

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAKARYA İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE  
 $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  VE  $K^{40}$  RADYOAKTİVİTE  
KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevda KIZILKAYA

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet BEKTAŞOĞLU

Mayıs 2019

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

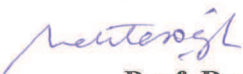
SAKARYA İLİ TOPRAK ÖRNEKLER U<sup>238</sup>, Th<sup>232</sup> VE K<sup>40</sup>  
RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ  
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Sevda KIZILKAYA

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

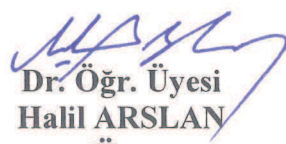
Bu tez 24.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.  
Mehmet BEKTAŞOĞLU  
Jüri Başkanı



Doç. Dr.  
Ali Serdar ARIKAN  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi  
Halil ARSLAN  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

  
Sevda KIZILKAYA

19.06.2019

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmam sűresince yardımlarını ve bilgi birikimlerini esirgemeyen öncelikle sayın hocam Prof. Dr. Mehmet BEKTAŐOĐLU'na, yine dedektörün kurulumunda ve poster hazırlığında bana yardım eden ve yol gösteren sayın hocam Halil ARSLAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca alıőmamızda bize yol gösteren, tüm bilgisini bizimle paylaşan ekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi ANL Birimi'nden sayın hocam Dr. Ahmet VARİNLİOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalıőmam sırasında toprak numunelerinin toplanmasında, bana yardım eden ve desteğini hiç esirgemeyen sevgili eőtım Can KIZILKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca her zaman bana güç veren, maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili ailem ve özellikle annem Fadime CANCA ve babam Asım CANCA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLOLAR LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xi
SUMMARY .....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
RADYASYON .....	3
2.1. Radyoaktif Bozunma Kanunu .....	3
2.2. Radyasyonun Enerjisi .....	6
2.3. Radyasyon Çeşitleri .....	7
2.3.1. Alfa parçacığı .....	7
2.3.2. Beta parçacığı .....	8
2.3.3. Gama ışınları .....	9
2.3.4. Nötron .....	10
2.3.5. Proton .....	10
BÖLÜM 3.	
RADYASYON KAYNAKLARI .....	11
3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları .....	11

3.1.1. Kozmik ışınlar .....	11
3.1.2. Yeryüzü kaynaklı doğal radyasyon .....	12
3.2. Yapay Radyasyon Kaynakları .....	14
BÖLÜM 4.	
RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ .....	17
4.1. Elektromanyetik Radyasyonların Madde ile Etkileşimi .....	17
4.1.1. Fotoelektrik olay .....	18
4.1.2. Compton olayı .....	19
4.1.3. Çift oluşumu .....	20
4.2. Yüklü Parçacıkların Madde ile Etkileşimi .....	21
4.2.1. Ağır yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi .....	21
4.2.2. Hafif yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi .....	22
4.3. Nötronların Madde ile Etkileşimi.....	22
BÖLÜM 5.	
RADYASYON ÖLÇÜM METOTLARI VE ÖLÇÜM SAYAÇLARI .....	24
5.1. Gazlı Dedektörler .....	24
5.1.1. İyonlaşma odası .....	25
5.1.2. Orantılı sayaçlar .....	26
5.1.3. Geiger Müeler (G-M) dedektörleri .....	26
5.2. Sintilasyon Dedektörleri .....	29
5.2.1. İnorganik sintilatörler .....	29
5.2.2. Organik sintilatörler .....	30
5.2.3. Gazlı sintilatörler .....	31
5.3. Yarı İletken Diyot Dedektörü.....	32
BÖLÜM 6.	
NaI (TI) GAMA SPEKTROSKOPİ SİSTEMLERİ .....	33
6.1. Yüksek Voltaj Ünitesi .....	34
6.2. Preamplifikatör (Ön Yükselteç) .....	34

6.3. Amplifikatör.....	34
6.4. Çok Kanallı Analizör .....	34
6.5. Enerji Ayırımı .....	35
6.6. Enerji Kalibrasyonu.....	35
6.7. Verim Kalibrasyonu .....	36
6.8. Pik Alanının Hesaplanması.....	39
BÖLÜM 7.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE HESAPLAMALAR .....	41
7.1. Toprak Örneklerinin Hazırlanması .....	41
7.2. Hesaplamalar .....	43
BÖLÜM 8.	
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	46
KAYNAKLAR .....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ar	: Argon
Bq	: Bequerel
C	: Karbon
CaI	: Kalsiyum İyodür
CaF <sub>2</sub>	: Kalsiyum Florür
CH <sub>4</sub>	: Metan
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
CsI	: Sezyum İyodür
e	: Elektron
eV	: Elektronvolt
Eu	: Evropiyum
Ge	: Germanyum
GeV	: Gigaelektronvolt
gr	: Gram
H	: Hidrojen
K	: Potasyum
keV	: Kiloelektronvolt
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
LiI	: Lityum İyodür
m	: Metre
MeV	: Megaelektronvolt
mSv	: Mili Sievert
n	: Nötron
Na	: Sodyum



NaI	: Sodyum İyodür
p	: Proton
pm	: Pikometre
Ra	: Radyum
Rn	: Radon
Si	: Silisyum
sn	: Saniye
Sr	: Stronsiyum
Th	: Toryum
Tl	: Talyum
U	: Uranyum
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
V	: Volt
Xe	: Ksenon
°C	: Santigrad Derece
$\mu$ Ci	: Mikro Curie
$\mu$ s	: Mikrosaniye

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Radyoaktif bozunma kanunu .....	4
Şekil 2.2. Alfa bozunumu.....	8
Şekil 2.3. Beta bozunumu .....	9
Şekil 2.4. Gama ışınımı.....	9
Şekil 2.5. Elektromanyetik spektrum .....	10
Şekil 3.1. Radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri .....	11
Şekil 3.2. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi .....	12
Şekil 3.3. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi .....	14
Şekil 3.4. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozları ve oransal değerleri .....	15
Şekil 3.5. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları .....	15
Şekil 4.1. Fotoelektrik olay .....	19
Şekil 4.2. Compton saçılması.....	20
Şekil 4.3. Çift oluşumu .....	20
Şekil 4.4. Gama radyasyonunun madde ile etkileşim süreçlerinin foton enerjisine göre baskınlığı .....	20
Şekil 5.1. Geiger Sayacı .....	26
Şekil 5.2. Bir sayıcının voltaja bağlı olarak çeşitli çalışma bölgeleri .....	28
Şekil 6.1. NaI(Tl) gama spektroskopi sistemi .....	34

Şekil 6.2. Enerji-verim grafiği .....	38
Şekil 6.3. Pik alanı hesabı .....	40
Şekil 7.1. Toprak numunelerinin alındığı noktalar .....	41
Şekil 7.2. Sakarya ili genelinde $U^{238}$ konsantrasyonunun dağılımı. ....	44
Şekil 7.3. Sakarya ili genelinde $Th^{232}$ konsantrasyonunun dağılımı. ....	45
Şekil 7.4. Sakarya ili genelinde $K^{40}$ konsantrasyonunun dağılımı. ....	45



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Türkiye'nin bazı şehirlerinde ve bazı ülkelerde ölçülen radyasyon seviyelerinin ortalama değerleri .....	14
Tablo 3.2. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı .....	16
Tablo 6.1. Enerji kalibrasyonu için önerilen radyoaktif çekirdekler .....	36
Tablo 6.2. RGU-1 Referans kaynağına ait sertifika bilgileri .....	37
Tablo 6.3. RGTh-1 Referans kaynağına ait sertifika bilgileri .....	37
Tablo 6.4. RGK-1 Referans kaynağına ait sertifika bilgileri .....	38
Tablo 6.5. Enerji değerlerine karşılık elde edilen verim değerleri .....	39
Tablo 7.1. $U^{238}$ , $Th^{232}$ Ve $K^{40}$ enerji değerlerinde oluşan piklerin net alanları .....	42
Tablo 7.2. Toprak numunelerinin ölçüm süreleri ve kütle değerleri .....	43
Tablo 7.3. $U^{238}$ , $Th^{232}$ Ve $K^{40}$ , radyonüklidlerine ait deneysel aktivite konsantrasyonları .....	44
Tablo 8.1. Topraktaki radyonüklidlerin ortalama aktivite derişimleri .....	46

## ÖZET

Bu tez çalışmasında Sakarya ilindeki 13 farklı noktadan alınan toprak numunelerindeki  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  ve  $K^{40}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları bir 2x2" NaI(Tl) dedektöründen yararlanarak ölçülmüş ve sonuçlar, literatürdeki Türkiye ve dünya ortalama değerlerinin yanı sıra, daha önce Sakarya ilinde yapılmış değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen aktivite konsantrasyonlarının genel anlamda literatürdeki değerlerle uyumlu olduğu, özellikle bir toprak numunesindeki  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  ve  $K^{40}$  aktivite konsantrasyonlarının da Türkiye ve Dünya ortalamalarının oldukça üzerinde olduğu görülmüştür.

# DETERMINATION OF $U^{238}$ , $Th^{232}$ AND $K^{40}$ RADIOACTIVITY CONCENTRATION IN SAKARYA SOIL SAMPLES

## SUMMARY

In this thesis work,  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  and  $K^{40}$  activity concentrations in soil samples from 13 different locations in Sakarya City have been measured using a 2x2" NaI(Tl) detector. Results have been compared with the mean values for Turkey and the world, as well as the previous measurement results for Sakarya, available in the literature. It has been seen that the activity concentrations obtained in this work are in a general agreement with the mean values in the literature. It has also been noted that  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  and  $K^{40}$  activity concentrations in one of the samples are higher than those of the mean values in Turkey and the world.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Canlılar yaşamları boyunca radyasyona maruz kalırlar. Bu radyasyon doğal ve yapay kaynaklar sebebiyle olabilir. Maruz kalınan radyasyona en çok katkıyı doğal radyasyon sağlar. Doğal radyasyon kaynakları arasında uzaydan gelen kozmik ışınlar, kaya, toprak, su ve hava sayılabilir. Dolayısıyla bu tür kaynaklardan alınan radyasyon, yaşanılan yerin rakımına ve jeolojik yapısına bağlıdır. Aynı zamanda yapılan uçak yolculukları, inşaat yapımında kullanılan kum, tuğla, çimento gibi malzemeler de doğal radyasyon sebebiyle maruz kalınan radyasyon kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Yapay radyasyon kaynakları arasında da nükleer silahlar ve nükleer güç santralleri, endüstriyel uygulamalar ile tıpta hastalıkların teşhis ve tedavisinde kullanılan cihazlar sayılabilir.

Bu çalışmada Sakarya ilinin 13 farklı bölgesinden alınan toprak numunelerindeki  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  ve  $K^{40}$  radyoaktivite konsantrasyonları bir 2x2" NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ölçülmüştür.

Bu tezin ikinci bölümünde bozunma kanunundan, alfa ve beta parçacıklarından, gama ışınlarından, proton ve nötrondan, üçüncü bölümde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından, dördüncü bölümde radyasyonun madde ile etkileşiminden, beşinci bölümde radyasyon ölçüm metotları ve radyasyon sayaçlarından, altıncı bölümde ise bu çalışmada kullanılan gama spektroskopi sisteminden bahsedilmiştir. Yedinci bölümde Sakarya ili genelinden toplanan toprak numunelerinin ölçüm öncesi hazırlık aşamaları ve dedektör sistemi ile yapılan ölçümler hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Ayrıca, elde edilen veriler ışığında yapılan hesaplamalara ve ilgilenilen radyonüklidlerin aktivite değerlerine yer verilmiştir.

Sekizinci bölümde ise yedinci bölümde verilen aktivite değerlerinin Türkiye ve Dünya ortalamaları ile karşılaştırılmaları yapılmıştır.



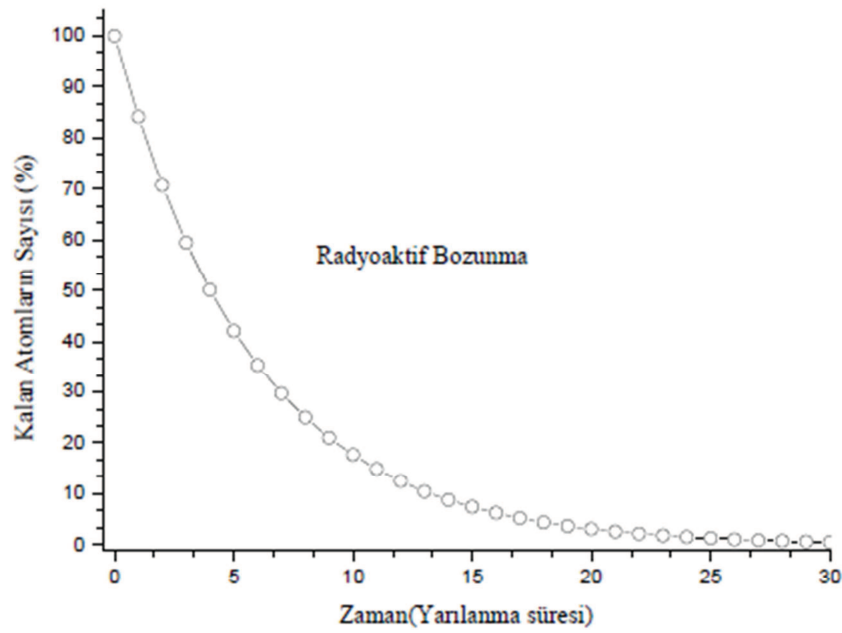


## **BÖLÜM 2. RADYASYON**

Radyasyon, boşlukta veya madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanır. Kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir. Radyasyonu tanımlamada radyasyonun enerjisi, türü ve kaynağı (doğal veya yapay radyasyon kaynakları) olmak üzere üç ana parametre kullanılır [1].

### **2.1. Radyoaktif Bozunma Kanunu**

Bir radyoaktif elementin değişim halinde bulunan atom sayısı, elementin her anındaki mevcut olan atom sayısı ile orantılıdır. Radyoaktivite üstel olarak azalır. Şekil 2.1.'de radyoaktif bozunma sonrası kalan atom sayısının zamana göre değişim grafiği verilmektedir [1].



Şekil 2.1. Radyoaktif bozunma kanunu [1].

Bir radyoaktif elementte  $t$  anında bulunan atom sayısı  $N$  ve  $dt$  zamanı içinde değişime uğrayan atom sayısı  $dN$  olsun. Birim zamanda değişime uğrayan atom sayısı,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.1)$$

olur.  $t=0$  anında  $N = N_0$  alınarak (2.1) bağıntısının integrasyonundan,

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t \quad (2.2)$$

$$2,303 \log N = 2,303 \log N_0 - \lambda t$$

$$\log N = \log N_0 - 0,4343 \lambda t \quad (2.3)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

elde edilir [1].

Bozunma sabiti radyoaktif elementin bir karakteristiğidir ve bir atomun bozunma olasılığını gösterir [1].

Maddenin başlangıçta aktivitesi  $A_0$  ve bir  $t$  anındaki aktivitesi  $A$  ise (2.4) bağıntısı yerine,

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

yazılır veya sayım hızı bakımından,

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

bağıntısı yazılır [1].

Bir radyoaktif elementin aktivitesi sabit kalmaz, eksponansiyel olarak azalır. Aktivitenin yarıya düşmesi için geçen zamana, göz önüne alınan elementin yarılanma süresi denir.  $T$  yarılanma süresi,

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \quad (2.7)$$

bağıntısı ile tanımlanır ve buradan,

$$e^{\lambda T} = 2$$

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln 2 = \frac{2,303}{\lambda} \log 2 = \frac{0,6931}{\lambda}$$

$$T = \frac{0,6931}{\lambda} \quad (2.8)$$

bağıntısı elde edilir [1].

Bir radyoaktif elementi oluşturan atomlar arasında bazıları çok kısa, bazıları ise çok daha uzun ömürlüdür. Bu sebeple ortalama ömür düşünülür. Ortalama ömür, mevcut olan bütün atomların ömürleri toplamının başlangıçtaki atom sayısına bölmekle elde edilir.  $t = 0$  anında mevcut olan  $N_0$  atomdan  $t$  ile  $t + dt$  arasında değişime uğrayan atom sayısı,

$$dN = \lambda N dt = \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt \quad (2.9)$$

dir.

Bu atomların her biri t zamanı kadar yaşamış oldukları düşünülecek olursa göz önüne alınan bütün atomların ortalama ömrü,

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} \lambda t N_0 e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.10)$$

bulunur. Ortalama ömür bozunma sabitinin tersine eşit olup zaman boyutuna sahiptir ve bir radyoaktif elementin atom sayısının başlangıçta mevcut olan atom sayısının  $1/e$ 'sine düşmesi için geçen zamanı gösterir. Bozunma sabiti, ortalama ömür ve yarılanma süresi arasında,

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{0,6931}{T} \quad (2.11)$$

bağıntısı vardır [1].

## 2.2. Radyasyonun Enerjisi

Radyasyon, enerjisi bakımından yüksek ve düşük enerjili olmak üzere iki alt gruba ayrılabilir.

Yüksek enerjili radyasyon iyonize edici radyasyon olarak da tanımlanır ve atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. Alfa, Beta, Gama ve X-Işınları bu tür radyasyonlardır [2].

Düşük enerjili ya da iyonize edici olmayan radyasyon ise etkileştiği madde içindeki atomları yeteri kadar enerjisi olmadığı için iyonize edemez ve sadece uyarır. Mikrodalgalar, görünür ışık, radyo dalgaları, kızılötesi ve (çok kısa dalga boyluları hariç olmak üzere) morötesi ışık iyonize olmayan radyasyona örnektir [2].

## 2.3. Radyasyon Çeşitleri

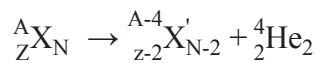
Radyasyon, parçacık veya elektromanyetik dalga şeklinde yayılır. Bu bölümde belli başlı radyasyon türleri hakkında bilgi verilmiştir.

### 2.3.1. Alfa parçacığı

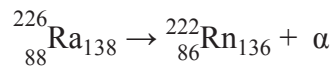
Alfa parçacığı ( $\alpha$ ), iki proton ve iki nötrondan oluşmuş olup helyum atomunun çekirdeği ile özdeştir. Durgun kütlesi  $\sim 6,64 \times 10^{-27}$  kg veya  $\sim 3,73$  GeV/c<sup>2</sup>'dir. Sahip olduğu nispeten büyük elektrik yükü ve kütlesi sebebiyle maddeyle güçlü şekilde etkileşir. Bu sebeple havada yalnızca birkaç santimetre yol alabilir. Deriyi geçemediğinden genellikle dış radyasyon tehlikesi oluşturmaz. Ancak yeme içme, solunum ve yaralar vasıtasıyla vücuda girdiğinde önemli hücre hasarına sebebiyet verir [3].

Çekirdeğin alfa bozunumuna uranyum, toryum ve radyum gibi ağır elementlerde rastlanır [3].

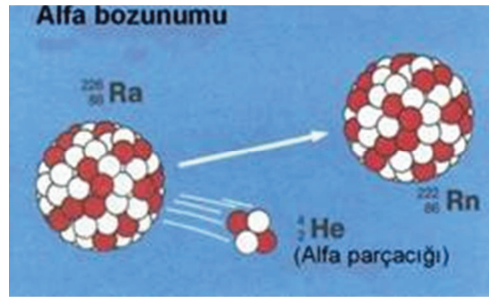
Bozunum denklemi,



şeklinde ifade edilir. Burada X ve X' sırasıyla anne ve kız çekirdeği; A, Z ve N de çekirdeklerin sırasıyla kütle ve atom numarası ile nötron sayısını göstermektedir [3]. Bozunma işleminde kütle ve atom numaralarının her ikisi de korunur.  $\alpha$  – bozunumuna bir örnek [3]



olarak verilebilir. Bu bozunumun sembolik görünümü Şekil 2.2.'de verilmektedir.

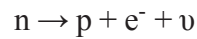


Şekil 2.2. Alfa bozunumu [2].

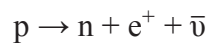
### 2.3.2. Beta parçacığı

Beta parçacığı ( $\beta$ ), bir atomik çekirdeğin radyoaktif bozunumundan yayılan yüksek enerjili bir elektron veya pozitronudur. Belli bir yük ve kütleyle sahip olduğundan, madde içerisinde geçerken yolu üzerinde iyonlaşmaya sebep olur. Ancak bu iyonlaşma, alfa parçacığının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Beta parçacığının katılar içindeki menzili çok fazla olmamakla birlikte hava içerisindeki menzili fazladır. Bu nedenle beta parçacığı yayınlayan radyoizotoplar insanlar için bir dış radyasyon tehlikesi oluşturabilirler [3].

Beta bozunumu  $\beta^-$  ve  $\beta^+$  olmak üzere iki tür olup bu bozunumlardan sırasıyla elektron ( $e^-$ ) ve pozitron ( $e^+$ ) üretilir.  $\beta^-$  bozunumu nötron fazlalığı olan çekirdeklerde,  $\beta^+$  bozunumu ise proton fazlalığı olan çekirdeklerde gerçekleşir.  $\beta^-(\beta^+)$  bozunumunda çekirdekten bir nötron (proton), bir elektron (pozitron) ve bir anti-nötrinoya ( $\bar{\nu}$ ) (nötrinoya ( $\nu$ )) dönüşür.  $\beta^-$  ve  $\beta^+$  bozunumları sırasıyla,

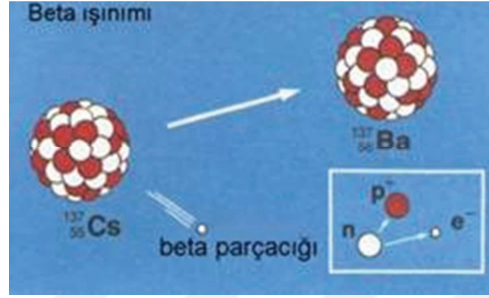


ve



şeklinde ifade edilir.  $\beta^-$  bozunumunun sembolik gösterimi Şekil 2.4.'te verilmiştir.

Çoğu  $\beta$  parçacıkları birkaç milimetre kalınlığındaki alüminyum malzeme ile durdurulabilir. Ancak,  $\beta$  parçacığının malzeme içinde yavaşlatılması sonucu ikincil gama ışınları meydana gelir. Beta parçacığına göre giricilikleri daha fazla olan bu ışınların düşük enerjide üretilmeleri nispeten daha küçük atom numaralı zırhlama malzemesi kullanımını gerektirmektedir [2].

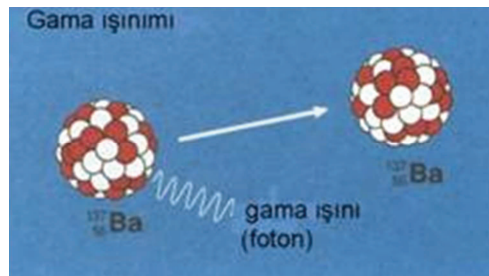


Şekil 2.3. Beta bozunumu [2].

### 2.3.3. Gama ışınları

Gama ışınları ( $\gamma$ ), atomik çekirdeğin radyoaktif bozunumundan çıkan girici elektromanyetik radyasyon olup, atomları iyonize edici niteliktedir. Uyarılmış çekirdeğin alfa veya beta bozunumu yapması sonucu uyarılmış enerji seviyesinde kalan kız çekirdeğin daha düşük enerji seviyesine ve sonunda taban enerji seviyesine inerken yayınladığı fotonlara verilen isimdir [2].

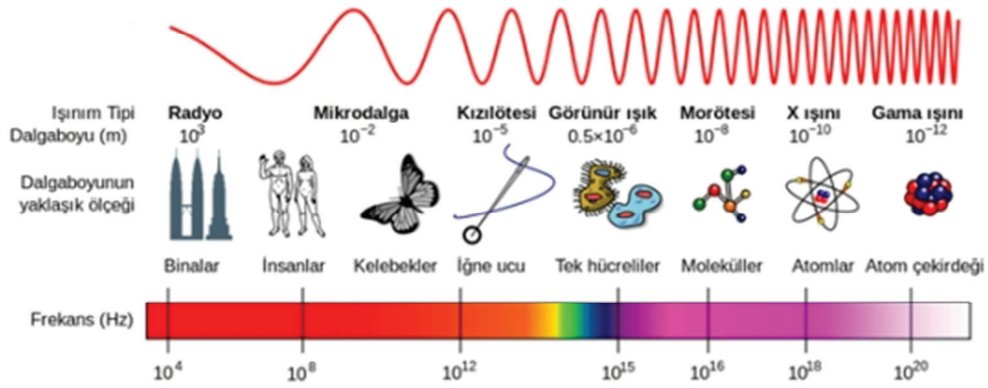
Gama ışınımının sembolik gösterimi Şekil 2.4.'te verilmektedir.



Şekil 2.4. Gama ışınımı [2].

Gama ışınlarının enerjileri tipik olarak 100 keV- 10 MeV arasında ve dalga boyları 10 pm'nin altındadır. Gama ışınları Şekil 2.6.'da gösterilen elektromanyetik

spektrumun en kısa dalga boylu ve en fazla enerjili olanlarıdır. Durgun kütleleri ve yükleri yoktur. Dolayısıyla elektrik ve manyetik alanda sapmazlar [2].



Şekil 2.5. Elektromanyetik spektrum [2].

### 2.3.4. Nötron

Nötron, protonla birlikte atomun çekirdeğini oluşturur. Elektrik yükü sıfır olup, durgun kütlesi  $1,6749 \times 10^{-27}$  kg'dır. Serbest bir nötron kararsız olup bir proton, elektron ve anti-nötrinoya bozunur ve iyonize edici bir radyasyon türüdür. Yüksüz oluşu sebebiyle elektron ve proton ile aynı şekilde iyonizasyona sebep olmazlar. Bu nedenle nötronun dolaylı iyonizasyona sebep olduğu söylenebilir. Ancak yüksek enerjili bir nötron atomu doğrudan iyonize edebilir.

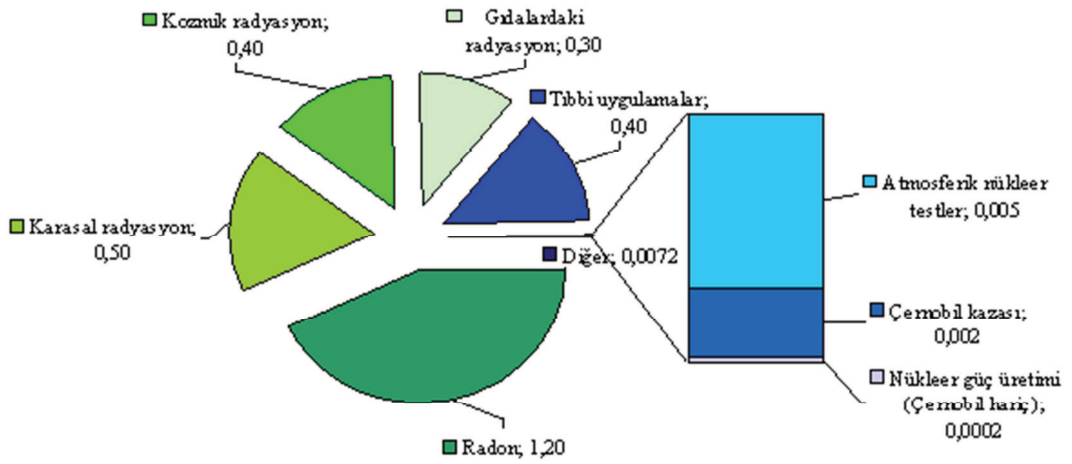
### 2.3.5. Proton

Atomun çekirdeğini meydana getiren bir diğer tanecik protondur. Elektrik yükü pozitif olup, durgun kütlesi  $1,6726 \times 10^{-27}$  kg'dır. Serbest bir proton, yani nükleonlara veya elektronlara bağlı olmayan proton kararlıdır. Serbest protonların elektronlardan ayrılmaları için yeterince yüksek enerji durumunda doğal olarak bulunurlar. Serbest protonlar nadir görülen bazı radyoaktif bozunma türlerinde atom çekirdeğinden doğrudan yayınlanabilir. Ayrıca protonlar, serbest nötronların radyoaktif bozunmasında kararsız olsa da elektronlar ve antinötrinolarla birlikte oluşabilir.



## BÖLÜM 3. RADYASYON KAYNAKLARI

Canlılar hava, su, toprak ve kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ile insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının ışınımına maruz kalmaktadırlar. Şekil 3.1.'de dünya genelinde maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri verilmektedir [5].



Şekil 3.1. Radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri [5].

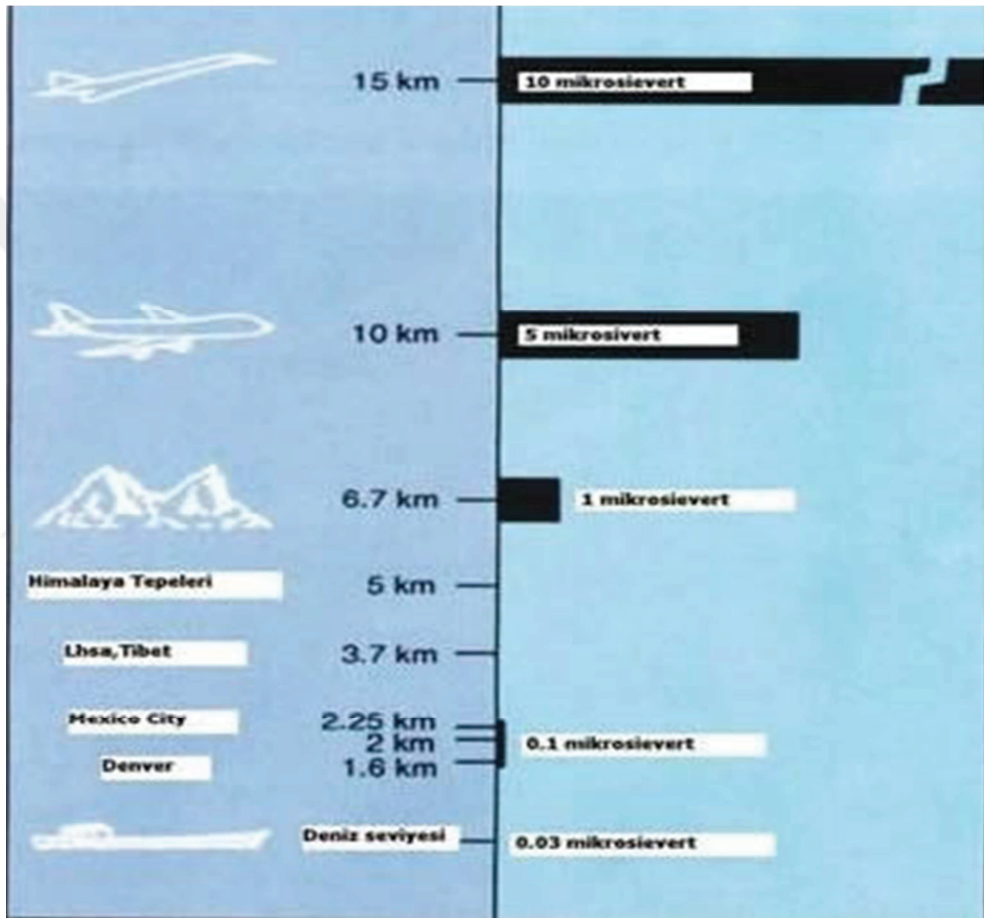
### 3.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyon kaynakları kozmik ışınlar ve yer kabuğundaki doğal radyoaktif izotoplar kaynaklı olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir.

#### 3.1.1. Kozmik ışınlar

Dünya, uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklarla (çoğunlukla proton) sürekli olarak bombardıman edilmektedir. Dünya atmosferine ulaşan bu parçacıkların

atmosferle etkileşmeleri sonucu ikincil parçacıklar meydana gelir ve bu ikincil parçacıkların bir kısmı dünya yüzeyine ulaşabilirler. Yüklü kozmik ışınların dünyanın manyetik alanı tarafından saptırılmaları sebebiyle kozmik ışın yoğunluğu ekvatorдан kutuplara gidildikçe artar. Bunun yanı sıra yer yüzeyinden yükseklere çıkıldıkça kozmik ışın yoğunluğu artış gösterir. Şekil 3.2.'de kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yer yüzeyinden olan yüksekliğe göre değişimi verilmiştir.



Şekil 3.2. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi [5].

### 3.1.2. Yeryüzü kaynaklı doğal radyasyon

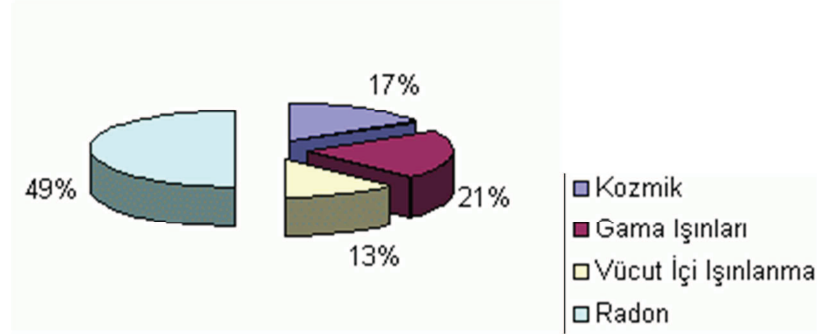
Radyoizotoplar, dünyanın oluşumundan itibaren yer kabuğunda doğal olarak bulunurlar. Bu sebeple doğal radyoaktivite, kaya, toprak, su ve havada mevcuttur. Ayrıca yapı malzemeleri, taş ve topraktan üretildiklerinden radyoaktivite içerebilirler. Bunun sonucu olarak konut dışından olduğu gibi bina içlerinde de

radasyona maruz kalınır. Alınan radyasyon dozu, bölgenin jeolojik yapısına ve binalarda kullanılan yapı malzemelerine göre farklılık göstermekle birlikte doğal gama radyasyonu nedeniyle alınan yıllık toplam etkin doz değeri yaklaşık 0,48mSv'dir.

Radyoaktif maddeler insan vücuduna; yeme, içme ve hava teneffüs etme suretiyle girer. İnsan vücudunda sürekli olarak mevcut bulunan radyoaktif elementler sebebiyle radyasyona maruz kalınır.  $K^{40}$  insan vücudunda bulunan radyoaktif elementlere örnek olarak verilebilir. Vücuttaki doğal radyoizotopların varlığı sebebiyle maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,25mSv civarındadır.

Yer kabuğunda yaygın olarak bulunan radyoaktif radyum elementinin ( $Ra^{226}$ ) bozunması sırasında salınan radon gazı doğal radyasyon düzeyini artıran en önemli faktörlerden biridir. Atom numarası 86 olan radon gazı periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alır. Renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Radon, tüm yüzey toprak ve kaya parçalarının yanı sıra yapı malzemelerinden ortama salınır. Radon gazının yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sistemlerinin olmaması durumunda radon gazı evin içinde dışarıdakinden çok daha fazla olur. Radonun reaktivitesi zayıf olduğundan, teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz ve dokulardaki çözünürlüğü oldukça düşüktür. Ancak, radon bozunma ürünleri toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturabilirler ve böylelikle taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Bozunma ürünlerinin bazıları alfa yayıcısı olduğundan, alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanır. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3mSv/yıl'dır.

Şekil 3.3.'te doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir. Tablo 3.1.'de ise dünya genelinde ölçülen doğal radyasyon seviyelerinin ortalama değerleri verilmektedir [2].



Şekil 3.3. Dünya genelinde radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri [2].

Tablo 3.1. Türkiye'nin bazı şehirlerinde ve bazı ülkelerde ölçülen radyasyon seviyelerinin ortalama değerleri [2].

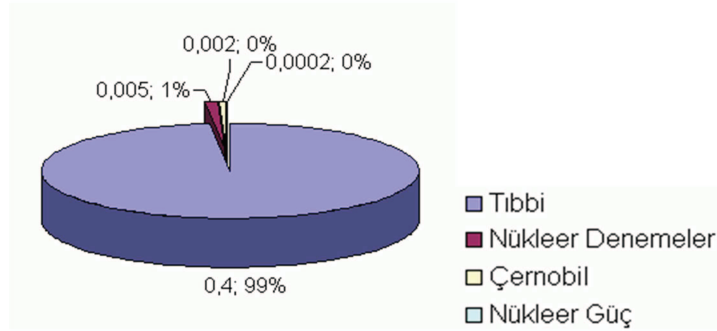
Yer	Yıllık Ortalama Doz (mSv/yıl)
Mersin (Akkuyu)	0,53
Ankara	0,44
Iğdır (Alican)	0,88
Çanakkale	1,23
Kars (Digor)	1,58
Hindistan (Kerela)	15,80
İran (Ramser)	148,92
Brezilya (Guaraparik kumsalları)	788,40

### 3.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

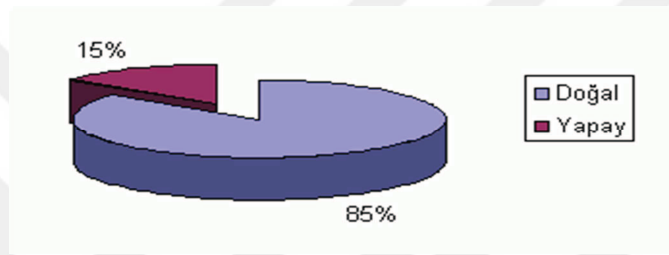
Geçen yüzyıldan günümüze, insanlık doğal radyasyon kaynakları dışındaki kaynaklar sebebiyle de radyasyona maruz kalmaktadır. Bu kaynakların büyük bir kısmı insanlık yararına olup, yapay yollarla üretilir ve doğal radyasyon kaynaklarının aksine kontrol altına alınabilirler. Kontrol altına alınabiliyor olmaları maruz kalınan radyasyon dozunun sınırlanabilmelerine olanak sağlar.

Yapay radyasyon kaynaklarının başlıca kullanım alanları arasında; tıp, biyoloji, kimya, metalurji, tarih ve arkeoloji sayılabilir. Şekil 3.4.'te yapay radyasyon

kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozları ve oransal değerleri [2].



Şekil 3.5. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranları [2].

Şekil 3.5.'te doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozuna oransal katkıları gösterilmektedir.

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı Tablo 3.2.'de verilmektedir [2].

Tablo 3.2. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı [2].

Kaynak	Doz (mSv/yıl)
Kozmik	0,39
Gama	0,46
İç	0,23
Radon	1,30
Tıbbi	0,30
Serpinti	0,007
Mesleki	0,002
Atıklar	0,001
Tüketici Ürünleri	0,0005

## BÖLÜM 4. RADYASYONLARIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

### 4.1. Elektromanyetik Radyasyonların Madde ile Etkileşimi

Nükleer radyasyonlar arasında elektromanyetik radyasyon olarak  $\gamma$  ışınları ve X ışınları radyasyonları düşünülür.

Elektromanyetik radyasyonların ve örneğin  $\gamma$  radyasyonlarının madde absorplanması  $\alpha$  ve  $\beta$  gibi yüklü parçacıkların madde tarafından absorpsiyonundan tamamıyla farklı bir şekilde olur. Reaksiyon özellikle atomun elektronları ile olur.  $\gamma$  radyasyonu enerjisinin büyük bir kısmını ve hatta tamamının büyük bir kısmını kaybedebilir. O halde  $\gamma$  ışınlarının,  $\alpha$  ve  $\beta$ 'larda olduğu gibi belli bir erişme uzaklığı yoktur. Radyasyonlar üstel bir kanuna göre absorplanır. Eğer homojen bir radyasyon demetinin ilk şiddeti  $I_0$ ,  $x$  kalınlığındaki bir absorplayıcı maddeden geçtikten sonraki şiddet  $I$  ise,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (4.1)$$

bağıntısı geçerlidir; burada  $\mu$  toplam veya lineer absorpsiyon katsayısı olup radyasyonun içinden geçtiği maddeye ve radyasyonun enerjisine bağlıdır. Elektromanyetik radyasyonların maddeden geçerken zayıflamaları yarı kalınlık adı verilen bir miktar ile ifade edilir. Bu miktar, radyasyon şiddetinin yarıya inmesi için gerekli olan absorplayıcı madde kalınlığını gösterir. Yukarıdaki bağıntıdan,

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\mu x \quad (4.2)$$

$$2,303 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\mu x$$

$$2,303 \log\left(\frac{1}{2} \frac{I}{I_0}\right) = 2,303 \log \frac{1}{2} = -\mu x_{1/2}$$

$$x_{1/2} = \frac{0,693}{\mu} \quad (4.3)$$

bulunur; burada  $x_{1/2}$  yarı kalınlıktır.

Gama ışınlarının absorpsiyon ölçüleri saçılma olaylarını önlemek için kurşun filtrelerle yapılır.

Bir fotonun madde ile olan reaksiyonunda, çarpışma çekirdekle, bir elektronla ya da çekirdeğin alanı ile olur. Bu çarpışmalar esnek, esnek olmayan ya da fotonun tamamıyla absorpsiyonu şeklinde olur. Gama ışınlarının absorpsiyonundan şu üç olay meydana gelmektedir. Bunlar fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumdur [1].

#### 4.1.1. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay, yeterli büyüklükte frekansa sahip bir radyasyonun bütün enerjisini kaybederek atomdan elektron koparması olayıdır. Elektron koparması sonucu bir iyon çifti meydana gelir. Meydana gelen elektronlara foto elektron denir. Fotoelektrik absorpsiyon radyasyonun enerjisinin düşük (0,5 MeV'dan daha az) ve içinden geçtikleri maddenin atom numarasının büyüklüğü ile orantılıdır.

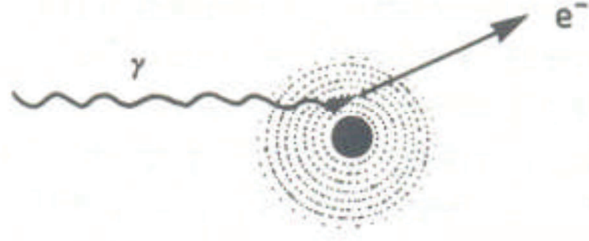
Fotoelektrik absorpsiyon olasılığı  $\sim \frac{Z^5}{E_\gamma^2}$ 'dir (Burada Z atom numarası ve  $E_\gamma$  gama enerjisidir). Gelen  $\gamma$  radyasyonunun enerjisi  $h\nu$  ise fotoelektrik absorpsiyonda,

$$h\nu = W + \frac{1}{2}mV^2 \quad (4.4)$$

Einstein bağıntısı geçerlidir; burada W, elektronun çekirdeğin elektrik alanından koparılması için gereken enerjidir, buna çıkış işi de denir ve her metal için bir sabittir.  $\frac{1}{2}mV^2$  de elektronun kinetik enerjisidir. O halde gelen gama radyasyonunun enerjisi, elektronu bulduğu seviyeden koparmaya ve bir de  $h\nu - W$  farkına eşit elektronun kinetik enerjisine harcanmıştır. h Planck sabiti olup değeri



$h = 6,62 \times 10^{-27}$  erg.s.'dir. Eğer  $h\nu = W$  ise, foto elektronların hızı sıfırdır. O halde minimum bir  $\nu_0$  frekansı vardır ki, bundan daha küçük frekanslı bir radyasyon için fotoelektrik olay meydana gelmez. Buna göre yukarıdaki denklem  $h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}mV^2$  veya  $\frac{1}{2}mV^2 = h(\nu - \nu_0)$  olur.  $\nu_0$  eşik frekans metalin cinsine bağlıdır [1].



Şekil 4.1. Fotoelektrik olay [5].

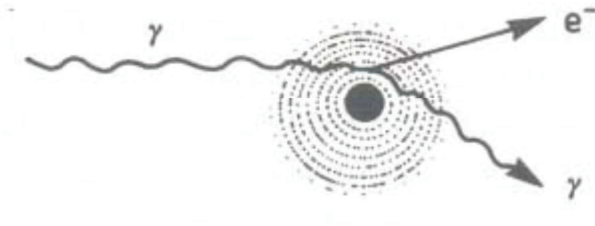
#### 4.1.2. Compton olayı

Zayıf bağlı veya serbest elektronlar gelen foton ile etkileşir. Gelen fotonlar ile etkileşen elektronlar, elastik saçılma yaparak enerjisinin ve momentumunun bir kısmını elektronlara aktarır ve düşük enerjili bir foton olarak yoluna devam eder. Gama ışını, enerjisinin düşmesi sonucu bir açı ile saçılabilir ve bu saçılma sonucu ortaya çıkan enerji kaybı, elektronlara kinetik enerji olarak geçer.

Gelen fotonun enerjisi  $E_\gamma$ , saçılan fotonun enerjisi  $E'_\gamma$ , elektronlara aktarılan enerji ise,

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma^2 (1 - \cos \theta)}{m c^2 + E_\gamma (1 - \cos \theta)} \quad (4.5)$$

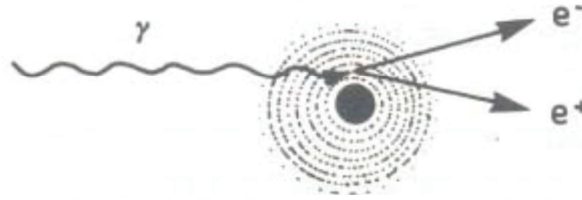
ile hesaplanır. Burada  $T_e$  elektronlara aktarılan kinetik enerjidir.



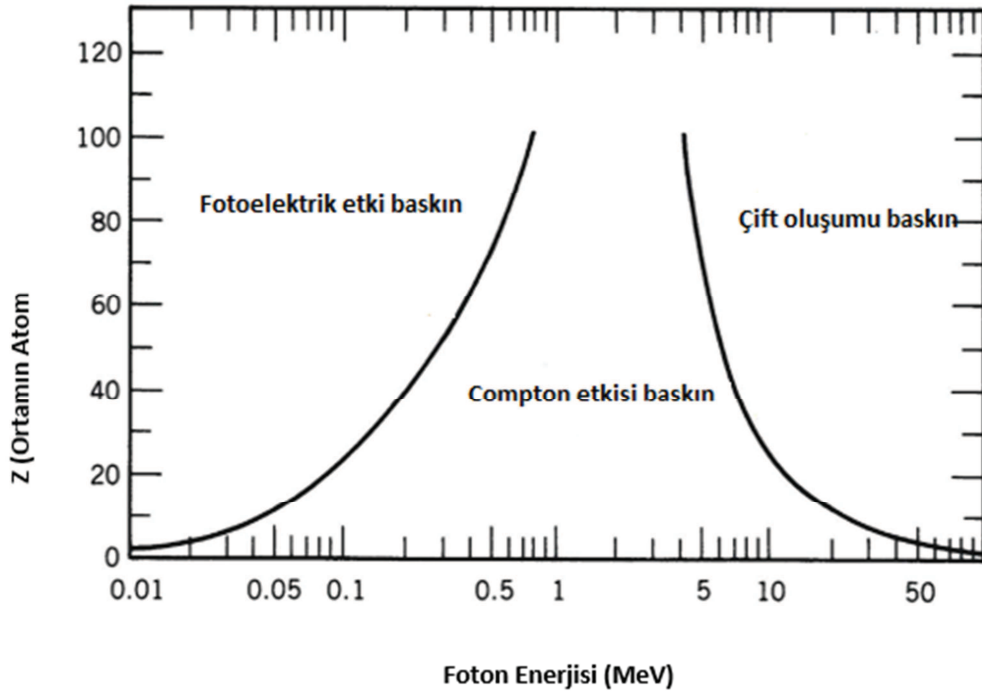
Şekil 4.2. Compton saçılması [5].

### 4.1.3. Çift oluşumu

Bir gama ışınının enerjisi  $2 \times 0,51 \text{ MeV} = 1,02 \text{ MeV}$ 'den daha büyük ise, radyasyonun enerjisi atom çekirdeğine yaklaştığında bir pozitif ve bir negatif elektrona dönüşür. Enerji fazlası meydana gelen elektronların kinetik enerjisine harcanır.



Şekil 4.3. Çift oluşumu olayı [5].



Şekil 4.4. Gama radyasyonunun madde ile etkileşim süreçlerinin foton enerjisine göre baskınlığı [4].

$I = I_0 e^{-\mu x}$  denkleminde görülen toplam absorpsiyon katsayısı, yukarıda özetlenen üç farklı olaya ait absorpsiyon katsayılarının toplamıdır:

$$\mu = \tau + \sigma + k \quad (4.6)$$

Burada  $\mu$ , toplam ya da lineer absorpsiyon katsayısı,  $\tau$  fotoelektrik absorpsiyon katsayısı,  $\sigma$  Compton absorpsiyon katsayısı ve  $k$  de çift oluşumu absorpsiyon katsayısıdır [1].

## 4.2. Yüklü Parçacıkların Madde ile Etkileşimi

Yüklü bir parçacık madde içerisinde bir uçtan diğer uca geçerken, elektronlar ile çarpışması sonucunda enerjisini sürekli kaybetmektedir. Belli bir mesafeden sonra da enerjisinin tümünü kaybetmiş olur. Bu mesafeye parçacığın menzili denilmektedir. Parçacığın menzili; parçacığın türüne, malzemenin yapısına ve parçacığın enerjisine bağlıdır.

Yüklü parçacıkların enerjileri madde tarafından soğurulmasının ölçümüyle tayin edilir. Genel olarak yüklü parçacıklar madde içerisinde geçerken enerji kaybı ve doğrultularında sapmaların oluşması gibi iki ana özellik ile karakterize edilirler.

Proton ve alfa ağır yüklü, elektron ve pozitron hafif yüklü parçacıklardır.

### 4.2.1. Ağır yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi

Ağır yüklü parçacığın kinetik enerjisi atomun iyonlaşma enerjisinden büyük ise, parçacık enerjisini gidiş yolu üzerindeki atomları iyonlaştırmak için maddeye aktarır. Bir ağır parçacık ve bir elektron arasındaki çarpışmada, ağır parçacık ihmal edilebilir bir açıyla saptırılır. Böylece parçacık hemen hemen doğru bir yol boyunca ilerler.

Gelen ağır yüklü parçacık iyonizasyon enerjisinden daha büyük enerjiye sahip değilse, uyarılma durumu gerçekleşir.

#### **4.2.2. Hafif yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi**

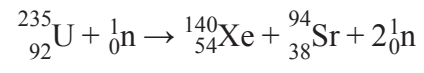
Hafif yüklü parçacıklar arasında bulunan elektronlar, diğer elektronlar ile çarpışmaları sonrasında büyük sapmalara uğrarlar ve izledikleri yörüngeler düzensizdir. Böylece menzilleri elektronların takip ettikleri yol uzunluğundan çok farklı olabilir.

#### **4.3. Nötronların Madde İle Etkileşimi**

Nötronun toplam yükü sıfır olduğundan kolaylıkla madde atomlarının çekirdek alanlarına girebilirler. Bu yüzden nötronun madde ile etkileşmesi daha çok çekirdek etkileşmeleridir. Nötronun çekirdekle etkileşmesi sırasında meydana gelen nükleer reaksiyonlar, saçılma reaksiyonları ve absorpsiyon reaksiyonları olmak üzere iki ana başlıkta incelenir.

Saçılma reaksiyonları, esnek ve esnek olmayan saçılmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Esnek saçılmada gelen nötron çekirdekte bir uyarma yapmadan çekirdek alanından saçılır. Esnek olmayan saçılmada ise nötronla çekirdek çok kısa bir süre bileşik bir çekirdek oluşturarak uyarılmış durumda bulunurlar ve nötron, çekirdeği terk eder. Çekirdek bir gama ışını yayınlarken taban durumuna döner.

Absorpsiyon reaksiyonları değişik şekillerde olabilirler. Hedef çekirdek kendi alanından geçen nötronu yakalayıp bileşik bir çekirdek oluşturduktan sonra, bileşik çekirdek çok kısa bir zaman içinde ikiye bölünür veya çekirdek altı parçacıklar yayınlarken fazlalık enerjisini atar. Nötronlar fisyon reaksiyonları gerçekleştirerek madde ile etkileşebilirler. Bir de gama ışını ve alfa ışını yayınlarken, bir proton ve iki nötron fırlatarak madde ile etkileşebilirler. Örnek bir fisyon reaksiyonu,



şeklinde gösterilebilir [6].



## **BÖLÜM 5. RADYASYON ÖLÇÜM METOTLARI VE RADYASYON SAYAÇLARI**

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri radyasyona hassas cihazlar ile yapılır. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır. Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduklarından, radyoaktivite özelliği gösterir. Yani kararsız çekirdekler parçalanır ve parçalanma sonucu yeni bir çekirdek ve parçalanma ürünleri meydana gelir. Atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayınlanır [2].

Nükleer aktiviteyi belirlemek için kullanılan tüm dedektör sistemleri benzer çalışma prensipleri üzerine kurulmuşlardır. Öncelikle dedektör içerisine giren radyasyon dedektör materyalinin atomlarıyla etkileşimi sırasında, enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybederek dedektör materyalinden düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Salınan bu elektronlar elektronik devre yardımıyla akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülerek analiz edilir. Dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyonun tipine bağlıdır.

Bu kesimde nükleer radyasyonların ölçümünde kullanılan gazlı dedektörler, sintilasyon dedektörleri ve yarı-iletken dedektörler tanıtılacaktır [1].

### **5.1. Gazlı Dedektörler**

Radyasyonun gaz ortamı içinde meydana getirdiği iyonların toplanması ilkesine dayanır. Dedektör içinde radyasyonun ortaya çıkardığı negatif (-) ve pozitif (+) iyonların yüksek gerilim kaynağı tarafından uygulanan elektrik alanı yardımı ile elektrotlar üzerinde toplanması sağlanır. Dedektörün merkezinde pozitif yüklü anot ve bunun çevresinde silindirik şekilde negatif yüklü katot bulunur. Dedektör içinde

radyasyon tarafından oluşturulan negatif iyonlar elektrik alanından dolayı hızla anoda ve pozitif yüklü iyonlar ise katotta toplanır. Bu durum anot ve katot arasında küçük bir elektrik akımının geçmesine neden olur. Ölçüm sistemine bağlı olarak bu akım ya doğrudan ya da elektrik puslarına çevrilerek dedekte edilir. Gazlı dedektörler; İyonlaşma odası, Orantılı sayaçlar ve Geiger-Müller (G-M) dedektörleri olmak üzere üç farklı yapıdadırlar [1].

### 5.1.1. İyonlaşma odası

İyonlaşma odası dedektör türleri arasında en basit olanıdır. Bu tür dedektörler levhaları arasında gaz veya hava doldurulmuş ve elektrik alan uygulanmış anot ve katot olarak bilinen iki elektrottan oluşur. Elektrotlar arasındaki gaz gelen iyonize edici radyasyon ile iyonize edildiğinde iyon çiftleri meydana gelir. Anot ve katot arasına uygulanan potansiyel farkı, dolayısıyla elektrik alan sayesinde iyon ve elektronların yeniden bir araya gelmelerine engel olunur. Elektronlar pozitif, pozitif yüklü iyonlarda negatif potansiyele sahip levhaya doğru sürüklenirler. Anot ve katot arasındaki potansiyel farkı genellikle 100-500V arasındadır. Hava ortamında bir iyon üretmek için ortalama olarak 34eV'lik enerji gerekli olduğu düşünülürse, 1MeV'lik radyasyonun yaklaşık  $3 \times 10^4$  iyon çifti ürettiği söylenebilir. Daha yüksek enerjili radyasyonlar daha fazla sayıda iyonlaşmaya neden olur [1].

Sinyalin genliği ile oluşan iyonların sayısı orantılı olup, levhalar arasına uygulanan gerilimden bağımsızdır. Bu gerilim zıt yüklü levhalara doğru sürüklenen elektron ve iyonların kinetik enerjilerini dolayısıyla hızlarını belirler. Elektronlar iyonlara göre çok daha hızlı hareket ederler. [1].

### 5.1.2. Orantılı sayaçlar

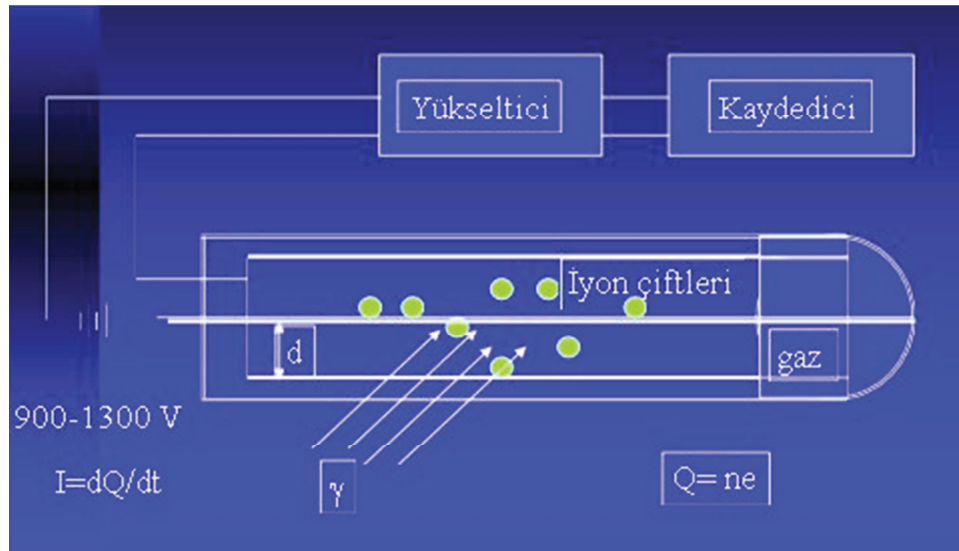
Puls yüksekliğini artırmak için levhalar arasındaki potansiyel farkının dolayısıyla elektrik alanının artırılması iyonizasyon sonucu ortaya çıkan elektronların daha da

hızlanmasına ve ortamdaki gaz atomlarıyla daha fazla esnek çarpışmalar yapmasına neden olur. Bu şekilde sürüklenen elektronlar esnek olmayan çarpışmalar yapmaya yeterli enerjiye sahip olabilirler, böylece ortamın atomlarında yeni iyonizasyona neden olurlar. Oluşturulan bu ikincil iyonlar da *Townsend çığı* denilen bir etkiye neden olacak şekilde hızlandırılır. Bu çığ tek bir yüksek elektrik pulsu üretir [1], [2].

Orantılı sayaçlarda genellikle %90 Ar ve %10 CH<sub>4</sub> gazı karışımları kullanılır. Orantılı sayaçlar  $\alpha$  ve  $\beta$  aktivitesi ölçmenin yanı sıra, gama ışınları gibi yüksek enerjili fotonların ve X ışınlarının tespit edilmesinde kullanışlıdır [1], [2].

### 5.1.3. Geiger Müeler (G-M) dedektörleri

Dedektörler içinde en yaygın olarak kullanılan olup, belli bir tip gaz ile dolu silindirik metal bir tüp içerir (Şekil 5.1.). Merkezinden geçen ve silindirin dışına göre yaklaşık  $+10^3$  volt potansiyelde tutulan bir anot teli vardır. Voltaj, gerekli olan iyonize voltajından biraz büyüktür [1].



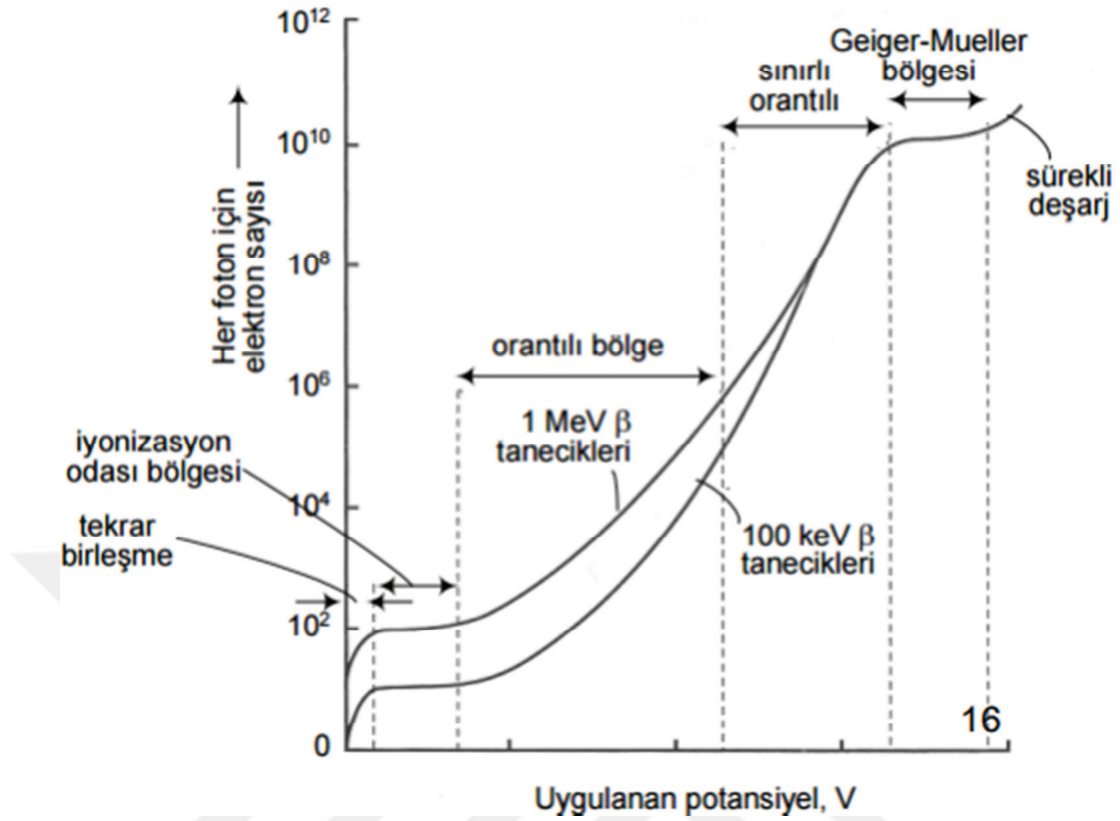
Şekil 5.1. Geiger Sayacı [2].



İyonize edici radyasyon, tüpün bir ucunda bulunan ‘‘pencereden’’ içeri girdiğinde gaz atomlarını uyarır. Serbest elektronlar pozitif tele doğru çekilirler ve ivmelenmeleriyle birlikte çarpışma sonucu ilave atomları iyonize ederler. Bir elektron çığı hızla üretilir ve anot teline ulaştıklarında bir voltaj pulsı üretirler. Puls yükseltildikten sonra elektronik sayıcıya gönderilir. Bu sayımlar ne kadar parçacığın dedekte edildiğini gösterir. Pulslar bir hoparlöre gönderilip bir ‘‘bip’’ sesi şeklinde duyulmaları sağlanır. Bu dedektörler ile az iyonlaşma meydana getiren yüklü parçacıklar ölçülür. Bu dedektörle parçacık enerjisinin ölçülmesi ve parçacık cinslerinin birbirinden ayrılması söz konusu değildir. Beta parçacıkları odanın önüne yerleştirilen bir zırh ile tutulup, sadece gama işınları sayılabilir [1].

G-M dedektörleri aracılığıyla düşük enerjili X ve  $\gamma$  işınları ölçülebilir. Düşük şiddetteki radyasyona duyarlı olmakla birlikte bu detektörlerle enerji ayrımı yapılamaz. Bu dedektör türü dış etkilere dayanıklılığı ve düşük maliyeti sebebiyle yaygın olarak kullanılır [1].

G-M dedektörlerinde ölçülen tüm radyasyon türleri aynı çıkış sesini verir.



Şekil 5.2. Bir sayıcının voltaja bağlı olarak çeşitli çalışma bölgeleri [2].

Gazlı sayaçlarda çalışma bölgesi Şekil 5.2.'de özetlenmiştir. Uygulanan gerilimin düşük olduğu durumlarda birincil elektron ve iyon tekrar bir araya gelebilir. Gerilim arttırıldıkça ortaya çıkan pulslar birincil iyonlaşma ve radyasyon enerjisi ile orantılı, uygulanan gerilimden ise bağımsızdır. Bu bölge iyonizasyon odası bölgesi olarak adlandırılır. Gerilim daha da arttırılırsa orantılı bölgeye ulaşılır. Bu bölgede gerilim arttırıldıkça puls yüksekliği artar. Pulsların çıkış yüksekliği ortamı geçen radyasyon enerjisi ile orantılıdır. Bu da parçacık ayırımı ve enerji ölçümü yapmayı olanaklı kılar. Geiger Müller bölgesinde puls yükseklikleri gelen parçacık sayısı ile orantılı, ancak ışınım enerjisine bağlı değildir [1], [7], [8].

## 5.2. Sintilasyon Dedektörleri

Sintilatörler, iyonize edici radyasyon içlerinden geçtiğinde kırılma veya parıdamalar oluşturan katı, sıvı veya gaz malzemelerdir. İlk olarak 1910 yılında Rutherford tarafından alfa saçılması deneylerinde kullanılmıştır [11].

Bir sintilatörde oluşan ışık miktarı oldukça küçüktür. Bir puls veya başka bir şekilde kaydedilmeden önce yükseltilmesi gerekir. Bir sintilatörün ışınının yükseltme veya çoğaltma foto çoğaltıcı tüp olarak bilinen bir cihazla sağlanır. Foto çoğaltıcı isminden de anlaşıldığı üzere az miktardaki ışığı pek çok kez yükseltir ve çıkışta yüksek bir puls verir. Çoğu ticari foto çoğaltıcı tüplerin yükseltme gücü  $10^6$  mertebesindedir [9], [11].

Sintilatör dedektörlerinin çalışması iki genel aşamada özetlenebilir:

A. Sintilatör tarafından gelen radyasyon enerjisinin absorpsiyonu ve elektromanyetik spektrumun görünür kısmında fotonların oluşumu.

B. Işığın foto çoğaltıcı tüp tarafından çoğaltılması ve çıkış pulsunun üretilmesi.

Farklı türdeki dedektörler inorganik, organik ve gazlı sintilatörler olmak üzere üç gruba ayrılabilir [9], [11].

### 5.2.1. İnorganik sintilatörler

İnorganik sintilatörlerin çoğu alkali metallerin kristalleridir. NaI(Tl), CsI(Tl), CaI(Na), LiI(Eu), Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, CdWO<sub>4</sub> ve CaF<sub>2</sub>(Eu) bu sintilatörlere örnek olarak verilebilir. Parantez içindeki element safsızlık veya aktivatörü temsil eder. Aktivatör nispeten küçük konsantrasyona (örneğin NaI(Tl) molekül başına  $10^{-3}$ 'lük

konsantrasyona sahiptir) sahip olmakla beraber bu aktivatör kristaldeki ışıltıdan sorumludur [11].

İnorganik sintilatörler içerisinde gama ışınlarının tespiti için en yaygın olarak kullanılanı NaI(Tl) olanıdır. Nispeten yüksek yoğunluğu ( $3,67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) ve yüksek atom numarası ile beraber büyük hacmi bu dedektörü yüksek verimliliğe sahip bir gama ışını dedektörü kılar. Yarı iletken dedektörler daha iyi enerji çözünürlüğüne sahip olmakla beraber büyük dedektör hacimlerinin gerektiği deneylerde NaI(Tl) yerini tutamazlar [11].

CsI(Tl), NaI'dan daha yüksek yoğunluğa ( $4,51 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) ve yüksek atom numarasına sahiptir. Bu nedenle gama tespiti için verimliliği daha fazladır. Oda sıcaklığında CsI(Tl)'un ışık dönüştürme verimi NaI(Tl)'un veriminin %45'ine tekabül eder. NaI'dan daha yumuşak ve daha plastik olması sebebiyle darbelere, titreşimlere, büyük sıcaklık gradiyentleri ve anlık sıcaklık değişimlerine dayanıklıdır. Bu özellikler onu uzay deneyleri için uygun kılar [11].

### 5.2.2. Organik sintilatörler

Etkin organik sintilatörler aromatik bileşikler sınıfında yer alır. Organik sintilatörler uygun bileşiklerin bir araya gelmesiyle oluşurlar. Karışımdaki bileşiklerin sayısına bağlı olarak birli, ikili, üçlü gibi isimler alırlar. En yüksek konsantrasyona sahip madde *çözücü* (solvent) olup, diğerleri *çözünen* (solute) olarak adlandırılır. İkili sintilatör bir çözücü ve bir çözünenden, üçlü sintilatör de bir çözücü, bir birincil çözünen ve ikincil çözünenden oluşur [11].

Organik sintilatörlerde ışık üretimi moleküler geçişlerin sonucu oluşur. İnorganik ve organik sintilatörler arasındaki en önemli farklardan biri tepki zamanıdır. Bu zaman inorganik sintilatörler için 1µsn iken organik sintilatörler 10 nsn daha azdır. Bu da onları *Fast Timing* ölçümlerinde elverişli kılar. Organik sintilatörler organik kristal, organik sıvı ve plastik sintilatörler olarak gruplandırılabilir [11].

En yaygın organik sintilatörler antresan ve stilbendir. Antresanın yoğunluğu  $1,25 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  olup, bütün organik sintilatörler içerisinde en yüksek ışık dönüşüm verimine sahiptir. Ancak bu verim NaI(Tl)'un ışık dönüşüm veriminin sadece üçte birine karşılık gelir. Yaklaşık 30nsn'lik bozunma zamanı inorganik kristallerden oldukça kısadır [11].

Stilbenin yoğunluğu  $1,15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  olup, 4 ile 8nsn arasında bir bozunma zamanına sahiptir. Stilbenin dönüşüm verimi antresaninkinin yaklaşık yarısı kadardır. Bu kristaller ısısal ve mekanik şoklara duyarlıdır [11].

Sıvı sintilatörler, verimi artırmak için çok büyük hacimli bir detektöre ihtiyaç duyulan ölçümlerde oldukça kullanışlıdır. Kozmik ışınların tespiti ve MeV bölgesindeki nötronların enerji spektrumunun ölçülmesinde bu tür detektörlerden faydalanılabilir [11].

Plastik sintilatörler, organik sintilatörlerin katı solüsyonları olarak düşünülebilir. Sıvı organik sintilatörler ile benzer özellik sergilerler. Sıvılardan farklı olarak bir kaba ihtiyaç duymamak gibi avantaja sahiptirler. Bu sintilatörler, neredeyse istenilen her tür şekilde ve ölçüde üretilebilir. Su, hava ve çoğu kimyasalla tepkimeye girmez [11].

### 5.2.3. Gazlı sintilatörler

Gazlı sintilatörler asal gazların bir karışımıdır. Oldukça kısa bozunma zamanına sahiptirler. Gama ölçümleri için çok düşük verime sahiptirler. Gazlı sintilatörler, ağır yüklü parçacıkların enerji ölçümleri için uygundur [11].

### 5.3. Yarıiletken Diyot Dedektörü

Germanyum (Ge) ya da silisyum (Si) gibi son yörüngelerinde dört elektron bulunan bir kristale katkı maddeleri (B-bor, P-fosfor vb.) eklenerek *p-tipi* ve *n-tipi* yarıiletkenler elde edilir. P ve n-tipi yarıiletken maddeler kullanarak diyot elemanında olduğu gibi p-n eklemleri yapılır. Bu ekleme uygun yönde (diyota göre ters) bir gerilim uygulanırsa serbest yüklerden yani elektron ve hollerden (deşik) arındırılmış bir bölge elde edilir. Bu bölgeyle gelen radyasyonun etkisi ile iyonlaşma olur ve elektron-hole çiftleri oluşur. Bu çiftler elektrik alan etkisiyle dedektörde bir akım pulsu oluşturur. Bir elektron-hole çifti oluşturabilmek için silisyumda 3,76eV, germanyumda ise 2,96eV enerjiye ihtiyaç duyulur. Bu değer gaz dolu dedektörlerde ise 30-35eV civarındadır. Bu sebeple yarıiletken detektörlerde iyon çifti oluşumu gaz dolu detektörlere göre on kat daha fazladır. Dolayısıyla yarıiletken dedektörlerin enerji ayırım gücü gazlı detektörlere göre çok daha yüksektir [7].

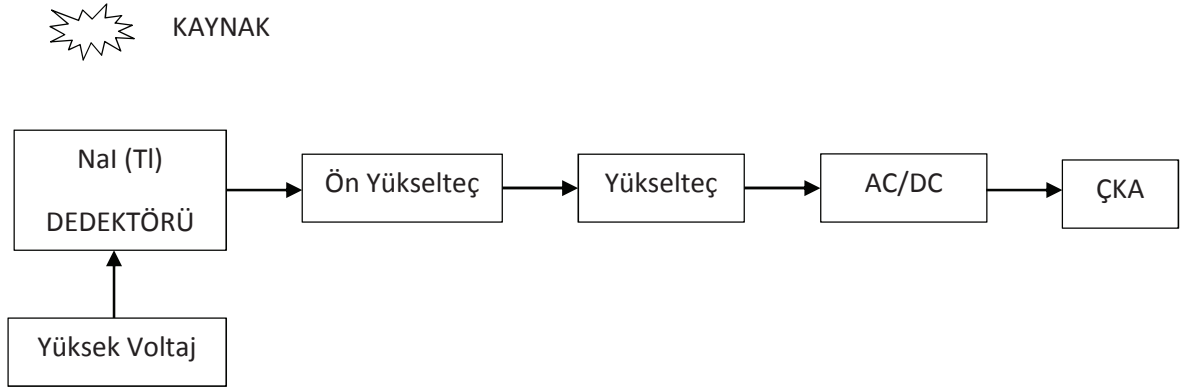
## BÖLÜM 6. NaI (TI) GAMA SPEKTROSKOPİ SİSTEMLERİ

NaI(Tl) kristali nem kapıcı olduğundan, foto-çoğaltıcıya optik kontak yapılan yüzü haricinde bütün çevresi Al levha ile kaplıdır. Bu levhanın iç kısmı ışık yansıtıcı olarak iş gören magnezyum oksit ile kaplıdır. Bir yüklü parçacık veya fotonun sebep olduğu ilk iyonlaştırmadan dolayı kristalinin içinde serbest elektronlar meydana gelir. Bu elektronların kristalin atom veya moleküllerine bağlanması işleminde görünür bölgede, yaklaşık 3300Å'dan 5000Å'a kadar değişen dalga boyunda ışık yayınlanır. Sintilatörler kendi ışıkları için şeffaf olduklarından kristalden yayınlanan ve yüzeylerden yansıyan bu ışınlar foto-çoğaltıcı tüpün foto katodu üzerine düşerler.

Foto katodun yüzeyi, ince bir sezyum-antimon alaşımı levhadan yapılmış olup, burada gelen ışınlar elektron yayınlanmasına neden olur.

Foto-çoğaltıcı, her bir çoğaltıcıda peş peşe ve voltaj artmaları olacak şekilde, yaklaşık 800 ile 1500 Volt arasında bir voltajda çalıştırılır. Bu ise elektronların foto katottan son çoğaltıcıya kadar giderken sayılarının peş peşe artması neticesini verir. Çoğalmanın veya toplam kazancın (yani, foto katottan yayınlanan her bir elektrona karşılık son çoğaltıcıdan yayınlanan elektron sayısının)  $10^6$  ile  $10^7$  civarında olması mümkündür. Bu elektron çoğalmasında elde edilen darbenin yüksekliği, gelen foton veya parçacığın enerjisiyle orantılıdır. Bu darbeler büyütülerek bir sayıcı ile sayılabilirler. Yerin manyetik alanının etkisinin üstesinden gelebilmek için foto-çoğaltıcı bir manyetik perdeleyici ile çevrilir.

NaI gama spektrokopi sistemi Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 6. 1. NaI (Tl) gama spektroskopi sistemi.

### 6.1. Yüksek Voltaj Ünitesi

Yük birikimi için gerekli elektrik alanı oluşturarak -5000V'dan +5000V'a kadar gerilim sağlayan voltaj ünitesidir.

### 6.2. Preamplifikatör (Ön Yükselteç)

Dedektörde oluşan akım yükünü orantılı olarak voltaj darbesine çeviren ünedir.

### 6.3. Amplifikatör (Yükselteç)

Preamplifikatörden gelen darbenin yükseltilmesini ve en iyi enerji ayrılmasını sağlayacak şekillendirmeleri yapan ünedir.

### 6.4. Çok Kanallı Analizör (ÇKA)

Darbe yüksekliği yapan ünedir. Bu üniteye gelen her darbe dijital hale dönüştürülür ve genliği ile orantılı olarak hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belirli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım süresi boyunca gelen darbelerin birikmesiyle pikler oluşur.



## 6.5. Enerji Ayrımı

Kullanılan dedektörlerde dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerden biri enerji ayrımıdır. Birbirine yakın enerjide oluşan iki radyasyon pikini ayrılabilme kabiliyeti enerji ayırma gücü olarak tanımlanmaktadır.

## 6.6. Enerji Kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonu, belli bir kazanç değeri için spektrumda gözlenen piklerin buldukları kanal ile ait oldukları enerji arasındaki bağıntının bulunmasını sağlar.

NaI (Tl) dedektöründen gelen her puls bir kanalda sayım olarak sayılır. Her kanal bir enerji değerine karşı gelmektedir. Ancak puls yükseklikleri foto çoğaltıcı tüpe uygulanan yüksek gerilim ve yükseltecin kazancı ile değişir. Bu değişim bir kanala karşı gelen enerji değerini değiştirmektedir. Bu nedenle sistemde enerji kalibrasyonu yapmak zorunludur.

Enerji kalibrasyonu iki şekilde yapılır. Birinci yöntemde, kanalın bir veya daha çok keV'lik enerjiye değerine karşılık geldiği kabul edilir. Enerjisi bilinen bir kaynak detektöre yerleştirilir ve sayımlar alınır. Spektrumda elde edilen yükseltecin kazancının değiştirilmesiyle fotopikin merkezi istenilen kanal numarasına getirilerek kalibrasyon gerçekleştirilmiş olur [16].

İkinci yöntemde ise, yükseltecin kazancı herhangi bir değere ayarlanır. Daha sonra enerjisi bilinen standart kaynaklar dedektör karşısına yerleştirilerek sayımlar alınır. Elde edilen spektrumda fotopiklerin merkezlerinin karşı geldiği kanal numaraları alınır. Bu kanal numaralarına karşılık gelen enerji değerleri birinci veya ikinci dereceden bir polinoma fit edilerek kalibrasyon yapılmış olur. Enerji kalibrasyonunun denklemi,

$$E=C_0+C_1x+C_2x^2+C_3x^3 \quad (6.1)$$

ile ifade edilir. Burada; E ilgilenilen tam fotopikin enerjisi, x kanal numarası,  $C_0$  sapma,  $C_1$  kazanç,  $C_2$  ve  $C_3$  sistemin doğrusallıktan sapmasıdır [16].

Tablo 6.1.'de enerji kalibrasyonu için önerilen radyoaktif çekirdekler bulunmaktadır.

Tablo 6.1. Enerji kalibrasyonu için önerilen radyoaktif çekirdekler [17].

Çekirdek	Yarılanma Süresi ( $t_{1/2}$ )	$E_\gamma$ (keV)	$F_\gamma$
Na-22	950,4 dk.	511,0 1274,54	1,807 0,9994
Mn-54	312,5 dk.	834,84	0,99975
Co-57	271,84 dk.	122,06 136,47	0,8559 0,1058
Co-60	1925,5 dk.	1173,24 1332,50	0,9990 0,999824
Cs-137	30,0 yıl	661,66	0,850
Am-241	420,0 yıl	59,54	0,360

Bu çalışmada 2x2" ORTEC<sup>®</sup> digiBASE marka NaI(Tl) tipi dedektör kullanılmış olup analizler için MAESTRO<sup>®</sup> v7- Release Note programından yararlanılmıştır. Enerji kalibrasyonu için kalem tipinde bir Co<sup>60</sup> kaynağı kullanılmıştır.

## 6.7. Verim Kalibrasyonu

Verim kalibrasyonu sayesinde kaynaktan yayılan gama ışınlarının sayısı ile spektrumda sayılan sayımların arasında bir bağıntı elde edilir. Gama spektroskopisinde, pikin altında kalan alan radyoaktivite miktarını belirtir, bundan dolayı radyoaktivite miktarını belirleyebilmek için pikin alanına ve dedektörün verimine ihtiyaç vardır. Pikin verimi, aktivitesi bilinen standart kaynaklar kullanılarak belirlenir. Standart kaynaklar ile sayımları yapılacak numuneler aynı geometri ve yoğunluğa sahip olmalıdır. Dedektörün verimi;

$$\epsilon_\gamma = \frac{N_{\text{net}}}{A I_\gamma m t} \quad (6.2)$$

denklemleri ile belirlenir. Burada;  $\epsilon_\gamma$   $E_\gamma$  enerjisi için sayım verimi,  $N_{\text{net}}$   $E_\gamma$  enerjili fotonun oluşturduğu pikin alanı,  $A$  kullanılan standart kaynağında bulunan radyonüklidlerin bilinen aktivitesi,  $I_\gamma$  radyonüklidin bozunumda yayınlanan fotonun yayınlanma olasılığı,  $m$  standart kaynağın kütlesi ve  $t$  standart kaynağın detektördeki sayım süresidir [18].

Verim kalibrasyonu, Uluslar Arası Atom Enerji Kurumu'ndan temin edilen RGU-1, RGTh-1 ve RGK-1 referans kaynakları ile yapılmıştır. Bu referans kaynaklarına ait bilgiler Tablo 6.2., Tablo 6.3. ve Tablo 6.4.'teki gibidir.

Tablo 6.2. RGU-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri [19].

İçerik	Değer	Birim
Th-232	<4	Bq/kg
U-235	228	Bq/kg
U-238	4940	Bq/kg
K-40	<0,63	Bq/kg
K	<20	mg/kg
Th	<1	mg/kg
U	400	mg/kg

Tablo 6.3. RGTh-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri [20].

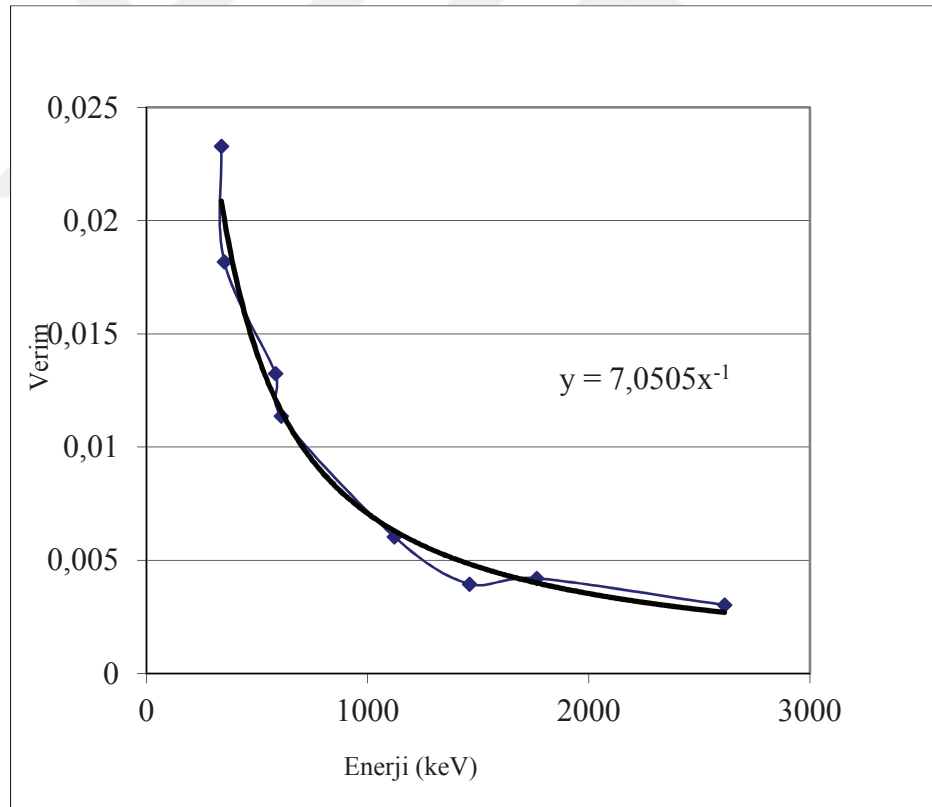
İçerik	Değer	Birim
Th-232	3250	Bq/kg
U-235	3,6	Bq/kg
U-238	78	Bq/kg
K-40	6,3	Bq/kg
K	200	mg/kg
Th	800	mg/kg
U	6,3	mg/kg

Tablo 6.4. RGK-1 referans kaynağına ait sertifika bilgileri [21].

İçerik	Değer	Birim
K-40	14000	Bq/kg
K	448000	mg/kg
Th	<0,01	mg/kg
U	<0,001	mg/kg

Bilinen  $N_{net}$ ,  $A$ ,  $I_\gamma$ ,  $m$  ve  $t$  değerleri eşitlik (6.2)'de yerine yazılarak her bir referans kaynak için  $\epsilon_\gamma$  değerleri elde edilerek bu değerler ile enerji-verim grafiği çizilmiştir.

Çalışmamızda kullanılan NaI (Tl) dedektörü için enerji-verim grafiği Şekil 6.2.'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Enerji-Verim grafiği.

Enerji değerlerine karşılık çizilen verim grafiği,

$$y=7,0505 x^{-1} \quad (6.3)$$

biçimindeki bir polinoma fit edilmiştir.

Eşitlik (6.3) kullanılarak elde edilen verim değerleri Tablo 6.5.'te verilmiştir.

Tablo 6.5. Enerji değerlerine karşılık elde edilen verim değerleri.

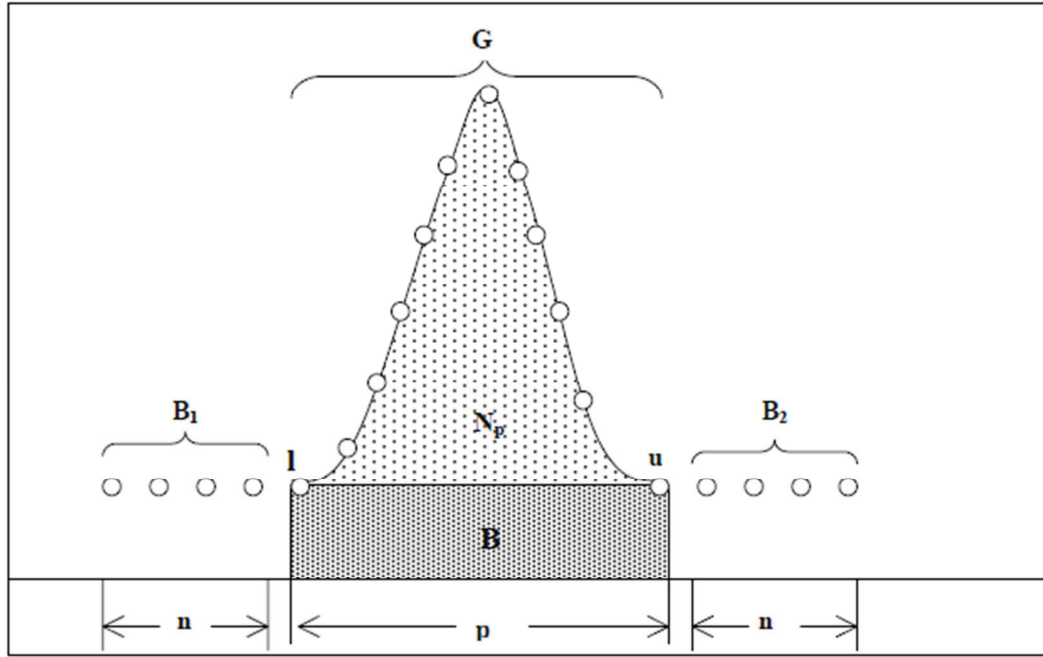
Enerji (keV)	Verim
609,3	0,0116
1460,8	0,0048
2614,5	0,0027

### 6.8. Pik Alanının Hesaplanması

Gama spektrometresinde gözlenen enerji fotopikleri analiz edildiğinde, fotopiklerin her birinin altında kalan net alan;

$$N_p = G - B \quad (6.4)$$

ile elde edilir. Burada  $N_p$  net pik alanı,  $G$  ilgili bölgedeki toplam sayım sayısı ve  $B$  doğal fondur. Pik alanı hesabı Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Pik alanı hesabı [18].

Burada B doğal fon hesabı için,

$$B = \left(\frac{p}{2n}\right)(B_1 + B_2) \quad (6.5)$$

eşitliği kullanılır. Eşitlikte sırası ile p ilgili pikteki kanalların sayısı, n pikin sağındaki ve solundaki doğal pik kanal sayısı,  $B_1$  fotopikin sol tarafındaki doğal fon sayımının ortalaması ve  $B_2$  fotopikin sağ tarafındaki doğal fon sayımının ortalamasıdır.  $B_1$  ve  $B_2$  değerleri aşağıdaki eşitlikler ile elde edilir:

$$B_1 = \frac{\sum_{a=x_1}^{x_1+n-1} x_a}{n} \quad (6.6)$$

$$B_2 = \frac{\sum_{a=x_2-n+1}^{x_2} x_a}{n} \quad (6.7)$$

Net pik alanı hesabında oluşan belirsizlik Şekil 6.2'de gösterilen fotopik için;

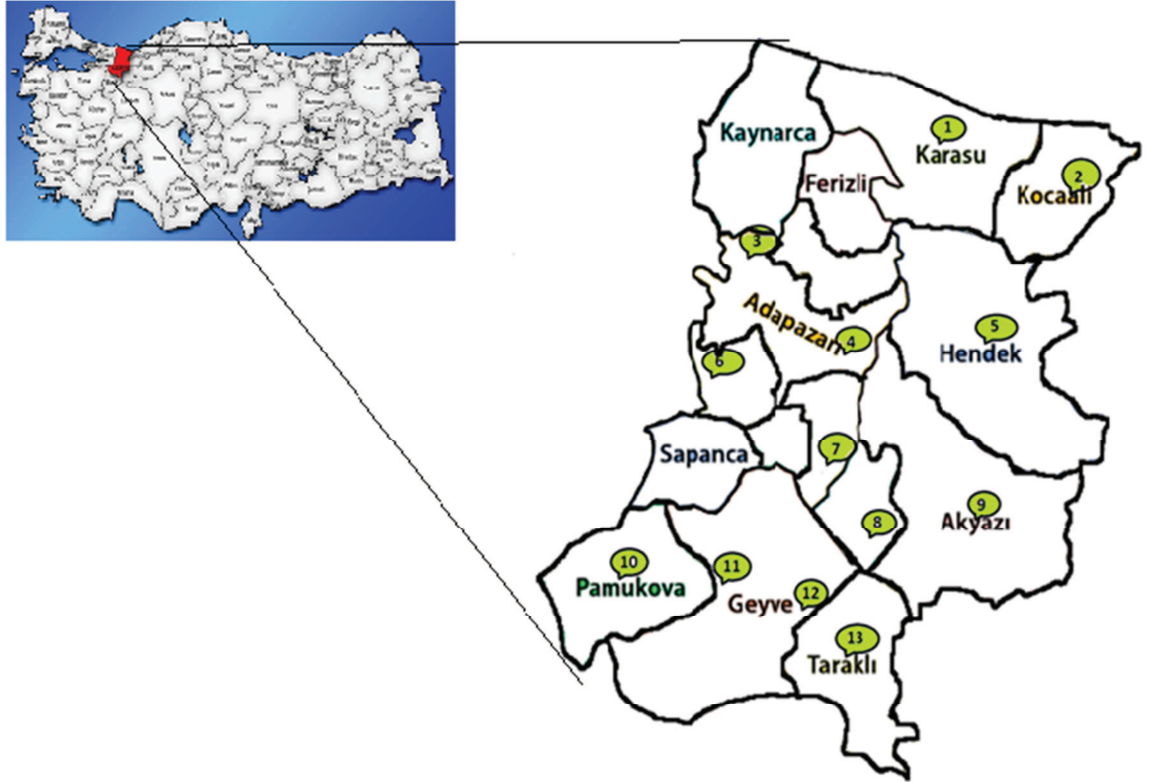
$$\sigma = \sqrt{G + \left(\frac{p}{2}\right)^2 \frac{(B_1 + B_2)}{n}} \quad (6.8)$$

ile elde edilir. Burada  $\sigma$  standart sapma, G pikteki toplam alan (sayım), p ise ilgilenilen pikteki toplam kanal sayısı, n seçilen uç kanal sayısıdır [18].

## BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE HESAPLAMALAR

### 7.1. Toprak Örneklerinin Alınması, Hazırlanması ve Sayılması

Toprak numuneleri Sakarya ilinin 13 farklı noktasından alınmıştır. Ölçümü yapılacak numunelerin yer seçiminde yerler arasındaki mesafe en az 13 km ve ilin genelini kapsayacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 7.1. Toprak numunelerinin alındığı noktalar.

Her bir numune belirlenen yerlerde 10-20 cm derinlikten alınmıştır. Toprak numunelerinin toplanacağı noktalar seçilirken bu noktaların yerleşim yerlerinden

uzak alanlarda olmasına dikkat edilmiştir. Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer ve Parçacık Fiziği Araştırma Laboratuvarı'na getirilen toprak numuneleri, içlerindeki taş, çakıl, çim kökleri ve saman gibi bileşenlerden ayırmak için elenmiştir. Daha sonra toprak numuneleri ezilip 180 mikronluk elekte tekrar elenmiştir. Tüm numuneler kurumaları için birkaç gün açıkta bekletilmiş, ardından her bir numune 250 gr olacak şekilde tartılarak 105<sup>o</sup>'de 30'ar dakika süreyle fırınlanmışlardır. Fırınlama işleminin ardından toprak numuneleri plastik silindirik kaplara konulmuş ve ağızları bant ile iyice kapatılmıştır. Hava ile teması kesilen toprak numuneleri Ra<sup>226</sup>, Rn<sup>222</sup> ve Rn<sup>222</sup> ürünlerinin dengeye gelmesi için 4 hafta kadar bekletilmiştir.

Bekleme işleminden sonra, toprak numuneleri tek tek dedektörün karşısına konularak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir toprak numunesi en uygun yüksek gerilim olarak tespit edilmiş olan 740 voltluk gerilim altında yeterince yüksek sayım elde edilinceye kadar ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda ilgilendiğimiz enerji değerlerindeki net alanlar Tablo 7.1.'de verilmiştir.

Tablo 7.1. U-238, K-40 ve Th-232 enerji değerlerinde oluşan piklerin net alanları.

Yer	609,3 keV (U <sup>238</sup> piki)	1460,8 keV (K <sup>40</sup> piki)	2614,5 keV (Th <sup>232</sup> piki)
1. Karasu	6481±213	6224±179	545±64
2. Kocaali	9002±365	20049±230	950±122
3. Korucuk (Adapazarı)	16368±472	24990±341	3954±121
4. Adapazarı (Merkez)	3229±185	4856±179	524±67
5. Hendek	38431±590	27994±383	4504±161
6. Kampüs (Serdivan)	2047±144	3666±96	312±53
7. Değirmendere (Erenler)	3775±199	6397±190	636±90
8. Yazılı (Erenler)	2844±178	5319±150	635±58
9. Akyazı	3270±159	4252±114	528±55
10. Pamukova	37007±538	44479±417	5302±143
11. Ali Fuat Paşa (Geyve)	5829±250	9454±217	1310±54
12. Geyve (Merkez)	13334±313	16471±287	1726±103
13. Taraklı	7466±330	10953±231	864±88



Her bir toprak numunesi için ölçüm süreleri ve kütleler Tablo 7.2.'de verilmiştir.

Tablo 7.2. Toprak numunelerinin ölçüm süreleri ve kütle değerleri.

Yer	m (gr)	t (sn)
1. Karasu	250,55	164194,58
2. Kocaali	250,93	414957,92
3. Korucuk (Adapazarı)	220,80	506526,42
4. Adapazarı (Merkez)	251,48	76000
5. Hendek	251,22	404814,24
6. Kampüs (Serdivan)	250,00	97632
7. Değirmendere (Erenler)	251,40	105131,46
8. Yazılı (Erenler)	250,00	86729
9. Akyazı	250,00	84370
10. Pamukova	251,36	335160
11. Ali Fuat Paşa (Geyve)	250,81	171729,36
12. Geyve (Merkez)	251,24	349581,52
13. Taraklı	250,00	179407

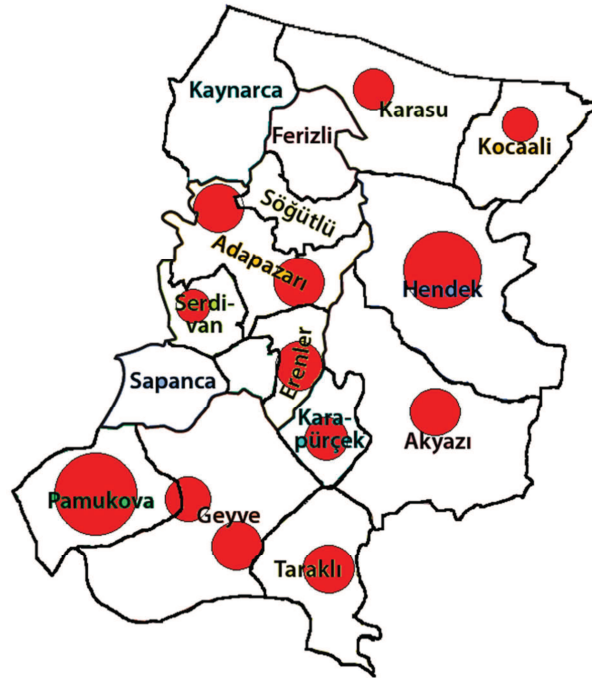
## 7.2. Hesaplamalar

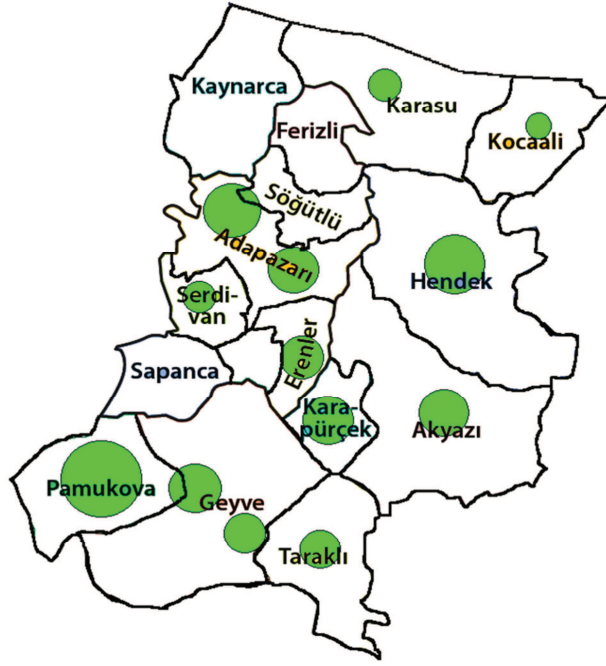
Tablo 7.1.'deki net alanlar, Tablo 7.2.'de belirtilen kütle ve süreler, Tablo 6.2., Tablo 6.3., Tablo 6.4.'teki bolluk değerleri ve Tablo 6.5.'teki verim değerleri eşitlik (6.2)'de yerine yazılarak her bir toprak numunesi için aktiviteler hesaplanmıştır. Hesaplanan aktivite değerleri Tablo 7.3.'te verilmiştir.

Tablo 7.3.  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  ve  $K^{40}$  radyonüklidlerine ait deneysel aktivite konsantrasyonları.

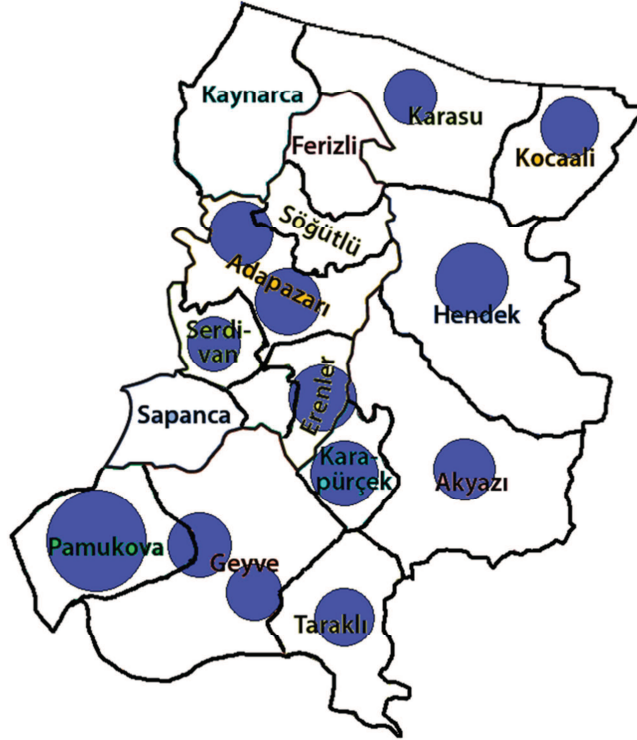
Yer	$U^{238}$ (Bqkg <sup>-1</sup> )	$Th^{232}$ (Bqkg <sup>-1</sup> )	$K^{40}$ (Bqkg <sup>-1</sup> )
1. Karasu	29,49±0,97	13,70±1,61	292,50±8,42
2. Kocaali	16,19±0,66	9,44±1,22	372,26±4,28
3. Korucuk (Adapazarı)	27,40±0,80	36,57±1,12	431,99±5,89
4. Adapazarı (Merkez)	31,64±1,82	28,36±3,63	491,22±18,11
5. Hendek	70,76±1,09	45,81±1,64	532,19±7,29
6. Kampüs (Serdivan)	15,71±1,11	13,22±2,25	290,39±7,61
7. Değirmendere (Erenler)	26,75±1,41	24,89±3,53	467,94±13,89
8. Yazılı (Erenler)	24,56±1,54	30,29±2,77	474,29±13,38
9. Akyazı	29,03±1,42	30,00±3,13	389,74±10,45
10. Pamukova	82,25±1,20	75,41±2,04	1020,84±9,57
11. Ali Fuat Paşa (Geyve)	25,34±1,09	31,46±1,30	424,37±9,75
12. Geyve (Merkez)	28,43±0,67	20,33±1,22	362,58±6,32
13. Taraklı	31,17±1,38	19,93±2,03	472,14±9,96
Ortalama	33,74±1,17	29,19±2,12	463,27±8,92

Şekil 7.2., Şekil 7.3. ve Şekil 7.4.'te Sakarya ili haritası üzerinde ayrı ayrı  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  ve  $K^{40}$  konsantrasyonlarının dağılımı gösterilmiştir.

Şekil 7.2. Sakarya ili genelinde  $U^{238}$  konsantrasyonunun dağılımı.



Şekil 7.3. Sakarya ili genelinde  $Th^{232}$  konsantrasyonunun dağılımı.



Şekil 7.4. Sakarya ili genelinde  $K^{40}$  konsantrasyonunun dağılımı.

## BÖLÜM 8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Sakarya ilinin genelini kapsayacak şekilde aralarında en az 13km mesafeli 13 farklı bölgeden alınan toprak numunelerindeki  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  ve  $K^{40}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları bir 2x2" NaI(Tl) dedektöründen yararlanarak ölçülmüştür. Sonuçlar, Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK) tarafından yayımlanan Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlas'ındaki Türkiye verileri ve Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'nin (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation- UNSCEAR) dünya ortalama değerleri ile Tablo 8.1.'de karşılaştırılmıştır [5], [22].

Tablo 8.1. Topraktaki radyonüklidlerin ortalama aktivite derişimleri [5], [22].

Bölge/Ülke/Dünya	Konsantrasyon (Bq/kg)		
	$U^{238}$	$Th^{232}$	$K^{40}$
Sakarya		33,87	403,58
Sakarya	33,74	29,19	463,27
Türkiye		32,65	439,93
Dünya	35	30	400

Tablodan görüldüğü üzere bu çalışmadan elde edilen  $U^{238}$  ortalama aktivite derişimleri  $U^{238}$  dünya ortalama aktivite derişimleriyle,  $Th^{232}$  ortalama aktivite derişimleri de TAEK'in raporunda sunulan Sakarya ve Türkiye  $Th^{232}$  aktivite derişim değerlerinin yanı sıra UNSCEAR'ın  $Th^{232}$  ortalama aktivite derişim değerleri ile uyum içerisinde.  $K^{40}$  ortalama aktivite konsantrasyonu ise, TAEK'in raporunda sunulan  $K^{40}$  Sakarya ili ortalamasının ve UNSCEAR'ın dünya ortalamasının yaklaşık %15, TAEK'in  $K^{40}$  Türkiye ortalamasının ise %5 üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen özellikle  $K^{40}$  konsantrasyonunun literatürdeki Sakarya, Türkiye ve dünya ortalamalarının üzerinde olmasının başlıca nedenlerinden biri olarak,  $K^{40}$  aktivite konsantrasyonu için 1020Bq/kg değeri veren Pamukova

ilçesindeki sonuç verilebilir. Söz konusu numunedeki  $U^{238}$  ve  $Th^{232}$  aktivite konsantrasyonları da sırasıyla 82Bq/kg, 75Bq/kg değerleri ile 13 numune arasında en yüksek değerler olarak ölçülmüştür. Bu numuneden elde edilen değerler Türkiye ve dünyanın bazı bölgelerindeki değerlerin altında olmakla birlikte, Pamukova ilçesinin farklı bir bölgesinden alınacak yeni bir toprak numunesi ile ölçüm tekrarlanabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Yaramış B., Nükleer Fizik İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi, 1985.
- [2] [www.taek.gov.tr/bilgikosesi](http://www.taek.gov.tr/bilgikosesi), Erişim Tarihi: 22.03.2019.
- [3] Togay Y.E., Radyasyon ve Biz, Türkiye Atom Enerji Kurumu Yayınları, Ankara, 2002.
- [4] Krane, K.S., Nükleer Fizik, Palme Yayınları, 2001.
- [5] UNSCEAR Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000.
- [6] Bayata S., Çatalağzı Termik Santrali ve Çevresinde Radyoaktivite Ölçümü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, 2007.
- [7] Lilley J.S. Çeviri Editörleri Aydın A., Sarpün İ. H., Tel E., Nükleer Fizik İlkeler ve Uygulamalar, Nobel Akademik Yayıncılık, 2018.
- [8] Altay T., Çifter C., Tritiyum Laboratuvarı El Kitabı, DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1996.
- [9] Olçay İ., "Radyasyon Dedeksiyonunda Kullanılan Yarıiletken Dedektör Tipleri, Özellikleri ve Kullanım Alanları, Niğde Üniversitesi, Fizik Bölümü, 2007.
- [10] Oliver D. B., Knoll G. F., IEEE Transactions on Nuclear Science, 1968.
- [11] Tsoufanidis N., 1995, Measurement and Detection of Radiation, Taylor & Francis, London, 1995.
- [12] Knoll G. F., Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A, 1995.
- [13] Nicholson, P. W., Nuclear Electronics, A Wiley-Interscience Publication, London, 1973.
- [14] Şahiner E., Doğal Radyoaktif İzotoplarda Gerçek Çakışma Etkisi, Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği, Ankara, 2010

- [15] Gilmore G. R., Practical Gamma-Ray Spectrometry . 2nd Edition John Wiley and Sons, New York, 2008.
- [16] IAEA Techinal Reports Series No:295.
- [17] Solmaz A., Düşük Seviyeli Radyoaktivite Ölçümü için Kuyu Tipi Ge Dedektörlü Bir Gama Spektrometresinin 400-2000keV Enerji Aralığında Verim Kalibrasyonunun Yapılması, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Medikal Fizik Ana Bilim Dalı, Ankara, 2008.
- [18] <https://nucleus.iaea.org/rpst/referenceproducts/referencematerials/radionuclides/IAEA-RGU-1.htm>, Erişim Tarihi: 22.03.2019.
- [19] <https://nucleus.iaea.org/rpst/referenceproducts/referencematerials/radionuclides/IAEA-RGTh-1.htm>, Erişim Tarihi: 22.03.2019.
- [20] <https://nucleus.iaea.org/rpst/referenceproducts/referencematerials/radionuclides/IAEA-RGK-1.htm>, Erişim Tarihi: 22.03.2019.
- [21] Türkiye Çevresel Radyoaktivite Atlası, Türkiye Atom Enerji Kurumu.

## ÖZGEÇMİŞ

Sevda Kızılkaya, 20.07.1989'da Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2007 yılında Ali Dilmen Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Matematik Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı. 2019 yılında İstanbul Yeni Yüz Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü'nde İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı ve halen eğitimine devam etmektedir.