliğinin tespitinde durdurma gücü momentum grafiği.....	21
Şekil 2.11	Helyum ve Neon iyonlarının enerji kaybının su içerisindeki menzile göre değişimi.....	22
Şekil 2.13	Alfa ve Beta parçacıklarının madde içerisinde aldıkları mesafe.....	23
Şekil 2.14	Elektronun madde de uğradığı enerji kaybı.....	24
Şekil 2.15	Elektron ve pozitronun kurşun içerisindeki enerji kayıpları...	25
Şekil 2.16	Bremsstrahlung ışınması.....	26
Şekil 2.17	Fotonların madde ile etkileşim grafiği.....	28

Şekil 2.18	Fotonların şiddetinde kalınlığa bağlı olarak değişme.....	28
Şekil 2.19	Kurşun ve karbonda fotonun sahip olduğu tesir kesiti.....	29
Şekil 2.20	Fotoelektrik olay.....	30
Şekil 2.21	Compton Saçılması.....	31
Şekil 2.22	Elektron-Pozitron-Foton çift oluşumu.....	32
Şekil 2.23	Elektron-pozitron çifti etkileşimi.....	33
Şekil 2.24	Elektron-foton Sağanağı.....	34
Şekil 2.25	Toplam lineer soğurma katsayısı ile gelen foton enerjisi grafiği.....	35
Şekil 2.26	Nötronun elastik saçılması.....	36
Şekil 2.27	Nötronun inelastik saçılma oluşturması.....	36
Şekil 2.28	Nötronun yakalanması.....	37
Şekil 2.29	Fisyon reaksiyonu.....	38
Şekil 2.30	Mach Konisi.....	39
Şekil 2.31	Çerenkov Radyasyonu.....	40
Şekil 4.1.a	1 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 5 MeV enerjisindeki elektron.....	45
Şekil 4.1.b	1 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 5 Mev enerjisindeki elektron.....	45
Şekil 4.2.a	1 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 15 MeV enerjisindeki elektron.....	46
Şekil 4.2.b	1 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 15 MeV enerjisindeki elektron.....	46
Şekil 4.3.a	1 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 25 Mev enerjisindeki elektron.....	47
Şekil 4.3.b	1 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 25 MeV enerjisindeki elektron.....	47

Şekil 4.4.a	2 cm kalınlığındaki demir ve su 'ya gönderilen 25 Mev enerjisindeki elektron.....	48
Şekil 4.4.b	2 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 25 Mev enerjisindeki elektron.....	48
Şekil 4.5.a	2 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 15 Mev enerjisindeki elektron.....	49
Şekil 4.5.b	2cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 15 Mev enerjisindeki elektron.....	49
Şekil 4.6.a	2 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 5 Mev enerjisindeki elektron.....	50
Şekil 4.6.b	2 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 5 Mev enerjisindeki elektron.....	50
Şekil 4.7.a	4 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 5 Mev enerjisindeki elektron.....	51
Şekil 4.7.b	4 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 5 Mev enerjisindeki elektron.....	51
Şekil 4.8.a	4 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 15 Mev enerjisindeki elektron.....	52
Şekil 4.8.b	4 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 15 Mev enerjisindeki elektron.....	52
Şekil 4.9.a	4 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 25 Mev enerjisindeki elektron.....	53
Şekil 4.9.b	4 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 25 Mev enerjisindeki elektron.....	53
Şekil 4.10.a	3cm kalınlığındaki demir ve su'ya gönderilen 20 Mev enerjisindeki proton.....	54
Şekil 4.10.b	3cm kalınlığındaki demir ve kuşuna'a gönderilen 20 Mev enerjisindeki proton.....	54
Şekil 4.11.a	1cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 20 Mev enerjisindeki proton.....	55



Şekil 4.11.b 1cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 20 Mev enerjisindeki proton.....	55
Şekil 4.12.a 3 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 15 Mev enerjisindeki proton.....	56
Şekil 4.12.b 3 cm kalınlığındaki demir ve kurşun'a gönderilen 15 Mev enerjisindeki proton.....	56
Şekil 4.13.a 1cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 25 Mev enerjisindeki proton.....	57
Şekil 4.13.b 1cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 25Mev enerjisindeki proton.....	57
Şekil 4.14.a 1cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 5 Mev enerjisindeki nötron.....	58
Şekil 4.14.b 1cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 5 Mev enerjisindeki nötron.....	58
Şekil 4.15.a 2 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 5 Mev enerjisindeki nötron.....	59
Şekil 4.15.b 2 cm kalınlığındaki demir ve kurşun'a gönderilen 5 Mev enerjisindeki nötron.....	59
Şekil 4.16.a 4 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 5 Mev enerjisinde ki nötron.....	60
Şekil 4.16.b 4 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 5 Mev enerjisinde ki nötron.....	60
Şekil 4.17.a 1 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 10 Mev enerjisindeki nötron.....	61

Şekil 4.17.b	1 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 10 Mev enerjisindeki nötron.....	61
Şekil 4.18.a	4 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 10 Mev enerjisindeki nötron.....	62
Şekil 4.18.b	4 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 10 Mev enerjisindeki nötron.....	62
Şekil 4.19.a	4 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 25Mev enerjisindeki nötron.....	63
Şekil 4.19.b	4 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 25Mev enerjisindeki nötron.....	63
Şekil 4.20.a	2 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 25 Mev enerjisindeki nötron.....	64
Şekil 4.20.b	2 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 25 Mev enerjisindeki nötron.....	64
Şekil 4.21.a	1 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 1 Gev enerjisindeki elektron.....	65
Şekil 4.21.b	1 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 1 Gev enerjisindeki elektron.....	65
Şekil 4.22.a	3 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 1 Gev enerjisindeki elektron.....	66
Şekil 4.22.b	3 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 1Gev enerjisindeki elektron.....	66
Şekil 4.23.a	1 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 1 Gev enerjisindeki proton.....	67
Şekil 4.23.b	1 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 1 Gev enerjisindeki proton.....	67

Şekil 4.24.a 3 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 1 Gev enerjisindeki proton.....68

Şekil 4.24.b 3 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 1 Gev enerjisindeki proton.....68



## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	Hadronlar grubu .....	3
Çizelge 2.2	Leptonlar grubu .....	4
Çizelge 2.3	Kuarkların sınıflandırılması.....	4
Çizelge 2.4	Temel Kuvvetler ve Taşıyıcıları.....	5



## 1. GİRİŞ

Günümüzde dünya da enerji ihtiyacı gitgide artmaktadır. Bu sebeple ucuz, güvenilir ve çevreye karbon salınımı yapmayan enerji kaynaklarına daha çok ihtiyaç vardır. Dünyada bu özellikleri karşılayan yegane enerji kaynağı nükleer enerjidir. Nükleer güçten enerji elde eden sisteme nükleer reaktörler denir. Nükleer reaktörler fizyon reaksiyonu sonucu oluşan ısı enerjisini kullanarak elektrik üretirler. Yakıt olarak Uranyum kullanan nükleer reaktörler, çevreye karbon salınımı yapmadan ucuz ve kolay yoldan elektrik üretimini gerçekleştirirler. Fosil yakıtlardan elektrik ve enerji üreten kömür, petrol ve doğalgaz gibi maddeler çevreye çok miktarda zararlı gazlar bırakmaktadır. Bu gazların bazıları kükürdioksit, karbondioksit ve azotdioksittir. Karbondioksit gazı küresel ısınmanın tetikleyicisidir. Ayrıca azotdioksit ve kükürtdioksitte asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Bu da doğal yaşamı tehdit etmektedir. Bütün bu sebeplerden dolayı temiz enerji kaynaklarına yönelim çok önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise verim konusunda oldukça düşük bir etkiye sahiptir. Elektriğin depolanamamasından kaynaklı olarak üretim kapasitesi mevsimlere ve hava koşullarına göre değiştiği için üretimde dalgalanmalara sebep olacaktır. Bu yüzden sürekli üretim kapasitesine sahip enerji kaynaklarına ihtiyaç doğmaktadır. Nükleer reaktörler de güvenlik her zaman ön planda tutulur. Çernobil felaketinden sonra dünyada bu konu üzerinde uluslararası kuruluşlar kurularak nükleer santrallerin denetimi sıkı sıkıya yapılmaktadır.

Nükleer reaktörler her bir fizyon sonucu 6 (antinötrino) oluşur. Bu sebeple nükleer reaktörler yoğun bir antinötrino kaynağıdır. Nükleer reaktörleri antinötrino dedektörü ile izleyerek Nükleer reaktörün durumu ve termal gücü hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Bu da bize reaktörün güvenliği hakkında da bilgi verir. Ayrıca tasarlanan algıç nötrino enerji spektrumunu ölçüp yeni fizik araştırmalarına katkı yapabilir. Tasarlanacak dedektör iç bölge ve dış bölge iki kısımdan oluşacaktır. İç bölge antinötrinoları tespit için kullanılacak olup dış bölge ise iç bölgeyi diğer parçacıklardan izole etmek için kullanılacaktır. Dış bölge aktif ve pasif zırhlama olarak iki bölüme ayrılacaktır. Aktif zırhlama müon parçacıklarını dışarlarken, pasif zırhlama da ise kozmik ışıklardan gelen yüklü ve yüksüz parçacıkları durdurmak hedeflenmektedir. Bizim tezimiz bu reaktörün pasif zırhlama kısmını oluşturacaktır. Bunun için GEANT4 isimli simülasyon programı kullanılmış olup tez içerisinde hangi maddenin kullanılmasının daha uygun olacağı GEANT4 programı verilerine göre ortaya konmuştur. Bu tezimizde oluşturacağımız dedektörün pasif zırhlama kısmına ait simülasyon çalışmalarını irdedeceğiz.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Temel Parçacık Fiziği ve Parçacıkların Sınıflandırılması

Temel parçacıklar fermiyon ve bozonlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Kesirli spine sahip olan parçacıklar fermiyon; tam sayı spine sahip olana parçacıklar ise bozon olarak adlandırılır. Basit bir söylemle Fermi İstatistiğine uyan parçacıklar aynı zamanda aynı durumda olamazlar. Örneğin aynı parçacıktan iki tanesi aynı spin yönüyle aynı uzayı işgal edemezler. Böylece birçok parçacık aynı durumda üst üste gelemezler ki buda “madde” dediğimiz olguya uymaktadır. Bu duruma Pauli Dışarlama İlkesi denir.

Doğada dört temel kuvvet vardır. Şiddetindeki büyüklüğe göre sıralarsak güçlü nükleer kuvvet, elektromanyetik kuvvet, zayıf nükleer kuvvet ve kütleçekim kuvvetidir. Güçlü nükleer kuvvet, elektromanyetik ve zayıf nükleer kuvvet incelenirken Kuantum Çeşni Dinamiği, Kuantum Elektrodinamiği ve Kuantum Renk Dinamiği gibi özellikleri gözönüne alınarak açıklanır. Kütleçekimi kuvveti ise Einstein’ın Genel Görelilik Teorisi ile açıklanabilmektedir. Kütleçekimi kuvvetinin de diğer kuvvetler gibi Kuantumsal özellikler ile açıklanabilmesi için araştırmalar devam etmektedir (Ülgen, 2014).

Fermiyonları iki grupta inceleyebiliriz; leptonlar ve kuarklar. Kuarklar, güçlü etkileşmelere girerken , leptonlar güçlü etkileşime girmezler. Leptonlar birim yükü (-1)’e sahip elektron, müon ve tau ile yüksüz elektron nötrinosu, müon nötrinosu ve tau nötrinosu olmak üzere 6 farklı parçacıktan oluşur. Leptonların her biri lepton sayısı olarak adlandırılan bir kuantum sayısına sahiptirler. Kuarklar ise yukarı kuark (u), aşağı kuark (d), garip kuark (s), tılsım kuark (c), alt kuark (b) ve üst kuark (t) ’den olmak üzere 6 parçacıktan oluşur .Kuarkların yük değerleri kesirlidir. Kuarkların tek başına bulunma imkanları yoktur. Bu yüzden birden fazla kuark bir araya gelerek hadron adı verilen bir yapıyı oluştururlar. Hadronun kelime anlamı yunancada “Kuvvetli Parçacık” tır. Birden fazla kuarktan oluştuğu için Hadronların yük değerleri de kesirlidir. Birden fazla kuarktan oluştuğu için ve kuarkların her birinin yük değeri kesirli sayıdan oluştuğu için hadronların yük değeri olarak kesirli sayılara sahiptir. Kuark, lepton ve karşıt parçacıkları bir bütün olarak fermiyon ailesini oluştururlar (Ülgen, 2014).

Doğadaki dört temel kuvvetin etkileşmesi için her bir kuvvetin taşıyıcı parçacığı bulunmaktadır. Bu kuvvet taşıyıcılarına bozon adı verilmektedir. Güçlü kuvveti taşıyan parçacığa gluon; elektromanyetik kuvvetini taşıyan parçacığa foton; zayıf etkileşmelerin

taşıyan parçacığa W-Z bozonları ve kütleçekim kuvvetini taşıyan parçacığa graviton adı verilir. Graviton henüz deneysel olarak keşfedilmemiştir. Foton, gluon ve graviton kütsüz, W-Z bozonları kütleli olarak kabul edilmektedir. Kütsüz olan foton, gravitonun mezili sonsuz iken, W-Z bozonları kütleyle sahip olduklarından dolayı mezili sonludur. Gluon ise kütsüz olmasına rağmen çekirdek içinde çeşitli süreçlerle menzilinın zırhlanması sonucunda hadronun çağı ve boyutu kadar bir menzile sahiptir. Bugünkü kütselin var olmasına sebep olan Higgs parçacığında bir taşıyıcı olmamasına rağmen bozondur (Ülgen, 2014).

Temel parçacıkların hepsi bir karşı madde (antimadde) ye sahiptir. Tablo 2.1 de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.1 Hadronlar grubu

HADRONLAR							
BARYONLAR				MEZONLAR			
Parçacık adı	Sembol	Karşı parçacığı	Kütle (MeV/c <sup>2</sup> )	Parçacık adı	Sembol	Karşı parçacığı	Kütle (MeV/c <sup>2</sup> )
Proton	p	$\bar{p}$	938,3	Pion	$\pi^+$	$\pi^-$	139,6
Nötron	n	$\bar{n}$	939,6	Kaon	$K^+$	$K^-$	493,7
Lambda	$\Lambda^0$	$\bar{\Lambda}^0$	1115,6	Eta	$\eta$	$\eta$	548,8
Sigma	$\Sigma$	$\bar{\Sigma}$	1189,4				
Ksi	$\Xi$	$\bar{\Xi}$	1315				
Omega	$\Omega$	$\bar{\Omega}$	1672				

Çizelge 2.2 Leptonlar grubu

Sembol	Çeşni	Kütle ( $\text{GeV}/c^2$ )	Elektrik Yüğü
$\nu_e$	Elektron nötrinosu	$< 7.10^{-9}$	0
$e^-$	Elektron	0,000511	-1
$\nu_\mu$	Müon Nötrinosu	$< 0,0003$	0
$\mu$	Müon	0,106	-1
$\nu_\tau$	Tau nötrinosu	$< 0,03$	0
$\tau$	Tau	1,7771	-1

Çizelge 2.3 Kuarkların sınıflandırılması

Sembol	Çeşni	Kütle ( $\text{GeV}/c^2$ )	Elektrik Yüğü
$u$	Üst (up)	0,003	+ 2/3
$d$	Alt (down)	0,006	- 1/3
$c$	Tılsımlı (charm)	1,3	+ 2/3
$s$	Acayip (strange)	0,1	- 1/3
$t$	Tepe (top)	173	+ 2/3
$b$	Taban (bottom)	4,5	- 1/3



Çizelge 2.4 Temel Kuvvetler ve Taşıyıcıları

Kuvvet	Taşıyıcı parçacık
Elektromanyetik kuvvet	Foton
Güçlü nükleer kuvvet	Gluon
Zayıf nükleer kuvvet	$W^+$ , $W^-$ , $Z^0$
Kütle çekim kuvveti	Graviton

### 2.1.1. Standart Model

Parçacıkların içyapıları ile ilgili araştırma yapan bilim adamları yaptıkları araştırmalar sonucunda iç yapılar ile ilgili çeşitli modeller açıklamışlardır. Açıklanan ve önerilen bu modeller arasında evrendeki maddeleri ve kuvvetleri tanımlamak için yalnızca bir model tanımlamış olup, bu modelin adı standart modeldir. Standart modele göre, yüzlerce parçacık ve karmaşık etkileşimler sadece birkaç temel parçacık ve etkileşim ile açıklanabilir, bu da bizlere maddelerin davranışlarını açıklar. Bu modele göre iki çeşit parçacık vardır. Bunlar madde parçacıkları ve kuvvet taşıyıcı parçacıklardır. Her temel kuvvet bir taşıyıcı parçacıkla taşınmaktadır. Standart model, temel parçacık olan kuark ve leptonlar ile kuvvet taşıyıcı olan diğer parçacıkları kullanarak madde yapısı hakkında bir çok soruya yanıt vermektedir. Bunun yanı sıra, fermiyon grubundaki parçacıkların kendini tekrarlanması, fermiyon parçacıklarının kütleleri, Higgs parçacığının mekanizması ile karışım açıları gibi bazı önemli soruların bu model ile açıklanması mümkün değildir. Bu gibi sorular fizikçileri yeni ve daha yüksek enerjili hızlandırıcılar yapmaya zorlamış, daha yüksek enerjili çarpışmalarla bu soruların cevaplanabileceği düşünülmüştür. Böylece Standart Model'in daha iyi bir alternatifi olup olmadığı hala araştırılmaktadır. Standart Model alternatifi olabilecek bir model, Standart Model'e göre çok farklı yeni parçacıklar içerebilir ve bu yeni parçacıkların ne gibi etkileşimler yapacağı hakkında yeni bilgileri ortaya koyabilir. SM ötesinde öngörülen modeller; Büyük Birleştirme Teorisi (GUT), Süper Simetri (SUSY), Sicim Teorisi (String Theory) ve Kompozitliktir (Kibar, 2008).

Büyük Birleştirme Teorisi yaklaşık  $10^{15}$  GeV mertebesindeki bir enerji ölçeğinde güçlü ve elektro-zayıf kuvvetleri birleştirebilmeyi öngörmektedir. Süpersimetri, bugün gözlenen parçacıkların süper eşlerinin olduğunu ve bunların spinlerinin parçacıkların spinlerinden 1/2 kadar farklı olduğunu söyler. Sicim (String) Teorisi, evrenin 10 boyutta titreşen çok küçük sicimlerden meydana geldiğini söyler. Sicim Teorisi kütle çekim kuvvetini diğer kuvvetlerle birleştirir (Kibar, 2008).

Standart Model'de lepton ve kuarklar çok küçük mesafelere kadar içyapısı olmayan parçacıklardır. Yani bir nevi temel parçacıklardandır. Lepton ve kuarkların 3 aile olarak tekrarlanması bu parçacıkların daha temel alt bileşenlerden oluştuğu fikrini ortaya koymaktadır. Kompozitlik modeline göre, bugün temel olarak bildiğimiz parçacıkların da bir içyapısı olduğu düşünülür. Buna göre kuark ve leptonlar, preon denilen daha temel alt bileşenlerin bağlı durumlarıdır. Bugün temel parçacık olarak adlandırdığımız kuarklar ve leptonlar daha temel parçacıklardan oluşuyorsa, bu parçacıklar bağlanma enerjileri ölçeğinde, kuarklar ve leptonlar arasında yeni bir takım etkileşimler meydana getirir. Kompozitlik ölçeğinin olan  $\Lambda$ 'nin çok altındaki enerjilerde oluşacak etkileşimler  $1/\Lambda$  kuvvetlerinin etkisi altında kalarak bastırılmıştır. Bu yaklaşım uyarılmış durumların da olabileceğini öngörmektedir. Temel parçacıkların kompozitliğini ispat edebilmek için kuark ve leptonların uyarılmış hallerinin gözlemlenmesi gerekir. Kompozit modellerde spin  $-1/2$  fermiyonlar en düşük radyal ve yörüngesel uyarımlardır. Fermiyon ailesinde en düşük uyarımları spininin araştırılması preon yapısı hakkında bilgiler edinmemizi sağlayacaktır. Kompozit modellerde öngörülen yeni parçacıklar olarak uyarılmış fermiyonlardan bahsedebiliriz. Uyarılmış fermiyonların kütlelerinin ( $m^*$ ); verilen deneysel sınırlara göre statik lepton özelliklerinden  $\Lambda$  kompozitlik ölçeğinin ( $\sim 1$  TeV) altında olamayacağı anlaşılmıştır (Kibar, 2008).

Sonuç olarak standart model dediğimizde ;

12 lepton ( 6 lepton + 6 antilepton )

36 kuark ( 6 kuark + 6 anti kuark ) x 3

8 gluon  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ , gama ve SM Higgs bozon toplam 61 tane temel parçacık olduğu bilinmelidir (Kibar, 2008).

SM'in bazı eksiklerine değinmemiz gerekirse, fakat bundan önce çizelgede verilen Higgs bozonunu açıklamak gerekir. SM'deki boşluğu doldurmak için Higgs bozonu olarak

adlandırılan kuramsal bir parçacık önerilmiştir. Bu parçacık elektrozayıf simetriyi bozan bir mekanizma sağlamaktadır. Buna göre Higgs parçacığı “Higgs alanının“ kuantumlarıdır. Higgs parçacığı, alan sıfırdan farklı bir değerde iken en düşük enerjili durumda olur. Boş uzay olarak algıladığımız, bu alanın en düşük enerji düzeyinde olduğu durumdur. Alan kavramından parçacık kavramına geçecek olursak “boş uzay” tamamıyla Higgs parçacıklarıyla doludur. Higgs parçacığının spini sıfırdır. Tüm parçacıklar (fermyonlar, ayar bozonları ve Higgs’in kendisi ) kütlelerini Higgs’le olan etkileşmeleri sonucunda alırlar. Higgs bozonu 2012 yılında keşfedilmiştir (Kibar, 2008).

### **2.1.2. Standart Modelin Açıklayamadığı Konular ;**

SM’in cevaplayamadığı bir takım sorunlarda mevcuttur. Örneğin, SM bir parçacığın kütlelerini tahmin edemiyor oluşundan dolayı bu model bileşik bir model değildir. Fermiyonik parçacıklar kendilerini tekrarlanmakta ve sayıları kesin olarak bilinmemektedir. Ayrıca SM kuarklar ve leptonlar temel parçacık mıdır yoksa bu parçacıklardan da alt parçacıklar var mıdır, madde–anti madde çelişmesini ve kara madde nedir sorularını cevaplayamıyor. Yukarıda merak edilen sorular SM’in problemleri olmakla birlikte, daha yeni ve doğru bir model ise gelecekte kurulacak yüksek enerjili çarpıştırıcılarla ve hassas ölçümlerle ile ortaya çıkabilir. Şimdiye kadar üç kuark ve üç lepton çiftinin olduğunu gördük. Bu çiftlerden her biri bir aile oluşturur. Doğada yalnızca birinci aileden parçacıkları elde ediyoruz. Bu kısımda akla diğer soru gelmektedir: diğer iki aileye neden ihtiyaç duyulmaktadır? SM bu soruya da cevap verememektedir (Kibar, 2008).

## 2.2. Kozmik Işınlr

Kozmik ışınlar, rlativistik hızlarla uzaydan gelen ve Dünya atmosferine her yönde çarpan daha sonra yüksek enerji ile saçılan atom-altı parçacıklara verilen addır. Bu parçacıklar hafif ağır elementlerin atomlarını içerebileceği gibi elektron, pozitron gibi daha küçük parçacıkları da içerebilir (Olivia, 2007). Kozmik ışınlar; taşıdıkları yüksek enerjiden dolayı bazı elektronik devrelere ve dünyanın manyetik alanının koruması dışındaki yaşama zarar verebilir. Çok yüksek enerjili kozmik ışınlar yaklaşık olarak büyük hadron çarpıştırıcısında üretilen parçacıkların enerjisinin kırk milyon katı enerjiye sahiptir (Alpboğan 2014). 50J enerjideki ultra yüksek enerjili kozmik ışınlar, 90 km/saat hıza sahip bir beyzbol topunun kinetik enerjisine yakındır (Gaensler, 2011).

Kozmik ışınlar ile ilgili ilk çalışma 1911 yılında Pacini tarafından yapıldı. Pacini yaptığı çalışmasında su altında radyoaktivitenin düşüşünü belirli bir iyonizasyonun dünyanın kendi radyoaktivitesi dışındaki bir kaynaktan oluştuğu sonucuna vardı (Pacini, 1912). Daha sonra 1912 yılında Victor Hess, 5300 metre yüksekliğe balonla çıkarak yaptığı ölçümlerde, radyasyon oranının yeryüzü seviyesine göre dört kat fazla olduğunu gözlemledi. Daha önceleri radyasyonun yeryüzü kaynaklı olduğu sanılıyordu fakat Hess' in deneyi bu algıyı çürüttü. Hess deneyini yaparken güneşin görünür radyasyonunun ay tarafından bloke edilmesine rağmen , yükseklere çıkıldığı zaman radyasyonun arttığını gözlemledi. Böylece Hess, sonuçları şöyle özetledi: “Atmosferimize yüksek giricilik gücüne sahip radyasyon girmektedir”. (Alpboğan 2014). 1920'ler de kozmik ışın kavramı, Milikan tarafından ortaya atılmış olup aslında ışınlardan oluşmasa da ismi bilimsel literatüre böyle geçmiştir. Millikan'ı bu düşünceye iten sebep, kozmik ışınları yüksek enerjili fotonlar olan gamma ışınları olarak tahmin etmesi ve ikincil elektronların da gamma ışınlarının yarattığı Compton saçılmasından oluştuğunu düşünmesi olmuştur. J. Clay 1927 yılında yaptığı ölçümlerde görülen farklı yüksekliklerdeki kozmik ışın yoğunluklarındaki farklılıkların birincil kozmik ışınların manyetik alanda sapmalarından kaynaklandığı ve böylece bunların yüklü parçacıklar olması gerektiği düşünöldü (Clay, 1927). 1929 yılında Bothe ve Kolhörster, 4 cm kalınlığındaki altına penetre edebilen yüklü kozmik ışın parçacıklarını keşfetti (Bothe ve ark., 1927).

### 2.2.1. Kozmik Işın kaynakları;

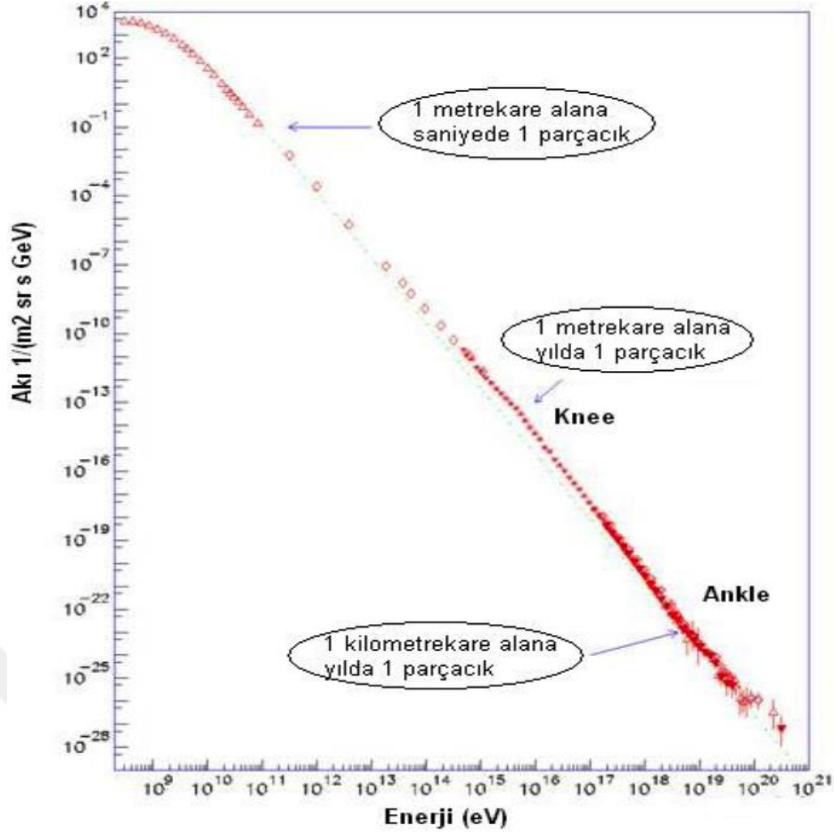
Kozmik ışınlar, dünya atmosferine her yönden girerler fakat manyetik alandan etkilendikleri için yeryüzüne ulaşma miktarları oldukça azdır. Kozmik ışınlar dünyaya gelene kadar galaksi içindeki manyetik alanlardan dolayı sürekli sapmaya uğradıklarından dolayı ilk yörüngelerine göre oldukça farklı bir doğrultuyla yollarına devam ederler. Bu parçacıklarının yörüngelerinin şekli parçacıkların momentumu, elektrik yükü ve hareket doğrultularına bağlı olduğundan kozmik ışınlardan bazıları spiraller çizerek yeryüzüne ulaşabilir (Alpboğan 2014). Parçacıkların geliş doğrultusu manyetik alandan dolayı sapmaya uğradığı için parçacıkları hakkında yorum yaparken enerji değerlerini göz önünde bulundurmamız daha doğru olur.

Kozmik ışınlar, kaynaklarına göre üç grupta incelenebilir:

- 1) Güneş'ten gelen kozmik ışınlar
- 2) Samanyolu Galaksisi içinden gelen kozmik ışınlar
- 3) Samanyolu Galaksisi dışından gelen kozmik ışınlar (Alpboğan 2014).

Süpernovalar 1934 yılında Baade ve Zwicky tarafından (Baade ve ark., 1934), manyetik değişken yıldızları ise 1948 yılında Horace W. Babcock tarafından kozmik ışın kaynakları olarak önerildi (Babcock ve ark., 1948). Y. Sediko ve arkadaşları 1951 yılında süpernova kalıntısı olan Crab Nebula'yı kozmik ışın kaynağı olarak açıkladı. Daha sonraları ise kaynak önerileri genişleyerek süpernova, aktif galaktik çekirdekler, kuazarlar ve gama ışın patlamaları gibi kozmik ışın kaynağı olarak düşünüldü[Sediko ve ark., 1951]

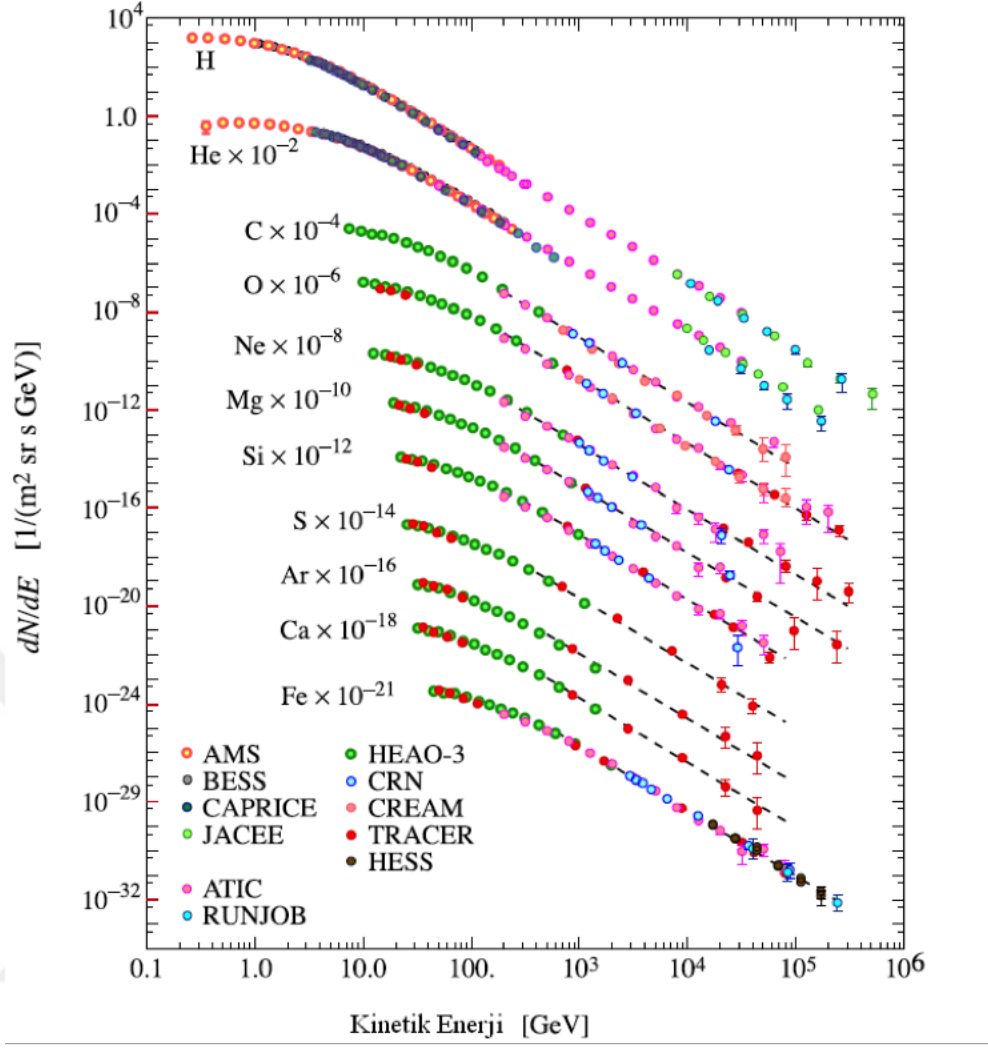
Belirlenen bir kesitten birim zamanda geçen kozmik ışın sayısına kozmik ışın akısı denir. Yüksek enerjilerdeki kozmik ışınlar düşük enerjili olanlara göre daha seyrekler (Astrom, 2006). Farklı kaynaklardan farklı enerji değerleriyle Dünya atmosferine ulaşan kozmik ışınların akıları enerji değerlerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin, düşük enerjili kozmik ışınlar  $1 \text{ cm}^2$  alana saniyede 1 parçacık gibi yüksek akılara sahipken yüksek enerjili kozmik ışınlar  $1 \text{ km}^2$  alana yılda 1 parçacık gibi oldukça düşük akıya sahip olabilmektedirler (Alpboğan 2014).



Şekil 2.1. Kozmik ışın spektrumu (Alpboğan 2014)

### 2.2.2. Birincil Kozmik Işınlr

Birincil kozmik ışınlar, galaksimizde bulunan astrofizik kaynaklar (yıldız, süpernova vs.) tarafından gelen son derece büyük enerjilere kadar hızlandırılan kararlı yüklü parçacıklardır. Kararlı olmalarının sebebi milyonlarca yıldan fazla yarı ömre sahip olmalarıdır. Hızlandırma mekanizması elektromanyetik olarak düşünülmektedir ve bu sebepten dolayı yüklerinin maddeyle etkileşimlerini ve üretilen etkilerini Dünya’da gözlemleyebiliriz (Şaşmaz, 2011). Birincil kozmik ışınların enerjisi 1 GeV ile  $10^3$  GeV arasındadır. Fakat nükleon başına  $10^{11}$  GeV enerjiye kadar tespit edilebilmektedirler. Dünya atmosferinin üst tabakalarına ulaşan 10 GeV’in altındaki birincil parçacık akısında azalma vardır (Alpboğan 2014).



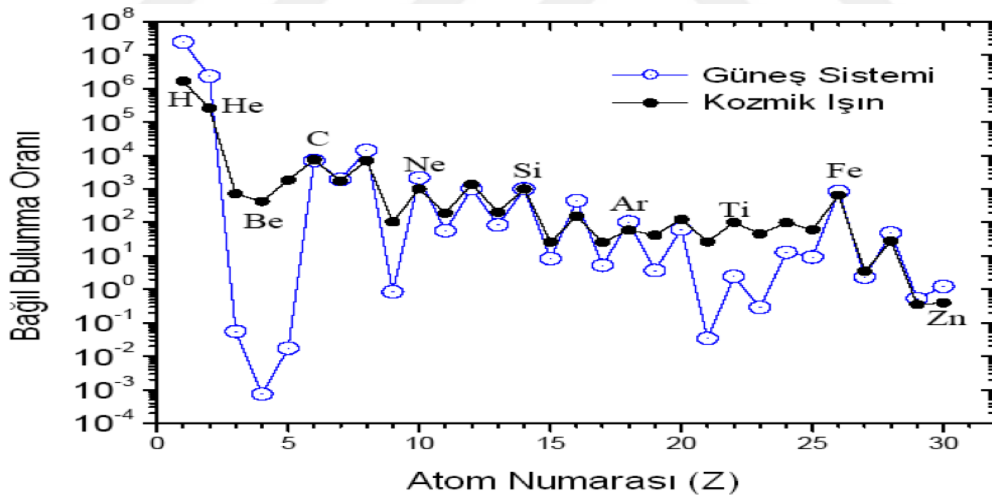
Şekil 2.2. Birincil kozmik ışınların akıya bağlı enerji değişim grafiği (Alpboğan 2014)

Birincil kozmik ışınların iyonize haldeki elementlerin akılarının enerjilerine bağlı değişim grafiği Şekil 2.2’te verilmiştir. Birincil kozmik ışınlar, uzayda yaptıkları uzun yolculuklar boyunca yarı ömürleri çok fazla olduğundan dolayı bozunmaya uğramazlar ve bu sebepten dolayı kararlı yapıdadırlar(Alpboğan 2014). Birincil kozmik ışınların çoğunluğunu hidrojen ve helyum atomları oluşturur. Hidrojen çekirdeği birincil kozmik ışınların %90’ını, helyum çekirdeği yani alfa parçacığı ise birincil kozmik ışınların %9’unu oluşturur. Karbon, oksijen, demir gibi ağır elementlerin iyonize halleri ve elektronlar gibi diğer parçacıklar ise %1’ lik kısmı oluşturur (Şaşmaz, 2011).

### 2.2.3. İkincil Kozmik Işınlarda

Birincil kozmik ışınların atmosferdeki gaz molekülleriyle yapacağı nükleer etkileşimler sonucunda oluşan yeni parçacıklara "ikincil kozmik ışınlar" denir (Kunduracı, 2011). Kozmik ışın parçacıklarının büyük bir kısmı periyodik tabloda bulunan elementlerin iyonize olmuş halleridir. Yapılan araştırmalar, bu elementlerin kozmik ışınların yapısındaki bağıl bulunma oranları ile Güneş sistemindeki bağıl bulunma oranlarının çok yakın olduğunu ortaya koymuştur (Kunduracı, 2011).

Şekil 2.3' de görüldüğü gibi kozmik ışınların yapısında ve güneş sisteminde bulunan bazı elementlerin atom numaraları ve bağıl bulunma oranları verilmiştir. Bu elementlerin bağıl bulunma oranı, güneş sisteminde veya kozmik ışın yapısında belli bir atom numarası referans alınarak, bu referansa göre bulunma oranlarıdır. Grafikte en düşük bulunma oranına sahip elementin bulunma oranı 1 kabul edilerek diğer elementlerin bağıl oranları gösterilmiştir (Alpboğan 2014).

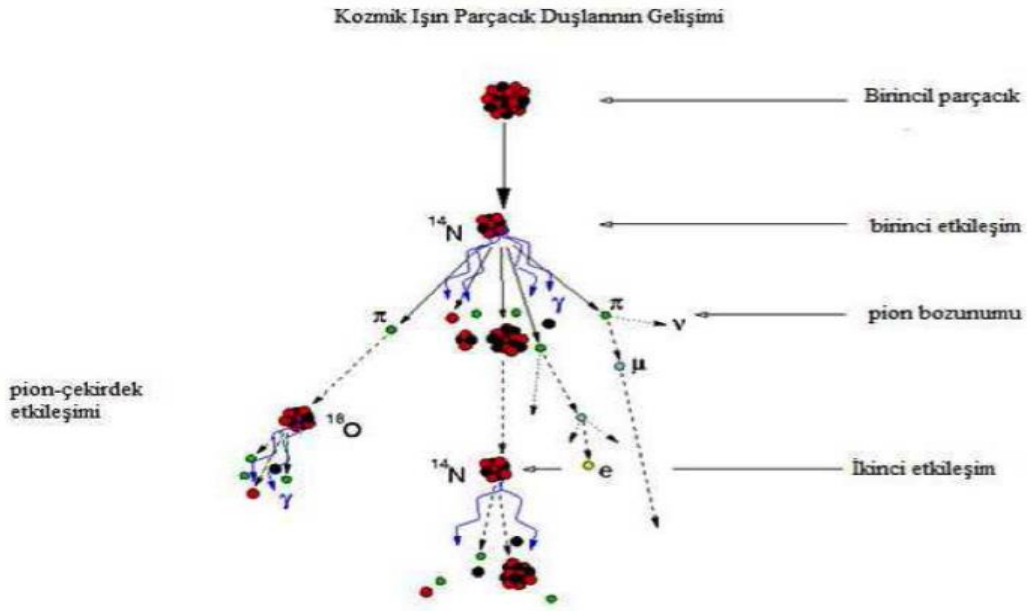


Şekil 2.3. Helyum-çinko elementlerin kozmik ışınların yapısında ve Güneş sisteminde bağıl bulunma oranları (Alpboğan 2014).



İkincil kozmik ışınlarda berilyum ve bor gibi doğada az bulunan bazı atom çekirdekleri de rastlanmıştır. Şekil 2.3’ te görüldüğü her element için bir uyum söz konusu değildir. Bu uyumsuzluklardan biri ise, H ve He elementlerinin Güneş sistemindeki bağıl bulunma oranlarının kozmik ışın parçacıkları arasındakinden daha fazla olması iken diğer bir uyumsuzluk ise, Be ve Ti gibi atom numarası 3 ile 25 arasındaki bazı elementlerin Güneş sistemindeki bağıl bulunma oranlarının kozmik ışın parçacıkları arasındakinden daha az olmasıdır (Arslan, 2011).

Birincil kozmik ışınların atmosferdeki gaz molekülleriyle yaptıkları etkileşimler sonucu pionlar ve kaonlar olmak üzere bazı mezonlar oluşabilir (Alpboğan 2014). Pionların ömürleri çok kısa olduğundan ( $2.6 \times 10^{-8}$  saniye) çoğunlukla yeryüzüne ulaşmadan bozunarak başka parçacıklara dönüşürler. Yüklü pionlar ise bozunarak müonlar, elektronlar ve nötrinoları oluşturur. Nötr pionların bozunmasıyla da gama ışınları oluşur. Gamma ışınlarının geçirebileceği çift oluşumu sırasında oluşan elektron-pozitron çifti de ikincil parçacıklar grubundandır (Arslan, 2011). Aşağıdaki Şekil 2.4 te görüldüğü gibi bu parçacıkların sağanak olarak yeryüzüne inmeleri “parçacık sağanağı” olarak tanımlanır (Alpboğan 2014).



Şekil 2.4. Birincil kozmik ışınların atmosferdeki etkileşimleri sonucu oluşan parçacık sağanağı (Alpboğan 2014)

Birincil kozmik ışınlar atmosferde yerden yaklaşık 30 km yükseklikte etkileşmeye başladıklarından dolayı ikincil kozmik ışınlarda yaklaşık olarak bu yükseklikte oluşmaya başlarlar. Bu parçacıkların bazıları enerjilerini yitirip soğurulmaları ve ömürleri kısa olup başka parçacıklara dönüşmeleri sebebiyle yeryüzüne ulaşamazlar. Bundan dolayı yerden yaklaşık 20 km yükseklikte maksimum sayıda olan kozmik ışın parçacıklarının sayısı yeryüzüne doğru inildikçe azalır (Rigden, 2003).

### **2.3. Parçacıkların Madde ile Etkileşmesi**

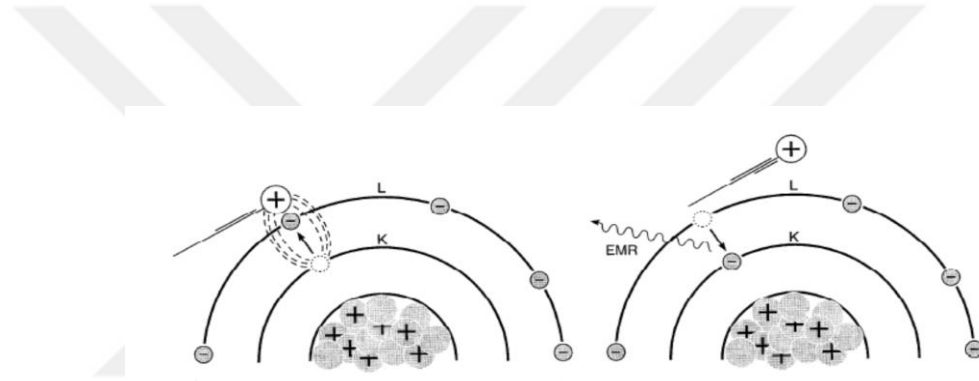
#### **2.3.1. Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi**

Yüklü parçacıkların enerjileri hakkında, bu parçacıkların madde ile etkileşimi neticesinde soğurulması sonucunda bilgi edinilebilir. Yüklü parçacıklar (elektronlar, protonlar, alfa parçacıkları ve çekirdekler) madde içerisinde ilerlerken, kendi elektrik alanları ile maddenin elektronlarının elektrik alanları arasındaki etkileşimleri ve geliş doğrultularından sapmaları nedeniyle enerjilerinde kayıp meydana gelir. Bu kayıp bu parçacıkların madde içerisinde ilerlerken kaybettikleri enerji ve geliş doğrultularından sapmaları gibi iki ana faktör ile belirlenirler. Saçılma ve çarpışma olaylarının maddede birim uzunluk başına birden fazla meydana gelmesi oldukça yüksek ihtimallidir. Ancak bunların sonucu tek bir reaksiyon değildir. Farklı reaksiyonlar bu çarpışmalar sonucu oluşabilir. Bunun sonucunda da, Bremsstrahlung radyasyonu, nükleer reaksiyonlar, transfer radyasyonu ve Cherenkov radyasyonu gibi radyasyon çeşitleri oluşur. Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimini hafif yüklü parçacıklar (leptonlar) ve ağır yüklü parçacıklar (proton, nötron,...vb) diye ikiye ayırabiliriz.

#### *Ağır yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi*

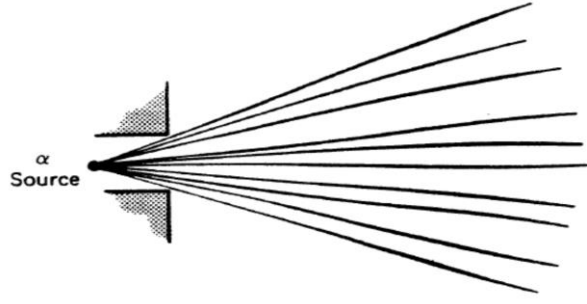
Muonlar, pionlar, protonlar, döteronlar ve alfalar gibi ağır yüklü bir parçacık bir madde içerisinde soğurucu ortama girdiğinde, ortamdaki atomların elektronları ile Coloumb etkileşimine girerler. Bu tür yüklü parçacıkların madde içerisinde ilerlerken kaybedecekleri enerjilerin sebebi inelastik çarpışmalardır. Bu tür etkileşimlerde ağır yüklü parçacığın sahip olduğu kinetik enerji madde içerisindeki atomun iyonlaşma enerjisinden büyük ise, ağır yüklü parçacık sahip olduğu kinetiksini, hareket doğrultusu üzerindeki atomlara aktararak atomların iyonlaşmasını sağlar (Şahin, 2019).

Soğurucu bir ortama giren yüklü parçacık ortam elektronları ile etkileşmekte ve bu etkileşim sonucu enerjisinin önemli bir kısmını kaybetmektedir. Bu etkileşimler sonucunda, soğurucu atomun elektronu uyarılarak bir üst enerji seviyesine çıkabilir ya da elektronu atomdan tamamen kopararak iyonizasyona sebep olabilir. Gelen parçacığın enerjisi, soğurucu maddeyi oluşturan atomların iyonlaşma enerjisinden daha düşük ise soğurucu maddenin atom veya molekülü gelen parçacığın enerjisinin bir kısmını soğurarak elektronların daha yüksek bir enerjiye sahip yörüngeye çıkmalarına sebep olmaktadır. Bu durumda soğurucu maddedeki atome “Uyarılmış Atom” denir. Uyarılan atom daha sonra, foton ışını yayınlamaya başlayarak fazla enerjisini kaybetmekte ve daha düşük enerji seviyesine veya taban durumuna dönmektedir. Şekil’ 4.1 de atomun uyarılması şematik olarak gösterilmektedir (Şahin, 2019; Çevikbaş, 2014).



Şekil 2.5. Atomun uyarılması (Şahin, 2019)

Ağır yüklü parçacıklar madde içerisinde yol alırken enerji kaybından dolayı yavaşlamaktadırlar. Bu enerji kaybındaki miktarın büyüklüğü ağır yüklü parçacığın sahip olduğu kinetik enerjiye bağlı olarak değişim göstermektedir. Ağır yüklü parçacıkların madde ile etkileşme süreçleri boyunca izledikleri yol doğrusal olmaktadır. Bunun sebebi parçacığın coloumb etkileşim esnasında ağır olan olması ve etkileşimlerin her yönden eş zamanlı olarak gerçekleşmesidir. Ağır yüklü parçacıklar, soğurucu madde içinde aldıkları mesafeye göre karakterize edilebilirler. Bu mesafe Menzil olarak tanımlanır. Şekil 2.5’ de ilerleyen alfa parçacıklarının madde içindeki hareketleri verilmektedir (Şahin, 2019; Çevikbaş, 2014).



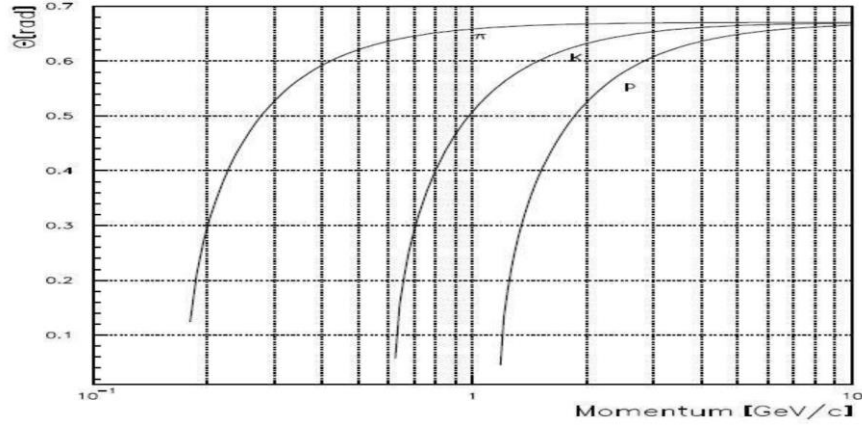
Şekil 2.6. Alfa parçacıklarının hareketi (Şahin,2019)

Yüklü parçacıklar çekirdekle de etkileşime girip reaksiyon oluşabilir. Bu durum elastik saçılma olarak adlandırılır. Ancak buradaki atomun yarıçapı çekirdeğin yarıçapından çok büyük olmasından dolayı , atomun yörüngesindeki elektron ile reaksiyon oluşturması daha kuvvetli bir olasılıktır. Bu durumda büyük kütleyle sahip çekirdek, atomda herhangi bir değişiklik yaratmadan coulomb kuvvetinin itme etkisi ile ağır yüklü parçacıkların hareket yönünde bir değişiklik meydana getirir. Bunu ispatlayan kişi Rutherford'tur(Şahin, 2019 )

Işık madde ortamında ilerilerken hızında bir azalma meydana gelir. Bazı yüklü parçacıkların hızı aynı maddesel ortamda ışığın hızını geçebilir. Bu durumda kırılma indisi  $n$  olan ortamda, yüklü parçacığın hızı ışığın o ortamdaki hızı  $c/n$  den fazla ise ortamda bir elektromanyetik şok dalgası yayınlanır. Buna Cherenkov radyasyonu denir. Yani, yüklü parçacık, ışığa yapar bir enerji kaybına uğrar. Bir parçacığı tespit etmede Cherenkov radyasyonu sıklıkla kullanılabilir. Cherenkov ışınması belirli bir açı ile yayınlanır (Şahin, 2019).Bu açığa  $\theta$  diyelim;

$$\cos \theta_c = \frac{1}{\beta n} \quad \text{burada} \quad \beta c = v = c/n \quad \text{olur.}$$

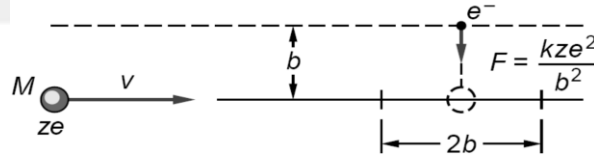
Burada parçacığın sahip olduğu momentum ile Cherenkov ışınmasının yayınlanma açısını kullanarak parçacığı tanımlayabiliriz (Şahin, 2019 ).



Şekil 2.7. Cherenkov ışınımı, momentum yardımıyla parçacığın tanımlanması (Şahin, 2019).

Ağır yüklü parçacıklarda kaybolan enerji:

Ağır yüklü parçacığın yalnızca bir elektron ile etkileşmesini ele alırsak, hızı  $v$ , kütlesi  $M$  ve yükü de  $ze$  olan parçacık,  $e$  yüküne ve  $m_e$  kütlesine sahip olan bir elektronun yakınından  $b$  etki parametresi sahip olarak geçebilir (Şahin, 2019).



Şekil 2.8. Ağır yüklü bir parçacığın elektron ile etkileşmesi (Şahin, 2019)

Bu noktada elektronun kazanmış olacağı enerji ağır yüklü parçacığın elektron ile çarpışmasından dolayı kazanacağı momentum değişimi hesaplanarak tespit edilebilir. Momentum değişiminden dolayı oluşacak itme aşağıdaki gibi hesaplanır (Şahin, 2019);

$$\Delta p = I = \int F dt = e \int E dt = e \int E (dt/dx) dx = (e/v) \int E dx \quad (1.1)$$

Burada elektrona elektrik alanının sadece dik bileşeni etki edecektir. Gauss yasası kullanılarak yukarıdaki dik E alan ile dx integrali hesaplanabilir. Bu ifade denklem 1.1 de yerine yazılarak impuls bulunur.

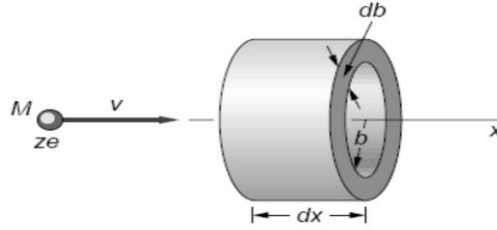
$$\int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int E (2\pi b) dx = \frac{ze}{\epsilon_0} \Rightarrow \int E dx = ze/2\pi\epsilon_0 b \Rightarrow I = \frac{ze^2}{2\pi\epsilon_0 bv}$$

(1.2)

Elektron tarafından kazanılan enerji;

$$\Delta E(b) = \frac{\Delta p^2}{2m_e} = \frac{z^2 e^4}{2m_e 4\pi^2 \epsilon_0^2 b^2 v^2} = \frac{2z^2 e^4}{m_e c^2 (4\pi\epsilon_0)^2 \beta^2 b^2} \frac{1}{b^2}$$

(1.3)



Şekil 2.9. Ağır yüklü parçacığın belli bir yoğunlukta elektron ile etkileşimi (Şahin, 2019).

Bir maddedeki elektronların yoğunluk değeri  $N_e$  ise kalınlığı  $dx$  olan  $b$  ile  $b+db$  aralığındaki mesafe içindeki elektronlar tarafından soğurulan enerjiyi (kayıp enerji) hesaplayabiliriz (Şahin, 2019);

$$-dE(b) = \Delta E(b) N_e dV = \frac{\Delta p^2 N_e (2\pi b) db dx}{2m_e} = \frac{4\pi z^2 e^4 N_e dx}{m_e c^2 (4\pi\epsilon_0)^2 \beta^2} \frac{db}{b}$$

(1.4)

Bu formülü kullanarak birim uzunluk başına soğurulan (kaybedilen) toplam enerjiyi yani “Durdurma Gücünü” hesaplayabiliriz;

$$-dE/dx = \frac{4\pi z^2 e^4 N_e}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_e c^2 \beta^2} \int \frac{db}{b} = \frac{4\pi z^2 e^4 N_e}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_e c^2 \beta^2} \ln \frac{b_{\max}}{b_{\min}}$$

(1.5)

burada  $r_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2}$  elektronun yarıçapı,  $\beta = v/c$  ve  $N_e = Z \frac{N_A}{A} \rho$  elektronun yoğunluğu, denklem 1.5 yeniden düzenlenirse;

$$-dE/dx = \frac{4\pi z^2 e^4 N_e}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_e c^2 \beta^2} \int \frac{db}{b} = \frac{4\pi N_A m_e c^2 r_e z^2}{\beta^2} \rho \frac{Z}{A} \ln \frac{b_{\max}}{b_{\min}} \quad (1.6)$$

Bu denklemde yer alan  $b_{\min}$  ve  $b_{\max}$  gibi büyüklüklere etki parametreleri denir. Bu parametreler bazı fiziki çıkarımlar ile bulunabilir.  $b_{\min}$ , parçacıkların kafa kafaya çarpışması sonucunda transfer edilen enerji maksimum olacağı için bu yöntemle bulunabilir (Şahin, 2019).

Rölativistik durumda göz ardı edilemeyeceği için  $b_{\min} = \frac{ze^2}{\gamma(4\pi\epsilon_0)m_e v^2}$  şeklinde olur (Şahin, 2019).

$B_{\max}$  bulmak için ise elektronların belirli bir  $f$  frekansı ile atomun yörüngelerinde dönmesini esas almalıyız. Parçacıkların etkileşim süresi  $t \approx b/\gamma v$  ile periyodunun  $1/f$ den kısa olduğunu varsaymalıyız. Bunun neticesinde  $b_{\max} = \gamma v/f$  değerini elde ederiz. Bütün bu değerleri denklem 1.6 da yerine yazdığımızda klasik mekaniksel kuram yaklaşımı ile ağır yüklü parçacığın birim uzunluk başına kaybettiği enerji (soğurulan enerji) aşağıdaki şekilde denkleştirilir (Şahin, 2019) ;

$$-dE/dx = \frac{4\pi N_A m_e c^2 r_e z^2}{\beta^2} \rho \frac{Z}{A} \ln 4\pi\epsilon_0 \frac{\gamma^2 m_e v^3}{ze^2 f} \quad (1.7)$$

Klasik bakış açısına sahip bu denklemler için Bethe ve Bloch kuantum mekaniksel şekilde hesaplamalar yaparak doğru denklemi ortaya çıkardılar. Yukarıdaki klasik mekaniksel bakış açısına sahip denklem tarafından hesaplanan kayıp enerji özelliklerinin bir çoğunda kuantum mekaniğine ait ifadelerde bulunmaktadır. Kuantum mekaniksel bakış açısına bağlı olarak ağır yüklü parçacık tarafından kaybedilen enerjinin denklemi (Şahin, 2019);

$$-\frac{dE}{dx} \Big|_c = 4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[ \frac{1}{2} \ln \left( \frac{2m_e \gamma^2 v^2 W_{\max}}{I^2} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} - \frac{C}{Z} \right] \quad (1.8)$$

Bir çarpışma esnasında transfer edilen maksimum enerji  $W_{\max}$ , ortalama iyonlaşma potansiyeli  $I$ ,  $\delta$  ortamdaki elektronların yük yoğunluğu tarafından gelen parçacığın dik

elektrik alanının perdelenmesini veren bir büyüklük ve  $\zeta$  ortamın malzemesine bağlı parametredir. C bağlı elektronun yörüngesel hızının gelen parçacığın hızıyla karşılaştırılabilir veya az olduğu zamanda ortaya çıkan etkiler için düzeltme parametresidir, kısaca  $\delta$  ve C parametreleri Bethe-Bloch formülüne yapılan düzeltmelerdir. Denklem 1.8 deki ifadede geçen  $W_{max}$  ve  $I$  aşağıdaki şekilde verilir (Şahin, 2019);

$$W_{max} = \frac{2m_e(c\beta v)^2}{1+m_e/M\sqrt{1+(\beta v)^2+(m_e/M)^2}} \approx 2m_e(c\beta v)^2 \quad (1.9)$$

burada M gelen parçacığın kütlesidir.

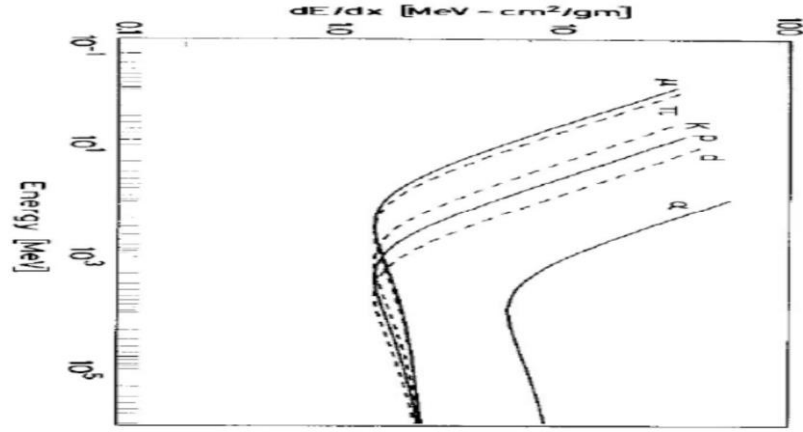
$$\frac{I}{Z} = 12 + \frac{7}{Z} \text{ eV} \quad Z < 13$$

$$\frac{I}{Z} = 9.76 + 58.8Z^{-1.19} \text{ eV} \quad Z > 13$$

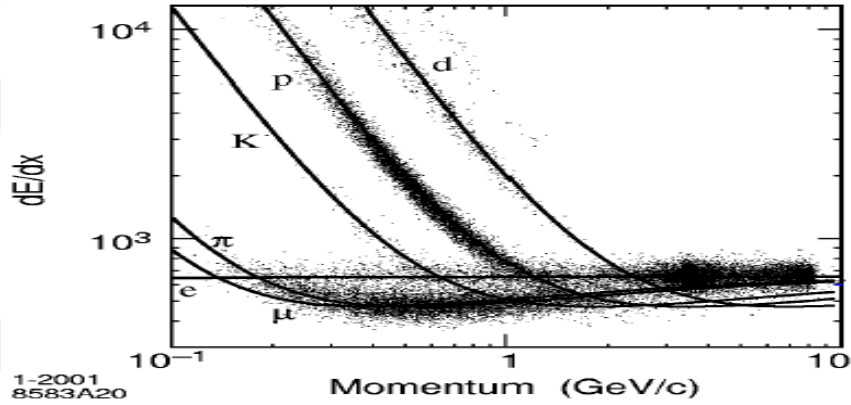
Parçacığın bir ortamdan geçiyor iken kaybettiği enerji miktarında hızı önemli bir faktördür. Bu sebeple, parçacıkların hızından dolayı sahip oldukları kinetik enerjilerinin bir göstergesi olarak oluşan enerji kaybı, Bethe-Bloch tarafından oluşturulan denklem ile Şekil 2.10'da verilmiştir (Şahin, 2019).

Bethe-Bloch formülü  $\beta$  ya bağlıdır. Eğer parçacık Rölativistik bir duruma sahip değil ise enerji kaybı formülündeki  $1/\beta^2$  ifadesi daha büyük olacak ve bunun sonucunda  $v=0.96c$  değerinde minimum büyüklüğe sahip olacaktır. Bu değerlerde parçacıkların iyonizasyonu minimumdur. Şayet enerji bu noktadan itibaren yükseltirse,  $1/\beta^2$  ifadesi sabit bir değer alacaktır. Enerji kaybı ise formülde ifade edilen logaritmik durumdan dolayı artış gösterecektir. İyonizasyonun minimum değerinin altındaki oluşan enerji kayıpları parçacıklara özgü olacağından, bu enerji kaybı grafiği parçacıkların kimliğinin tespitinde kullanılabilir. Şekil 2.10 da ki grafik parçacıkları tespit etmek için kullanılmıştır (Şahin, 2019).





Şekil 2.10. Kinetik enerji- durdurma gücünün grafiği (Şahin, 2019).



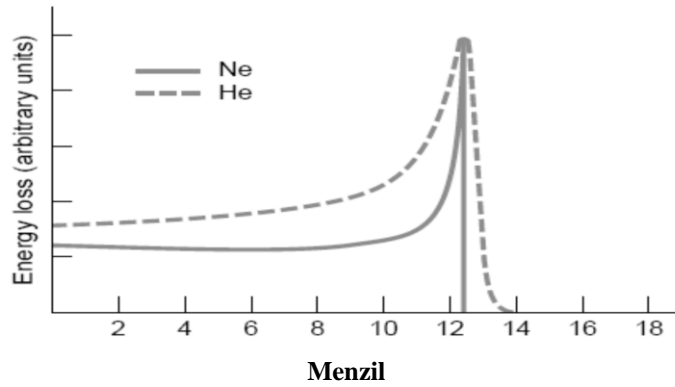
Şekil 2.11. Parçacıkların kimliğinin tespitinde durdurma gücü- momentum grafiği (Şahin, 2019).

Durdurma gücü parçacıkları tanımlamada oldukça önemlidir. Eğer durdurma gücünü biliyorsak, parçacığın ortam içindeki alacağı yolun uzunluğunu yani menziline yaklaşık değer olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplayabiliriz.

$$R = \int_0^R dx = \int_E^0 \frac{dx}{dE} dE = \int_0^E \frac{dE}{S(E)} \text{ bu formüldeki } S(E) = -\frac{dE}{dx} \text{ durdurma gücünü ifade eder (Şahin, 2019).}$$

Ağır yüklü parçacıklar bir madde içerisinde ilerlerken çeşitli etkileşimler ile yavaşlarlar. Bu yavaşlama kinetik enerjisinde bir azalmaya sebep olur. Bu kinetik enerjisindeki kayıp miktarı onun parçacığın kimliğini tespitinde önemli bir rol oynar. Parçacıkların hızı yavaşladıkça enerji kaybı artacağı için durmasına yakın daha çok iyonizasyon oluşturacaktır. Menziline bağlı olarak oluşan enerji kaybı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Bu şekildeki tepe noktası Brag eğrisi olarak adlandırılır. Parçacığın enerjisinin çoğu durmasına yakın olarak parçacığın menzilin sonuna aktarılır ve orada depolanır. En sonunda, yüklü parçacık bir elektron kapar ve durdurma gücü bu duruma bağlı olarak azalır. Bu etki radyasyonun farklı alanlarda kullanılmasını sağlar. Tıptaki uygulamalar buna örnektir. Vücuda gönderilen ağır yüklü parçacıkların menzili hesaplanarak , kanser hücrelerini diğer hücrelere zarar vermeden parçalamak için kullanılırlar (Şahin, 2019).

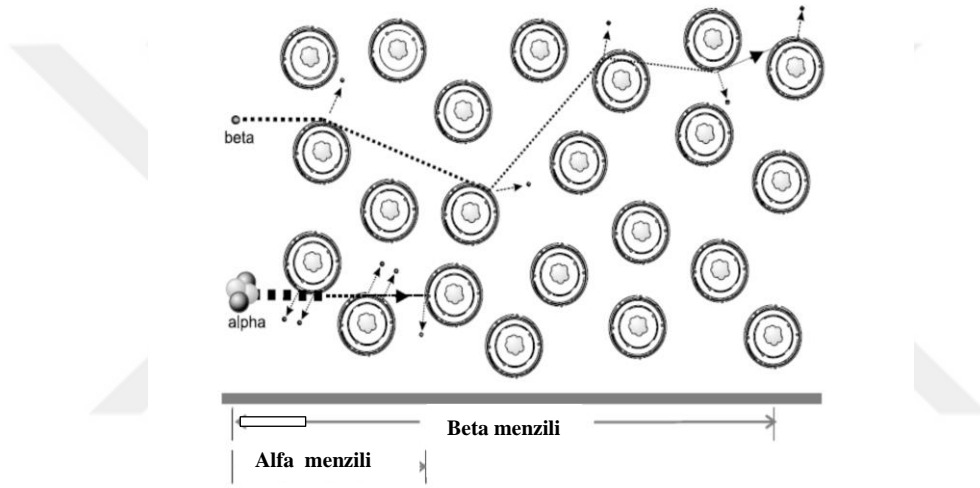


Şekil 2.12. Helyum ve Neon iyonlarının enerji kaybının su içerisindeki menzile göre değişimi (Şahin, 2019).

### Hafif yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi

Elektronların ve pozitron gibi parçacıklar birbirinin karşıt parçacıkları oldukları için madde ile etkileşimleri benzerdir. Beta parçacıkları madde ile etkileşmesi sonucunda iyonlaşma ve yada uyarılma olayı gerçekleşebilir. Bu olayların meydana gelme sebebi çekirdekte oluşan elektrik alanıdır. Beta gibi hafif yüklü parçacıkların hızı aynı enerjili ağır yüklü parçacıklara göre daha yüksektir. Hızları yüksek olan beta parçacıklarının bunun sonucu olarak enerjileride yüksek olacaktır. Enerjisi yüksek olan bu parçacıklar çekirdeğin elektrik alanından geçtiği zaman, ışımaya (radyasyon) yayarak bir enerji kaybı oluşur. Bu kayıp enerjiye Bremsstrahlung (frenleme) radyasyonu denir. Bu ışımaya sürekli X ışını spektrumu halinde yayınlanır. Bremsstrahlung (frenleme) radyasyonu elektronun ivmeli hareketi sonucunda açığa çıkar ve çekirdeğin elektriksel çekimi sonucunda izlediği düz yolda sapmalar oluşturur. Gelen parçacıkların enerjisi birkaç MeV mertebesinde yada daha düşük ise Bremsstrahlung (frenleme) radyasyonu ile oluşacak

enerji kaybı da düşük olacaktır. Bu sebeple, beta parçacıkları enerjilerinin çoğunluğunu ortamdaki elektronları ile çarpışarak veya Moller ve Bhabha saçılması ile kaybedeceklerdir. Gelen elektronun ortamdaki atomun yörüngesindeki elektronlar ile çarpışma ihtimali oldukça yüksektir. Bu şekilde gelen elektronun yörünge elektronu ile esnek olmayan saçılmasına Moller Saçılması, pozitronun yörünge elektronu ile esnek olmayan saçılmasına ise Bhabha saçılması denir. Bütün bunlar sonucunda gelen parçacığın izlediği yol düz değil zikzak şeklinde olacaktır. Bu nedenle hafif yüklü parçacıkların alacağı yol daha fazla olacaktır (Şahin, 2019).

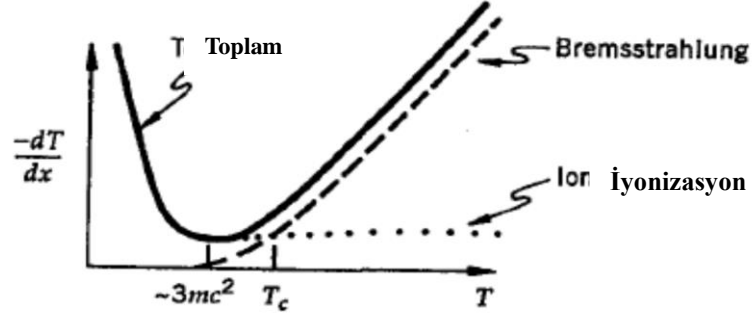


Şekil 2.13. Alfa ve Beta parçacıklarının madde içerisinde aldıkları mesafe (Şahin, 2019; Powsner, 2006)

Beta parçacıklarının enerjisi artırıldığında radyasyon yoluyla oluşacak enerji kaybında ani bir yükselme meydana gelecektir. Bu yolla parçacıkta oluşacak enerji kaybı çarpışma-iyonizasyon yoluyla oluşacak enerji kaybından daha büyük veya bu değere daha yakın olabilecektir. Bremsstrahlung radyasyonu yoluyla oluşan enerji kaybının çarpışmayla yoluyla oluşan enerji kaybına eşit olduğu andaki parçacık enerjisine kritik enerji adı verilir. Kritik enerjinin üzerinde her çarpışmada Bremsstrahlung radyasyonu yoluyla oluşacak enerji kaybı yüksek olacaktır (Şahin, 2019).

Beta parçacıklarının enerjileri düşük ise gelen parçacıklar atom çekirdekleri tarafından geri saçılabilirler. Bu saçılma sonucunda beta parçacıkları bulunduğu ortama

enerjilerinin tümünü bırakmazlar ancak gelen parçacığın enerjisini ölçen cihazların (dedektörlerin) çalışmasını etkileyebilirler (Şahin, 2019).



Şekil 2.14. Elektronun madde de uğradığı enerji kaybı (Şahin, 2019).

Madde içerisinde ilerleyen elektronların enerji kaybı, alfa parçacıklarının enerji kaybından aşağıdaki nedenlerden dolayı farklıdır.

- i) Beta parçacıklarının küçük kütle ve yüksek hızlarından dolayı Rölativistik etki göz önüne alınır.
- ii) Enerji spektrumları sürekli değildir.
- iii) Yüksek enerjilerde iyonlama ve uyarılmadan başka radyasyon yoluyla da enerji kaybına (Bremsstrahlung) uğrarlar (Şahin, 2019).

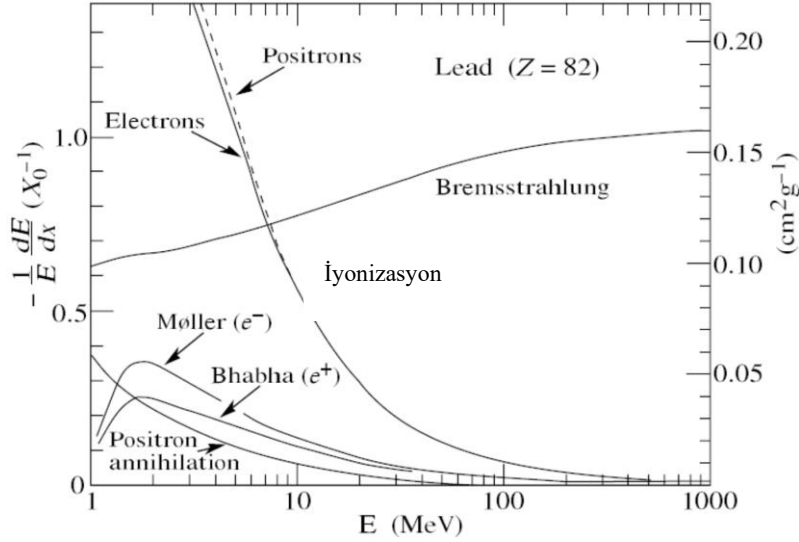
Elektron ve pozitronların madde içerisinde ilerlerken uğramış oldukları toplam enerji kaybı Bremsstrahlung radyasyonu ve çarpışmalar olarak 2 ana grupta incelenir (Şahin, 2019) ;

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{Toplam}} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{Rad}} + \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{Çarp}}.$$

Gelen parçacıklar yüksek enerjili ise radyasyon meydana gelerek oluşan enerji kaybının çarpışmaya ile oluşacak enerji kaybına oranı ;

$$\frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{Rad}}}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{Çarp}}} = \frac{EZ}{1200m_e c^2} \quad \text{olur.}$$

Kurşun içerisinde ilerleyen pozitron ve elektronun uğramış oldukları enerji kayıpları aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 2.15. Elektron ve pozitronun kurşun içerisindeki enerji kayıpları (Şahin, 2019).

#### Hafif yüklü parçacıklarda çarpışma ile enerji kaybı

Çarpışma sonucunda oluşacak enerji kaybı beta parçacıklarında karmaşık bir durum yaratmaktadır. Bunun sebebi elektron ve pozitronların her ikisinde spininin ve kütlelerinin aynı olmasındandır. Bu parçacıkların çarpışma esnasında kaybedecekleri enerji formülü ağır yüklü parçacıkların çarpışmaya kaybettikleri enerji formülüne benzerdir. Fakat beta parçacıklarının kütlelerinin çok küçük olması sonucunda, Bethe-Bloch formüllerinde bazı değişiklik yoluna gitmiştir (Şahin, 2019). Bunun sonucunda formüldeki bazı terimlerde değişiklik olmuştur. Hafif parçacıklar için oluşturulan Bethe-Bloch formülü aşağıdaki gibidir;

$$-\frac{dE}{dx}|_c = 2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[ \ln\left(\frac{\tau^2(\tau+2)}{2(I^2/m_e c^2)}\right) + F(\tau) - \delta - 2\frac{C}{Z} \right]$$

burada  $m_e c^2$  biriminde gelen parçacığın kinetik enerjisidir (Şahin, 2019).

$$F(\tau)_{e^-} = 1 - \beta^2 + \frac{\tau^2 8 - (2\tau + 1) \ln 2}{(\tau + 1)^2} = 1 - \beta^2 + \frac{1}{8} \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma}\right)^2 + \frac{(2\gamma - 1) \ln 2}{\gamma^2}$$

$$\begin{aligned} F(\tau)_{e^+} &= 2 \ln 2 - \frac{\beta^2}{12} \left( 23 + \frac{14}{(\tau + 2)} + \frac{10}{(\tau + 2)^2} + \frac{4}{(\tau + 2)^3} \right) \\ &= 2 \ln 2 - \frac{\beta^2}{12} \left( 23 + \frac{14}{(\gamma + 1)} + \frac{10}{(\gamma + 1)^2} + \frac{4}{(\gamma + 1)^3} \right) \end{aligned}$$

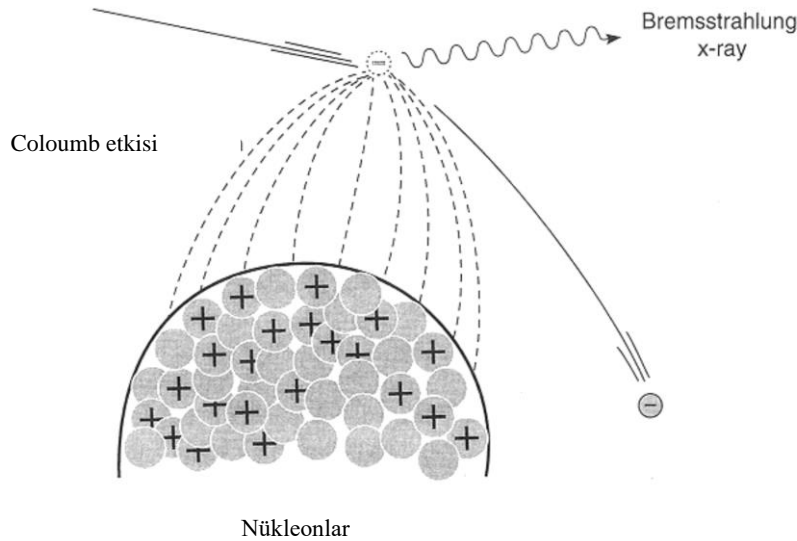
Enerji çok yüksek mertebede ise  $F(\tau)$  terimini sabit kabul ederiz (Şahin, 2019).

Bremsstrahlung radyasyonu ile enerji kaybı:

Klasikte mekaniğe göre yüklü bir parçacık ivmelendiğinde etrafına enerji yayınlar. Beta parçacıkları ise yüksek enerjili durumlarda , çekirdeğin oluşturduğu elektrik alandan geçerken bremsstrahlung radyasyonu denilen ışınmayı yayınlar ve bu sayede enerji kaybederler. Elektron ve pozitronlar birkaç yüz GeV altındaki enerjilerde, Bremsstrahlung ışınması ile enerji kaybederler. Bu radyasyona oluşan enerji kaybının matematiksel ifadesi aşağıdadır (Şahin, 2019).

$(-\frac{dE}{dx})_{rad} = \frac{E}{X_0}$  burada  $X_0 \propto 170 \frac{A}{Z^2}$  (gr/cm<sup>2</sup>) radyasyonun ortamdaki uzunluğudur (Şahin, 2019).

Radyasyon uzunluğu, bir elektronun sahip olduğu enerjinin %63.2 sini Bremsstrahlung ışınmasına kaybettiği mesafe olarak adlandırılır. Z ise ortamdaki maddenin atom numarası ve A ise kütle numarasıdır (Şahin, 2019).



Şekil 2.16. Bremsstrahlung ışınması (Şahin, 2019)

### 2.3.2. Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimi

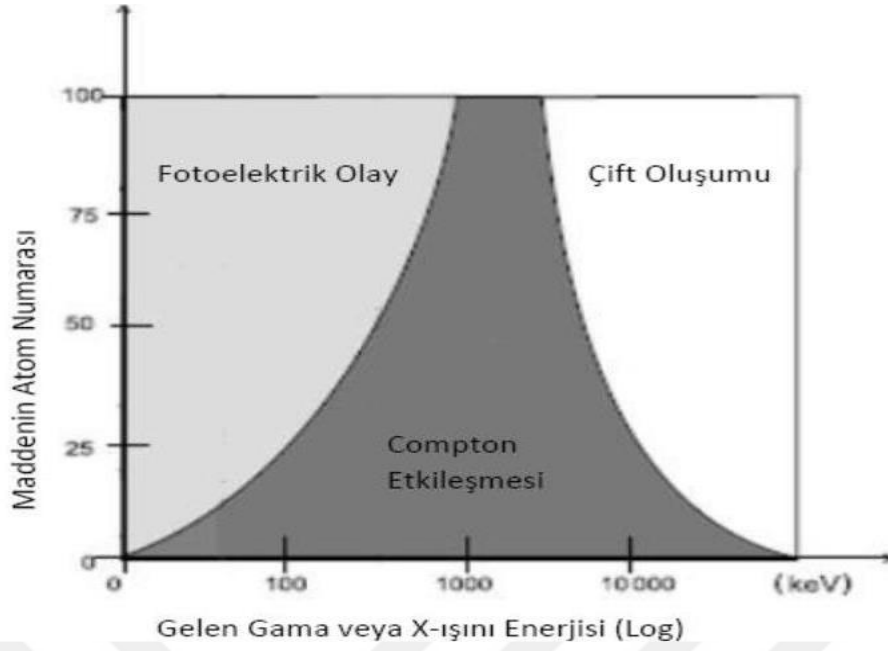
#### Fotonların Madde ile Etkileşimi

Yüksüz parçacıklar Foton, nötron ve nötrino gibi parçacıklardır. Elektrik yükü bakımından nötr oldukları için Coloumb etkileşimine girmezler. Her bir parçacık madde ile farklı şekilde etkileşir.

Gama ışını, X ışını ve Bremsstrahlung ışını Elektromanyetik ışımalara örnek olarak verilebilir. Ancak Fotonlar tıpkı diğer yüksüz parçacıklar gibi elektriksel yükleri nötr olduğundan Coulomb kuvveti ile yüklü parçacıklar gibi etkileşime girmezler (Şahin, 2019). Fakat Coloumb kuvvetinin etkisine girmemesine rağmen maddeki atomlarında uyarır yada iyonlaştırabilir. Fotonlar elektromanyetik kuvvetin taşıyıcı parçacıklarıdır ve madde ile etkileşimleri iyonlaşmayla ve ortama enerji aktarımı sonucunda gerçekleşir. Bu nedenle fotonların madde ile etkileşimleri yüklü parçacıklara göre çok büyük farklılıklar gösterir. Gama ışınları atomun yörünge elektronları ile etkileşime girdiğinde kendi enerjisinin neredeyse hepsini bir seferde elektrona aktarır. Gama ışınlarında menzil kavramı yoktur (Şahin, 2019).

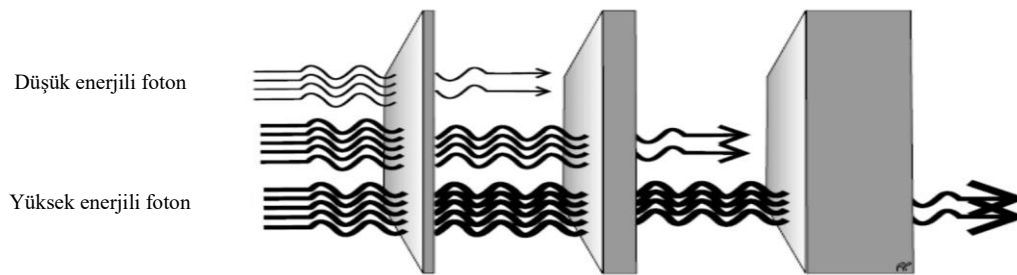
Gama ve X ışınları madde ile genellikle 3 (üç) çeşit etkileşim yaparlar;

- . Fotoelektrik olay
- . Compton saçılması
- . Çift oluşum



Şekil 2.17. Fotonların madde ile etkileşim grafiği (Şahin, 2019; Powsner, 2006)

Fotonların bu etkileşimler sonucunda iki önemli özelliği hakkında bilgi sahibi oluruz . Birinci özelliği; fotonlar madde içerisinde ilerlerken yüklü parçacıklar ile kıyaslandığında daha uzun mesafelere nüfuz etmesi , ikincisinde ise madde içerisinde yol aldıkça, mesafe uzadıkça yüklü parçacıkların aksine fotonların enerjilerinde bir kayıp oluşmaması ancak fotonların sadece şiddetinde azalma meydana gelmesidir (Şahin, 2019).



Şekil 2.18. Fotonların şiddetinde kalınlığa bağlı olarak değişme (Şahin, 2019; Powsner, 2006)

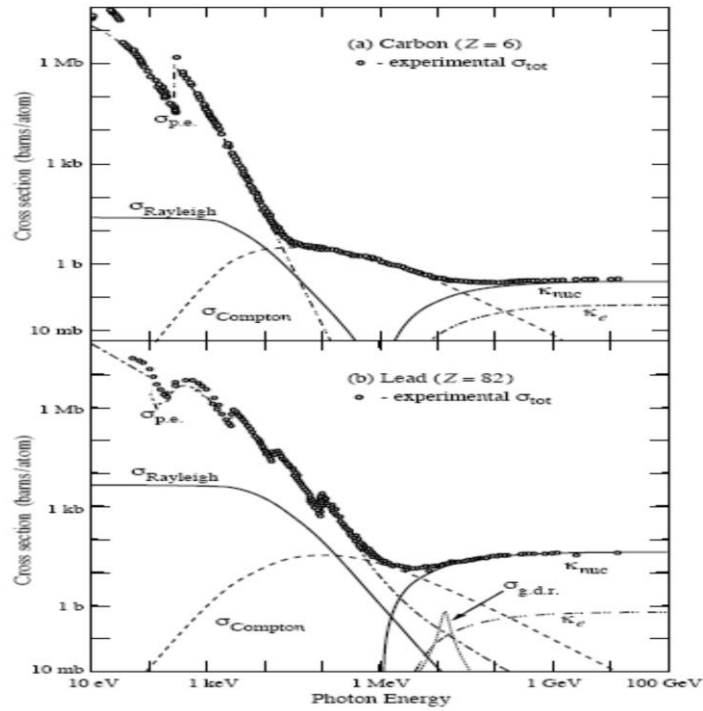
Foton şiddetindeki azalma kalınlığa bağlı olarak eksponansiyel şekilde ifade edilecektir.

$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x)$$



Bu formülde  $I_0$  değeri gelen fotonun şiddeti,  $x$  değeri soğurucu maddenin kalınlığı ve  $\mu$  değerinde lineer soğurma katsayısını ifade etmekte olup bu değer fotonun içerisinde geçtiği madde ile ışın enerjisine bağlıdır ve etkileşiminin toplam tesir kesitini büyüklüğünü verir (Şahin, 2019).

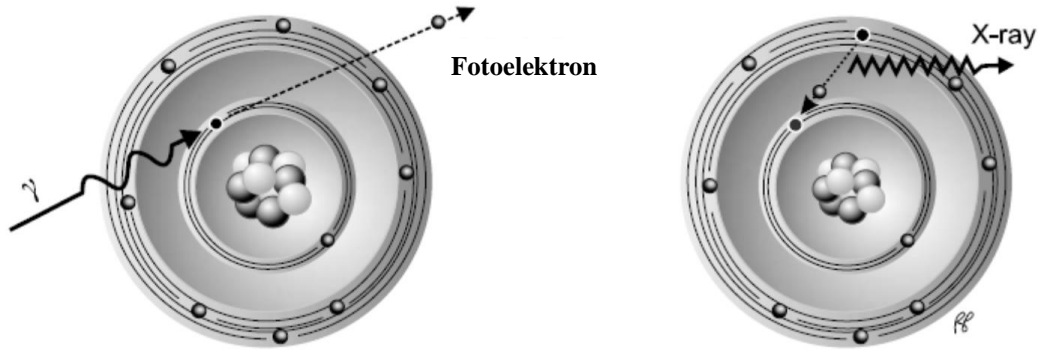
Karbon ve kurşun içinde Fotonun sahip olduğu etkileşime tesir kesitini oluşturan katkılar fotoelektrik olay( $\sigma_{p.e}$ ), rayleigh saçılması ( $\sigma_{Rayleigh}$ ), Compton saçılması ( $\sigma_{Compton}$ ), fotonükleer soğurma( $\sigma_{g.d.r}$ ), Çekirdekten alanında çift oluşum( $K_{nuc}$ ) ve elektron alanında çift oluşum( $K_e$ ) gelecektir (Şahin, 2019).



Şekil 2.19. Kurşun ve karbonda fotonun sahip olduğu tesir kesiti (Şahin, 2019).

### Fotoelektrik Olay

Enerjisi düşük bir fotonun madde ile etkileşmesi sonucunda maddeye bağlı bir elektron tarafından fotonun enerjisi soğurularak  $K_e$  kinetik enerjisine sahip bir elektronun serbest hale getirilmesidir. Eğer atomun iç yörüngelerindeki elektronu koparacak enerjiye sahip bir foton gönderilirse, bu yörüngesinden kurtularak serbest hale gelecek, daha dış yörüngelerdeki elektronlardan biri bu daha düşük boş seviyeyi doldurarak bir X ışını yayacaktır (Şahin, 2019).



Şekil 2.20. Fotoelektrik olay (Şahin, 2019)

Atomdaki bir elektronu serbest hale getirebilmek için Einstein bulmuş olduğu Fotoelektrik olay bağıntısı geçerlidir. Bu bağıntıdaki  $I_B$  elektronun maddeden koparılması için gerekli olan enerji,  $h\nu$  gelen fotonun enerjisi,  $K_e$  ise kopan elektronun sonradan kazanacağı kinetik enerjidir. Enerji korunumundan, fotoelektrik denklemi;

$$E_\gamma = h\nu = I_B + K_e$$

Fotoelektrik olay  $keV$  enerji mertebesinde büyük tesir kesitine sahip olmaktadır. Bu tesir kesitini hesaplamak için aşağıdaki formüller kullanılır.

$$\sigma \approx \frac{Z^5}{7} E_\gamma < m_e c^2$$

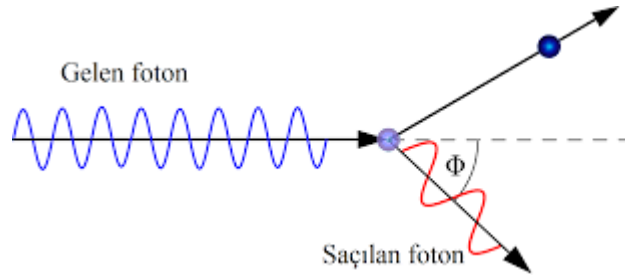
$$\sigma \approx \frac{Z^5}{(h\nu)} E_\gamma > m_e c^2$$

Özellikle bu etkileşim atom numarası yüksek olan atomlarda geçerli olup fotonun enerji değeri  $1 MeV$  ve daha alt seviyelerde ise geçerliliğini kaybetmektedir (Şahin, 2019).

### Compton Olayı

Compton saçılması fotonun madde içerisinde serbest halde bulunan bir elektronda esnek saçılması olarak tanımlanır. Elektronlar buldukları maddeye bağlanma enerjisi ile bağlı durumdadır fakat gelen fotonun enerjisi, elektronun bağlanma enerjisinden büyük ise, bu noktada bağlanma enerjisi ihmal edilir ve elektronun madde serbest olduğu

varsayılır. Gelen fotonun enerjisi atomun bağlanma enerjisinden düşük ise böyle bir durumun oluşması mümkün değildir (Şahin, 2019).



Şekil 2.21. Compton Saçılması

Gelen fotonun enerjisi  $h\nu$  , momentumu  $\frac{h\nu}{c}$  ise , gelen foton  $\theta$  açısına sahip olarak düşük frekans ile saçılmaktadır[22]. Elektronun ise  $p$  büyüklüğünde momentuma sahip olarak  $\phi$  açısında ortamdan saçılmaktadır. Bu noktada foton yok olmamaktadır. Fotonun saçılma açısının büyüklüğü fotondan elektrona transfer edilen enerji miktarına bağlı olarak değişir. Compton olayını matematiksel olarak ifade edebilmek için iki önemli yasadaki yararlanılır. Bu yasalar Enerji ve Momentum Korunumu yasalarıdır. Bu kanunlarını uygulayarak, Compton saçılmasındaki, saçılan foton ve yayınlanan elektronun enerjileri için aşağıdaki denklemleri elde ederiz;

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \gamma(1 - \cos\theta)} \text{ burada } \gamma \equiv \frac{h\nu}{m_e c^2}$$

$$K_e = h\nu - h\nu' = h\nu \frac{\gamma(1 - \cos\theta)}{1 + \gamma(1 - \cos\theta)}$$

Compton saçılmasındaki tesir kesiti  $\sigma \approx \frac{Z}{h\nu}$  denklemi ile ifade edilir. Fotonun enerjisi bu durumda çok önemlidir. Eğer Foton enerjisi 0.1 ile 10 MeV aralığında ise ortamda enerji depolanmasında Compton saçılması daha etkili olur (Şahin, 2019).

### Thomson ve Rayleigh saçılması

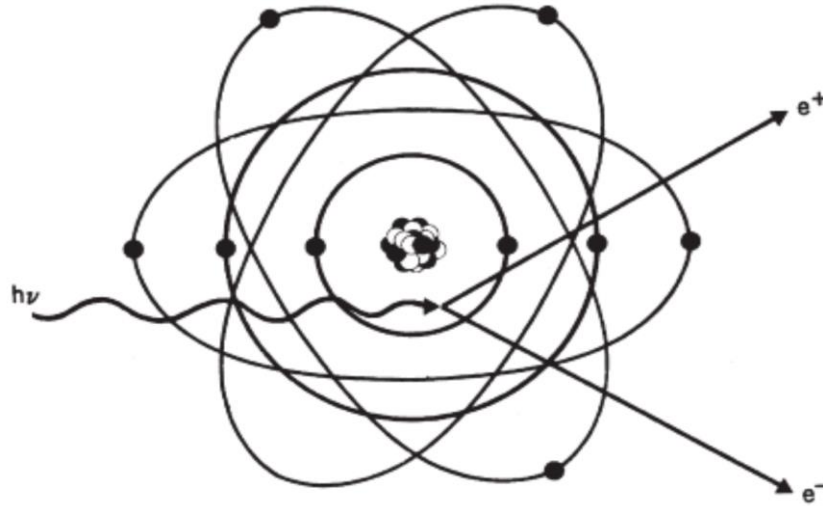
Fotonlar madde içerisinde yer alan serbest bir elektron tarafından esnek saçılıyorsa buna Thomson ve Rayleigh Saçılması denir . Gelen fotonun enerjisi düşük ise, Thomson saçılmasının tesir kesitinin büyüklüğü ortamdaki atomun atom numarası ile orantılı olarak

değişmektedir. Momentum transferleri minimum olduğu zamanlar , atom içinde yer alan bütün elektronlardan saçılan X-ışınlarının genlikleri tutarlı bir şekilde toplanırlar. Buna Rayleigh saçılması denir. Rayleigh saçılmasında tesir kesitinin büyüklüğü ortamı oluşturan maddenin atom numarası ile orantılı olarak değişir (Şahin, 2019).

Her iki saçılmada ortamdaki madde enerji soğurmayacaktır. Atomlarda iyonlaşma ve uyarılma olmaz. Bu saçılmalarda yalnızca atomun yönünde değişiklik olur. Rölativistik enerjilerde, Thomson ve Rayleigh saçılmaları ihmal edilebilir derecededir (Şahin, 2019).

### Çift Oluşum

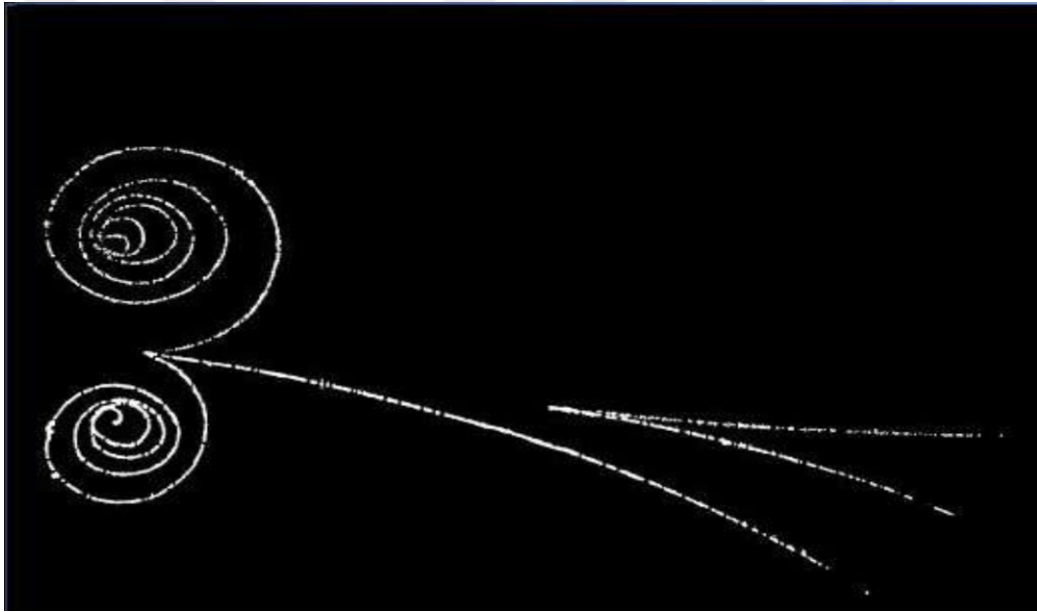
Foton yeterli büyüklükte bir enerjiye sahip ise , madde gelen fotonun enerjisini soğurarak zıt elektrik yüklü iki parçacık meydana getirir. Buna çift oluşumu denir. Gelen foton madde formuna geçiş yaparak elektron-pozitron çiftine dönüşür. Fakat bu olay sonucunda momentum korunum yasasını sağlamak için ortamda üçüncü bir cismin varlığı zorunlu hale gelir. Pozitronun ve elektron birbirlerinin karşıt parçacıkları oldukları için kütleleri eşittir ve elektron-pozitron çift oluşumunu sağlamak için gelen fotonun eşik enerjisi  $h\nu \approx 2m_e c^2 = 1.02\text{MeV}$  olmalıdır (Şahin, 2019).



Şekil 2.22. Elektron-Pozitron-Foton çift oluşumu (Şahin, 2019).

Çift oluşum sürecinde tesir kesiti  $Z^2$  ile orantılı olup burada Z ortamı oluşturan atomun atom numarasıdır. Gelen foton 10 MeV dan yüksek bir enerjiye sahip ise enerji kaybı olaylarında Çift oluşum daha etkili olur. Gelen fotonun enerjisi çok yüksek ise ( $>100$

MeV), bu durumda elektron-pozitron çift oluşumunun tesir kesiti azalmaya başlar ve ortamın radyasyon uzunluğuna eşit, sabit bir soğurma katsayısı ile ifade edilir. Çift oluşum sürecinde oluşan pozitronlar, madde içerisinde yol alırken beta parçacıkları gibi iyonlaşma veya radyasyon meydana getirerek enerji kaybına uğrarlar[22]. Pozitronlar sahip oldukları kinetik enerjilerinin büyük bir kısmını kaybettikten sonra ortamdaki bir elektron tutarak pozitronyum maddesini oluştururlar. Pozitronyum, hidrojen atomuna benzemektedir fakat hidrojen atomundan farklı yönü kararsız olması ve  $10^{-10}$  sn gibi bir yarı ömüre sahip olmasıdır. Bütün bunların neticesinde, pozitronyum atomu kararsız olmasından dolayı bozunarak tekrardan iki foton oluşturur. Bu işlem sonucunda yönleri zıt olan fakat enerjileri aynı olan iki foton meydana gelir. Fotonların her biri eşik enerjiye ulaşabilmeleri için  $0.511 \text{ MeV}$  luk enerjiye sahip olmalıdır (Şahin, 2019).

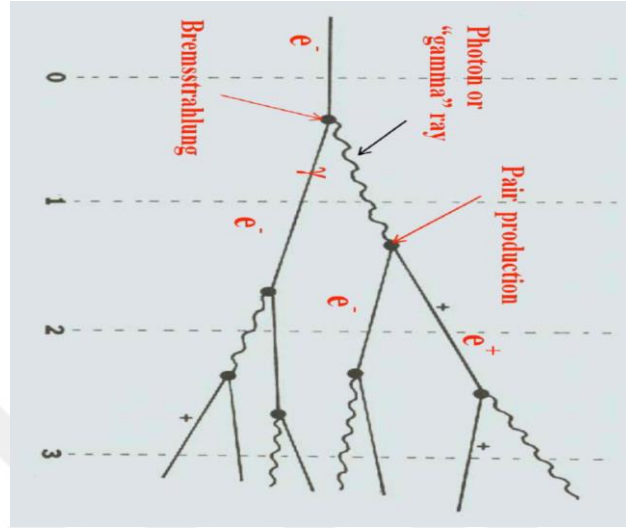


Şekil 2.23. Elektron-pozitron çifti etkileşimi (Şahin, 2019).

### Elektron-Foton sağanağı

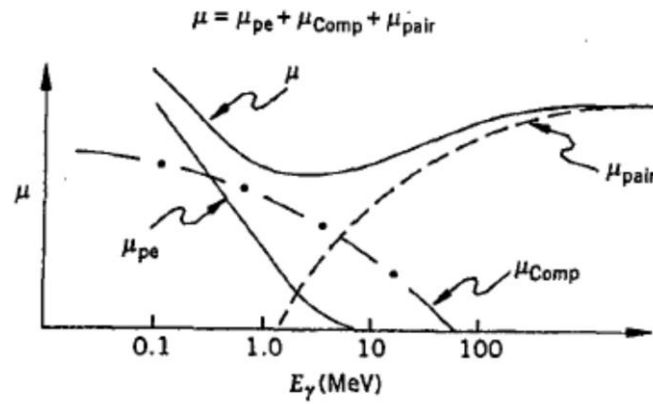
Bremsstrahlung radyasyonu ve çift oluşumunun birleştirilmiş bir etkisi sonucunda elektron-foton sağanağı meydana gelmektedir. Yüksek enerjiye sahip bir foton madde içerisinde önce elektron-pozitron çiftine dönüşür ve daha sonra oluşan bu oluşan beta parçacıkları çekirdekle etkileşime girdiğinde Bremsstrahlung fotonu yayar. Burada oluşan Bremsstrahlung fotonu daha sonra tekrar elektron-pozitron çiftine dönüştürülür ve süreç böylece devam eder. Bunların neticesinde foton, elektron-pozitron duşu oluşur. Bu

olayın sürekliliği elektron-pozitron çiftinin enerjisi kritik enerjinin altına düştüğü anda sona erer. Bu durumda parçacıklar enerjilerini atomik çarpışma ile sonlandırırılar (Şahin, 2019).



Şekil 2.24. Elektron-foton Sağanağı (Şahin, 2019).

Tüm bu açıklamalar ışığında gama ışınlarının madde ile etkileşmesi neticesinde fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu durumları oluşur. Bunun sonucunda, toplam lineer soğurma katsayısı tüm bu olayların soğurma katsayılarının ayrı ayrı toplamı ile elde edilir.



Şekil 2.25. Toplam lineer soğurma katsayısı ile gelen foton enerjisi grafiği (Şahin, 2019).

Gama ışını bir bileşikten geçtiğinde , soğurma katsayısı;

$$\mu_c = \sum w_i \mu_i$$

ile ifade edilir. Burada  $w_i$  bileşikteki  $i$ . elementin ağırlık kesri,  $\mu_i$   $i$ . elementin toplam soğurma katsayısıdır (Şahin, 2019).

### Nötronların madde ile etkileşimi

Nötronların elektriksel olarak yüksüz oldukları için çekirdek ile nükleer kuvvetler aracılığıyla etkileşirler. Nötronlar çekirdeğe doğru yaklaştıklarında yüksüz olduklarından dolayı Coulomb kuvvetine maruz kalmazlar. Bu durumda Çekirdek ile etkileşebilmek için çekirdeğin çok yakınından ( $10^{-13}$  cm) geçmeleri gerekir.

Nötronlar düşük enerjilerde olurlarsa daha kolay etkileşime girerler. Nötronların etkileşime girmeleri için yüklü parçacıklardan yararlanır. Bunların neticesinde nötronları bir çok protonu olan malzeme ile yavaşlatmak daha kolaydır. Çünkü enerjisinin büyük kısmını çarpışmalarla kaybeder (Şahin, 2019).

### **Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması:**

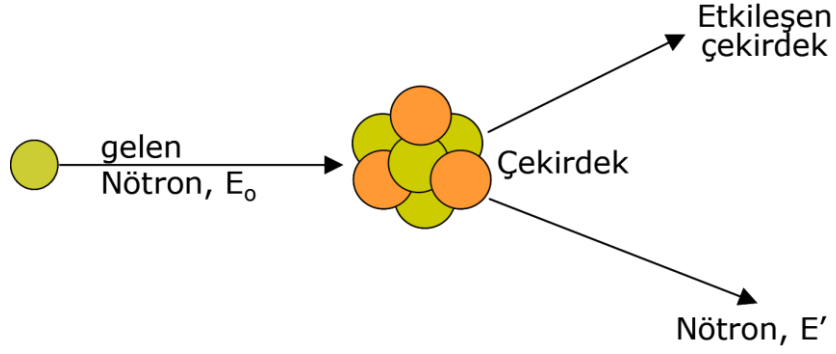
- $E > 100$  MeV : Yüksek enerjili nötronlar
- $10-20$  MeV  $> E > 100-200$  keV : Hızlı nötronlar
- $100$  keV  $> E > 0.1$  eV: Epitermal nötronlar
- $E \sim kT \sim 1/40$  eV: Termal/Yavaş nötronlar
- $E \sim meV \sim \square$  eV: Soğuk ve ultrasoğuk nötronlar

Nötronlar enerjilerine göre etkileşmeye meydana getirirler Bu etkileşmeleri aşağıda 6 başlıkta inceleyelim (Şahin, 2019).

### Elastik saçılma

Nötronların sahip oldukları enerji MeV seviyesinde ise enerjilerinin büyük kısmını elastik saçılma ile kaybederler. İki parçacığın çarpışmasını sonucunda enerji korunumuna göre toplam kinetik enerji korunur.  $A(n,n)A$  şeklindeki reaksiyonları oluşturur. Düşük enerjiye sahip Nötron bir atom çekirdeğine çarpar ve bu çarpışma sonucunda nötrondan çekirdeğe bir enerji aktarımı olur. Enerjisinin bir kısmını aktaran nötron geliş

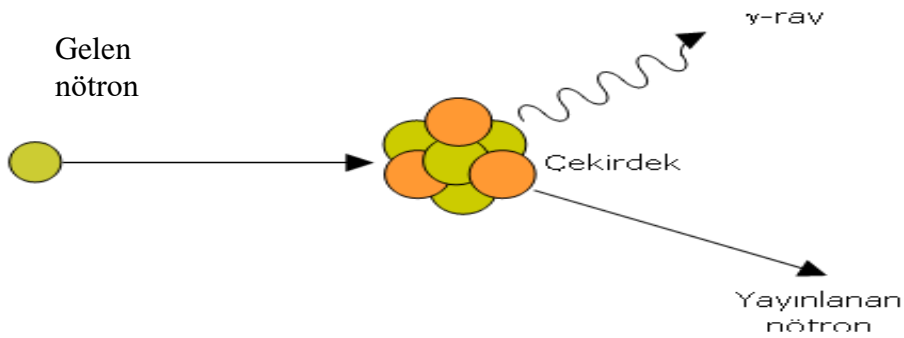
doğrultusundan sapıp yoluna devam eder. Bu durum çekirdek yapısında herhangi bir değişiklik yaratmaz (Şahin, 2019).



Şekil 2.26. Nötronun elastik saçılması (Şahin, 2019).

### İnelastik saçılma

$A(n,n')A^*$ ,  $A(n,2n')B^*$  gibi reaksiyonlar sonucu oluşur. İnelastik saçılmalarda , çekirdek gelen nötronun çarpması sonucu uyarılır ve çekirdek bu durumda bırakılır. Daha sonra uyarılmış durumdaki çekirdek kararsız halden kurtulma adına gama veya diğer çeşit ışınlar yaparak bozunmaya başlar. Bu saçılmanın gerçekleşebilmesi için Nötronun enerjisinin çekirdeğin uyarılma enerjisine eşit yada büyük olması gerekir.(1MeV veya fazla).Bu enerjiden düşük değerlerde yalnızca elastik saçılma oluşur (Şahin, 2019).

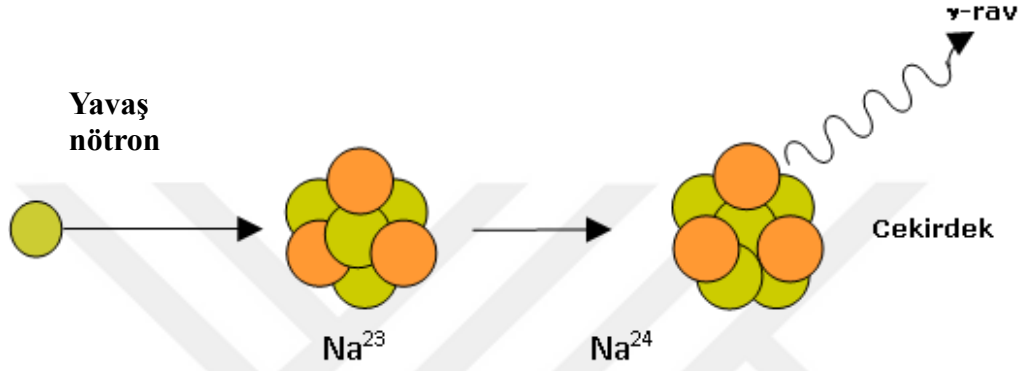


Şekil 2.27. Nötronun inelastik saçılma oluşturması (Şahin, 2019).



### Nötron yakalanması

$n + (Z, A) \rightarrow \gamma + (Z, A + 1)$  şeklindeki reaksiyonlar sonucu oluşur. Nötronun yakalanması  $1/v$  denklemi ile doğru orantılı olarak değişir. Bu denklemdeki  $v$  nötronun hızını göstermektedir. Buna bağlı olarak hız düştükçe nötron yakalanma olasılığı artar (Şahin, 2019).



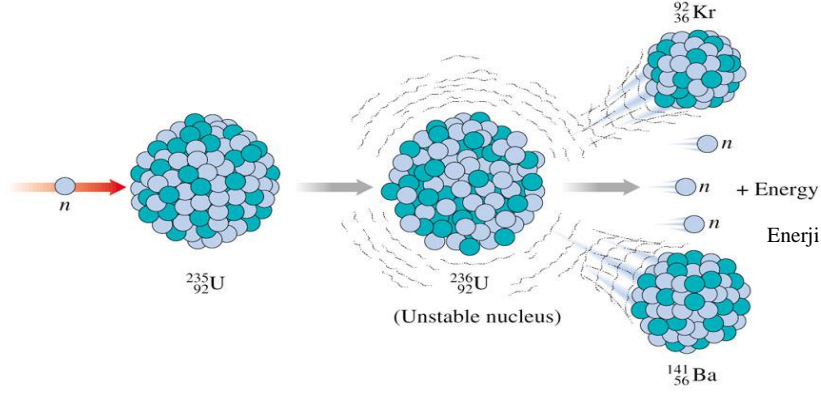
Şekil 2.28. Nötronun yakalanması (Şahin, 2019)

### Nükleer reaksiyonlar

Enerji düzeyi olarak  $eV$  ile  $keV$  metrelerinde enerjiye sahip olan nötronların çekirdek tarafından yakalanması sonucu Nükleer reaksiyonlar oluşur. Bunun neticesinde çekirdek yüklü parçacık yayımlar.  $(n, p)$ ,  $(n, d)$ ,  $(n, \alpha)$ ,  $(n, t)$ ,  $(n, \alpha p)$  şeklindeki reaksiyonlar sonucu oluşur (Şahin, 2019).

### Fisyon

Enerji düzeyi olarak Termal enerjilere sahip nötronların , büyük atom çekirdekleri ile etkileşmesi sonucunda, büyük atom çekirdeklerinin daha küçük atom çekirdeklerine parçalanarak dönüşmesi olayına fisyon denir. Bunun sonucunda iki farklı çekirdeğin yanı sıra daha bir çok element, parçacık ve radyasyon oluşur (Şahin, 2019).



Şekil 2.29. Filyon (Şahin, 2019)

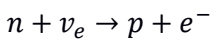
### Yüksek enerji hadron sağanağının üretilmesi .

100 MeV dan daha yüksek enerjiye sahip nötronların bir çekirdek içinde tutulmaları neticesinde farklı tiplerde parçacık sağanağı oluşur (Şahin, 2019) .

Nötronların madde ile etkileşmesi için toplam olasılık bu ayrı ayrı etkileşmelerin tesir kesitlerinin toplamıdır.

### Nötrinoların Madde ile Etkileşimi

$\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\nu_\tau$  gibi üç çeşit nötrino vardır. Nötrinolar yüksüz parçacıklardır. Varlıkları çok sonradan keşfedildiğinden italyanca küçük nötron adı verilen nötrino ismi verilmiştir. Nötrinolar zayıf etkileşme sonucu oluşurlar. Madde ile çok küçük kütleyle sahip ve yüksüz olduklarından dolayı zayıf etkileşirler. Bu sebeple hayalet parçacık adı verilmiştir. Tesir kesitleri  $10^{-43} \text{ cm}^2$  civarındadır.. Nötrinolar güneş ve nükleer reaktörlerde çok fazla üretilirler. Nötrinolarda nötronlar gibi yüksüz olduklarından dolayı tespit edilmeleri için yüklü parçacıkları kullanılmalıdır. Aşağıdaki reaksiyonlar nötrinoların oluşum reaksiyonlarıdır.

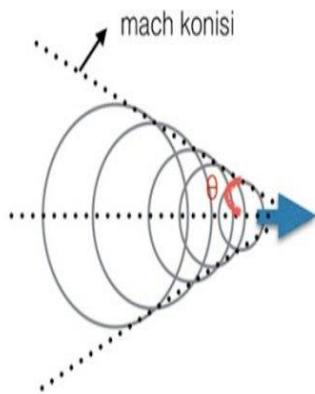


## 2.4. Anrinötrino dedektörü

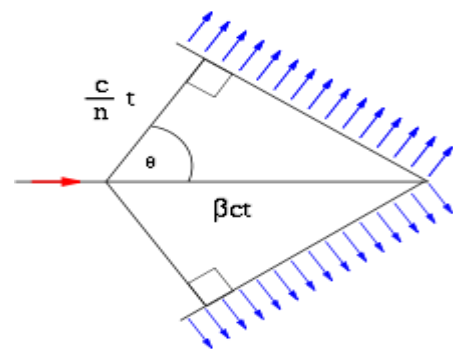
Dedektör tasarımında GEANT4 benzetim programını Centos 7 işletim sistemi üzerinden kullanacağız. Grafik de ise Cern Root programı kullanılacaktır.

### 2.4.1. Cherenkov ışması

Yüklü bir parçacık bir madde içinde ışığın o maddedeki hızından daha büyük bir hızla hareket ederse ortamdaki hızından fazla olan enerjisini mavi bir ışık olarak etrafa yayar. Bu ışımaya Rus fizikçi Pavel A. Cherenkov (1904–1990) tarafından 1934 yılında gözlenip açıklandığı için cherenkov ışması denilmektedir (Mancık, 2008). Nükleer reaktör bakıldığında nükleer çekirdeği saran su, mavi ışık yayıyor gibi görülmesinin sebebi cherenkov radyasyonudur. Bu ışık çekirdekte üretilen parçacıkların çekirdeği saran ve soğutan suyun içinde çok hızlı hareketiyle meydana gelmesinden oluşur (Mancık, 2008). Cherenkov ışması bazı algılara yanlış gelebilir. Çünkü ışığın hızını hiçbir şey geçemez yasasına aykırı bir durum vardır. Fakat bu yasa boşluk için geçerlidir. Yani boşlukta hiçbir şey ışıktan daha hızlı değildir. Ancak örneğin su veya cam gibi ortamlarda parçacıkların ışıktan daha hızlı hareket edebilmeleri mümkündür. Bu olay gerçekleşirse nükleer reaktörlerde görülen mavimsi ışımaya gözlenebilecektir (Mancık, 2008).



Şekil 2.30 Mach Konisi



Şekil 2.31 Çerenkov Radyasyonu

Işık madde ortamından geçerken hızı azalır. ( $n = c/v$ ,  $n$ : kırılma indisi katsayısı). Hareket eden yüklü parçacıklar madde ortamından geçerken bazı elektronları polarize edebilirler. Bu durumda hareket eden parçacığın hızı o ortamda ışığın hızından büyükse ( $c/n$ ),

ortamda bir elektromanyetik şok dalgası oluşur. Buna cherenkov radyasyonu denir (Öztürk, 2019).

Cismin hızı  $v$  olsun. Bu durumda denklemimiz  $\beta = 1/(1 - v^2/c^2)$  şeklindedir. Birçok durumda enerjiler  $\beta \sim 1$  için yeteri kadar yüksek olacaktır. Şekil 5.1.b' den cherenkov radyasyonu şeklinde oluşan ışık konisindeki açının kosinüsü,  $\cos\theta = (ct/n)/\beta ct = 1/\beta n$  değerine sahip olacaktır. Burada görülen radyasyon, sürekli bir radyasyon spektrumu şeklinde ortaya çıkar. Dağıtıcı bir ortamda hem  $n$ , hem de  $\theta$  radyasyon frekansının fonksiyonlarıdır. Belirli bir frekans veya dalga boyunda fotonların sayısı  $1/2\lambda$  ile orantılıdır. Böylece dalga boyu ne kadar küçülürse (veya frekans büyüdükçe) daha çok foton elde edilir. Yani görünür bölgede mavi ışık bütün diğer renklere baskın geleceği anlamına gelir. Bilimsel bir araç olarak cherenkov etkisinin önemi parçacık hızı ile (momentum doğrultusu ve radyasyon yayını arasındaki) açı arasındaki ilişkiye dayanır. Yukarıda tanımlanan  $\theta$  açısının ölçümü  $\beta c$ 'nin doğrudan ölçümünü sağlar. Parçacık çok hafif olduğunda (elektron veya pozitron) o zaman  $\beta \sim 1$  dir ve açı elektron veya pozitronun doğrultusunu belirlemede kullanılabilir (Mancık, 2008).

Cherenkov radyasyonu için belirli bir enerji değeri gerekir. Bu radyasyon için eşik enerjisi;

$$E_{\text{eşik}}(n, m) = mc^2 \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

Bu enerjide fotonlar ve parçacık aynı yönde hareket ederler. Enerjide artış meydana gelirse açı meydana gelmeye başlar (Öztürk, 2019).

#### 2.4.2. Nötrinolar

Nötrinolar kütleleri çok küçük olan yüksüz parçacıklardır. Bu sebepten dolayı diğer maddelerle etkileşmesi oldukça zayıftır. Nötrinolar birbirine dönüşebilen 3 çeşit çeşniye sahiptir. Nötrino kaynakları çok fazladır. O yüzden çevremizde farkına varmadan gelip geçen milyarlarca nötrino dolaşır. Büyük patlama, süpernovalar, güneş ve nükleer reaktörler gibi bu kaynaklardan bazılarıdır.

Nötrinoların enerjileri kaynağına göre değişebilmektedir. Bu enerji dağılımı şu şekildedir,

- Büyük Patlama Nötrinoları  $\sim 0,0004$  eV
- Güneş Nötrinoları  $< 20$  meV
- Atmosferik Nötrinolar  $\sim$  GeV
- Reaktör Nötrinoları  $< 10$  MeV

Fizyon reaksiyonları yoğun bir antinötrino kaynağıdır. Fizyon başına yaklaşık 6 nötrino üretilir. Nükleer reaktörlerdeki antinötrino akısını ölçmek Nükleer reaktörün termal gücü ve durumu hakkında bize bilgi verebilir (Mancık, 2008).

### 2.4.3. Dedektör tasarımı;

Ters beta bozunumuna göre dedektör, reaktörün antinötrino akısını ölçecektir ( $\nu_e + p \rightarrow e^+ + n$ ). Dedektörün boyutları görece ucuz taşınabilir şekilde düşünülmüştür. Dedektör iki bölümden oluşmaktadır. Bunlardan biricisi iç bölge aktif kısım, diğeri dış bölgedir. İç bölgede yüksek nötron yakalama tesir kesitine sahip bir sıvı madde düşünülürken, dış bölge ise aktif ve pasif zırlama olarak iki kısım tasarlanmıştır. Aktif zırlama müon parçacıklarını dışarlamak için iken, pasif zırlama ise yüklü ve yüksüz parçacıkları durdurmak için yapılmıştır (Mancık, 2008).

Bizim tezimizin ana kısmını da pasif zırlama kısmı oluşturmaktadır. Buna göre GEANT4 simülasyon programı kullanılarak, cern root grafikleme yardımı ile CENTOS 7 linux tabanlı işletim sistemi üzerinden demir, kurşun ve su gibi zırlama malzemeleri kullanılarak farklı enerjilerdeki parçacıkların etkileşimleri göz önüne alınıp çeşitli sonuçlar ortaya çıkarılmıştır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. LINUX İşletim Sistemi**

Bu çalışmada Linux Centos 7 İşletim Sistemi kullanılmıştır. Linux, açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir işletim sistemi çekirdeğidir. Çekirdeğin kaynak kodları GNU (Genel Kamu Lisansı) çerçevesinde özgürce dağıtılabilir, değiştirilebilir ve kullanılabilir. Linux ismi ilk olarak 5 Ekim 1991 tarihinde Linus Torvalds tarafından yazılan Linux çekirdeğinden gelmektedir. Linux, hemen her bilgisayar platformunda sorunsuzca kullanılabilir. Ağırlıklı olarak sunucu ve iş istasyonu platformlarında tercih edilse de taşınabilir ve masaüstü sistemlerde de kullanım oranını günden güne arttırmaktadır. Linux sunucu işletim sistemlerinde de ilk sırada tercih edilmektedir. Bu durumda açık kaynak kod yapısının ve özgür yazılım anlayışının etkisi büyüktür. Genellikle “Linux” kelimesiyle ifade edilen çekirdek, bir kısım kitle tarafından da GNU Projesi yazılım ve araçlarını içermesi nedeniyle “GNU/Linux” diye ifade edilmektedir (Görmez, 2012). CentOS ise CentOS The Community Enterprise Operating System kelimelerini temsil eder. CentOS Projesi sağlam açık kaynaklı bir ekosistemi sunmaya odaklanmış, toplum odaklı özgür yazılım çabasıdır. CentOS kullanıcıları için, geniş bir yelpazeye uygun dağıtımlarıyla istikrarlı yönetilebilir bir platform sunar. Red Hat Enterprise Linux 'a ücretsiz alternatif olarak çıkarılan CentOS, son kullanıcıyı değil Red Hat 'ın ücretli sistemleri ile %100 uyumluluğu hedefleyen sunucu odaklı bir linux dağıtımdır. CentOS Red Hat firmasının dağıtımını olan Red Hat Enterprise Linux (RHEL) kaynak kodları üzerine kurulu ve bu dağıtımla uyumludur (Anonim 2019). Minerallerin nötron ve gamalar ile etkileşim simülasyonları yapılırken kullanılan GEANT4 simülasyon programı Linux işletim sisteminin CENTOS 7 sürümü içerisine kurulmuştur.

#### **3.2. GEANT4**

İlk olarak 1993 yılında CERN ve KEK’de yapılan bağımsız çalışmalarda modern hesaplama tekniklerinin mevcut FORTRAN tabanlı GEANT3 simülasyon programının nasıl geliştirebileceği üzerinde çalışmalar yapılmıştır. 1994 yılının sonbaharında çalışmalar birleştirilmiş ve nesneye yönelik teknolojiye dayanan yeni bir programın oluşturulması için RD44 adlı öneri CERN Dedektör Araştırma ve Geliştirme Kurulu’na

sunulmuştur. Bu girişim büyüyük farklı üniversite ve enstitülerden, Avrupa, Japonya, Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yüksek enerji deneylerine katılmış fizik programcılarının ve yazılım mühendislerinin uluslararası bir iş birliğine dönüşmüştür. Hedef, atomaltı parçacıklar ile yapılan fiziksel deneylerin gerektirdiği işlevselliği ve esnekliği karşılayabilecek bir detektör simülasyon programı geliştirmektir. RD44 projesinin, C++ tabanlı nesneye yönelik (object-oriented – OO) modern çevreler için geliştirilmiş CERN yazılım paketinin yeniden tasarlanmasında büyük katkısı olmuştur. Araştırma ve geliştirme aşaması ilk sürümün yayımlanmasıyla birlikte Aralık 1998'de tamamlanmıştır. Daha sonra bu çalışmanın ismi GEANT4 olarak değiştirilmiştir (Görmez, 2012).

GEANT4 Monte Carlo Simülasyon Kodu, Monte Carlo'nun yaratıcılarının engin birikimlerinden faydalanmaktadır. Geniş coğrafyalara yayılarak geliştirilen yazılımlar ve büyük ölçekli nesneye yönelik sistemler yeni bir durum sayılmasa da, Geant4, boyutu, kodların çeşitliliği ve katılımcıların sayısından ötürü özel sektörün dışında büyük ve tutuklu bir proje olarak göze çarpmaktadır. Net problem çözümü, alanlar arasında açık hiyerarşik bir düzenin oluşmasını sağlamıştır. Geant4 yazılımının geliştirilebilir bölümlere tekabül eden her bir kısmı, konuya hakim uzmanlar tarafından yönetilmektedir. Ayrıca test, kalite kontrol, yazılım yönetimi ve dokümantasyon yönetimi gibi konularda da ayrı gruplar çalışmaktadır. Her gruba bir koordinatör başkanlık etmektedir. Sorumluluğun böylesi büyük bir teknik gruba dağıtılmış olması, kullanıcıların doğrudan gerekli uzmanla temasa geçmelerini sağlayacak bir destek yapısının oluşmasını sağlamıştır (Görmez, 2012).

### **3.2.1. GEANT4 Monte Carlo simülasyon kodu kullanım aşamaları:**

Bu bölümde GEANT4 Monte Carlo Simülasyon Kodu ile simülasyonların hesaplanması aşama aşama anlatılacaktır.

Öncelikle Linux (CENTOS) İşletim Sistemine sahip bilgisayarımıza GEANT4 programını kurduk. Program içerisinde examples klasöründe bulunan B4b örneğini kullanacağımız maddelere ve dedektör ölçülerine göre değiştirerek kullandık. B4b simülasyonu içerisinde 'B4DetectorConstruction.cc' dosyasını açarak kullanacağımız maddeler ve dedektör boyutunu aşağıdaki gibi tanımladık. Her bir örnekte farklı

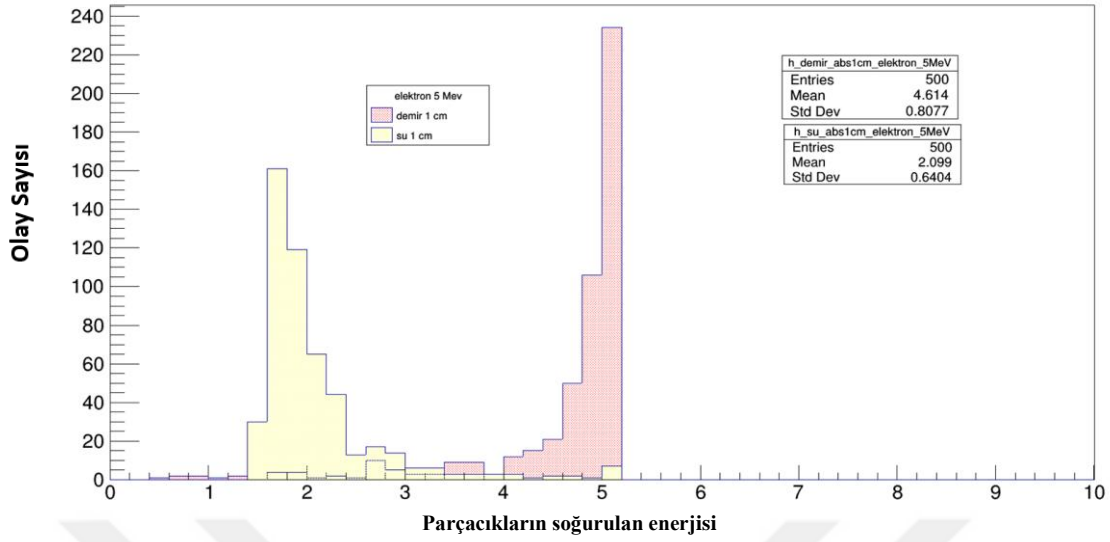
parametreler girerek dedektörün boyutlarında ve kullanılan materyalde değişiklikler yaptık.

```
G4VPhysicalVolume* B4DetectorConstruction::DefineVolumes(){
    // Geometry parameters
    G4int nofLayers = 1;
    G4double absoThickness = 30.*mm;
    G4double gapThickness = 150*mm;
    G4double calorSizeXY = 20.*cm;
    auto layerThickness = absoThickness + gapThickness;
    auto calorThickness = nofLayers * layerThickness;
    auto worldSizeXY = 1.2 * calorSizeXY;
    auto worldSizeZ = 1.2 * calorThickness;
    // Get materials
    auto defaultMaterial = G4Material::GetMaterial("Galactic");
    auto absorberMaterial = G4Material::GetMaterial("G4_Fe");
    auto gapMaterial = G4Material::GetMaterial("G4_AIR");
}
```

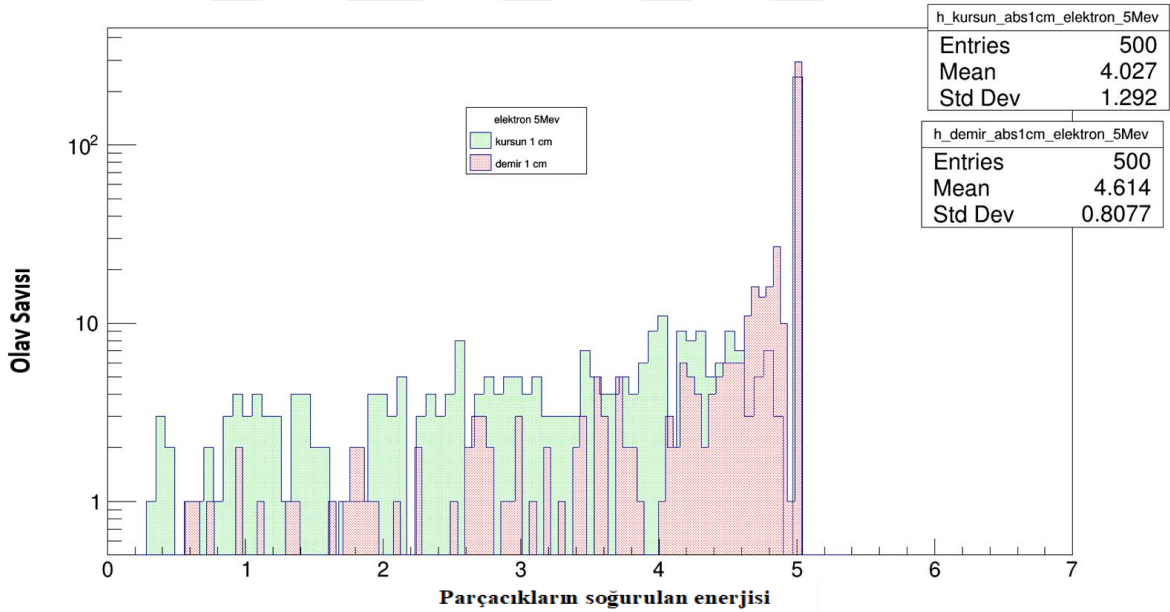
Daha sonra GEANT4 programını kullanarak proton, nötron ve elektronu 5 MeV, 10 MeV, 15 MeV, 20 MeV, 25 MeV ve 1 GeV enerjilerinde dedektöre aynı enerjilerdeki 500 olaya ayarlayarak gönderdik. Aynı işlemi dedektörün kalınlığını 1cm, 2 cm, 3cm, 4cm yaparak uyguladık. Bu noktadan sonra elimize en uygun malzeme konusunda nasıl fikirler edindiğimizi sonuç bölümünde açıklayacağız.



#### 4. BULGULAR

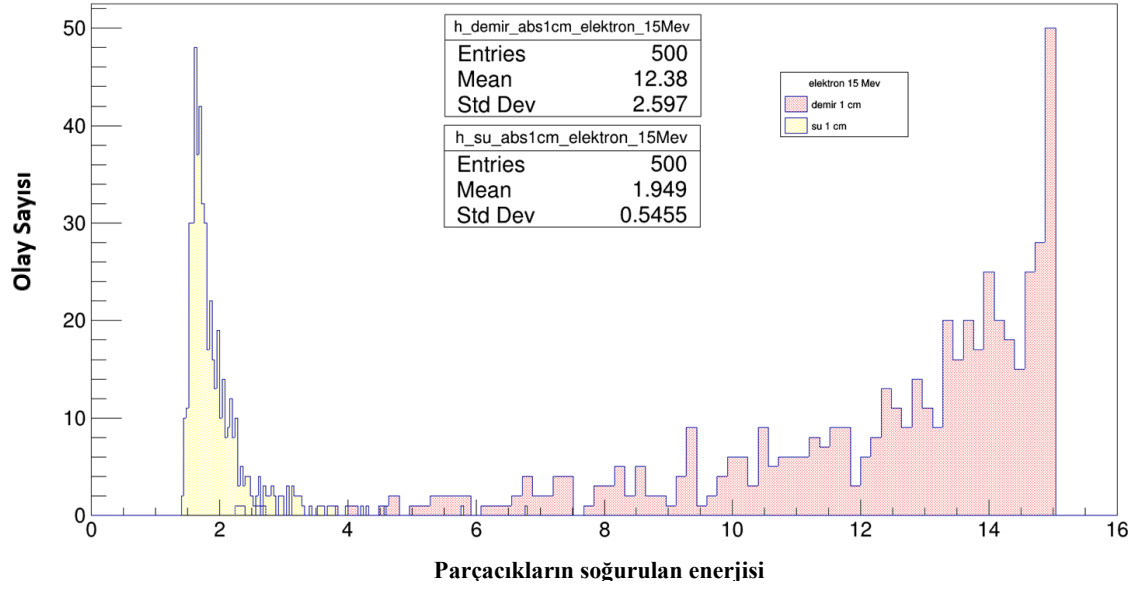


Şekil 4.1a. 1 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 5 MeV enerjisindeki elektron

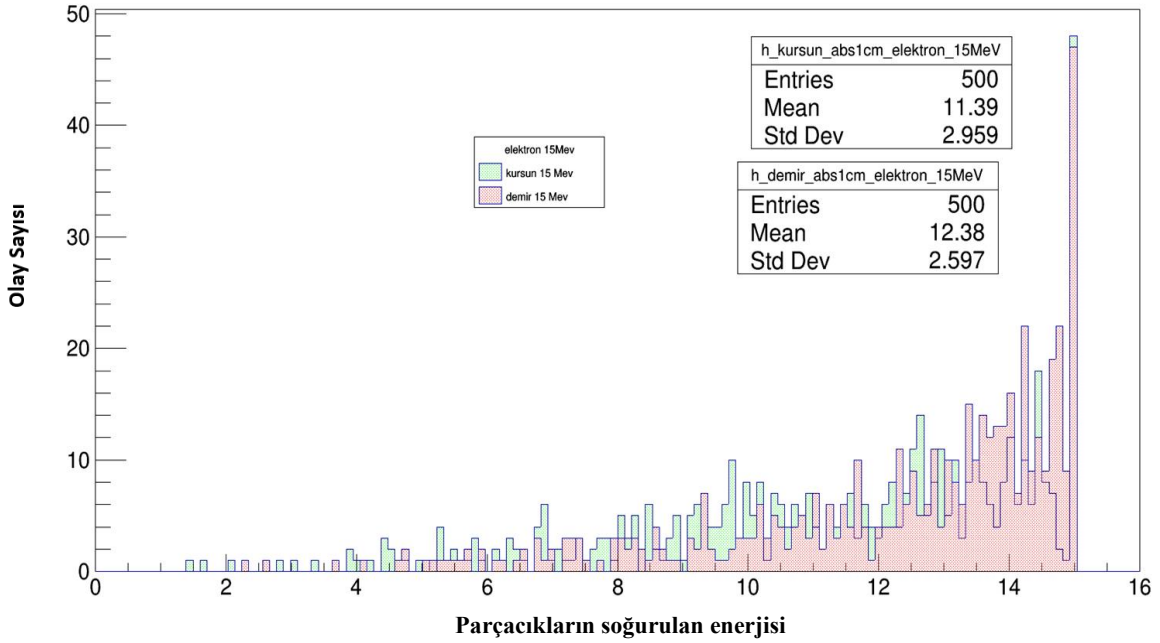


Şekil 4.1b. 1 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 5 Mev enerjisindeki elektron

Bu grafiklerden elde ettiğimiz sonuca göre pasif zırhlama için kullanacağımız materyallerden kursun ve demir 5 Mev' luk elektronların çoğunluğunun enerjisini birbirine yakın şekilde soğurabiliyorlar. Demirin zırhlamada kurşundan biraz daha iyi olduğunu yapmış olduğumuz simülasyonda gözlenmektedir. Grafik 1.a da ise elektronların zırhlanamaması için demir ve su karşılaştırılması yapılmıştır. Bu grafiğe göre de demirin zırhlama özelliğinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

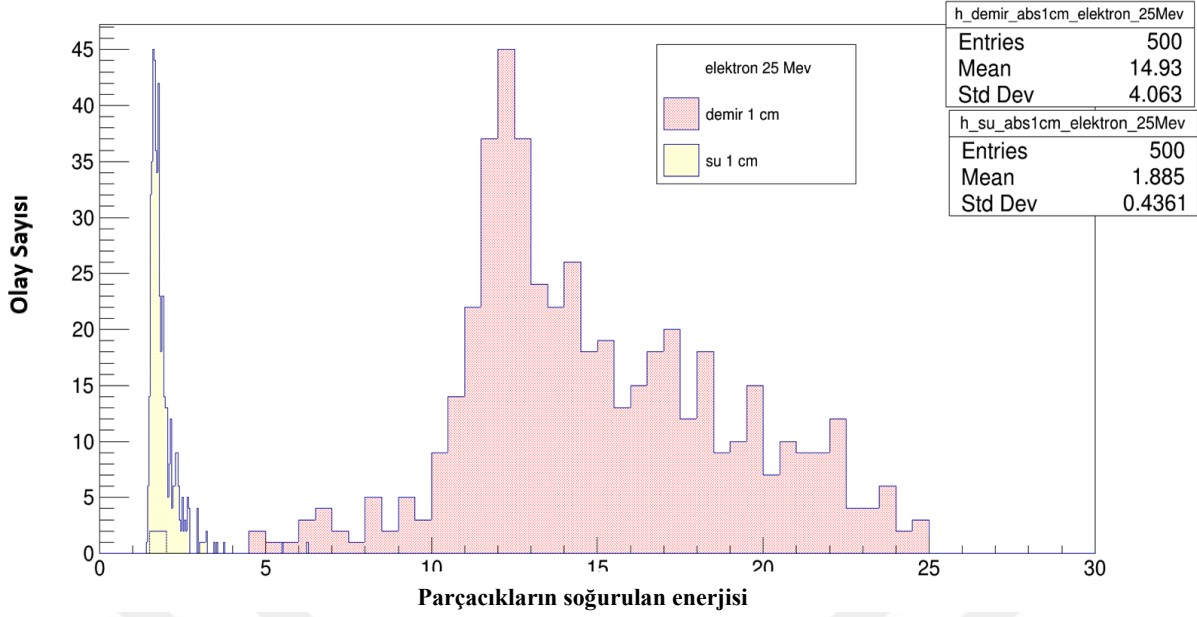


Şekil 4.2a. 1 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 15 MeV enerjisindeki elektron

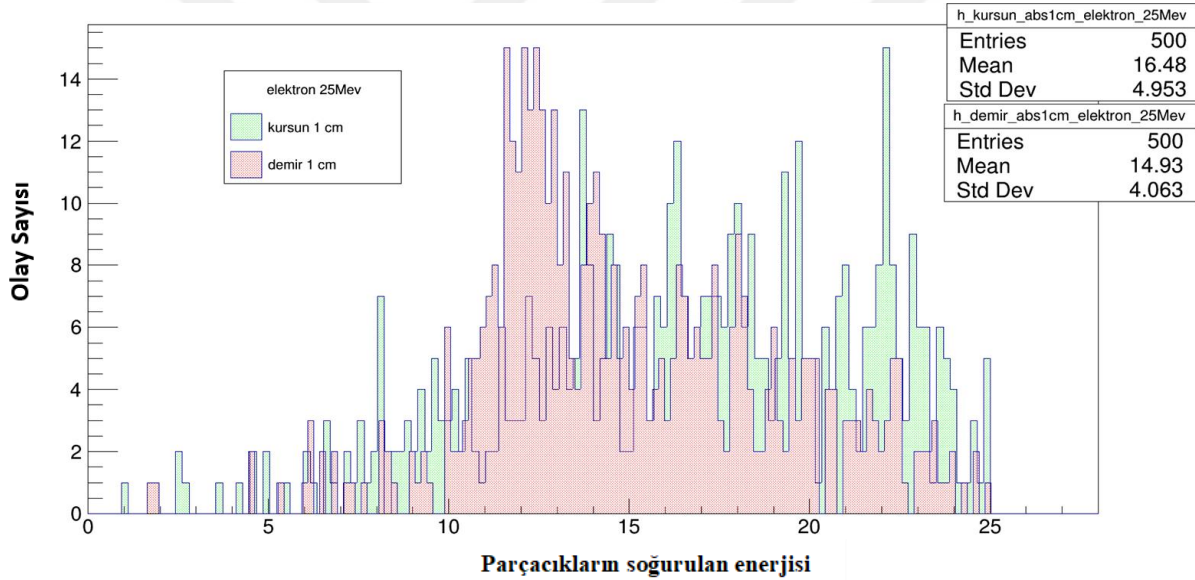


Şekil 4.2b. 1 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 15 MeV enerjisindeki elektron

Tasarladığımız zırhın boyutlarını sabit tutup gelen elektronların enerjisini artırdığımızda suyun, demirin ve kurşunun elektronun enerjisini soğurmasının bir miktar azaldığını fakat demir ve kurşunun yine de zırlama özelliğini önemli ölçüde koruduğu gözlemlenmektedir.



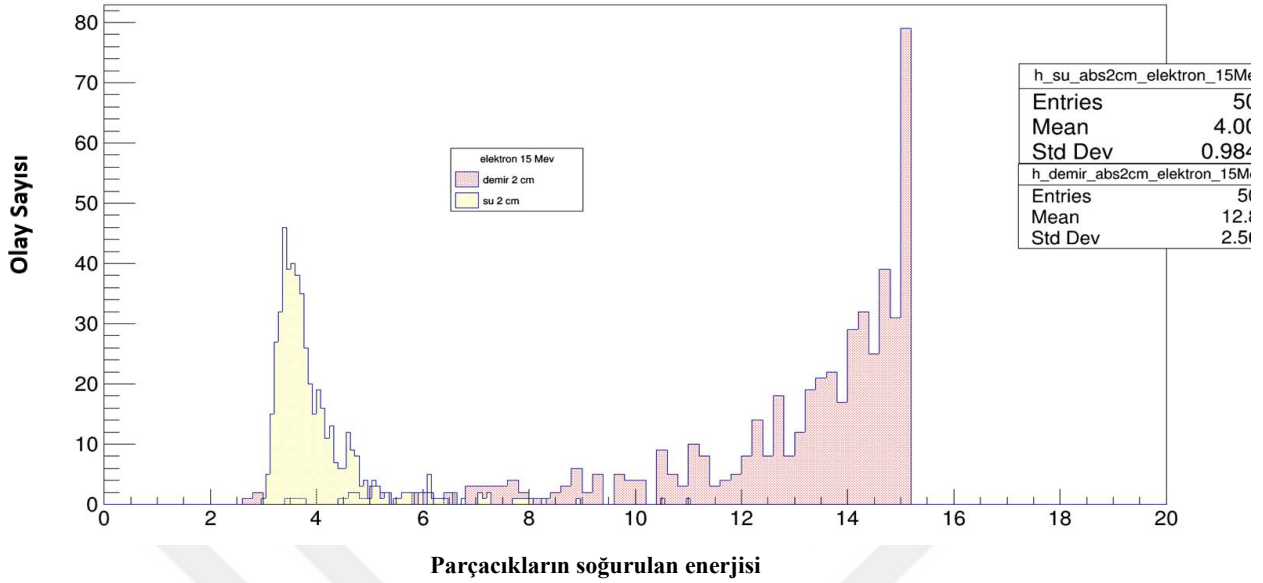
Şekil 4.3a. 1 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 25 Mev enerjisindeki elektron



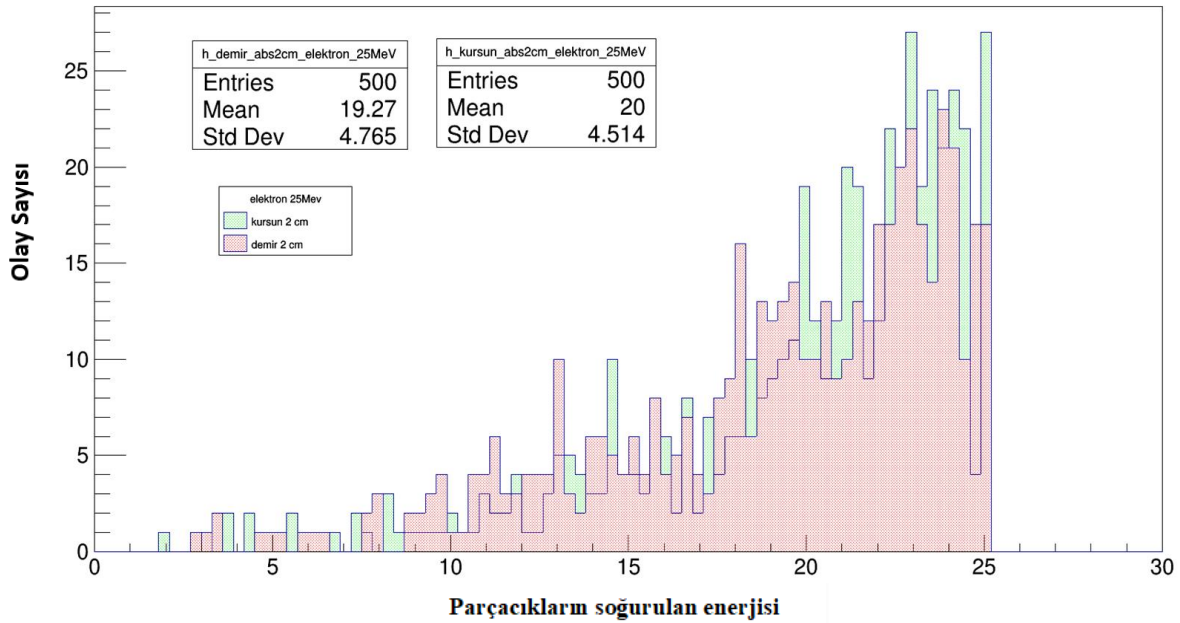
Şekil 4.3b. 1 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 25Mev enerjisindeki elektron

1 cm kalınlığındaki zırhımıza enerjisi 25 Mev olan elektronlar yolladığımızda ise elektronun enerjisi arttıkça kurşun ve demirin zırhlama özelliğinin azaldığı gözlemlenmektedir. Fakat kurşun bu enerjide demir' den daha iyi zırhlama sağlamış olduğu görülmektedir. Soğurulan elektronların sayısı ise bir hayli azdır. 500 elektrondan çok az elektron soğurulmuştur. Daha önceki enerjilerde, demir ve kurşunun hemen hemen aynı zırhlama özelliklerine sahip oldukları fakat demirin elektronun enerjisini daha fazla soğurduğu ortaya çıkıyordu. Elektronun enerjisi arttıkça kurşunun daha fazla enerji soğurduğunu grafik 3.b de gözlemledik. Suyun ise yine en az enerji soğurduğunu fakat

elektronun enerjisinin 15 Mev' tan 25 Mev' a çıkmasından sonra zırlama özelliğinde kurşun ve demire göre çok daha az azalma olduğu grafik 3.a' da ortaya çıktı.

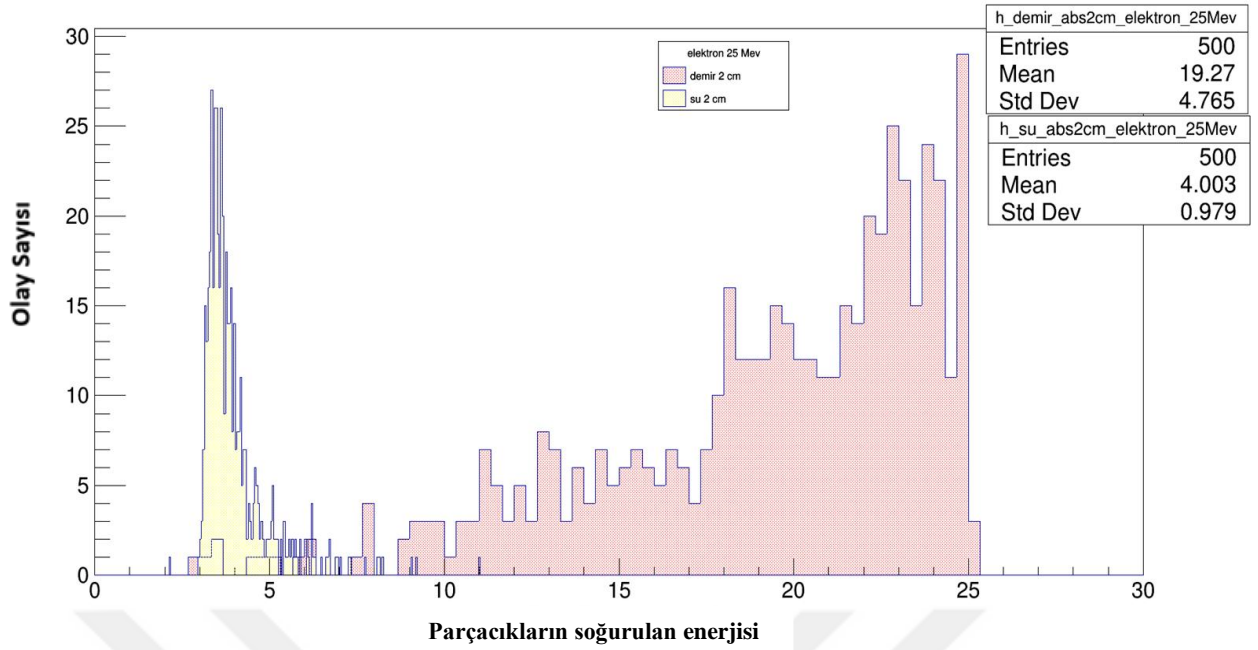


Şekil 4.4a. 2 cm kalınlığındaki demir ve su 'ya gönderilen 25 Mev enerjisindeki elektron

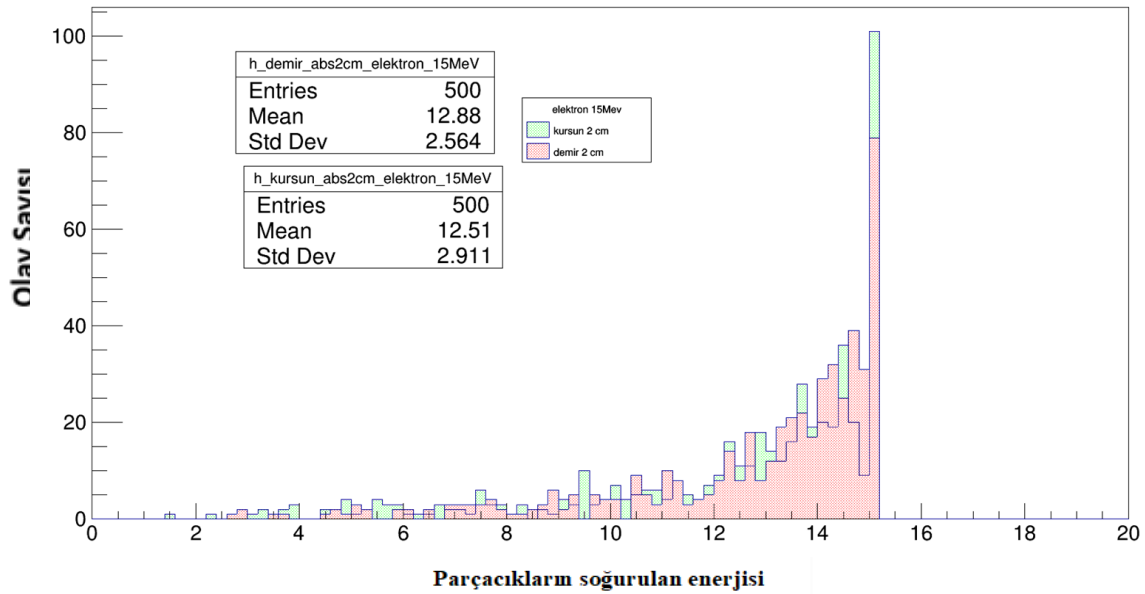


Şekil 4.4b. 2 cm kalınlığındaki demir ve kurşun 'a gönderilen 25 Mev enerjisindeki elektron

Zırhımızın kalınlığını 2 cm' ye çıkardığımızda yukardaki grafikten görüleceği üzere 1cm kalınlıktaki zırhımıza göre kurşun, demir ve suyun zırlama özelliğinin arttığı görülmektedir. Özellikle gelen elektronların enerjisini soğurmada kurşun ve demir yine benzer özellikler gösterirken, suyun soğurma özelliği aynı enerjideki 1cm kalınlıktaki zırha göre yüzde yüzden fazla bir artışa sebep olmuştur.



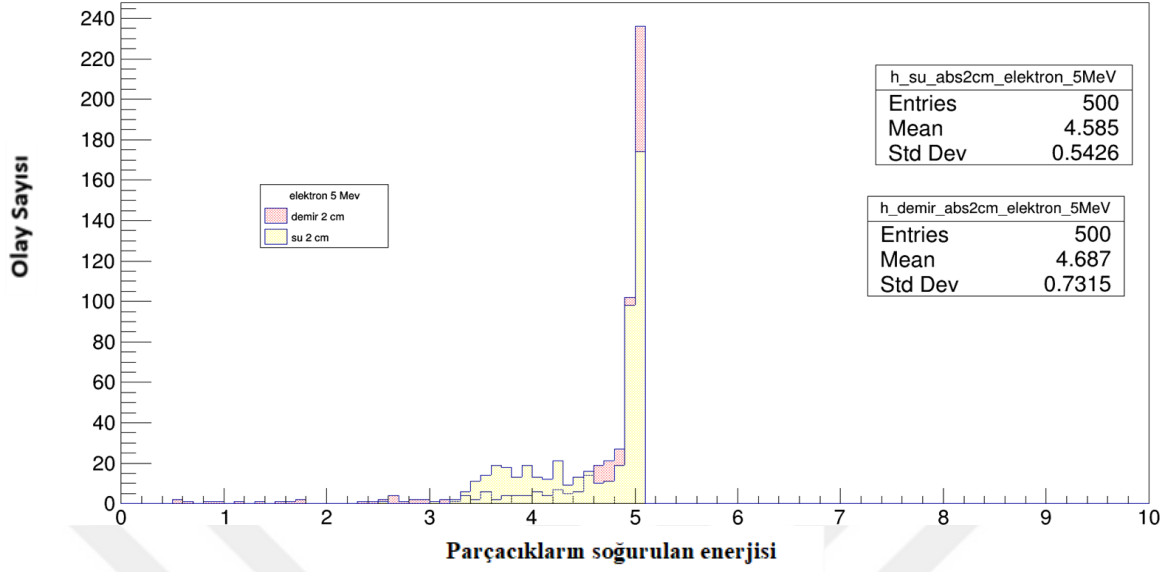
Şekil 4.5a. 2 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 15Mev enerjisindeki elektron



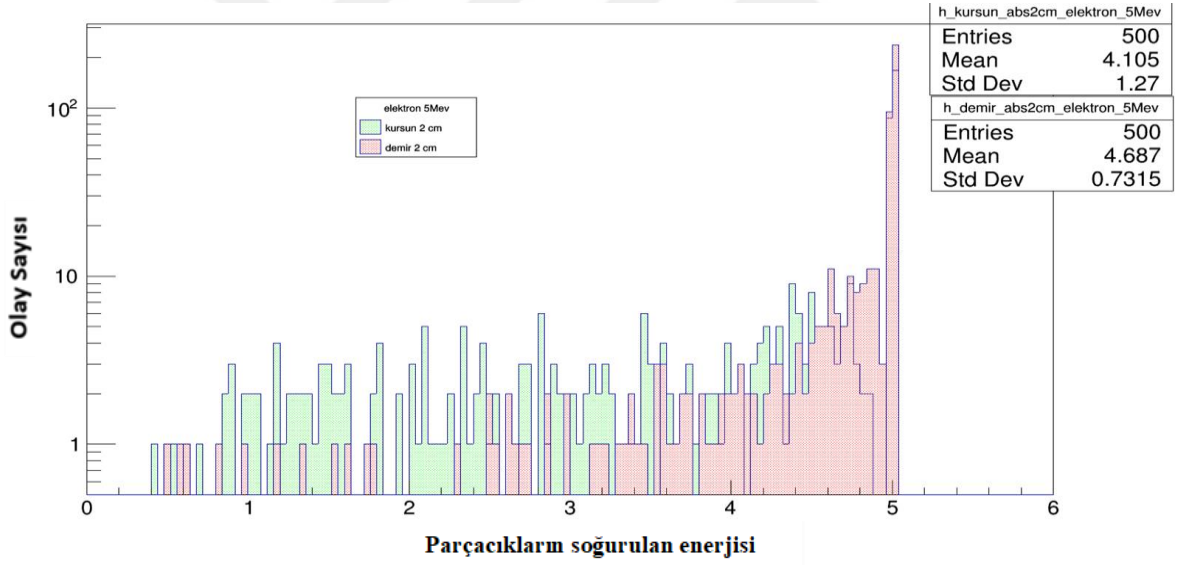
Şekil 4.5b. 2cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 15Mev enerjisindeki elektron

2 cm kalınlıktaki zırhımıza 15 Mev enerjisindeki elektronlar gönderdiğimizde 1cm kalınlıkta ki durumuna göre çok az miktarda demir ve kurşunun soğurma özelliğinin arttığı gözlemlenmektedir. Kurşun ve demir hemen hemen aynı değerlere sahiptirler. Buna karşılık suyun zırhlama özelliğinin aynı kalınlıkta 25 Mev enerjiye göre daha da az olduğu ortaya çıkmıştır.



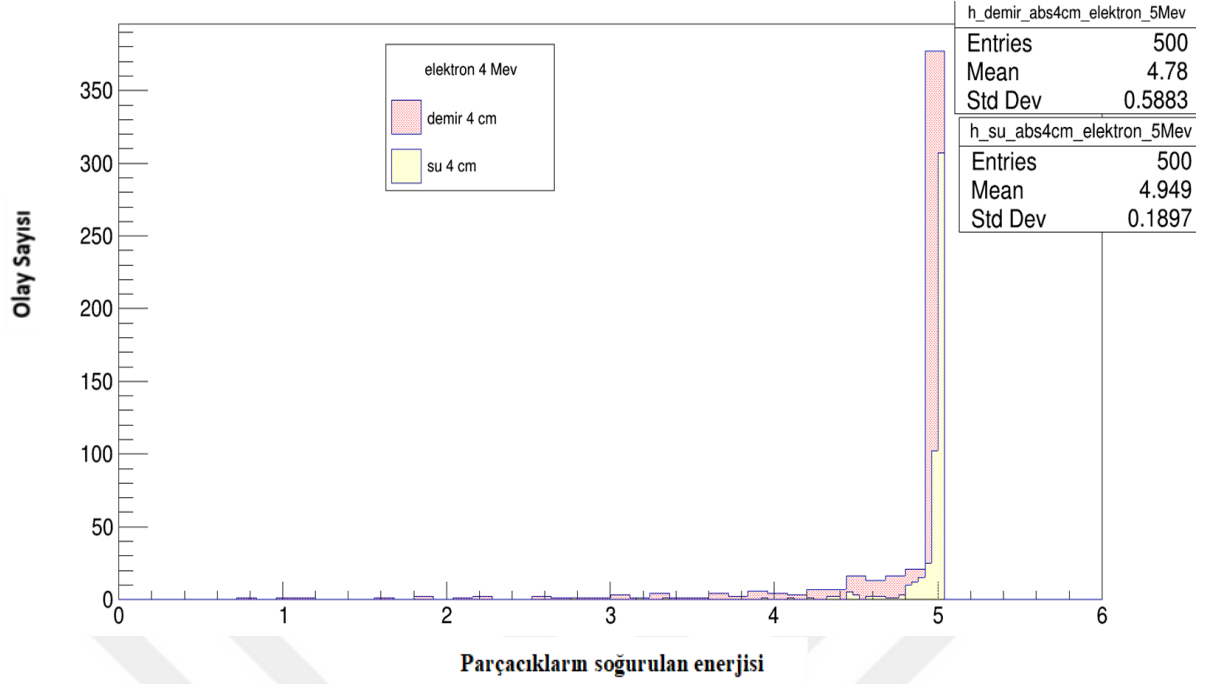


Şekil 4.6a. 2 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 5Mev enerjisindeki elektron

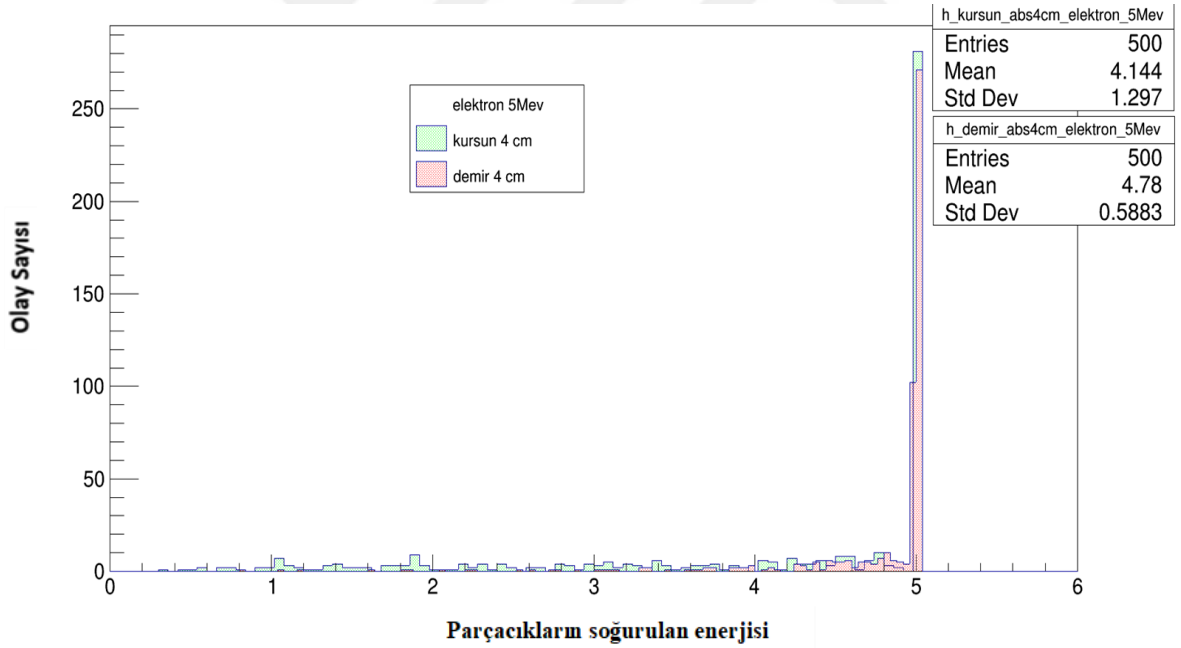


Şekil 4.6b. 2 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 5Mev enerjisindeki elektron

2 cm kalınlıktaki zırhımıza 5Mev elektronlar gönderdiğimizde su, kurşun ve elektronların neredeyse elektronun bütün enerjisini soğurduğu gözlemlenmektedir. Üçünün de değerleri birbirine yakın olup en fazla enerji soğuran madde demirdir.

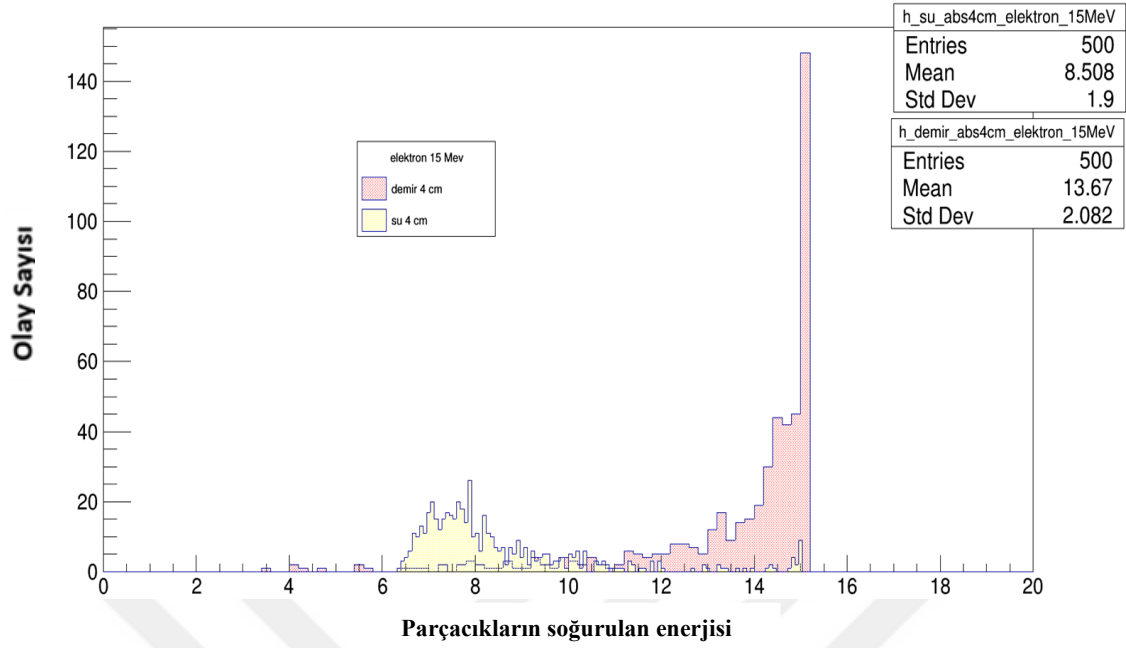


Şekil 4.7a. 4 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 5Mev enerjisindeki elektron

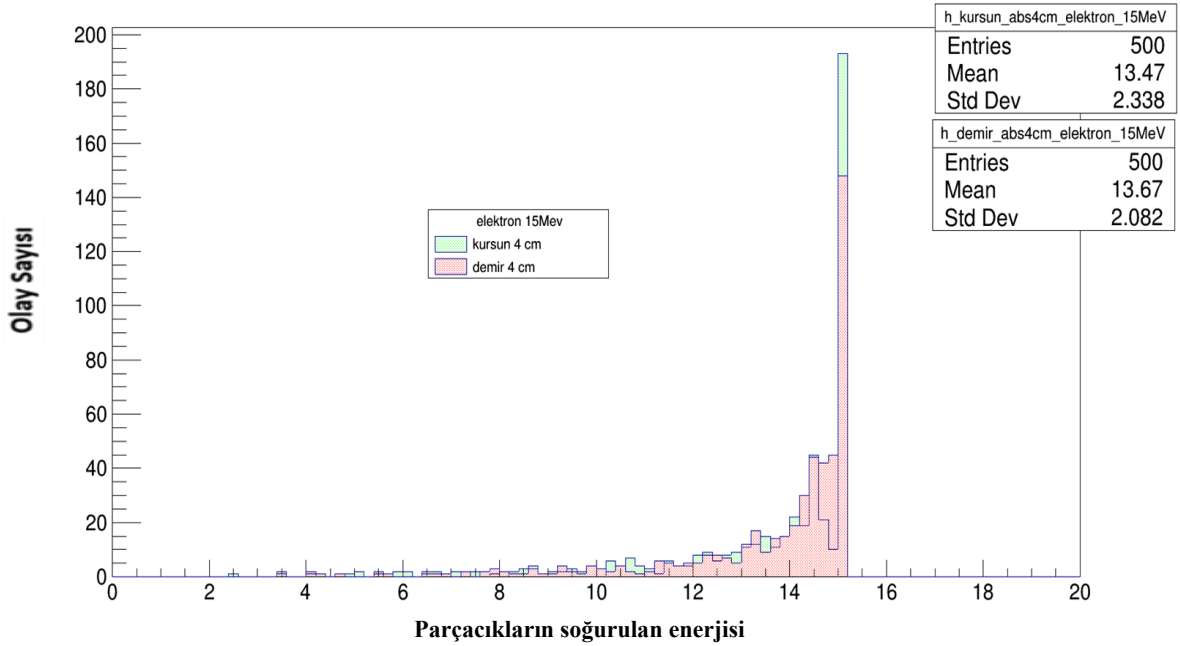


Şekil 4.7b. 4 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 5Mev enerjisindeki elektron

4 cm kalınlıktaki zırhımıza 5Mev elektronlar gönderdiğimizde suyun en iyi zırhlayıcı olduğu ve neredeyse elektroların yarısından çoğunun tüm enerjisini soğurduğu gözlemlenmektedir. Kurşun ve demirin değerlerinin ise birbirine çok yakın olduğu ve farklı kalınlıktaki zırhlarla hemen hemen aynı değeri verdiği gözlemlenmektedir.



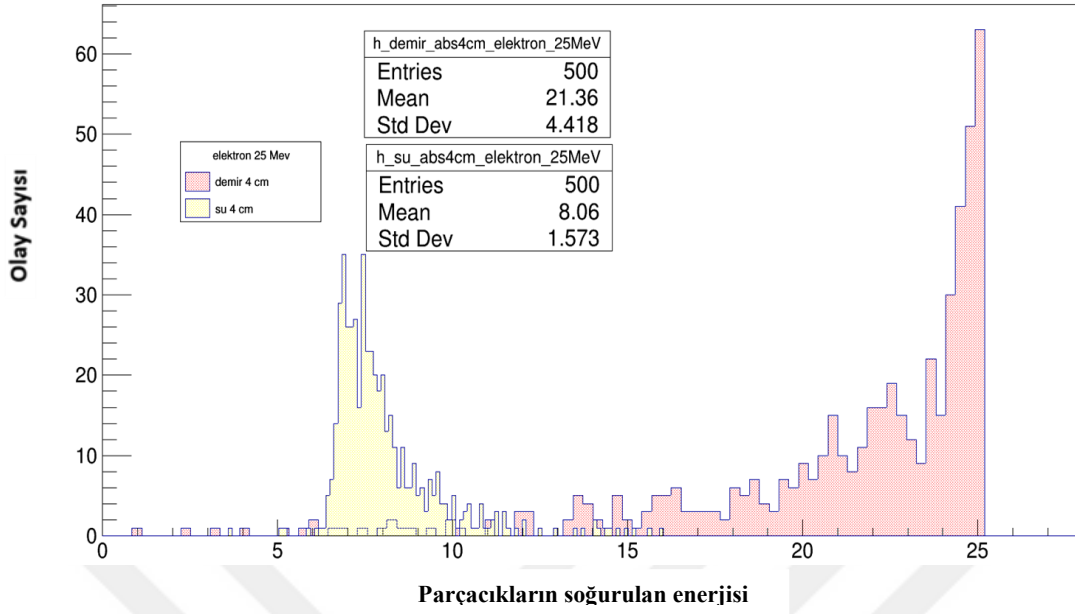
Şekil 4.8a. 4 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 15Mev enerjisindeki elektron



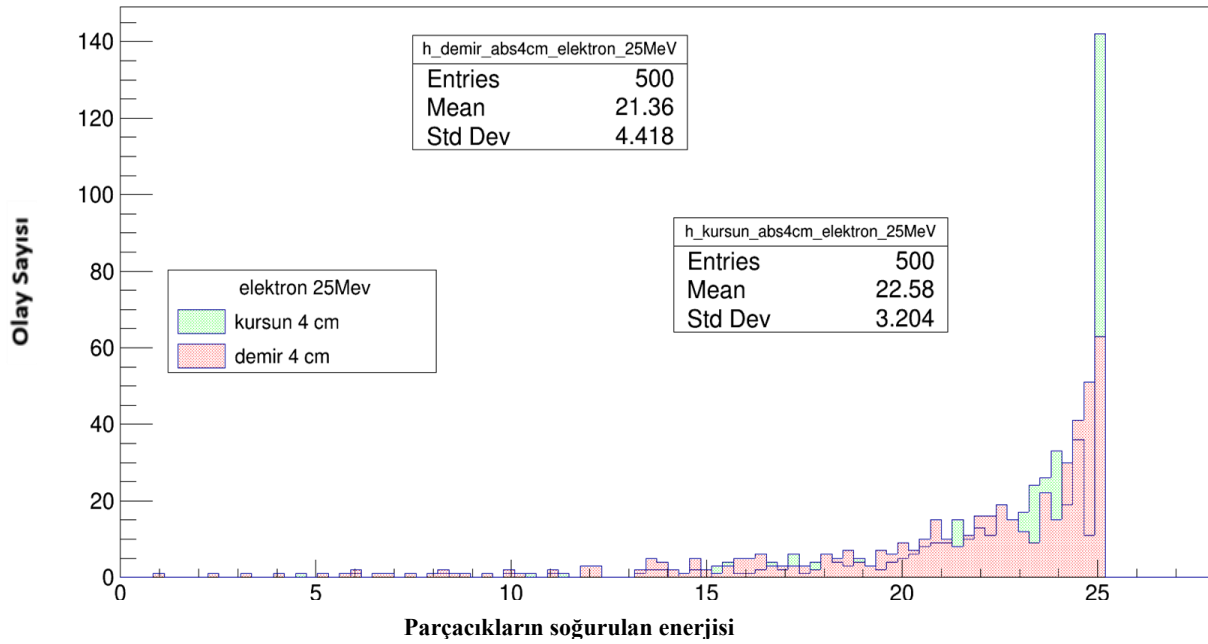
Şekil 4.8b. 4 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 15Mev enerjisindeki elektron

4cm kalınlıktaki zırhımıza 15 Mev enerjideki elektronlar gönderdiğimizde demir ve kurşunun 2 cm deki değerlere göre zırhlama özelliğinin arttığı, suyun ise azaldığı gözlemlenmektedir. Demir ve kurşunun değerlerinin bir birine yakın olduğu ve elektronun enerjisinin çok büyük bir kısmını soğurduğu ortaya çıkmıştır.



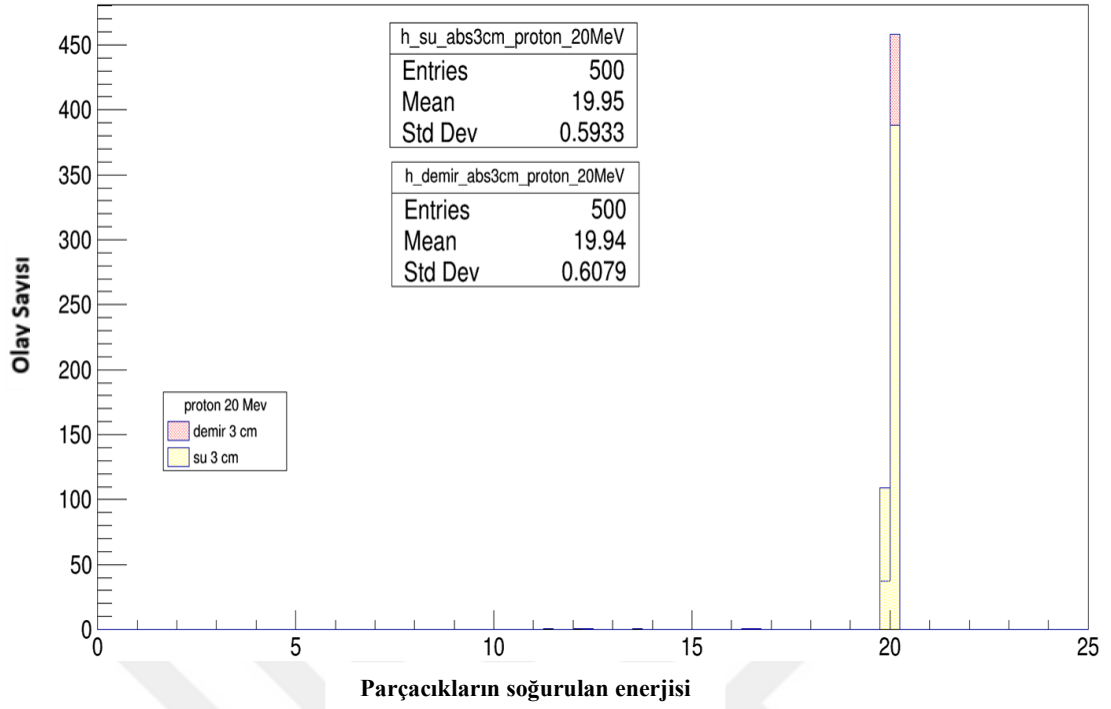


Şekil 4.9a. 4 cm kalınlığındaki demir ve su' ya gönderilen 25MeV enerjisindeki elektron

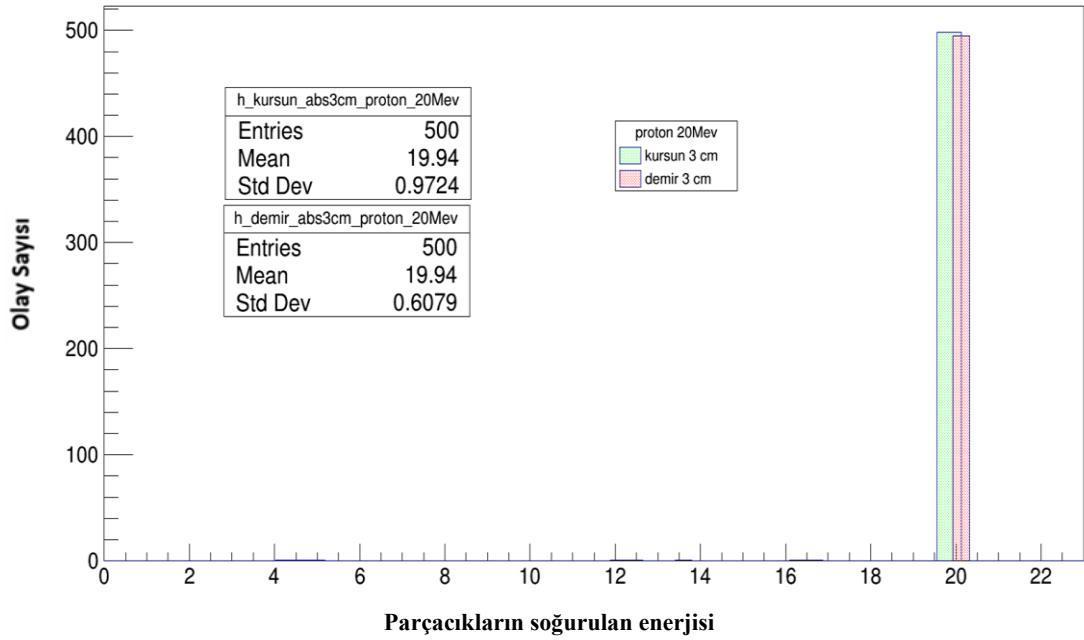


Şekil 4.9b. 4 cm kalınlığındaki demir ve kurşun'a gönderilen 25MeV enerjisindeki elektron

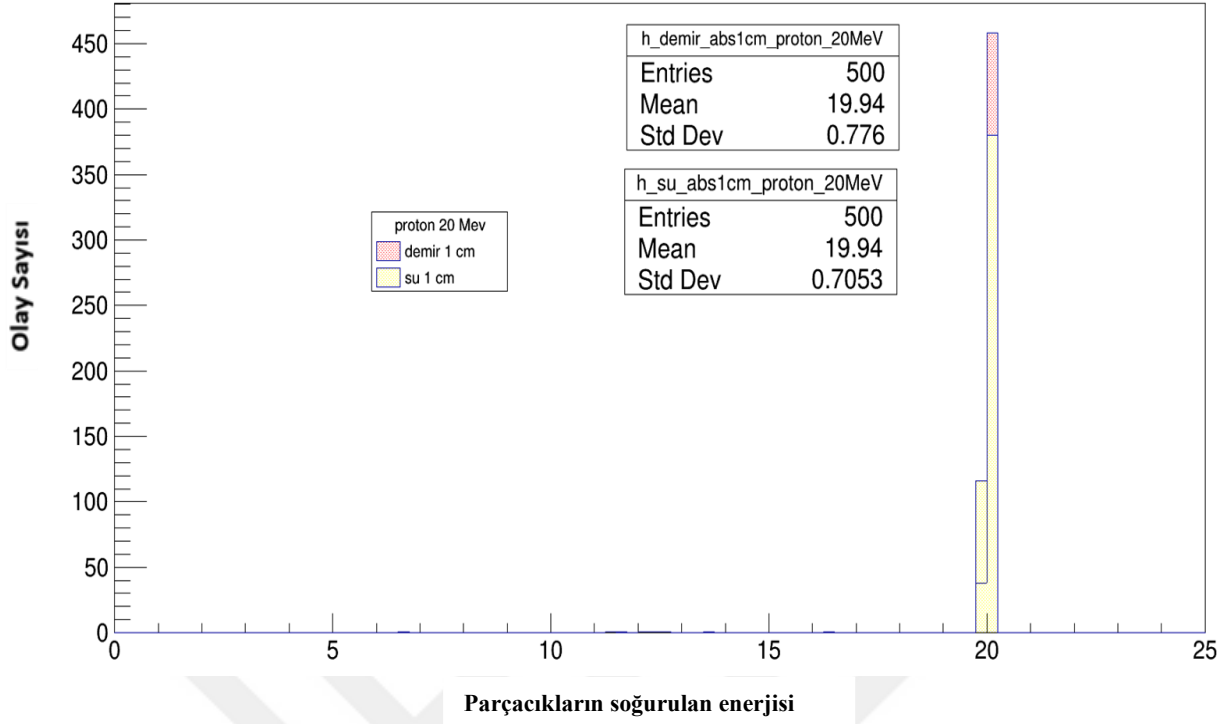
4cm kalınlıktaki zırhımıza 25 MeV büyüklüğünde elektronlar gönderildiğinde 2cm kalınlığındakine göre demir, su, kurşunun soğurma özelliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Demir ve kurşunun enerjinin büyük bir kısmını soğurduğu, suyun ise daha az enerji soğurduğu grafiklerden görülmektedir. Suyun 2 cm kalınlığında aynı değere sahip zırha göre zırhlama özelliğinde iki kata yakın bir artış olduğu saptanmıştır.



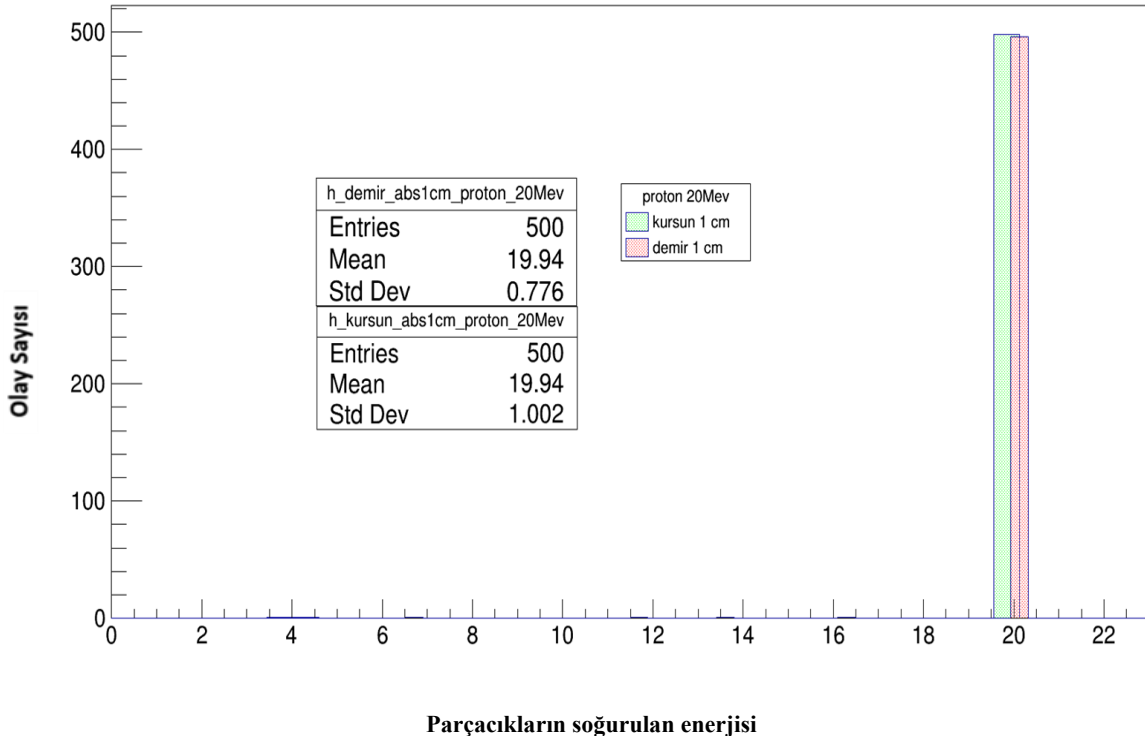
Şekil 4.10a. 3cm kalınlığındaki demir ve su'ya gönderilen 20MeV enerjisindeki proton



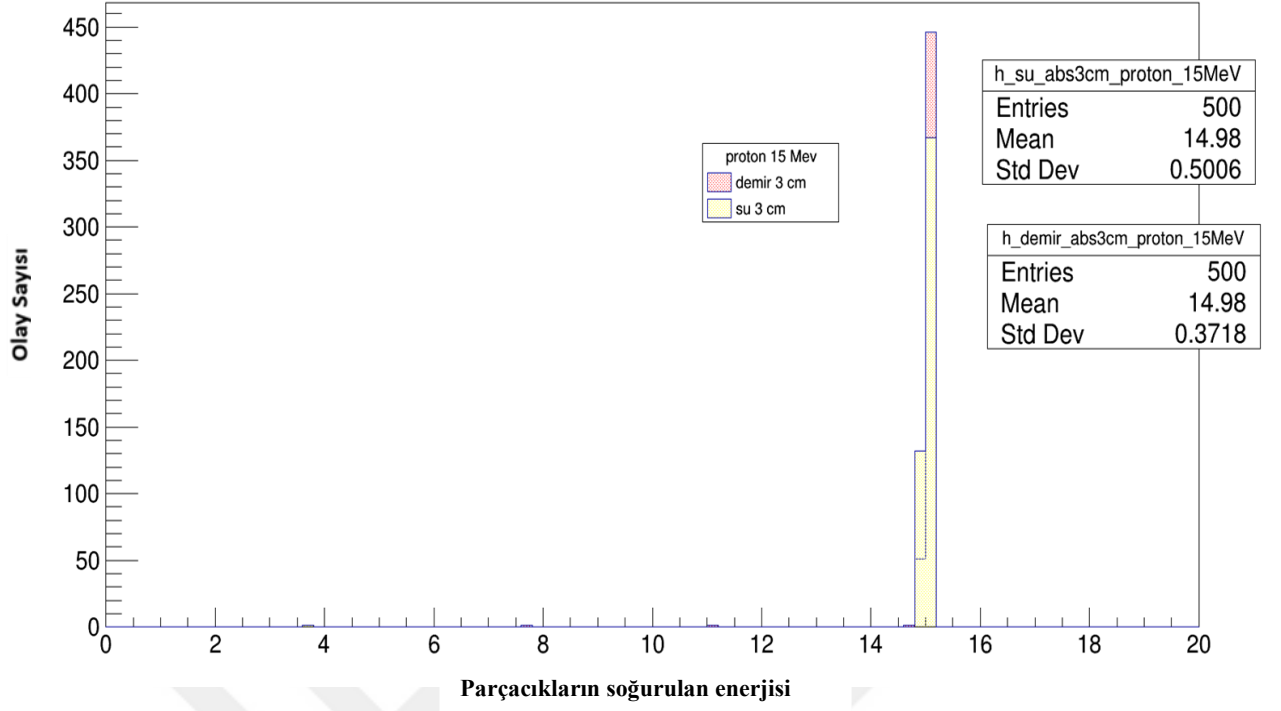
Şekil 4.10b. 3 cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 20MeV enerjisindeki proton



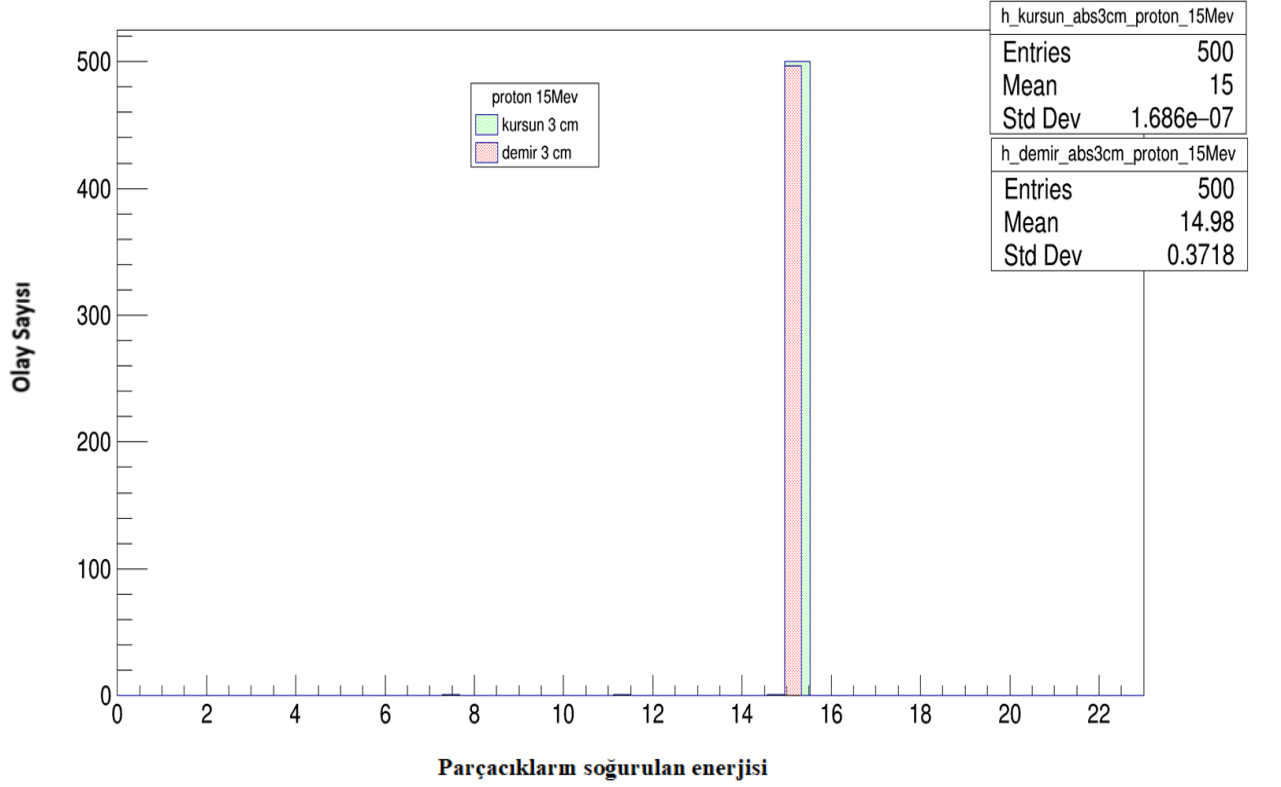
Şekil 4.11a. 1cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 20Mev enerjisindeki proton



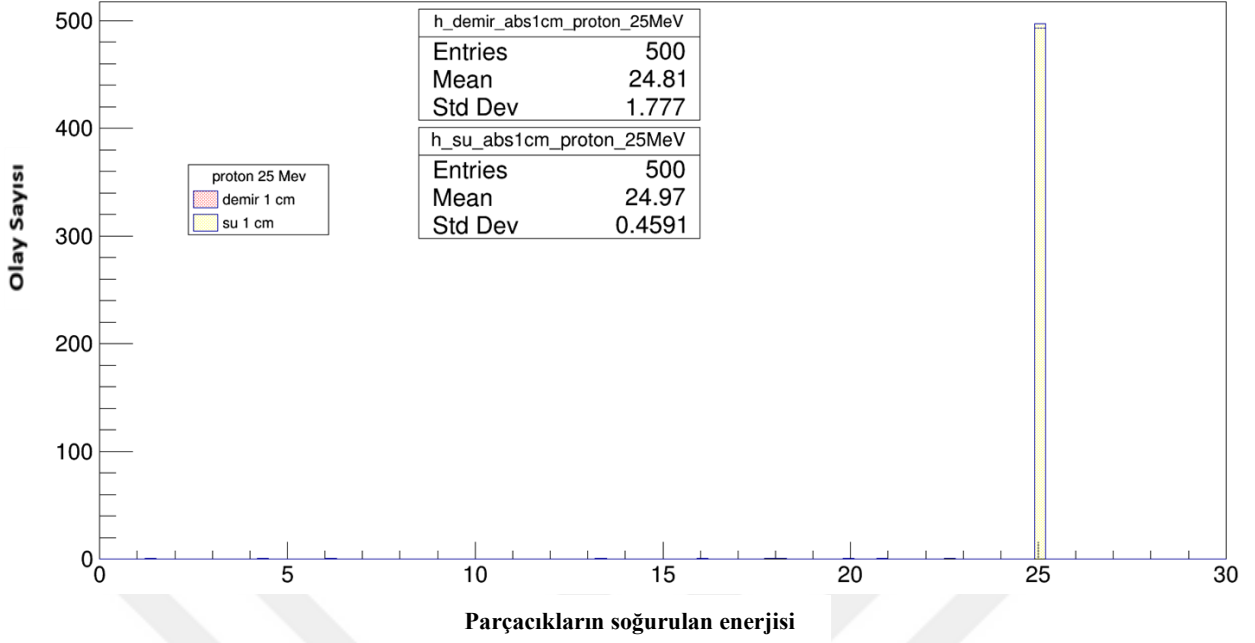
Şekil 4.11b. 1cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 20Mev enerjisindeki proton



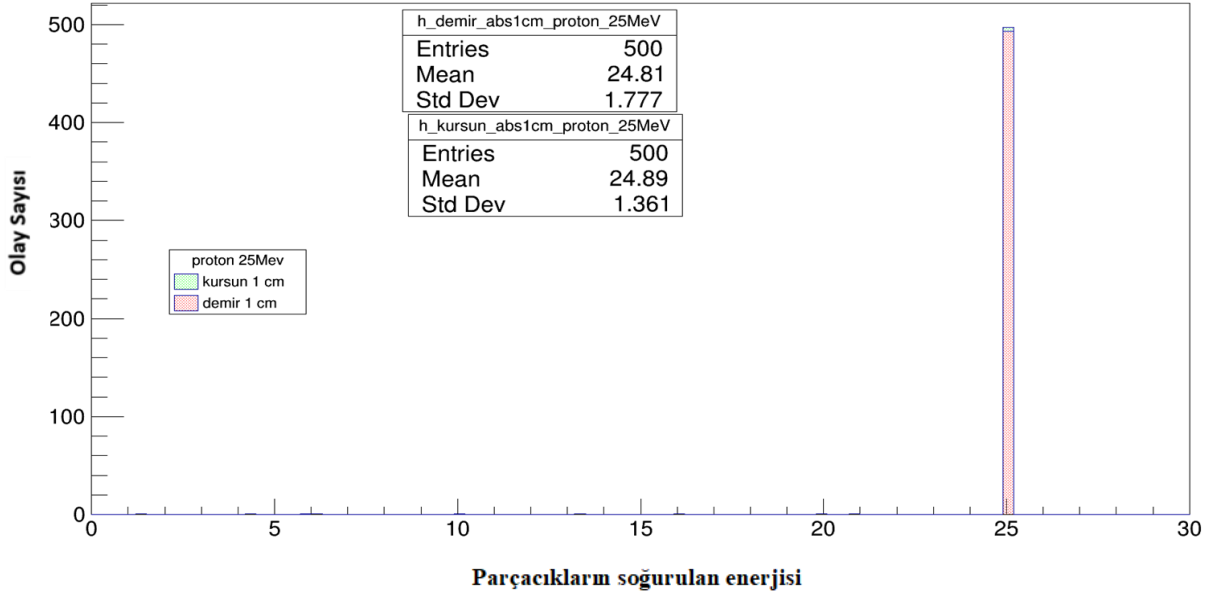
Şekil 4.12a. 3 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 15Mev enerjisindeki proton



Şekil 4.12b. 3 cm kalınlığındaki demir ve kurşun 'a gönderilen 20Mev enerjisindeki proton



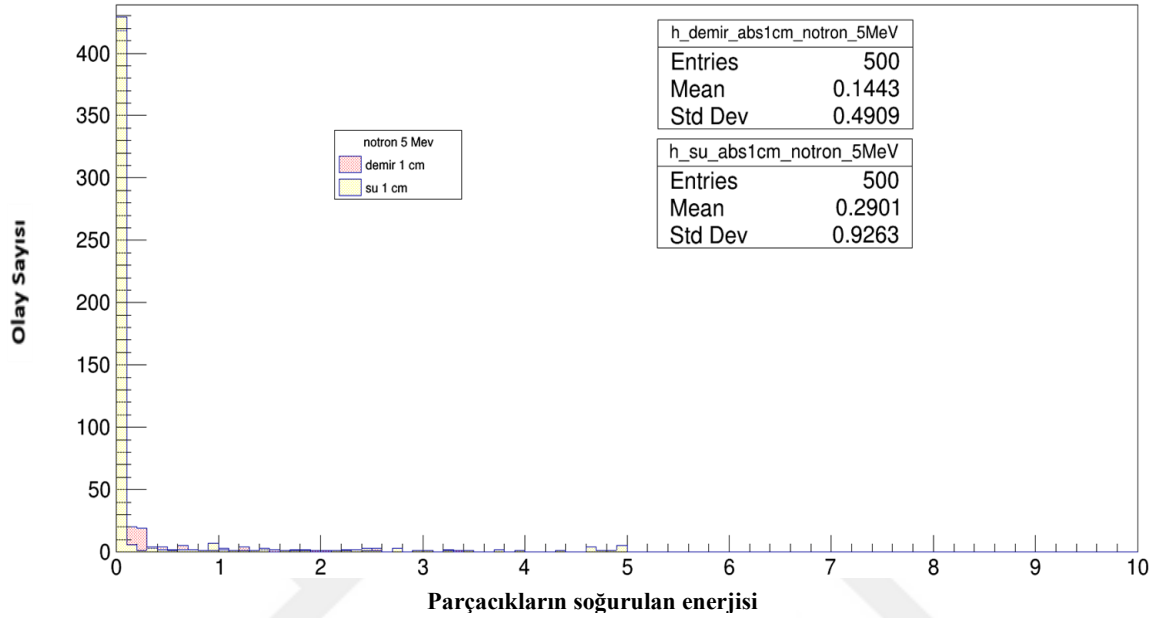
Şekil 4.13a. 1cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 25Mev enerjisindeki proton



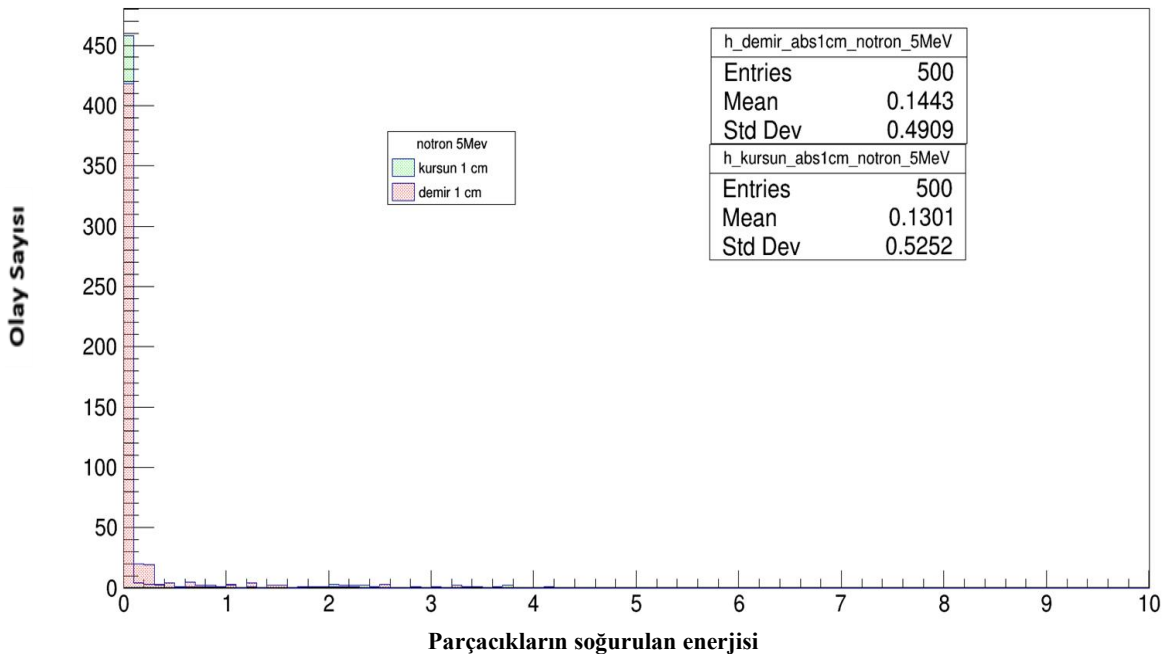
Şekil 4.13b. 1cm kalınlığındaki demir ve kurşun' a gönderilen 25Mev enerjisindeki proton

Şekillere baktığımızda protonların hem yüklü bir parçacık hem de kütlece büyük olmasından dolayı coloumb kuvvetinin etkisiyle zırhlanmasının diğer parçacıklara nazaran daha kolay olduğu yaptığımız simülasyonlarda ortaya çıkmıştır. Grafikleri incelediğimizde protonları 15 Mev, 20 Mev ve 25 Mev enerjilerinde kalınlığı farklı dedektörlere gönderdiğimizde, kurşun, su ve demirin neredeyse bütün enerjisi

soğurduğunu gözlemledik. Bundan dolayı proton zırlama dedektörün kalınlığı ve proton bu enerji aralığındaki değişimlerde zırlamanın önemsenecek derece değişmediği ve başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



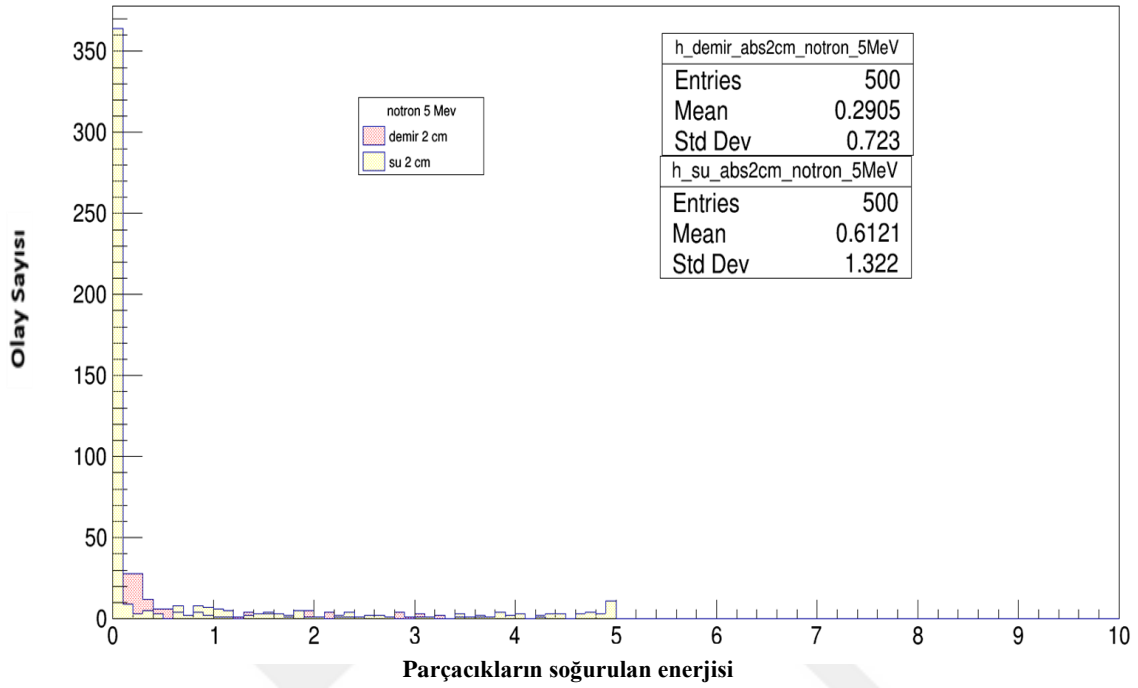
Şekil 4.14a. 1cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 5Mev enerjisindeki nötron



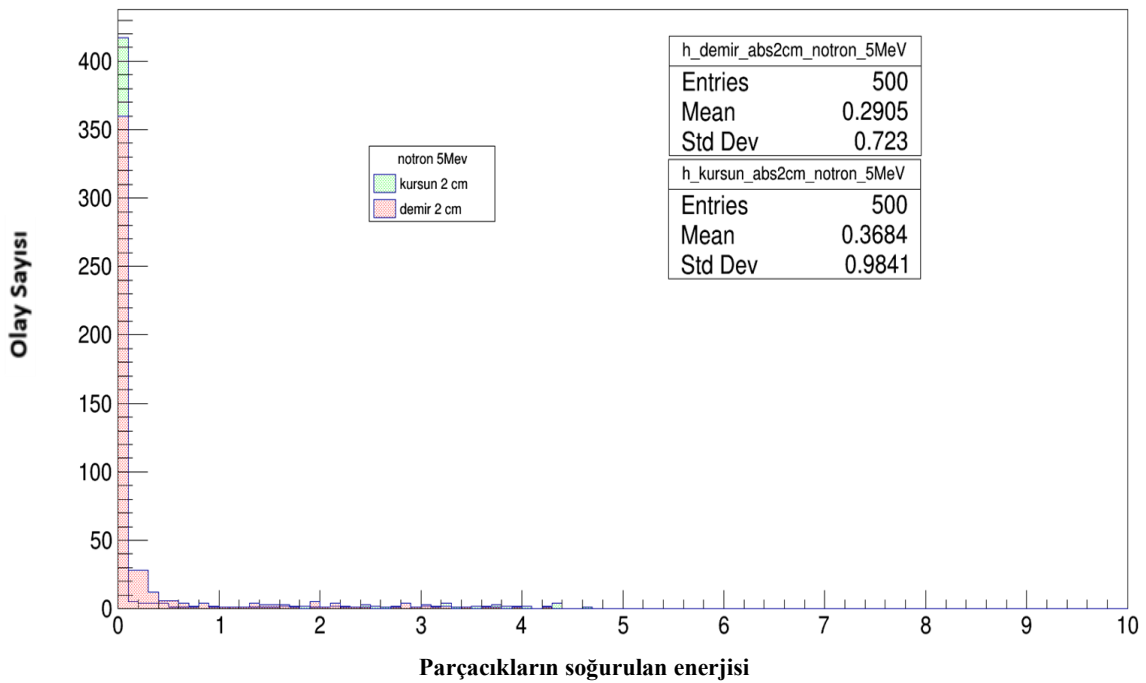
Şekil 4.14b. 1cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 5Mev enerjisindeki nötron

Zırlama bakımından en zor parçacıklardan biri nötrondur. Yüksüz olduklarından dolayı coloumb kuvvetinden etkilenmezler. Su hidrojen bakımından zengin olduğundan ve

nötron içermediğinden dolayı nötron zırhlama en etkili madde olduğu grafikten anlaşılmaktadır.

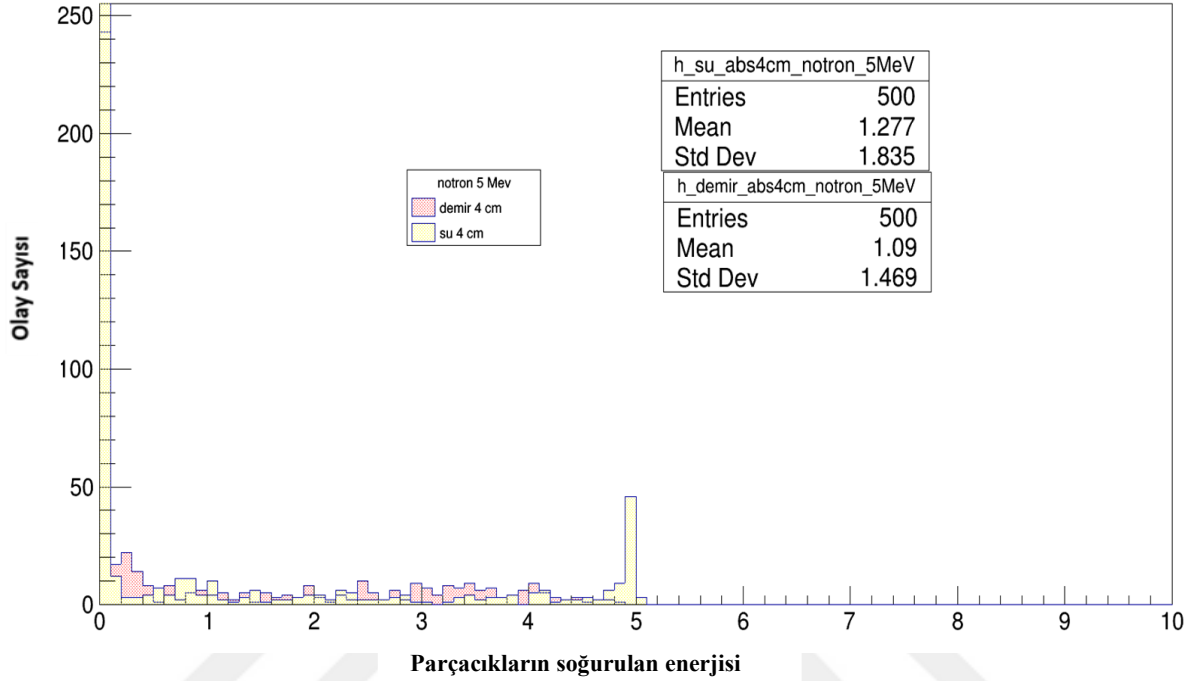


Şekil 4.15a. 2 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 5Mev enerjisindeki nötron

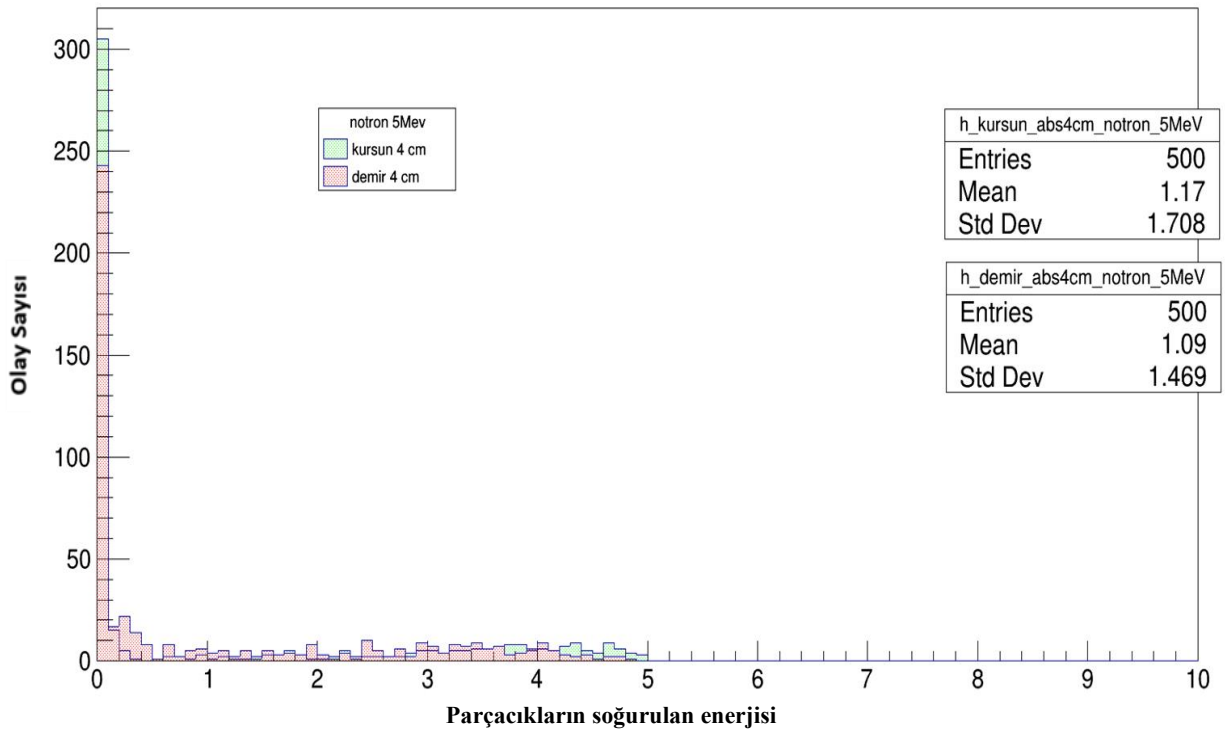


Şekil 4.15b. 1cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 5Mev enerjisindeki nötron

Nötronların enerjisi sabit kalmak koşuluyla zırhımızın kalınlığı artırıldığında su, demir ve kurşunun zırlama etkinliği de artmaktadır. Demir ve kurşun hemen hemen aynı değerlere sahipken nötronun enerjisini su daha çok soğurmaktadır.



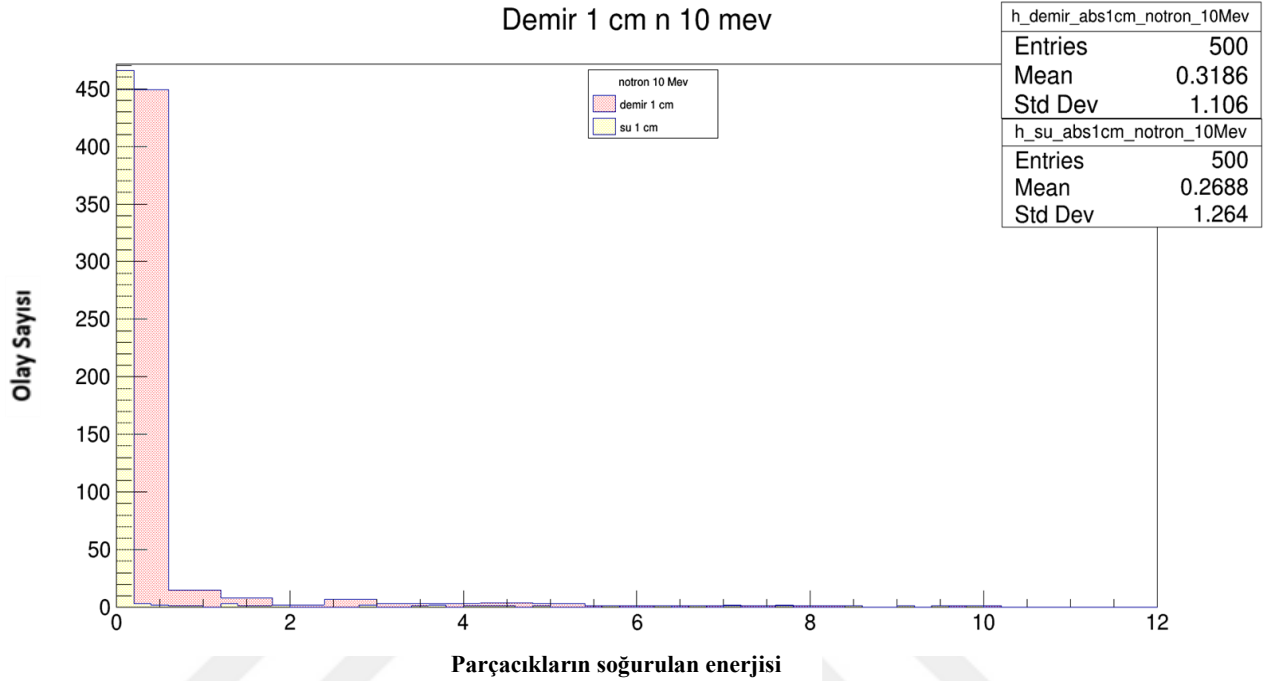
Şekil 4.16a. 4 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 5Mev enerjisinde ki nötron



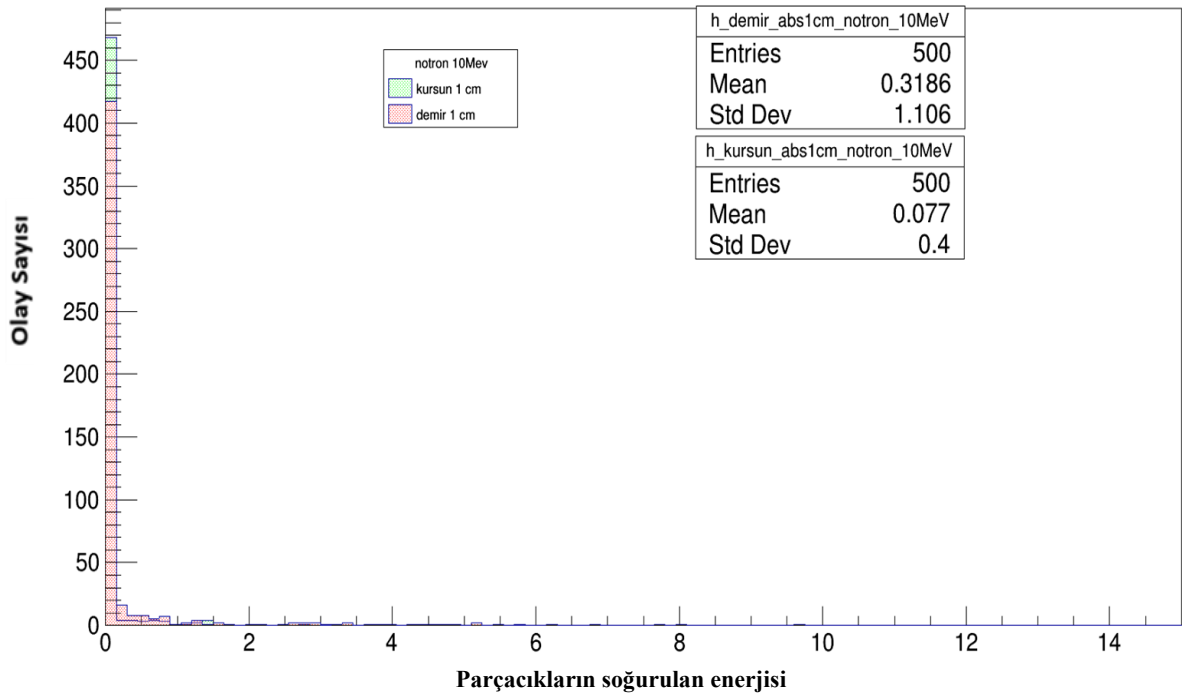
Şekil 4.16b. 4cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 5Mev enerjisindeki nötron



Nötronların enerjisini sabit tutup zırhımızın boyutlarını 4cm'ye çıkardığımızda, demir su ve kurşunun enerji soğurmasında diğer boyutlara göre belirgin bir artış gözlemlenmektedir.

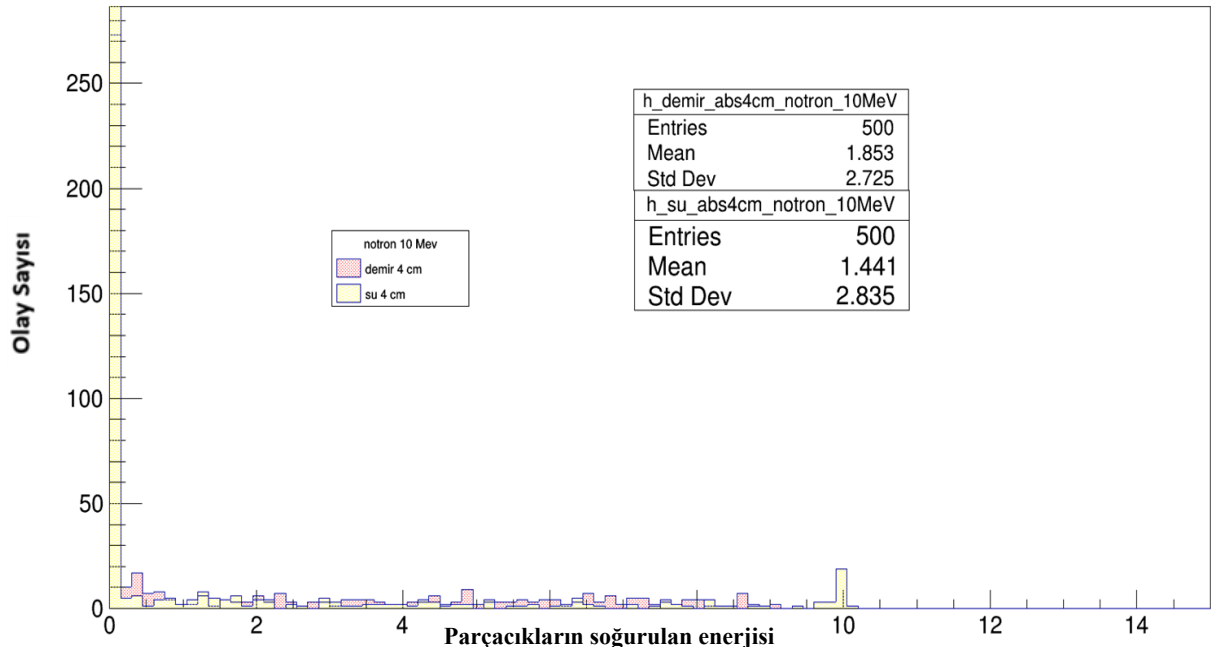


Şekil 4.17a. 1 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 10Mev enerjisindeki nötron

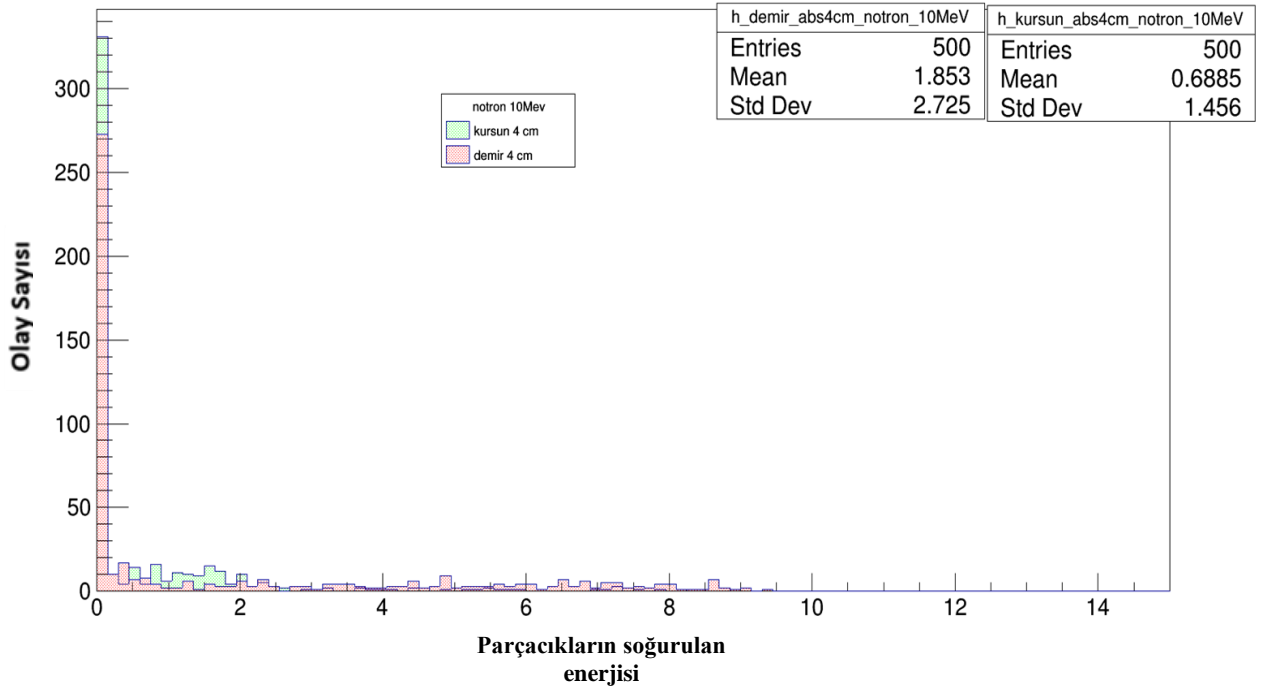


Şekil 4.17b. 1cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 10Mev enerjisindeki nötron

Zırhın kalınlığı sabit tutulup nötronların enerjisi 10 MeV' e çıkarıldığında demir su ve kurşunun yüzdesel olarak nötronların enerjisini soğurma etkinliği bir miktar artmaktadır. Kurşunun etkinliği en azdır.

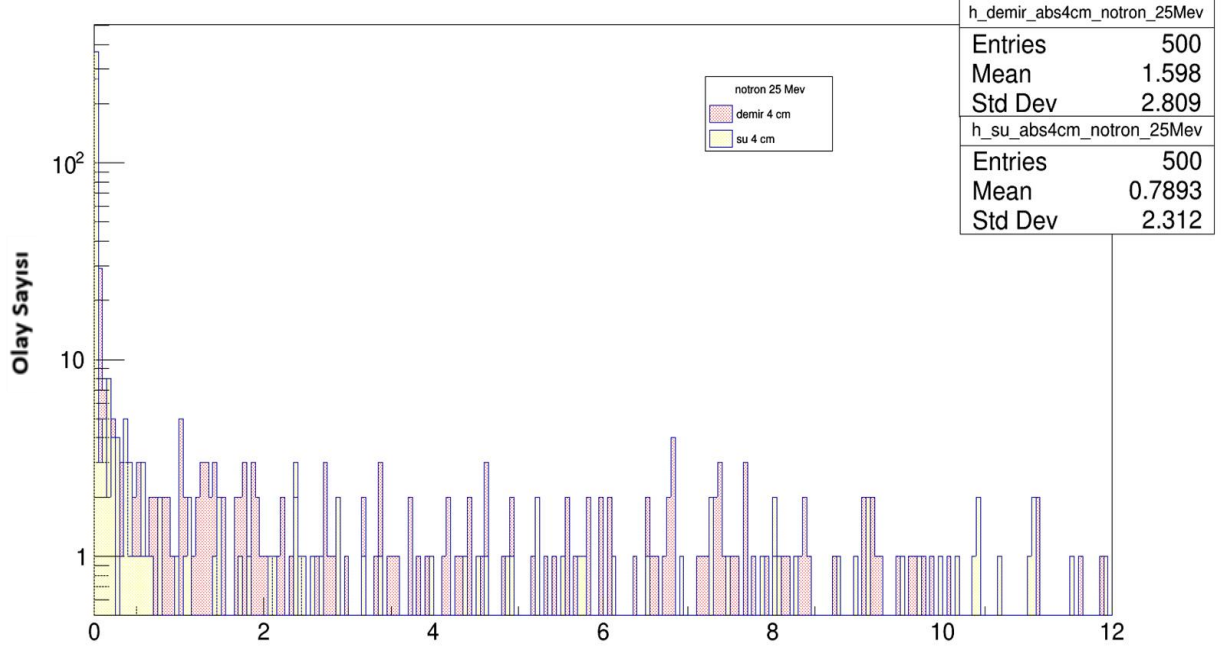


Şekil 4.18a. 4 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 10Mev enerjisindeki nötron



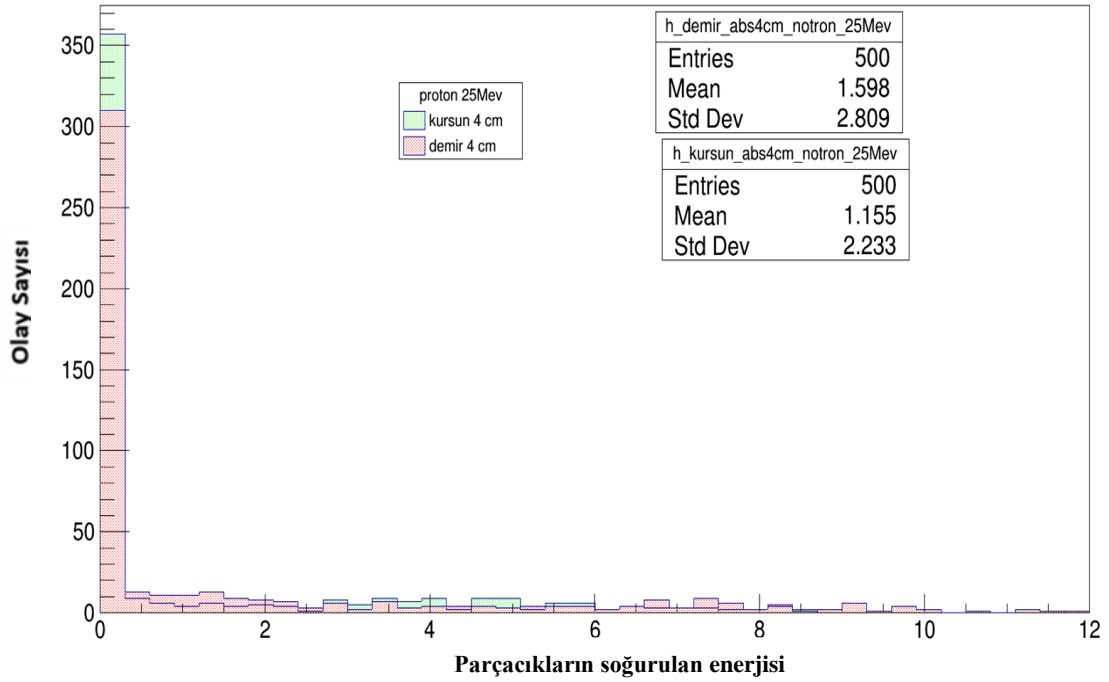
Şekil 4.18b. 4 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 10Mev enerjisindeki nötron

Nötronların enerjisi sabit tutulup zırhımızın kalınlığı 4 cm çıkarıldığında su, demir ve kurşunun nötronların enerjisini soğurma miktarı artmaktadır. En etkili soğurucu su olarak görülmektedir.



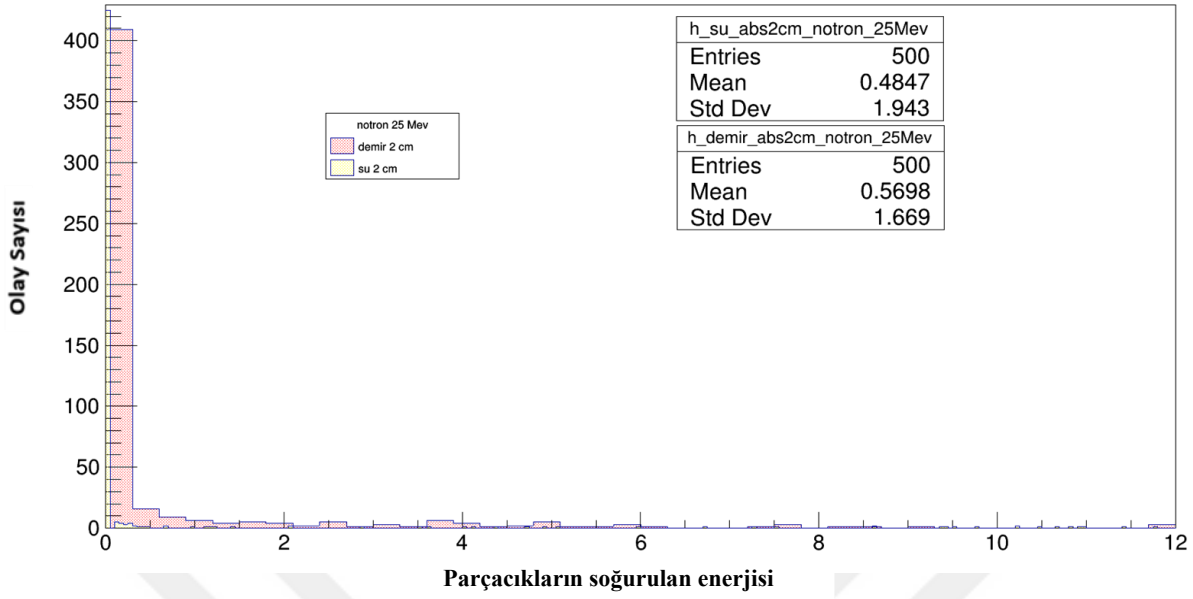
Parçacıkların soğurulan enerjisi

Şekil 4.19a. 4cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 25Mev enerjisindeki nötron

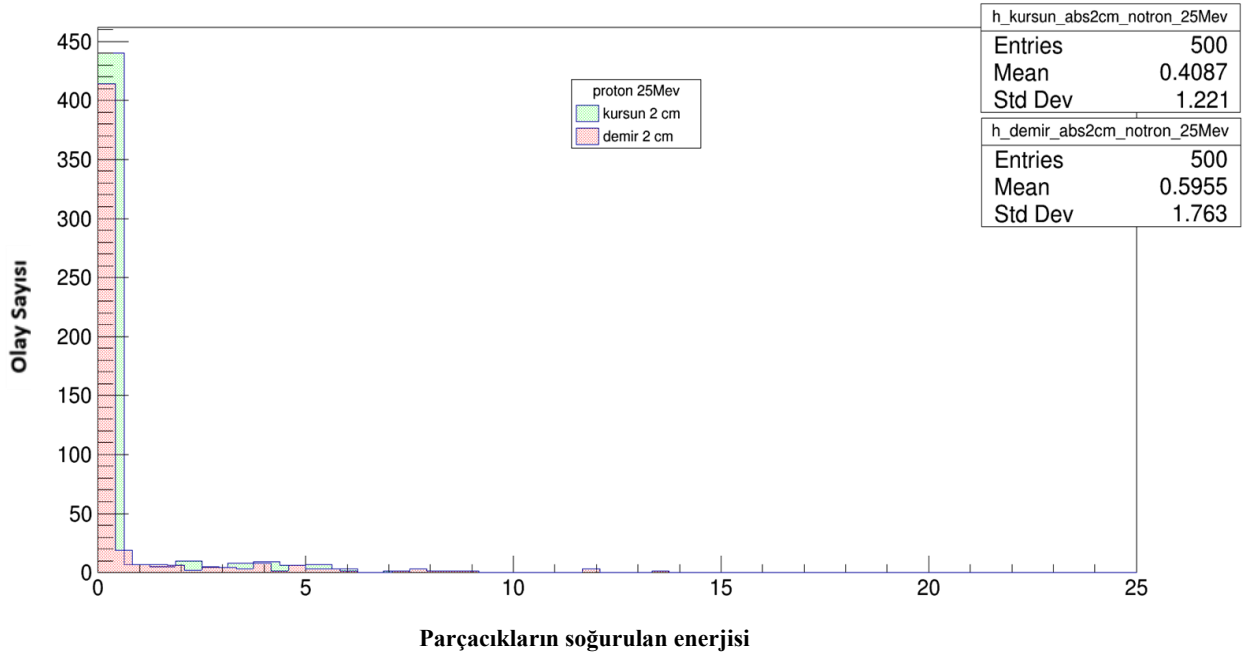


Parçacıkların soğurulan enerjisi

Şekil 4.19b. 4cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 25Mev enerjisindeki nötron



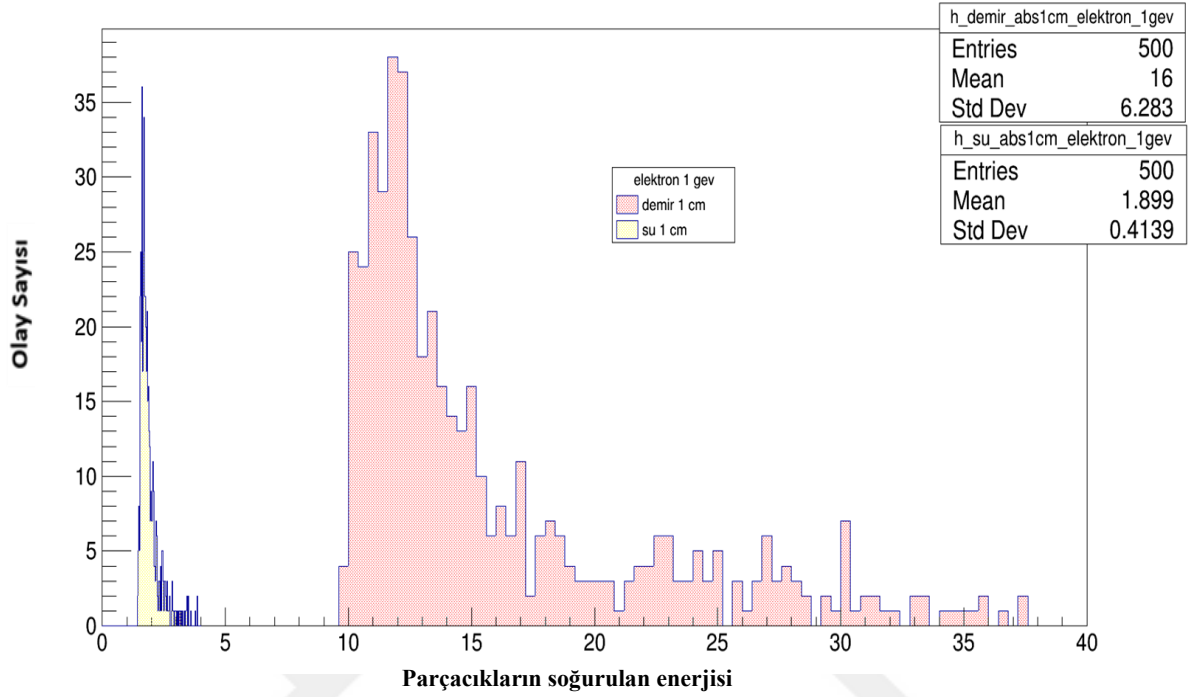
Şekil 4.20a. 2 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 25Mev enerjisindeki nötron



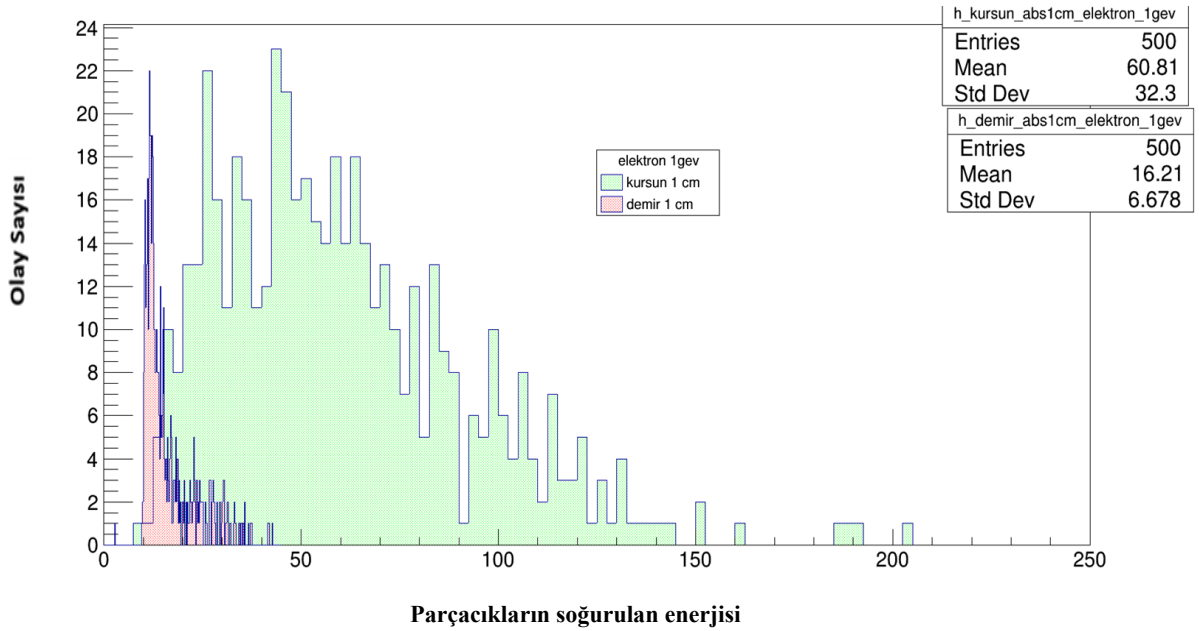
Şekil 4.20b. 2 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 25Mev enerjisindeki nötron

25 Mev' lik enerjiye sahip nötronlar zırhın ölçüleri değiştirilerek gönderilmiştir. Demir, su ve kurşun' un zırlama etkinliği uzunluk arttıkça artmıştır. Nötronların zırlanmasında suyun etkinliği enerji arttıkça azalmaktadır.

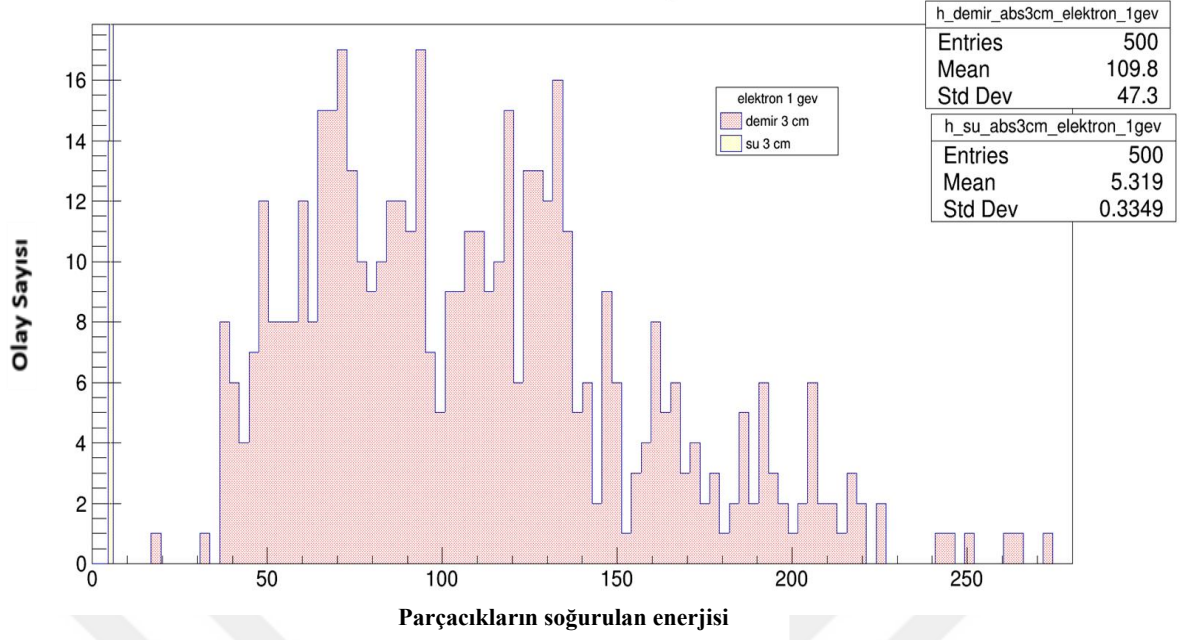
Genellikle kozmik ışınların enerji seviyesinde dedektörün pasif zırlama etkinliğini belirlemek amacıyla Gev mertebesinde simülasyonlar yapılmıştır. Çıkan sonuç grafikleri şu aşağıdadır.



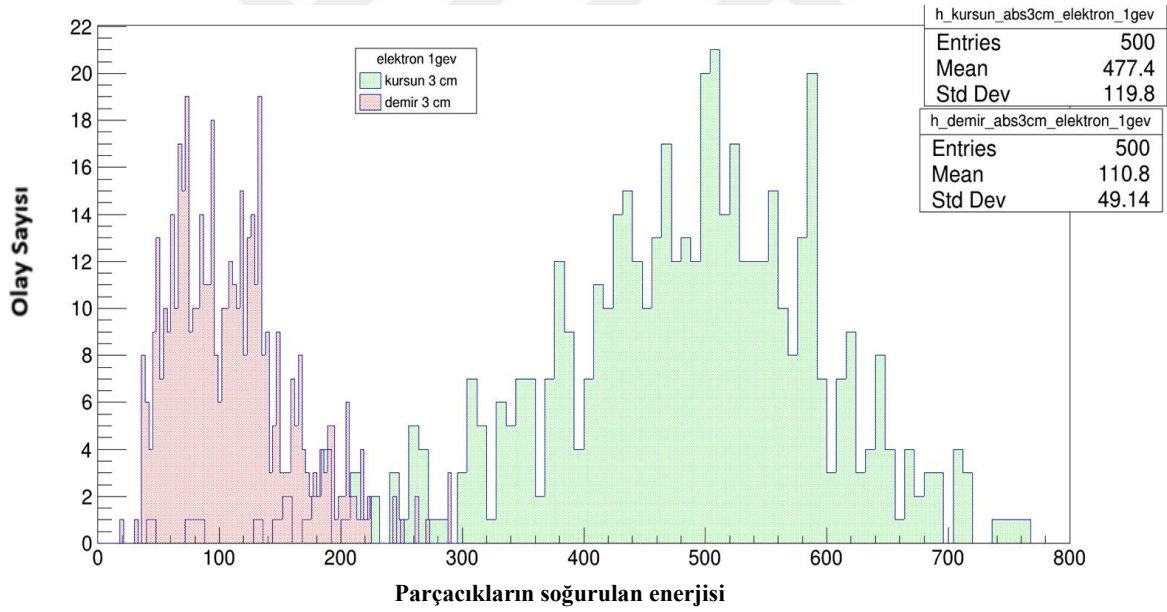
Şekil 4.21a. 1 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 1 Gev enerjisindeki elektron



Şekil 4.21b. 1cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 1Gev enerjisindeki elektron

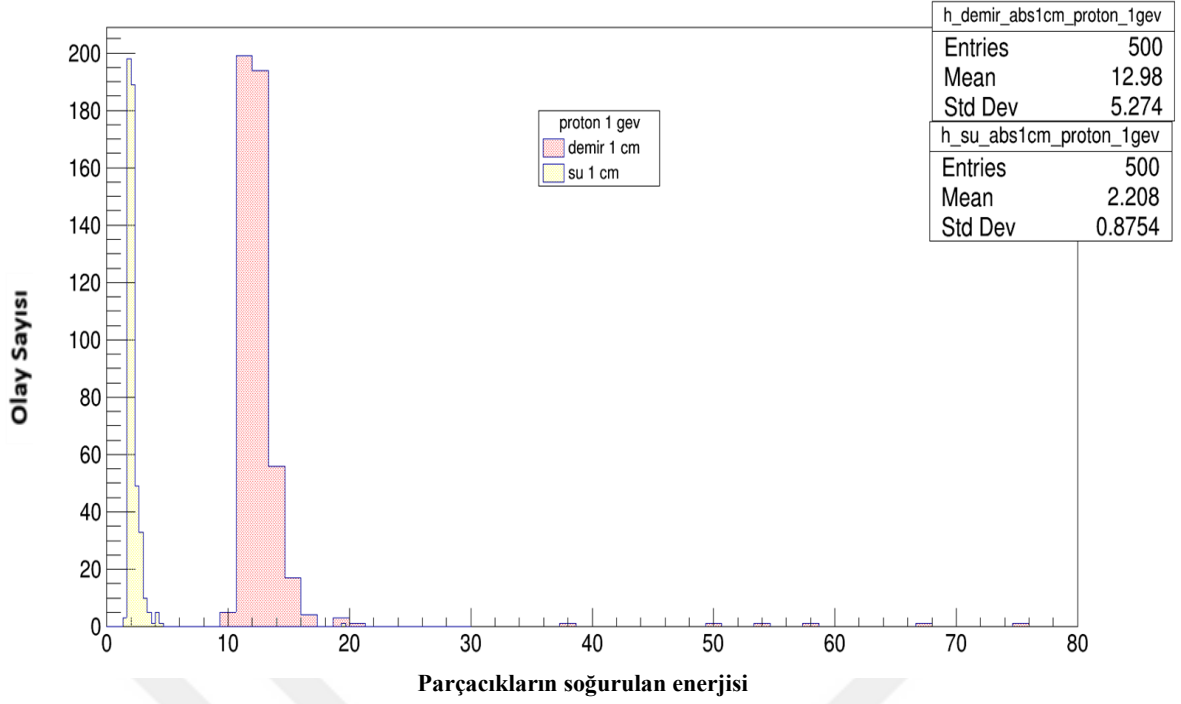


Şekil 4.22a. 3 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 1Gev enerjisindeki elektron

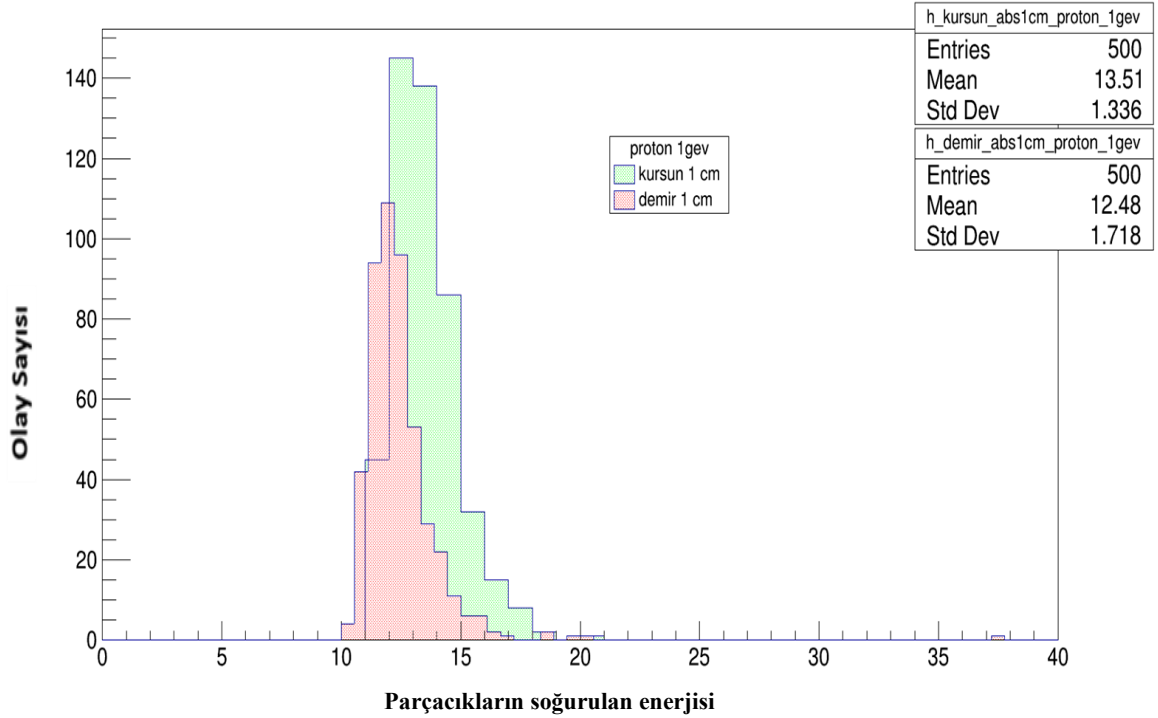


Şekil 4.22b. 3cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 1Gev enerjisindeki elektron

Elektronların enerjisini 1 Gev olarak alıp zırhın uzunluğunu 1 cm ve 3 cm olarak değiştirdiğimizde yukarıdaki grafikleri elde ettik. 1 cm kalınlığındaki zırhta elektronların enerjisini en iyi soğuran madde kurşun iken, en az soğuran madde su olduğu anlaşılmaktadır. Uzunluk arttıkça zırhlama etkinliği her üç maddede de yüksek oranda artmaktadır. Kurşun yine en iyi soğurucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

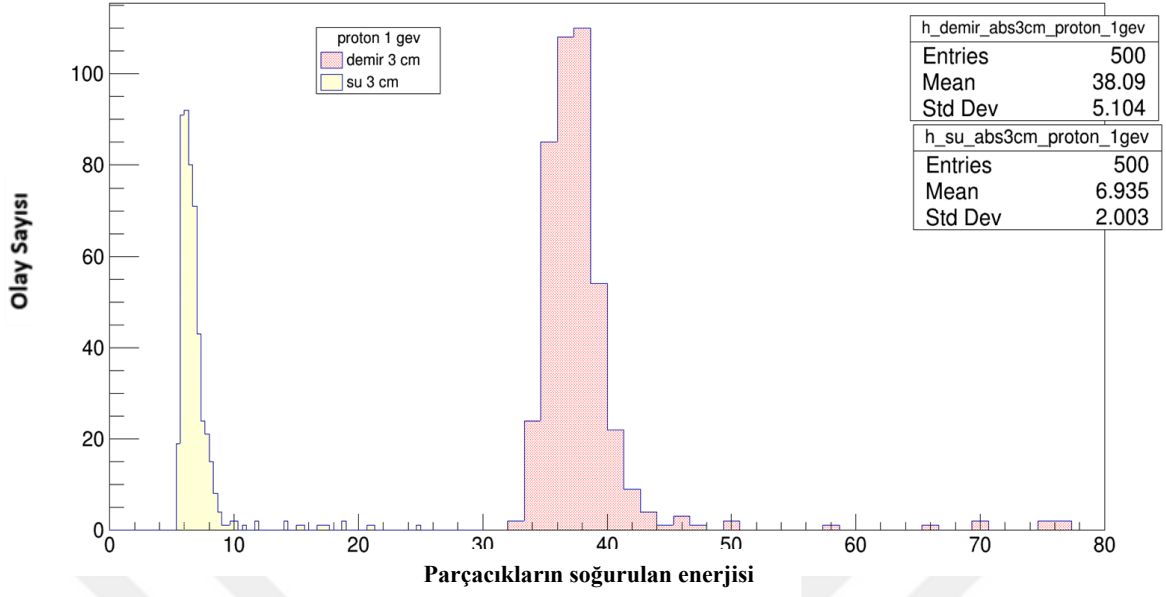


Şekil 4.23a. 1cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 1Gev enerjisindeki proton

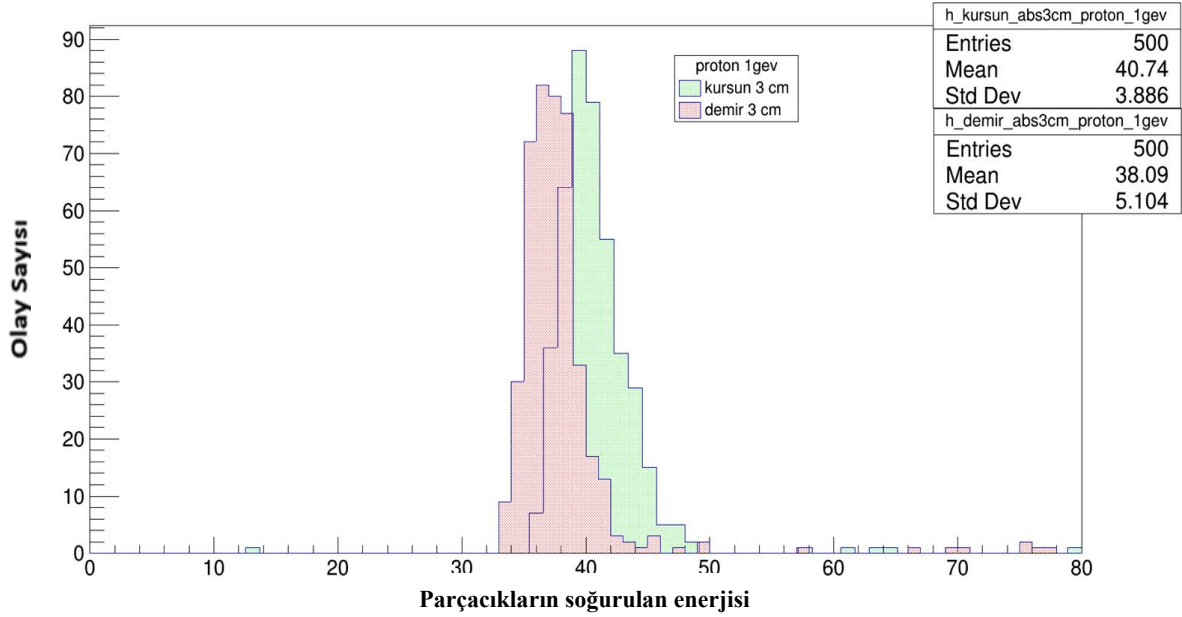


Şekil 4.23b. 1cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 1Gev enerjisindeki proton





Şekil 4.24a. 3 cm kalınlığındaki demir ve suya gönderilen 1Gev enerjisindeki proton



Şekil 4.24b. 3 cm kalınlığındaki demir ve kurşuna gönderilen 1Gev enerjisindeki proton

Protonların enerjisini 1Gev olarak belirleyip zırhın uzunluğunu 1cm ve 3cm olarak değiştirirsek karşılaştırırsak demir ve kurşunun protonların enerjisini daha iyi soğurduğunu, suyun daha az soğurduğu gözlenmiştir. Uzunluk arttıkça soğurma etkinliği artmaktadır. Elektron ile kıyaslama yapacak olursak düşük enerjilerde protonun daha kolay zırhlanabildiği ancak GeV enerjisi mertebesine gelindiğinde ise elektronun daha kolay soğurabileceği görülmektedir. Yüksek enerji seviyelerinde protonun zırhlanması daha da zorlaşmaktadır. Bunun sebebi ise protonun momentumunun büyüklüğüdür.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ:

Geant4 simülasyon programızı üzerinden yapmış olduğumuz simülasyonlar sonucunda dedektörümüzün pasif zırhlama kısmının, kurşun, demir ve su ile zırhlandığında yapmış olduğu dışarlama özelliğini irdeledik. Bunun için elektron, proton, pozitron ve nötronları dedektörümüze farklı enerjilerde göndererek gerçekleşen olayları grafiğe dönüştürerek bilgi sahibi olduk.

Her birini 500 olaya ayarlayarak gönderdiğimiz elektron, nötron ve protonun enerjileri arttıkça dedektörün pasif zırhlaması tarafından yapılan soğurma etkinliğinin azaldığını fakat zırhın uzunluğu arttıkça da soğurma özelliğinin arttığı gözlemlenmiştir. En kolay zırhlanan parçacık hem kütlece büyük hem de coloumb etkileşimine girebilen proton olurken, en zor zırhlanan parçacık yüksüz olan ve coloumb etkileşimine girmeyen nötron olmuştur.

Demir, kurşun ve su ise zırhlama özellikleri bakımından parçacıklara göre farklı özellikler göstermişlerdir. Örneğin elektron zırhlamasında kurşun ve demir düşük enerjilerde birbirlerine yakın sonuçlar verirken, suyun soğurma özelliği daha azdır. Yüksek enerjili elektronlarda ise kurşun yine demire yakın değerler vermekle beraber çok az miktarda demirden daha fazla zırhlama özelliği göstermiştir. Nötronlarda ise en iyi soğurma özelliğini hidrojen bakımından zengin olan su göstermiştir.

Parçacıkların enerjini GeV mertebesine çıkardığımız zaman ise düşük enerjilerde zırhlanması kolay olan protonun zırhlanmasının biraz daha zorlaştığı buna paralel olarak elektron ve nötronun da zırhlanmasının aynı şekilde daha zor olduğu gözlemlenmiştir. Protonun kütesinin ve enerjisinin büyük olması soğurulmasını güçleştiren etmendir. Zırhın uzunluğunu artırdığımızda ise zırhlamanın arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak her üç madde de farklı enerjiler ve parçacıklar için farklı özellikler gösterdiğinden dolayı pasif zırhlama için seçilecek en iyi maddenin kurşun, su ve demirden oluşan kompozit bir madde olması en iyi sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 6. KAYNAKÇA

- Ülgen, İ., 2014. Standart model ve sağ-sol simetrik modelde nötrino kütle kazandırma mekanizmaları Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara
- Kibar, G., 2008. Dördüncü Standart Model Ailesi Fermiyonların Üretimi ve Modelleme Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya (2008)
- Oliva, A., 2007. High Charge Cosmic Rays Measurement with the AMS-02 Silicon Tracker. Ph.D. thesis, PhD thesis
- Alpboğan, Ü., 2014. Kozmik ışınların tespiti simülasyonu . Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş
- Gaensler, B.,2011. Extreme cosmos. NewSouth
- Pacini, D., 1912. La radiazione penetrante alla superficie ed in seno alle acque. Il Nuovo
- Pacini, D.,2010. cb A. De Angelis. Penetrating Radiation at the Surface of and in Water. ArXiv e-prints
- Hess, V.F. 1912. Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten. Z. Phys.
- Clay, J., 1927. Decrease of the intensity of cosmic rays in water to a depth of 440 m. Measured with counters and ionization chamber. Proceedings of the Section of Sciences, 633: 30
- Bothe, W., 1929. Kolhörster, W., Das wesen der höhenstrahlung. Zeitschrift für Physik,56 (11-12): 751–777 (1929)
- Baade, W., Zwicky, F., 1934. Cosmic rays from super-novae. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 20 (5): 259 (1934).
- Babcock, H.,1948. Magnetic Variable Stars as Sources of Cosmic Rays. Physical Review, 74 (4): 489.
- Sekido, Y., Masuda, T., Yoshida, S., Wada, M., 1951. The Crab Nebula as an Observed Point Source of Cosmic Rays. Physical Review, 83 (3): 658
- ASTROM, L., 2006. A Study of Cosmic Ray Air Shower Properties, Master's Thesis, Royal Institute of Technology, 7-9.
- Şaşmaz, T., 2011. Deniz Seviyesindeki Kozmik Işınların Enerji Spektrumunun Geant4 Simülasyon Programı ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Olive, K.A., ve ark., 2014. Cosmic Rays. Chinese Physics C, 38 (28): 270 (2014)

- Arslan, H., 2011. Dünya'nın Elektrik ve Manyetik Alanının Deniz Seviyesindeki Kozmik Müon Akısı Üzerine Etkisinin Geant4 ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Kunduracı, M., 2011. Deniz Seviyesindeki Müon Sayısının Müonların Düşeyle Yaptığı Açıyla Değişiminin Geant4 Simülasyon Programıyla İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- Lodders, K., 2004. An Overview of Cosmic-Ray Elemental Composition. Ap. J., 591: 1220
- Rigden, J.S., 2003. Building blocks of matter: a supplement to the Macmillan of physics. Macmillan Reference USA
- Şahin, L. ,Parçacıklar ve radyasyonun madde ile etkileşmesi, Erişim adresi, [aves.istanbul.edu.tr](http://aves.istanbul.edu.tr) Erişim tarihi:01.03.2019
- Çevikbaş M., 2014.G.,Alimünyum Titanat/Spinel' in Radyasyon Karşısındaki Davranışının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul (2014).
- Knoll, G.F., 2000. Radiation Detection and Measurement, (Üçüncü sürüm), University of Michigan.
- Powsner R.A., Powsner E.R. 2006. Essential Nuclear Medicine Physics. Blackwell Publishing, (İkinci sürüm), Massachusetts.
- Mancık M., 2008. Mıt Bates Laboratuvarındaki Elektron Proton Saçılması Deneyinin Analizi ile Çerenkov Dedektörünün veriminin tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
- Anonim, 2019a <https://ufudunyasi.wordpress.com/2017/07/09/sonik-patlama-nasil-olusur>. Erişim tarihi : 10.07.2019
- Öztürk S., Cherenkov Algıci Üretimi, Erişim Adresi: [https://indico.cern.ch/event/489217/contributions/1999129/attachments/1283068/1907057/Cherenkov\\_Sertac\\_Marmara.pdf](https://indico.cern.ch/event/489217/contributions/1999129/attachments/1283068/1907057/Cherenkov_Sertac_Marmara.pdf) Erişim tarihi : 10.07.2019
- Görmez, E., 2012. Gean4 ve Monte Carlo simülasyon kodları kullanılarak bazı minerallerin Am-241 Be Nötron kaynağının zırhlanması için kaplanabilirliklerinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Ağrı
- Anonim, 2019b <http://www.bilgisayarsistemleri.net/linux-server/centos-nedir-centos-linux-distribution-ozellikleri-nelerdir-t83.html> Erişim tarihi : 20.07.2019

## 7. ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : **ERHAN KESER**  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : **TURHAL – 18.02.1986**  
**Lisans Üniversite** : **Gaziosmanpaşa Üniversitesi**  
**Elektronik posta** : **ekeser60@hotmail.com**  
**İletişim Adresi** : **Gürsel Mh. Çağlar Sk. No:20 TURHAL-TOKAT**