

**T.C.**  
**KAFKAS ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**KARS-İL MERKEZİ TOPRAKLARINDA DOĞAL RADYOAKTİVİTE**  
**SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Serap REŞİTOĞLU**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ CENGİZ**

**HAZİRAN-2011**

**KARS**

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Serap REŞİTOĞLU'nun Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ CENGİZ danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "Kars-İl Merkezi Topraklarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi" adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

22/06/2011

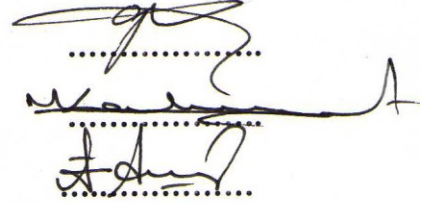
**Adı ve Soyadı**

**İmza**

**Başkan :** Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ CENGİZ

**Üye :** Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT

**Üye :** Doç. Dr. Fikret AKDENİZ



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ....../...../2011. gün ve ..../  
..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

“Kars-il Merkezi topraklarında doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi” adlı bu tez çalışmasının deneysel çalışmaları Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Radyasyon Ölçüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamda emeği geçen, Sayın Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ CENGİZ’e, çalışmalarım esnasında ve tezin hazırlanması sürecinde yine katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT’a, TAEK’teki Sayın değerli hocalarım Namık Kemal ŞAHİN ve Hasan DİKMEN’e, Yüksen Lisans Arkadaşım Erdal KURT’a ve Sevgili Eşim Mutlu REŞİTOĞLU’na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kars-2011

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
<b>ÖZET</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	viii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	xi
<b>RESİMLER DİZİNİ</b>	xiii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	xiv
<b>TANIMLAR</b>	xv
<b>1.GİRİŞ</b>	1
<b>2.TEORİK BİLGİLER</b>	8
2.1 Radyasyon	8
2.2 Radyasyon Çeşitleri	10
2.2.1 İyonlaştırıcı radyasyonlar	11
2.2.1.1 Parçacık tipi radyasyonlar	12
2.2.1.2 Dalga tipi radyasyonlar	13
2.2.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar	13
2.3 Radyasyon Kaynakları	14
2.3.1 Doğal Radyasyon Kaynakları	14
2.3.1.1 Kozmik Işınlar	17
2.3.1.2 Yeryüzü Kaynaklı Doğal Radyasyon	19
2.3.2 Yapay Radyasyon Kaynakları	24
2.3.2.1 Tıbbi Uygulamalar	25
2.3.2.2 Tanısal Radyoloji	25
2.3.2.3 Nükleer Tıp	26

2.3.2.4 Radyoterapi	26
2.3.2.5 Endüstriyel Uygulamalar	26
2.3.2.6 Nükleer Serpinti	27
2.3.2.7 Nükleer Güç Santralleri	27
2.3.2.8 Tüketici Ürünleri	28
2.4 Gamma Işınlarnının Madde ile Etkileşmesi	28
2.4.1 Fotoelektrik Olay	28
2.4.2 Compton ve Thomson Saçılması	30
2.4.3 Çift Oluşumu	31
2.4.3.1 Tek Kaçak Piki	34
2.4.3.2 Çift Kaçak Piki	34
2.4.3.3 X-Işımı Piki	35
2.4.3.4 Sum Pik	35
2.5 Sintilasyon Dedektörleri	35
2.5.1 Organik sintilatörler	37
2.5.2 İnorganik sintilatör	38
2.5.2.1 NaI(Tl) Sintilatör Dedektörü	42
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>	49
3.1 Toprak Örneği Alma ve Örnek Hazırlama Yöntemleri	49
3.2 Ölçüm Sahası	52
3.3 NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü	53
3.3.1 NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörünün Enerji Kalibrasyonu	54
3.3.2 NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörünün Verim Kalibrasyonu	54
<b>4. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR</b>	56
4.1 Toprak Örneklerinde <sup>137</sup> Cs'nin Aktivite Konsantrasyonu	56

4.2 Toprak Örneklerinde $^{40}\text{K}$ 'nin Aktivite Konsantrasyonu	57
4.3 Toprak Öneklerinde $^{232}\text{Th}$ 'nin Aktivite Konsantrasyonu	59
4.4 Toprak Örneklerinde $^{226}\text{Ra}$ ( $^{238}\text{U}$ )'in Aktivite Konsantrasyonu	60
<b>KAYNAKLAR</b>	64
<b>EKLER</b>	70
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	85

## ÖZET

İnsanların çoğu radyasyonun yalnızca insan yapımı cihazlar ve yapılardan (tıp, endüstri, araştırma, tarım ve hayvancılık) salındığını düşünse de, evrenin oluşumundan beri doğada yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementlerde yaşadığımız çevreye radyasyon salmaktadırlar. Bu salınımların yanı sıra, son 50 yıl içerisindeki nükleer silah denemeleri ve nükleer reaktör kazaları (Çernobil ve Fukuşima gibi) çevresel radyoaktivite seviyesinde küresel düzeyde artış meydana getirmiştir. Buna; yağmur, kar, rüzgâr, alçak ve yüksek basınç ve deprem gibi doğal etkenlerde eklenince bazı bölgelerde çevresel radyoaktivite seviyesindeki artış ekosisteme önemli derecede zarar verecek düzeylere erişmiştir.

Çevresel radyoaktiviteyi ve bu radyoaktivitenin bölgede yaşayan canlılar üzerinde ki etkilerini; yerel, bölgesel ve hatta küresel düzeyde araştırma gereği doğmuştur. Çevresel radyoaktivitenin izlenmesi ile insanların maruz kaldığı doğal radyasyon seviyeleri ve çevresel radyasyon seviyesindeki önemli değişiklikler belirlenir. Çevre radyoaktivitesi izleme programının rutin olarak yürütülmesi, radyolojik acil durumların üstesinden gelebilmek için mevcut kapasiteyi ve bu gibi durumlara hazır olma kabiliyetini de destekler ve geliştirir.

Çevre radyoaktivitesi izleme programı kapsamında yapılan bu tez çalışmasında, Kars-il merkezinin topraktaki radyoaktif düzeylerinin belirlenmesi hedeflendi. Bunun için Kars-il merkez civarında 38 toprak alma istasyonu belirlenerek numuneler toplandı. Bu toprak örneklerindeki radyoaktifite düzeyleri NaI(Tl) gamma spektrometresi kullanılarak,  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ),  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları hesaplanarak belirlenmiştir.

**2011, 85 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Radyoaktivite, NaI(Tl) gamma spektrometresi.

## ABSTRACT

Although many people think that radiation is released only by man-made devices and structures (medical science, industry, research, agriculture and livestock farming), since the formation of universe the radioactive elements with long lifetimes presented in nature, releases radiation. Beside this radiation releasings, during the last 50 years the nuclear weapon fallouts and nuclear installation accidents like Çernobil and Fukuşima has globally increased the enviromental radiation level. With adding the naturel effects like rain, wind, low and high pressure and earthquake; in some areas the increase of the environmental radioactivity level has been significant enough to damage ecosystems.

In local, regional and also global it has become neccessary to study the environmental radioactivity and its effect on all living organism, By monitoring the environmental radioactivity, doze of natural radioactivity people are exposed and the important differences at environmental radioactivity is being identified. Performing the as a routine supports anad improves our capacity, for overcoming radiological emergencies and being ready for such states.

In this thesiz which is a part of environmental radioactivity monitoring program, it is aimed to determine the radioactivity levels in soil around Kars. Hence soil sample's collected from 38 soil taking stations. In this soil samples radioactivity levels of  $^{238}\text{U}$  ( $^{226}\text{Ra}$ )  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  are measured and determined by using NaI(Tl) gamma spectrometry.

**2011, 85 page**

**Key Words:** Radioactivity, NaI(Tl) gamma spectrometry



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1. Simgeler

A	Aktivite
D	Soğurulmuş doz
E	Elektron
E	Etkin doz
H	Eşdeğer doz
m	Kütle
n	Nötron
p	Proton
Q	Elektrik yükü
$t_{1/2}$	Yarılanma süresi
W	Ağırlık faktörü
X	Işınlama
$\alpha$	Alfa parçacığı
$\beta$	Beta parçacığı
$\gamma$	Gamma ışınları
$\lambda$	Radyoaktif bozunma sabiti

### İndisler

T	Doku
R	Radyasyon
e	Elektrik

## 2. Kısaltmalar

TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
UV	Ultraviolet
EM	Elektromanyetik Dalga
IAEA	Uluslar arası Atom Enerji Kurumu (International Atomic Energy Agency)
IAEA-BSS	Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartlar
ICP	Inductively Coupled Plasma
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer
TRIUMF	Kanada'nın ulusal parçacık ve nükleer fizik laboratuvarı
LOS	Sıvı Organik Sintilatör (Liquid Organic Scintillator)
PM	Plastik Sintilatör (Plastic Scintillator)
PMT	Foto Çoğaltıcı Tüp (Photomultiplier tube)
MCA	Çok Kanallı Analizör (Multi Channel Analysers)
PA	Ön Yükselteç (Preamplifikatör)
MA	Ana Yükselteç (Amplifikatör)
PC	Bilgisayar
ADC	Sayısal-Örneksel Dönüştürücü (Analog-to-Digital Converter)
HV	Yüksek Voltaj Kaynağı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

<b>Şekil 2.1</b> Radyasyonun günümüzde kullanıldığı alanlardan birkaçı (a) kanser hastasına radyasyon tedavisi yapılıyor (b) Ölü Deniz parşömenlerinin bir parçası. Karbon tarihlenmesiyle, 2000 yıldan daha eski oldukları saptandı	9
<b>Şekil 2.2</b> İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun şematik gösterimi	10
<b>Şekil 2.3</b> İyonlaştırıcı radyasyonun şematik gösterimi	11
<b>Şekil 2.4</b> Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri	14
<b>Şekil 2.5</b> Kozmik radyasyon	17
<b>Şekil 2.6</b> Kozmik ışıklardan alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi	18
<b>Şekil 2.7</b> $^{238}\text{U}$ Bozunum serisi	22
<b>Şekil 2.8</b> $^{232}\text{Th}$ Bozunum serisi	23
<b>Şekil 2.9</b> Yapay radyasyon doz oranları	25
<b>Şekil 2.10</b> Radyasyonun oluşumu	27
<b>Şekil 2.11</b> Fotoelektrik olay. Potasyum için bağlanma enerjisi 2 eV değerinden yüksek olduğundan dolayı, bu enerjinin altındaki fotonlar elektron koparamaz	29
<b>Şekil 2.12</b> Compton saçılmasının şematik gösterimi	30
<b>Şekil 2.13</b> Çift oluşumunun şematik diyagramı gösterilmiştir	31
<b>Şekil 2.14</b> Fotoelektrik olay, Compton olay ve Çift oluşumun baskın olduğu bölgeler	32
<b>Şekil 2.15</b> 30 mm kalınlığında NaI dedektörü için hesaplanan etkileşme olasılıkları	33
<b>Şekil 2.16</b> Tek kaçak piki şematik gösterimi	34
<b>Şekil 2.17</b> Çift kaçak piki şematik gösterimi	34
<b>Şekil 2.18</b> Sintilasyon dedektörlerinde temel işlemler	35
<b>Şekil 2.19</b> Sintilasyon dedektörlerinde elektronik yapı	36

<b>Şekil 2.20</b> İnorganik sintilasyon mekanizması	39
<b>Şekil 2.21</b> NaI(Tl) dedektörünün şematik gösterimi	43
<b>Şekil 2.22</b> NaI(Tl) dedektörünün kurulum şeması	44
<b>Şekil 3.1</b> Toprak numunesinin alınımının şematik gösterimi	50
<b>Şekil 3.2</b> NaI(Tl) dedektörünün enerji-verim eğrisi.	55
<b>Şekil 3.3</b> NaI(Tl) dedektörü ile sayımı yapılan, toprak numunelerinin birkaçının spektrumu.	55
<b>Şekil 4.1</b> Kars merkezinde alınan toprak numunelerinde $^{137}\text{Cs}$ 'nin dağılımı.	57
<b>Şekil 4.2</b> Kars merkezinde alınan toprak numunelerinde $^{40}\text{K}$ 'ın dağılımı	58
<b>Şekil 4.3</b> Kars merkezinde alınan toprak numunelerinde $^{232}\text{Th}$ 'nin dağılımı.	59
<b>Şekil 4.4</b> Kars merkezinde alınan toprak numunelerinde $^{226}\text{Ra}$ ( $^{238}\text{U}$ )'nin dağılımı.	61
<b>Şekil 4.5</b> $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{232}\text{Th}$ ve $^{226}\text{Ra}$ ( $^{238}\text{U}$ ) aktivite konsantrasyonlarının, Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi ve Kars ortalaması	62

## RESİMLER DİZİNİ

### Sayfa No

<b>Resim 3.1</b> Toprak numuneleri	51
<b>Resim 3.2</b> Kars-il merkezi çevresinden toprak numunesi alınan yerler.	52
<b>Resim 3.3</b> NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

<b>Çizelge 2.1</b> Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri .....	16
<b>Çizelge 2.2</b> Toprakta bulunan doğal radyonüklitlerin değişim aralığı .....	20
<b>Çizelge 2.3</b> Yaygın bir şekilde kullanılan sintilatörlerin özellikleri .....	41
<b>Çizelge 2.4</b> Enerji Kalibrasyonu için önerilen izotoplar.....	47

## TANIMLAR

Radyoaktivitenin incelenmesinde karşılaşılan bazı tanımlar:

**Radyasyon:** Hepimizin bildiği gibi maddenin yapı taşı atomdur. Atom ise; proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ve çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan oluşmaktadır. Eğer herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, proton sayısından fazla ise çekirdekte kararsızlık oluşur ve fazla nötronlar parçalanır. Bu parçalanma sırasında ortaya alfa, beta, gamma adı verilen ve çıplak gözle görülmeyen ışınlar ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu ışınlara “radyasyon” denir.

**Radyoaktivite:** Bir atom çekirdeğinin, tanecik veya elektromagnetik ışına yayarak parçalanmasına “radyoaktivite” denir.

**Doğal Radyoaktivite:** Kararlı hale geçebilmek için, atomların kendiliğinden ışına yapmasına “doğal radyoaktivite” denir.

**Yapay radyoaktivite:** Kararlı ya da kararsız elementlerin; alfa, nötron ve proton gibi tanecikler ile bombardımanın da oluşan yeni elementlerde radyoaktiftir. Bombardıman yoluyla elde edilen radyoaktif elementlerin bu özelliğine “yapay radyoaktivite” denir.

**Aktivite:** Bir radyonüklidinin birim zamanda radyoaktif bozunmaya uğrayan çekirdek sayısıdır. İstatistiksel bir olay olup, ne zaman ve hangi atomun bozunmaya uğrayacağını kestirme imkânı yoktur.

Özel birimi; **Curie (Ci)**  $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$  parçalanma/saniye

SI birimi; **Becquerel (Bq)**  $1 \text{ Bq} = 1$  parçalanma/saniye

**Soğurulmuş Doz:** Işınlanan maddenin birim kütlesi başına, iyonlaştırıcı radyasyon tarafından verilen enerjidir.

Özel birimi; **Rad**  $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/kg}$

SI birimi; **Gray (Gy)**  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$

**Eşdeğer Doz:** Bir doku ya da organ üzerinden, söz konusu radyasyonun ağırlık faktörü de uygulanmış olarak ortalaması alınan soğurulmuş dozdur ve  $H_T$  ile sembolize edilmiştir. Dokuda eşdeğer doz;

$$H_T = \sum W_T D_{TR}$$

şeklinde ifade edilir. Burada;  $D_{TR}$ , R radyasyonundan kaynaklanan ve T dokusu üzerinden ortalaması alınmış soğurulmuş doz ve  $W_R$  ise radyasyon ağırlık faktörüdür.

Özel birimi; **Rem**  $1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ J/kg}$

SI birimi; **Sievert (Sv)**  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

**Etkin Doz:** Vücudun tüm ışınlanmalarında, çeşitli organ ve dokuların aldığı radyasyonun farklı dağılımlarının birleştirilmesiyle bulunan toplam sağlığa zararlılık ifadesidir. Etkin doz;

$$E = \sum W_T H_T$$

şeklinde ifade edilir. Burada, T; herhangi bir doku,  $H_T$ ; T dokusu içindeki ortalama eşdeğer doz,  $W_T$  ise doku ağırlık faktörüdür.

**Işınlama:** Havanın birim kütlesinde fotonların oluşturdukları toplam iyon yükünün



mutlak değeridir. Işınlama;

$X = dQ/dm$  şeklinde ifade edilir.

Özel birimi; **Rontgen (R)**; normal hava şartlarında ( $0^0C$ , 1 Atm) havanın 1 kg'ında  $2,58 \times 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde, iyon oluşturan X veya  $\gamma$  radyasyonu miktarıdır. ( $1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$ )

SI birimi; **Coulomb/kg**

**Radyasyon Enerjisi:** Bir elektronun, bir voltluk bir potansiyel farkı içerisinde kazandığı kinetik enerji olarak tanımlanır.

SI birimi; **elektronvolt (eV)**  $1 eV = 1,6 \times 10^{-19} J$

**ppm (Parts per million):** Milyonda bir birime verilen isimdir. Herhangi bir karışımın toplam madde miktarının milyonda bir birimlik maddesine 1 ppm denir. Derişim birimi olarak kullanılır.

## 1.GİRİŞ

İnsanların yaşadıkları çevrede maruz kaldıkları radyasyonun temel kaynağı doğal radyasyondur. Bu kaynaklardan alınan dozun, insanların yaşam sürelerine olan etkilerinin ve oluşturacağı zararların araştırılması çevresel radyoaktivite çalışmalarında büyük bir önem taşımaktadır.

Doğal radyasyonun dışında insanlar yaşamları boyunca insan kaynaklı radyasyona da maruz kalmaktadırlar. İnsan kaynaklı radyasyon kaynaklarının başlıcaları arasında tıpta teşhis ve tedavide kullanılan yöntemler, endüstriyel uygulamalar, tüketici ürünleri ve elbette ki yaşadığımız şu günlerin en güncel konularından biri olan nükleer santraller yer alır. Radyasyon konusu özellikle talihsiz nükleer reaktör kazalarından sonra, bütün dünyada üzerinde en çok tartışılan olgulardan biri haline gelmekte ve insanların bu konudaki hassasiyetleri her geçen gün daha da artmaktadır. Bu farkındalığa paralel olarak, radyasyon konusunda insanların bilgi talebide artmaktadır. Dolayısıyla insanların, insan kaynaklı radyasyonun dışında yaşadıkları bölgelerin coğrafik ve jeolojik özelliklerine göre maruz kaldıkları/kalacakları doğal radyasyon konusunda bilgilendirilmeleri son derece önemlidir.

Dünya nüfusu tarafından alınan ortalama doza en büyük katkı, doğal radyasyondan (kozmetik ve karasal kaynaklı) gelmektedir. Doğal radyasyondan alınan yıllık ortalama etkin doz 2,4 mSv olarak rapor edilmektedir[1].

İnsanların maruz kaldığı karasal kaynaklı doğal radyasyon;  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif seri elementleri ve bozunum ürünlerinden oluşmaktadır. Radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarının belirlenmesi açısından, yaşadığımız çevreyi bir bütün olarak düşünmeli ve bu bütünü oluşturan parçalardaki aktivite tayinleri ayrı ayrı yapılmalıdır.

Karasal kaynaklı doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi için; topraktaki radyonüklidlerin aktivitelerinin belirlenmesine yönelik, bütün dünyada farklı yöntemlerle birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı daha önce hiç ölçüm yapılmamış bölgelerde yapılırken, bir kısmı da belli bölgelerde değişim olup olmadığını sürekli izlemek için yapılan çalışmalardır.

Dünyanın değişik bölgelerinde, toprak ve kayalardaki radyoaktivite ölçümleri ve bunlardan kaynaklanan doz hesaplamalarının yapıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır:

2001 yılında N. Karunakara ve ekibi tarafından, Hindistan'ın Güney Batısında Kaiga Bölgesindeki topraklarda yapılan çalışmada HPGe dedektörü kullanılarak topraktaki radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu 78,3-254,8 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu 11,4-41,9 Bq/kg ve  $^{226}\text{Rn}$  aktivite konsantrasyonu 15,5-61,2 Bq/kg aralığında ölçülmüştür[2].

2001 yılında M.Brai ve ekibi tarafından, Sicilya'nın kuzey kıyısı açıklarında bulunan Stromboli adasında yaptıkları çalışmada HPGe dedektörü kullanarak toprak ve kaya örneklerindeki radyoaktiviteyi konsantrasyonları belirlenmiştir.  $^{40}\text{K}$  aktivitesini 340-1427 Bq/kg,  $^{214}\text{Bi}$  aktivitesini 31-112 Bq/kg ve  $^{228}\text{Ac}$  aktivitesini 30-106 Bq/kg olarak bulmuşlardır[3].

2001 yılında J.Yeboah ve ekibi tarafından, Afrika Gana'da yapılan çalışmada toprak örneklerinde ve kayalardaki  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivitesi 91,1-1395,9 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  aktivitesi 2,4-62,7 Bq/kg ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi 3,2-145,7 Bq/kg aralığında değişirken, kaya örneklerinde  $^{40}\text{K}$  aktivitesi 9,0-1510,1 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  aktivitesi 0,7-40,0 Bq/kg ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi de 0,5-117,52 Bq/kg aralığındadır. 1 metre yükseklikte maruz kalma oranı toprakta 0,9-20,6  $\mu\text{R/h}$  ve kayalarda 0,6-17,8  $\mu\text{R/h}$  olarak hesaplanmıştır[4].

2003 yılında S. Singh ve ekibi tarafından, Hindistan'da yapılan çalışmada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak topraklardaki doğal radyoaktivite ölçülmüş ve sonuçta  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu 143,7-228,9 Bq/kg;  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu 35,2-122,8 Bq/kg ve  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu 25,1-75,7 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Bu ölçümler her bir örnekten 250 g tartılarak alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada  $^{226}\text{Rn}$  eşdeğer aktivitesi 90,88-275,33 Bq/kg aralığında hesaplanmıştır[5].

2003 yılında Hindistan'da S.Saravanan ve ekibi tarafından, NaI(Tl) dedektörü kullanılarak Tamilnadu bölgesi topraklarının doğal background radyasyonu ölçülmüştür. Toprakların aktivite düzeyleri:  $^{40}\text{K}$  aktivitesi 73,1-120 Bq/kg aralığında ve ortalama 96,0 Bq/kg'dır;  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi 21,6-69,6 Bq/kg aralığında ve ortalama 43,9 Bq/kg'dır ve  $^{226}\text{Rn}$  aktivitesi 31,8-52,0 Bq/kg aralığında ve ortalama 42,9 Bq/kg'dır.  $^{226}\text{Rn}$  eşdeğer aktivitesi 68,3-149,0 Bq/kg aralığında ortalama 113 Bq/kg olarak hesaplanmıştır[6].

2003 yılında M.K. Fasasi ve ekibi tarafından, Nijerya'da yapılan çalışmada katran kumundaki doğal radyoaktivite Coaxial Germanyum dedektörü kullanılarak ölçülmüştür.  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{238}\text{U}$ ) aktivitesi 165,64 Bq/kg ve  $^{208}\text{Tl}$  ( $^{232}\text{Th}$ ) aktivitesi 150,25 Bq/kg olarak ölçülmüştür[7].

Malczewski ve ekibi tarafından Polonya'da gama ışın spektrometresi kullanılarak kaya ve topraklardaki doğal ve antropojenik radyoaktivite düzeyleri incelenmiş ve sonuçta  $^{40}\text{K}$  aktivitesinin 320-1200 Bq/kg aralığında,  $^{228}\text{Ac}$  ( $^{232}\text{Th}$  serisi) aktivitesinin 25-62 Bq/kg aralığında ve  $^{226}\text{Rn}$  aktivitesinin 31-122 Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur[8].

2004 yılında Meksika'da yapılan çalışmada yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi kullanılarak  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serilerinin konsantrasyonları toprak için belirlenmiştir.  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serileri için değerler 30 Bq/kg civarındadır. Sıvı sintilasyon sayacı kullanılarak içme suyunda ki  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonu 4.3-42 kBq/m<sup>3</sup> bulunmuştur[9].

2002 yılında Güney Pasifik Okyanusunda, Avustralya'nın batısında, 322 adadan oluşan Fiji'de yapılmış olan çalışmada 50 toprak örneği toplanarak NaI(Tl) dedektörü ile  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$ 'in ortalama aktiviteleri sırayla 160, 2,8 ve 3,6 Bq/kg bulunmuştur[10].

İnsanların maruz kaldığı doğal radyasyon dozuna önemli katkısı olan radyoaktif maddelerden biriside, su ve gıda yoluyla alınan radyumdur. İçme sularının büyük bir kısmı, yer altı sularından çekilir. Bu sular, yer altı ortamını yıkayarak yüzeye çıktıkları için yüksek miktarda uranyum ve radyum içerirler. Yeryüzü sularında,  $^{226}\text{Rn}$  konsantrasyonu düşüktür ve 4-18 Bq/m<sup>3</sup> (0,1-0,5 pCi/L) civarındadır. Taşınarak oluşmuş derin kuyulardaki suları içeren sistemlerde, akifer kayaçları sebebi ile bu değer 40 Bq/m<sup>3</sup>'dür[11].

Ortamın jeokimyasal yapı ve karakteristiklerini yeryüzüne yansıtarak bilgi veren en önemli kaynaklardan biriside, termal sulardır. Su kaynakları arasında termal ve mineralli su membaları (ılıca, kaplıca ve maden suları) içerikleri bakımından uranyum araştırmaları için en uygun kaynaklardır. Çünkü bu sular, hem yer altı ortamını yıkamış hem de büyük çoğunluğu magmaya yakın bölgelerden geçerlerken yer yüzeyine normalin üzerinde bir sıcaklığa erişmiş olarak çıkarlar ve yüksek yoğunlukta radyoaktif element taşırlar. Sıcak sularda daha fazla radyum çözünmesi, radon yoğunluğunun artmasına neden olur. Böylelikle termal sular, yer altı ortamına jeofiziksel ve jeokimyasal yapı ve karakteristiklerini yer yüzeyine yansıtır[12].

Dünyanın çeşitli alanlarında; kullanım suları, kuyu suyu ve termal suların radyoaktivitesinin ölçümleri ve bunlardan kaynaklanan doz hesaplamalarının yapıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

Brezilya'da 2004 yılında nükleer iz dedektörü kullanılarak yapılan bir çalışmada  $^{226}\text{Ra}$  ölçüm sonuçları; yer altı suları için 0.95-36.00 Bq/l, deniz suları için 0.30-0.54 Bq/l, musluk suları için 0.39-0.47 Bq/l, nehir suları için 0.43-2.40 Bq/l olarak ölçülmüştür. Brezilya devletinin koymuş olduğu sınır değer ise 2.35 Bq/l'dir[13].

2000 yılında Ürdün’de ki sıcak kaynak sularından alınan örneklerin radyonüklid konsantrasyonları bir HPGe gama ışın spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Sonuç olarak;  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Rn}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{40}\text{K}$ ’ın aktiviteleri 0.14-34.8 Bq/l arasında değerleri kapsar. Ayrıca, ana uranyum ve toryumun konsantrasyonları sırasıyla  $3.0 \times 10^{-3}$  ile 0.59 mg/l olarak bulunmuş, sonuçlar ise içme suyu ile kıyaslanmıştır[14].

2001 yılında Fas’da yapılan çalışmada doğal radyonüklidler (uranyum, aktinyum ve toryum serileri) kaya tortularında ki fosfat örneklerinde ölçülmüştür. Ölçümler, yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi ile yapılmış ve bulunan uranyum içeriği (ppm) nükleer katıhal iz kazıma dedektörleriyle ölçülen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sadece maden bölgesinden alınan su örneklerinde  $^{226}\text{Rn}$  seviyesi, 0,2 Bq/l civarında bulunmuştur[15].

2001 yılında İngiltere’de ICP kütle spektrometresi ile yapılan çalışmada uranyumun deniz suyunda ki değeri  $2.68 \text{ ngm.l}^{-1}$ , yer altı suyunda ki değeri ise  $0.1 \text{ ngm.l}^{-1}$  olarak ölçülmüştür[16].

2001 yılında Fas’da yapılan çalışmada uranyum ve toryum izotopları alfa spektrometresi ile radyum izotopları ise gama spektrometresi ile ölçülerek şu sonuçlar elde edilmiştir;  $^{238}\text{U}$ ’in aktivitesi kuyu suyunda 4,5-309 mBq/l, termal sularda 0,6-8,5 mBq/l, nehirlerde 9,7-28 mBq/l, musluk sularında 2.5-16 mBq/l, göllerde 6-24 mBq/l bulunmuş,  $^{226}\text{Ra}$ ’nın ölçülen değerleri kuyu suyunda 1-25 mBq/l, mineral sularda 9.1-3696 mBq/l, nehir suyunda 0.8-5.3 mBq/l, musluk sularında 0.46-46 mBq/l, göllerde 0.81-23 mBq/l bulunmuş,  $^{228}\text{Ra}$ ’in ölçülen değerleri kuyu suyunda 0.6-17.3 mBq/l, mineral sularda 2.4-620 mBq/l, nehir suyunda 0.78-2.9 mBq/l, musluk sularında 0.4-7.7 mBq/l, göllerde 0.61-11 mBq/l olarak ölçülmüştür[17].

2002 yılında Kuzey Meksika’da yapılan çalışmada  $^{238}\text{U}$  içeren kuyu suları ile sulanan domates, balkabağı, marul ve turp içeriği sırasıyla <1, 150, 500 ve 1200  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  olduğu ICP-MS kullanılarak bulunmuştur[18].

2003 yılında Japonya’da ICP-MS kullanılarak sulara, uranyumun % oranları hesaplanmıştır. Nehir suyunda % 2.63, deniz suyunda % 1.13 ve musluk suyunda % 1.37 uranyum değerleri ölçülmüştür[19].

2004 yılında Brezilya’nın Rio de Janerio bölgesinden toplanan yer altı su örnekleri ICP-MS yöntemi kullanılarak  $^{238}\text{U}$  için bulunan konsantrasyon değerleri  $<1.0\times 10^{-4}$ - $8.0\times 10^{-2}$   $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  için  $<0.002$ - $0.492$   $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  için  $<0.01$ - $1.50$   $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$  bulunmuştur[20].

2004 yılında İsveç’te yapılan çalışmada doğal sular incelenmiş ve radyometrik ve ICP-MS teknikleri kullanılarak  $^{222}\text{Rn}$ ’nin konsantrasyonu 5-3470  $\text{Bq}/\text{l}$ ,  $^{238}\text{U}$ ’in konsantrasyonu 0.23-553,4  $\mu\text{g}/\text{l}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ’nın konsantrasyonu 8,1-1917  $\text{mBq}/\text{l}$  ve flüoride konsantrasyonu ise 0.03-2,31  $\text{mg}/\text{l}$  bulunmuştur[21].

Slovenya’da yapılan bir çalışmada bazı maden suları ve termal sulara yapılan çalışmalarda elde edilen radon sonuçlarının 5 ile 1700  $\text{pCi}/\text{l}$  arasında, radyum sonuçlarının 0.2-16.6  $\text{pCi}/\text{l}$  arasında değiştiği gözlenmiştir[22].

Ülkemizin değişik bölgelerinde de, radyoaktivite ölçümleri ve doz hesaplamalarının yapıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

İzmir’in yaklaşık 40 km kuzeydoğusunda bulunmakta olan Sarıcaoğlu (Bergama) tersiyer havzası kayalarındaki radyoaktivite incelenmiş ve kaya örneklerinde en düşük U aktivitesi kireç taşlarında 2.35 ppm en yüksek 112 ppm olarak bulunmuştur. Manisa’nın Köprübaşı ilçesindeki Kasar uranyum yatağı çevresinde bulunan topraklarda

radioaktivite araştırılmış ve U aktivitesi 37,75-88,00 Bq/kg, Th aktivitesi 32,50-77,50 Bq/kg ve K aktivitesi 296- 888 Bq/kg arasında bulunmuştur[23].

1999 yılında G. Karahan ve A. Bayulken tarafından, Türkiye-İstanbul yüzey topraklarındaki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları, gamma spektroskopisi yöntemi kullanılarak  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  için sırasıyla 21, 37 ve 342 Bq/kg olarak ölçülmüştür[24].

Türkiye’de Karakelle ve ekibi tarafından yapılan çalışmada Kocaeli toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite, HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir.  $^{238}\text{U}$  aktivitesi 11-49 Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  aktivitesi 161-964 Bq/kg ve  $^{232}\text{Th}$  aktivitesi 11-65 Bq/kg olarak ölçülmüştür[25].

Ülkemizin bütün bölgelerinin doğal radyasyon haritasının çıkarılması, TAEK (Türkiye Atom Enerji Kurumu)’in hedefleri arasında bulunmaktadır. Kars ili ve çevresinin topraktaki doğal radyasyon seviyeleri henüz detaylı olarak çalışılmamıştır. Bu tez çalışmasında, literatürdeki bu eksikliği gidermek açısından Kars-il merkezindeki topraklarda doğal radyoaktivite düzeylerinin NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.



## 2.TEORİK BİLGİLER

Çevresel radyoaktivitenin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmanın bu bölümünde, çalışmanın daha iyi anlaşılabilmesi için; radyasyon, radyasyon çeşitleri, radyasyon kaynakları, gammanın madde ile etkileşimi ve sintilasyon dedektörleri hakkında bilgiler yer almaktadır.

### 2.1 Radyasyon

Radyasyonu, ortamda yol alan enerji olarak tanımlamak mümkündür. Bu tanım kapsamında doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de “radyasyon” olarak adlandırılır. Genelde atom numarası 83’ten büyük atomlar radyoaktiftir. Daha küçük atom numaralı atomların izotopları da radyoaktif olabilir. Radyoaktif kelimesi, yayma anlamına gelen radyo ile sürekli anlamına gelen aktif kelimelerinden oluşur. Yani radyasyon, azalan bir dozda sürekli bir ışımadır. Durdurulamaz özelliği, bizim için çeşitli sorunlar oluşturmaktadır.

Radyasyon, yaşamın gerçeği ve bir parçası kabul edilmek zorundadır. Doğal olarak, dünyanın her yerinde kaçınılmaz şekilde bulunan radyoaktif maddeler ve kaynaklar aracılığıyla, hem dâhili hem de harici (iç ve dış) radyasyonlarla yaşantımızı sürdürmekteyiz. Öte yandan, nükleer füzyon ya da nükleer kaynaşma-birleşme şeklinde adlandırdığımız, güneşte vuku bulan nükleer reaksiyonlar vasıtasıyla oluşan güneş radyasyonları ve sıcaklık, insanoğlunun yaşamsal ihtiyaçlarının temelini oluşturmaktadır. Radyoaktif maddeler veya izotoplar, kâinatın (13 milyar 700 milyon yıl), dünya ve güneş sistemimizin oluşumu olan yaklaşık 4.5 milyar yıldan beri mevcut olup; insan vücudu, tabii ya da doğal radyasyon kaynakları, örneğin, karbon-14 ( $^{14}\text{C}$ ), potasyum-40 ( $^{40}\text{K}$ ) ve polonyum-210 ( $^{210}\text{Po}$ ) gibi radyoaktif materyalleri doğası gereği

içinde bulundurmaktadır. Yeryüzündeki tüm yaşam, bu radyasyonların varlığı ve insanın vücuduna gelmesi ile birlikte, eş zamanlı iç içe sürüp gitmektedir.

Radyasyon günümüzde; arkeolojide tarih hesaplamak için (karbon yöntemi) ve tıpta (radyoterapi) kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Ama en çok enerji üretiminde kullanılmaktadır.



a) kanser hastasına radyasyon tedavisi yapılıyor

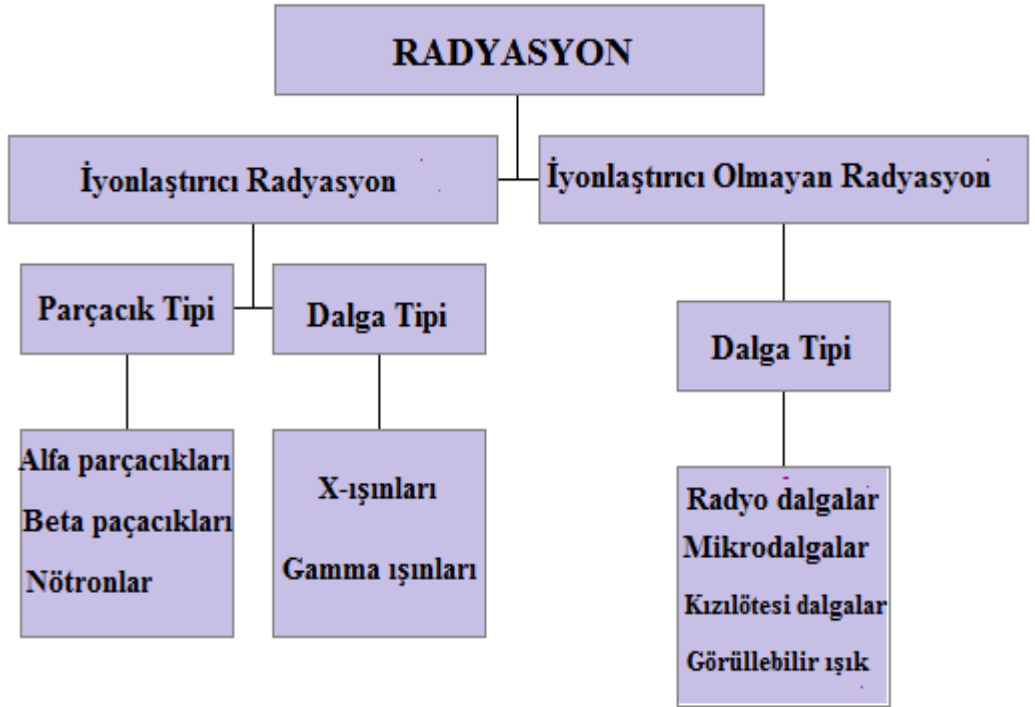


b) Ölü Deniz parşömenlerinin bir parçası. Karbon tarihlemesiyle, 2000 yıldan daha eski oldukları saptandı.

**Şekil 2.1** Radyasyonun günümüzde kullanıldığı alanlardan birkaçı (a) kanser hastasına radyasyon tedavisi yapılıyor (b) Ölü Deniz parşömenlerinin bir parçası. Karbon tarihlemesiyle, 2000 yıldan daha eski oldukları saptandı[26].

## 2.2 Radyasyon Çeşitleri

Radyasyonları; madde üzerinde oluşturdukları etkilere göre (Şekil 2.2), iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olmak üzere iki sınıfta toplayabiliriz. İyonlaştırıcı radyasyonu da, parçacık ve dalga tipi olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip, ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar; titreşim yaparak ilerleyen, elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Görünür ışık, dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar, ışık hızıyla ( $3 \times 10^8$  m/saniye) hareket ederler.

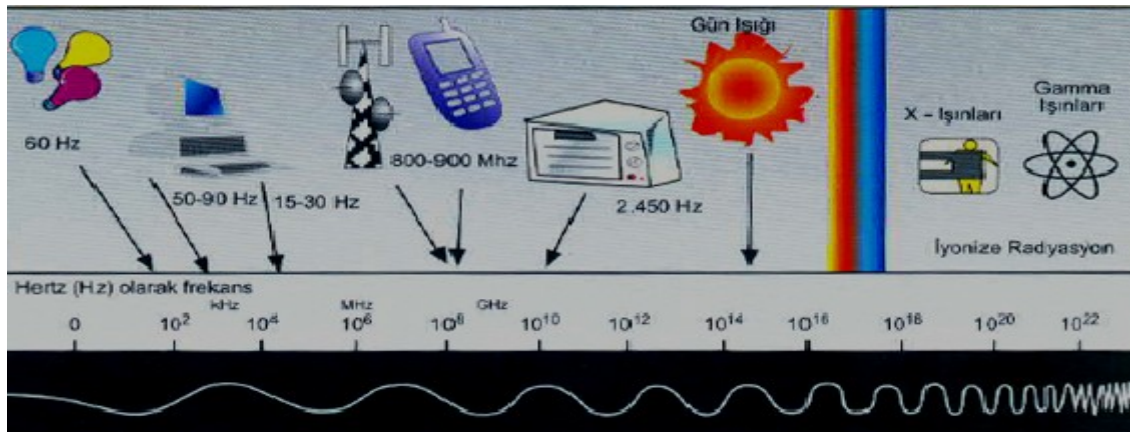


Şekil 2.2 İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun şematik gösterimi

## 2.2.1 İyonlaştırıcı radyasyonlar

UV bölgesinden daha yüksek bir frekans bölgesinde bulunan EM radyasyon, çarpıştığı atomun yörüngelerinden elektron koparabilmek için, foton başına yeterli enerjiye sahiptir. Bu bölgedeki radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denir.

İyonlaştırıcı radyasyonlar hakkında en büyük endişe, radyasyona maruz kalan kişilerde, kanser gibi tehlikeli hastalıklara neden olması, radyasyonların genetik etkileri ve de gecikmiş etkileri olarak adlandırdığımız bu kusurların, gelecek nesillere intikal ettirilmesi olasılıklarından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.3’de iyonlaştırıcı radyasyona neden olan cihazlar ve etkenler gösterilmiştir.



Şekil 2.3 İyonlaştırıcı radyasyonun şematik gösterimi[27].

### 2.2.1.1 Parçacık tipi radyasyonlar

Parçacık tipi radyasyonlar; alfa ışınları, beta ışınları ve nötron ışınlarıdır.

Alfalar; iki proton ve iki nötrondan oluşan Helyum atomu çekirdekleri olup, temsili olarak  ${}^4_2\text{He}$  şeklinde gösterilmektedir. Alfa parçacıkları çoğunlukla doğada oluşmuş ve atom ağırlıkları büyük olan polonyum, toryum, radyum ve uranyum gibi tabii radyoaktif izotoplardan yayınlanır. Ayrıca yapay radyoaktif maddeler de alfa yayınlarlar. Büyük kütleleri nedeniyle çevrelerindeki maddeyi geçerken, çabucak soğurduklarından fazla ilerleyemezler. İnce bir kağıt, her çeşit giyecek ve insanın derisi alfaları soğurmaya yeterlidir. Fakat yüksek iyonlaştırıcı olma özelliklerinden dolayı, bu ışınlar tehlikelidirler. Solunum ve sindirim sistemlerine herhangi bir yolla girdiklerinde zararlı etkileri çok büyük olur. Alfa saçan radyoaktif maddelere örnek olarak; Radyum ( ${}^{226}\text{Ra}$ ), Radon ( ${}^{222}\text{Rn}$ ), Plutonyum ( ${}^{238}\text{Pu}$ ) gösterilebilir.

Beta Işınları; bir elementin çekirdeğindeki, proton veya nötronların fazlalığından dolayı çekirdeğin yayınladığı yüksek enerjili elektronlardır. Parçacık özelliği gösteren beta ışınlarının yüksek enerjili olanları bile birkaç mm kalınlığındaki metal levha ile durdurulabilir. Beta saçan radyoaktif maddelere örnek olarak; Potasyum ( ${}^{40}\text{K}$ ), Stronsiyum ( ${}^{90}\text{Sr}$ ), Karbon ( ${}^{14}\text{C}$ ) gösterilebilir.

Özellikle atomik fisyon (nükleer parçalanma-bölünme) ve nükleer füzyon (atomik kaynaşma-birleşme) esnasında, kararsız ya da aktif atom çekirdeği tarafından, bir nötronun yayınlanmasına nötron radyasyonu veya nötron ışını denir. Elektriksel olarak yüksüz parçacıklar olmalarından dolayı, nötron radyasyonları çok girici olabilmekte ve madde ya da doku ile etkileştiklerinde, beta veya gamma radyasyonlarının yayınlanmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, nötron ışınlarının oluşturduğu ikincil ışınlanmaları azaltmak için, son derece ciddi bir zırhlamaya gereksinim duymaktadır.

### **2.2.1.2 Dalga tipi radyasyonlar**

Beta parçacığının yayınlanması esnasında, kararsız atom çekirdeğinden çıkan, ışığa benzeyen elektromanyetik dalga şeklinde, çok yüksek enerjili fotonlar, gamma radyasyonları olarak adlandırılır.

Gamma ışınları; madde içinden geçerken birincil derecede elektronlarla etkileştikten, atomlarda iyonlaşmaya neden olmaktadır. Çok girici olan gamma radyasyonuna karşı, sadece kurşun ya da çelik gibi, yoğunluğu oldukça yüksek ve kalın materyaller, iyi bir zırhlama sağlayabilmektedir. Bu nedenle gamma ışınıyla, sindirilmeden ya da solunum olmadan da vücudun iç organları önemli ölçüde doz alabilmektedir.

X ışınları; bir elektron demetinin çok hızlı yavaşlamasıyla, yapay olarak oluşan ve gamma radyasyonuna benzer, yüksek enerjili fotonlardır. X-ışınları da girici olup, yüksek yoğunluklu materyaller bulunmadığı takdirde bu tür ışıklardan, vücudun iç organları oldukça tehlikeli dozlar alabilmektedir.

### **2.2.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar**

Ultraviyole ışık (morötesi ışık), güneş ışınları, radyo dalgaları, bilgisayar ve televizyonların çalıştığı elektromanyetik dalgalar, radar dalgaları, cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgalar, baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik sinyaller, mikro dalgalar ve benzerlerini içermektedir.

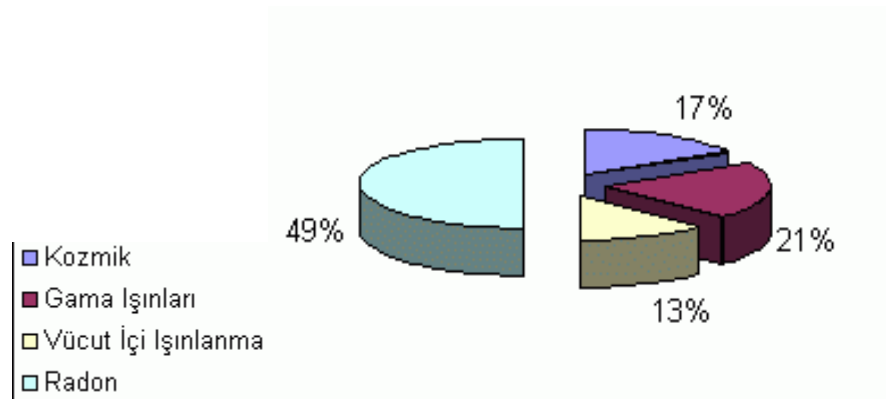
## 2.3 Radyasyon Kaynakları

Radyasyon kaynaklarını doğal radyasyon kaynakları ve yapay radyasyon kaynakları olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz.

### 2.3.1 Doğal Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup, bu doğal radyasyonla iç içe yaşamaktadırlar.

Vücudumuza; solunum ve sindirim yollarıyla hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde (az da olsa) bulunan radyoaktif maddeler alınmakta ve bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir. Buna ek olarak, kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilendiğimiz de düşünüldüğünde, insan vücudu hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına doğal olarak maruz kalmaktadır. Şekil 2.4'de dünya genelinde doğal radyasyondan kaynaklanan radyasyon dozlarının oransal değerleri verilmiştir.



**Şekil 2.4** Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri[28].

Doğal radyasyon kaynakları ve insanda oluşturduğu doz değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Doğal radyasyondan kaynaklanan ışınlanma, uzaydan dünya atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlara ait paracıklardan ve yer kabuğunda (toprak, hava, su, bitkiler ve diğer canlılar) bulunan doğal radyoaktif izotoplardan olmak üzere iki ana nedenden kaynaklanır.

Çizelge 2.1'de; (a) deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı, (b) toprak ve yapı malzemelerinin karışımına bağlı, (c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı, (d) yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı doz değerlerini ifade etmektedir.

Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır. Bununla birlikte, bazı ülkelerde bu miktar 10 mSv'in üzerindedir[1,28].



**Çizelge 2.1** Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri[28].

<b>Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri</b>		
<b>Işınlanma Kaynağı</b>	<b>Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)</b>	
	<b>Ortalama</b>	<b>Değişim Aralığı</b>
<b>KOZMİK RADYASYON</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Foton bileşeni</li> <li>• Nötron bileşeni</li> </ul>	0,28 0,10	0,3 - 1,0 <sup>(a)</sup>
<b>KOZMOYENİK RADYOİZOTOPLAR</b>	0,01	
Toplam	0,39	
<b>YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bina dışı</li> <li>• Bina içi</li> </ul>	0,07 0,41	0,3 - 0,6 <sup>(b)</sup>
Toplam	0,48	
<b>SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uranyum ve Toryum serileri</li> <li>• Radon ( Rn -222)</li> <li>• Toron ( Rn -220)</li> </ul>	0,006 1,15 0,10	0,2 - 10 <sup>(c)</sup>
Toplam	1,26	
<b>BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• K-40</li> <li>• Uranyum ve Toryum serileri</li> </ul>	0,17 0,12	0,2 - 0,8 <sup>(d)</sup>
Toplam	0,29	
<b>GENEL TOPLAM</b>	2,4	1 - 10

### 2.3.1.1 Kozmik Işımlar

Dünyamız, Şekil 2.5’de görüldüğü gibi, uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklarla sürekli olarak bombardıman edilmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu, atmosfere ulaşan protonlardır. Güneş patlamalarına, yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişir.

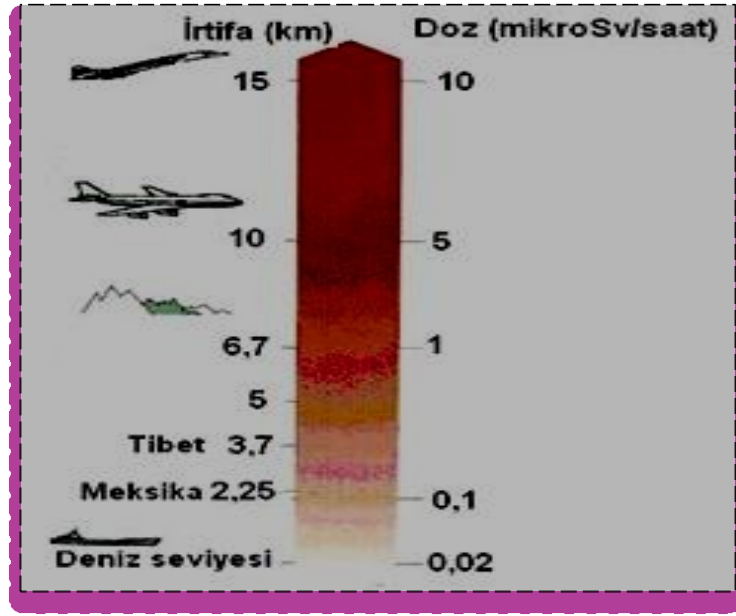
Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ulaştıklarında, dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle, kozmik ışın yoğunluğu ekvator dan kutuplara gidildikçe artar. Böylece, insanların aldığı radyasyon enlem arttıkça artar. Bu ışınların büyük bir kısmı, dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Yani atmosferimiz, tamamıyla olmasa da radyasyonu zırlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu dolayısıyla doz miktarı da azalır.



Şekil 2.5 Kozmik radyasyon[28]

UNSCEAR (United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation) tarafından yapılan hesaplamalara göre, kozmik ışınlardan kaynaklanan yer seviyesindeki yıllık etkin doz, enlem ve yükseklikle değişse de 0,4 mSv civarındadır[27].

Uçuş yüksekliğindeki kozmik ışın yoğunluğu yer seviyesine oranla daha fazla olduğundan, uçakla yapılan seyahatlerde yer seviyelerine göre daha fazla kozmik ışına maruz kalınır. Şekil 2.6'da kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi verilmiştir. Uçuşlarda alınan radyasyon dozu, uçuş süresine ve uçuş rotasına bağlı olarak değişmekle birlikte, yıllık dozun üzerine 0,01 mSv'lik ek doz alınmasına sebep olur ancak, dünya ortalaması olan 0,4 mSv değerini etkilemez.



Şekil 2.6 Kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi[28].

Yüksek enerjili kozmik ışınlara ait nötronlar ve protonlar atmosferin alt tabakalarına kadar uzanarak bu bölgelerde de atmosferde bulunan elementlerle etkileşerek çeşitli radyoizotoplar ( $T$ ,  $^{14}C$ ,  $^7B$ ,  $^{22}Na$ ) oluşturabilmektedir. Atmosferik şartlara bağlı olarak yeryüzüne inen bu radyoizotoplar, gerek solunum gerekse de besinler yolu ile iç ışınlanmaya neden olurlar. Bu radyoizotoplardan kaynaklanan yıllık tahmini ortalama etkin doz değerleri;  $^3T$  (trityum) için 0,01  $\mu Sv$ ,  $^7B$  (berilyum) için 0,03  $\mu Sv$ ,  $^{14}C$  (karbon) için 12  $\mu Sv$  ve  $^{22}Na$  (sodyum) için 0,15  $\mu Sv$ 'dir[32].

### 2.3.1.2 Yeryüzü Kaynaklı Doğal Radyasyon

Dünyanın oluşumundan itibaren yerkabuğunda doğal olarak bulunan radyoizotoplar, vücudumuzu dış ve iç ışınlanmaya maruz bırakırlar. Yeryüzündeki radyoizotopların yaydığı gamma ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda, tortularda yüksek radyoaktivite bulunabilmektedir. Yapı malzemeleri taş ve topraktan üretildikleri için düşük oranda da olsa radyoaktivite içerebilirler. Böylece insanlar konutları dışında olduğu gibi, bina içinde de radyasyona maruz kalırlar. Yaşanılan bölgenin jeolojik özellikleri yanında, binada kullanılan yapı malzemeleri alınan radyasyon dozunu etkilemektedir.

Gamma yayınlayan,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  serileri ile  $^{40}\text{K}$  dış kaynaklı radyasyon alanının belirlenebilen üç önemli bileşenidir. Uranyum, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır.  $^{238}\text{U}$  birçok elementin uzun radyoizotop bozunma serisinin başlangıç kaynağı olup, kararlı  $^{206}\text{Pb}$  haline gelinceye kadar bozunur. Oluşan ilk ürünler arasında yer alan ve radyoaktif gaz olan  $^{222}\text{Rn}$  radyo izotopu atmosfere dağılır ve bozunmaya devam eder.  $^{232}\text{Th}$  da benzer şekilde yeryüzüne dağılmıştır ve  $^{232}\text{Th}$ , başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. Yerkabuğunun ağırlık olarak % 2,4'ünü oluşturan  $^{40}\text{K}$ 'ın aktivite konsantrasyonu genelde,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'den büyüktür. Çizelge 2.2'de toprakta bulunan radyonükleitlerin konsantrasyon değişim aralığı verilmiştir[25].

**Çizelge 2.2** Toprakta bulunan doğal radyonüklitlerin değişim aralığı[29].

Radyonüklit Konsantrasyonu (Bq/kg)				
	<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th
Değişim Aralığı	140 - 850	16 – 110	17 - 60	11 - 64
Ortalama	420	35	35	45

Doğal gamma radyasyonu nedeniyle alınan yıllık toplam etkin doz değeri yaklaşık 0,48 mSv'dir. Bazı insanların aldıkları doz bu ortalamanın altında, bazılarının ise üstünde olabilir. Doğal toprak yapısının yüksek radyoizotop konsantrasyonu içeren yerler az da olsa vardır. Örneğin; Hindistan'ın Kerala bölgesinde, Fransa ve Brezilya'nın bazı bölgelerinde alınan doz dünya ortalamasının 20 katına kadar ulaşabilmektedir.

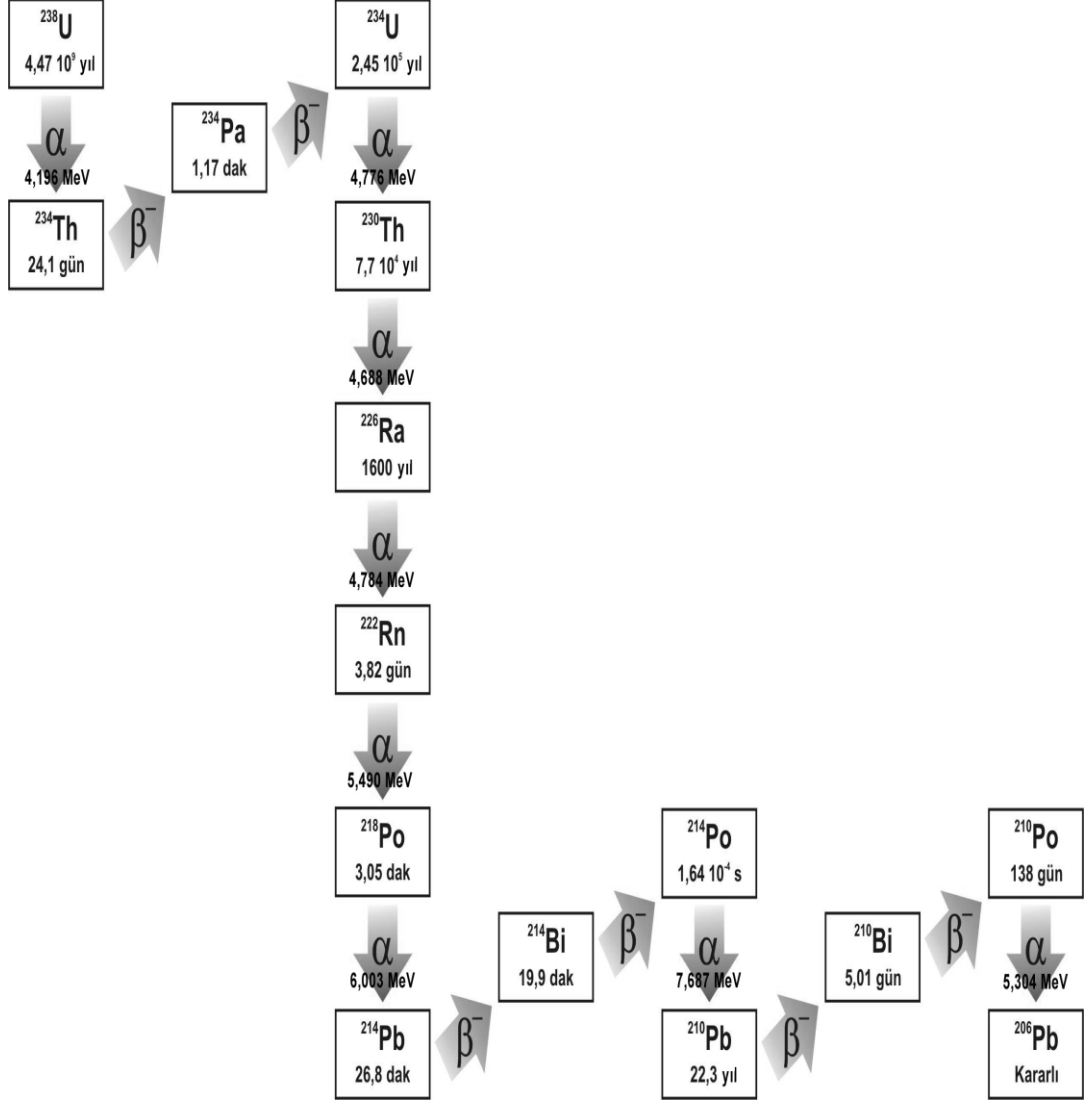
İç ışınlama, yeryüzü kaynaklı doğal olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasından kaynaklanır. Havada bulunan <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th bozunum zincirlerindeki radyoizotoplardan oluşan toz parçacıkları solunum yolu ile vücuda alınmaktadır. Solunum yolu ile iç ışınlanmanın en önemli bileşenini, radon ürünleri oluşturmaktadır. Yiyecek ve içeceklerde bulunan <sup>40</sup>K, <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th serileri de, sindirim yolu ile alınan dozun temel nedenini oluşturmaktadır.

Dünyada ve evren oluşurken var olan uzun yarı ömürlü radyoaktif maddeler: <sup>226</sup>Ra 1600 yıl, <sup>238</sup>U 4.51x10<sup>9</sup> yıl, <sup>232</sup>Th 1.39x10<sup>10</sup> yıl ve <sup>40</sup>K 1.27x10<sup>9</sup> yıl'dır.

Radon, 1900 yılında Friedrich Einst Born tarafından keşfedilmiştir. Periyodik tabloda 86. sırada bulunan radon, asal gazlar grubunun en ağır ve tek doğal radyoaktif elementidir. Renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan radon; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Bu bozunma zincirinin ana atomları, bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu yüzden radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır. Radonun  $^{222}\text{Rn}$  (Radon),  $^{220}\text{Rn}$  (Toron),  $^{219}\text{Rn}$  (Aktinon) olmak üzere üç doğal izotopu vardır; Doğal radyoaktif çevrede çok az bulunan Aktinon ( $^{219}\text{Rn}$ ), toprağın yüzey tanecikleri arasında oluşsa bile yarı ömrünün çok kısa (3,98 s) olması sebebi ile hemen bozunmaya uğrar. Yarı ömrü (54,5 s) Aktinona göre daha uzun olan Toron ( $^{220}\text{Rn}$ ) toprak gazında ve yer atmosferinde bir yoğunluk oluşturur. Üç radon izotopu arasında en uzun yarı ömürlüsü (3,85 gün)  $^{222}\text{Rn}$ 'dir.  $^{226}\text{Ra}$ 'nın bozunumu sonucu oluşur. Radon izotopları içinde gerek doğada bulunma çokluğu gerekse yarı ömrünün gün mertebesinde olması nedeniyle  $^{222}\text{Rn}$ , diğer radon izotoplarından, daha çok atmosferde bulunur. Radon, uranyum ve radyumun bulunduğu her yerde bulunur. Araştırmalar radon gazının, biri toprakta diğeri ise yer altı ve yüzey sularında olmak üzere başlıca iki ortamda bulunduğunu ve atmosfere bu ortamlardan yayıldığını göstermektedir[30]. Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla, ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler  $200\text{-}600\text{ Bq/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise  $400\text{ Bq/m}^3$  'tür.

Uranyum, radyoaktif bozunma serisinin ana elemanı  $^{238}\text{U}$ 'dir. Bu nüklidler, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi, 8 alfa ve 6 beta parçacık emisyonu içerir. Uranyum serisinin elemanları (kolları) büyük sıklıkla kararsızlık halinde bulunmakla birlikte sabit bolluk oranını muhafaza etmişlerdir. Uranyum serisinin gamma spektrumu, farklı enerjilerde birçok gamma ışını içermesinden dolayı komplekstirler. Fakat nicel ölçümler yapabilmek için karakteristik bir piki yoktur. Uranyumun kendisinin karakteristik gamması olmamasına karşılık, nicel analizler yapabilmek için  $^{214}\text{Bi}$ 'ün 1,76 MeV

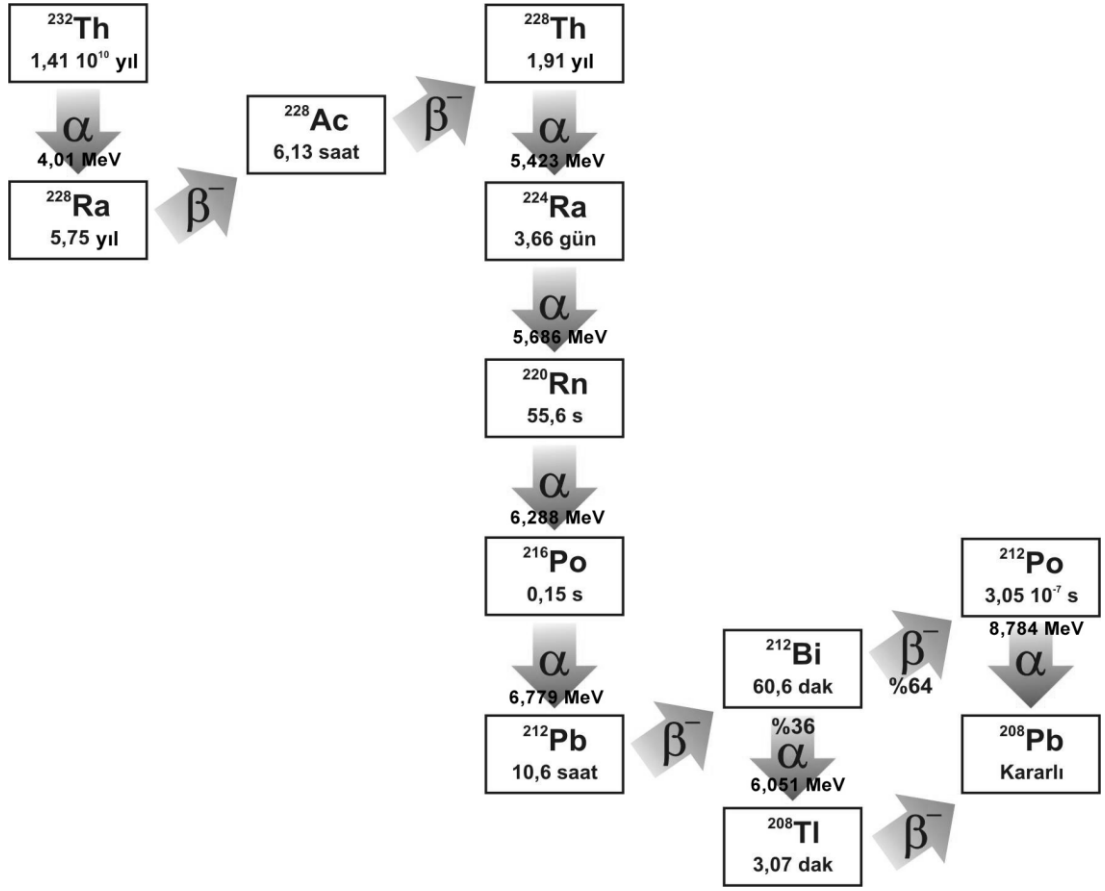
enerjili piki kullanılır[15]. Doğal uranyum esas olarak  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{238}\text{U}$  izotoplarından oluşur. Uranyum; atom numarası 92 ve atom ağırlığı 238,09 olan radyoaktif bir elementtir. Spesifik aktivitesi 12,33 Bq/mg'dır[15].



Şekil 2.7  $^{238}\text{U}$  Bozunum serisi[33].

Toryum; 1828 yılında Jöns Jacob Berzelius tarafından keşfedilen ve periyodik tabloda aktinit serisinin ikinci üyesi olan toryum, yer kabuğunun % 0,0007'lik kısmını oluşturmaktadır. Toryum, uranyum gibi doğada serbest halde bulunmayıp 60 civarında mineralin yapısı içinde yer almaktadır. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi Toryum serisi 11

ürün nükleit içerir. Kompleks bir gama spektrumu verir ve hemen hemen hepsi daima kararsızdırlar. Toryum serisi içinde en uygun karakteristik gama piki,  $^{208}\text{Tl}$ 'e ait olan 2.615 MeV enerjili piktir. Ayrıca  $^{232}\text{Th}$ , doğal Toryumun en önemli radyo izotopudur.  $^{232}\text{Th}$ 'nin yarı ömrü  $1.39 \times 10^{10}$  yıl, spesifik aktivitesi ise 4.1 Bq/mg dir. Doğal kaynakların jeolojik ölçüm ve tahlilleri amacıyla karakteristik üç gama enerjisi 1.461 MeV (K), 1.764 MeV (U) ve 2.615 MeV (Th) kullanılır[15].



Şekil 2.8  $^{232}\text{Th}$  Bozunum serisi[33].

Doğal potasyumun, küçük bir kısmı (% 0,12) radyoaktif  $^{40}\text{K}$ 'dir.  $^{40}\text{K}$ 'ın bozunması, 1,461 MeV'lik gama çıkışına neden olur.  $^{40}\text{K}$ 'in bozunumu sonucunda oluşan ürün çekirdek karalıdır. Yer kabuğunun % 2,6'sını oluşturması nedeniyle potasyum önemli bir elementtir. Boşluğu yaklaşık olarak 0,012 olan radyoaktif potasyumun yarı ömrü



$1,26 \times 10^9$  yıl ve spesifik aktivitesi 3,3 Bq/g'dır. Bunun anlamı  $^{40}\text{K}$ 'in her türlü koşulda konsantrasyonu sabittir ve gram başına saniyede 3,3 gamma ışınımı yayınlar[15].

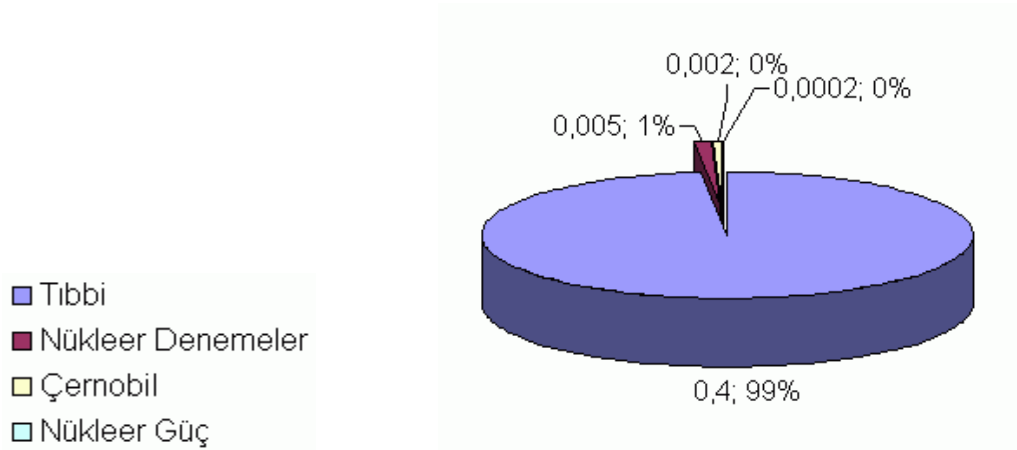
$^{40}\text{K}$  kararlı elementinin içinde 120 ppm oranında bulunur ve yeryüzü kabuğunun ağırlık olarak % 2,4'ünü oluşturur[28].

### **2.3.2 Yapay Radyasyon Kaynakları**

İnsanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, birçok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir.

Yapay radyasyon kaynakları da, tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Şekil 2.9'da yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir[28].



Şekil 2.9 Yapay radyasyon doz oranları[28].

### 2.3.2.1 Tıbbi Uygulamalar

Tıbbi alandaki radyasyon uygulamaları, radyasyonla görüntü elde edebilme ve radyasyonun hücre veya tümörleri yok edebilme yeteneğine sahip olması temeline dayanır. Bu iki özelliğinden dolayı radyasyon hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli rol oynar[28].

### 2.3.2.2 Tamsal Radyoloji

Radyasyonun tıbbi alanda yaygın kullanılmakta olan ve gün geçtikçe geliştirilen en eski çeşidi X ışınlarıdır. Genellikle hastalıkların teşhisi amacıyla kullanılan X ışınları, hastadan geçirilerek hastalıklı bölgenin görüntüsü röntgen filmi olarak da adlandırılan radyografi filmi şeklinde elde edilir[28].

### **2.3.2.3 Nükleer Tıp**

Vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak üzere bazı radyoaktif maddeler kullanılır. Bu tür çalışmalarda radyoaktif madde; vücuda radyoaktif maddenin incelenecek dokuda toplanmasını ve geçici bir süre buraya yerleşmesini sağlayacak bir kimyasal madde ile birleştirilerek verilir. Radyoaktif maddenin vücuttaki dağılımı veya akışı, vücuda verilen radyoaktif maddeden salınan gamma ışınlarını algılayacak özelliklere sahip cihazlarla elde edilir[28].

### **2.3.2.4 Radyoterapi**

Kanser hastalıklarının % 50'sinin tedavisinde etkin olarak kullanılır. Yaygın olarak yüksek enerjili elektron hızlandırıcılar ve <sup>60</sup>Co radyoaktif kaynaklı cihazlar kullanılır. Tedavinin amacına ulaşması tedavi edilecek bölgeye tedavi için gerekli doz verilirken sağlam doku ve organların dozunun minimum düzeyde tutulmasıyla mümkün olur[28].

### **2.3.2.5 Endüstriyel Uygulamalar**

X ve gamma ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamaları, vs.) her hangi bir hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Bu çalışmalar, genel olarak radyografi olarak adlandırılırlar. Radyografi dışında radyasyondan yararlanılarak yine birçok sanayi ürününün (demir, çelik, lastik, kâğıt, plastik, çimento, şeker, vs.) üretim aşamasındaki seviye, kalınlık, nem ve yoğunluk ölçümleri yapılmaktadır.

Işınlama tesislerinde, gıda ışınlanması ve tek kullanımlık atılabilir tıbbi malzemelerin sterilizasyonu yapılmaktadır[28].

### 2.3.2.6 Nükleer Serpinti

Atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintiler, radyoaktif çevre kirliliğine neden olan en büyük yapay radyasyon kaynağıdır. Ancak 1960'lı yılların başlarında bu yolla maruz kalınan radyasyon dozu, günümüzde nispeten azalmıştır. [28].

### 2.3.2.7 Nükleer Güç Santralleri

Ağır radyoaktif (Uranyum gibi) atomların bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi (filyon) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları oluşturması (füzyon) sonucu çok büyük bir miktarda enerji açığa çıkar (Şekil 2.10). Bu enerjiye nükleer enerji denir. Nükleer reaktörlerde filyon reaksiyonu ile edilen enerji elektriğe çevrilir. Güneşteki reaksiyonlar ise füzyon reaksiyonudur. Bu reaksiyonun yarattığı sıcaklık filyon reaksiyonundakinden çok daha fazladır (birkaç milyon derece santigrad). Bu yüzden bu sıcaklığı kontrol edebilecek bir füzyon reaktörü henüz kurulamamıştır.



Şekil 2.10 Radyasyonun oluşumu[26].

### 2.3.2.8 Tüketici Ürünleri

Televizyonlar, duman dedektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lamba fitilleri gibi bazı tüketici ürünleri az miktarlarda da olsa radyoaktif madde içerirler. Kömür ve fosfat kayaları; uranyum, radyum, potasyum ve toryum içerirler. Fosfatın gübre ve kömürün yakıt olarak kullanılması esnasında çevreye az da olsa belli bir radyasyon dozu verilir.

## 2.4 Gamma Işınlmasının Madde ile Etkileşmesi

Gamma ışınları yüksüz oldukları için madde içinden geçerken direkt olarak uyarma ve iyonizasyon yapmazlar. Gammaların madde ile etkileşmesinde çok sayıda olası etkileşim mekanizması olmasına rağmen, radyasyon ölçümlerinde temel olan üç tanesi büyük rol oynar. Bunlar fotoelektrik olay, Compton saçılması ve Çift oluşum etkileşmeleridir. Bu olayların hepsinde, gamma ışının enerjisini etkileştiği ortamın elektronlarına transfer etmektedir. Böylece, sadece gamma ışınlar etkileşmeleri ile oluşturulan bu elektronlar, gelen gammaların doğası hakkında bilgi sağlarlar.

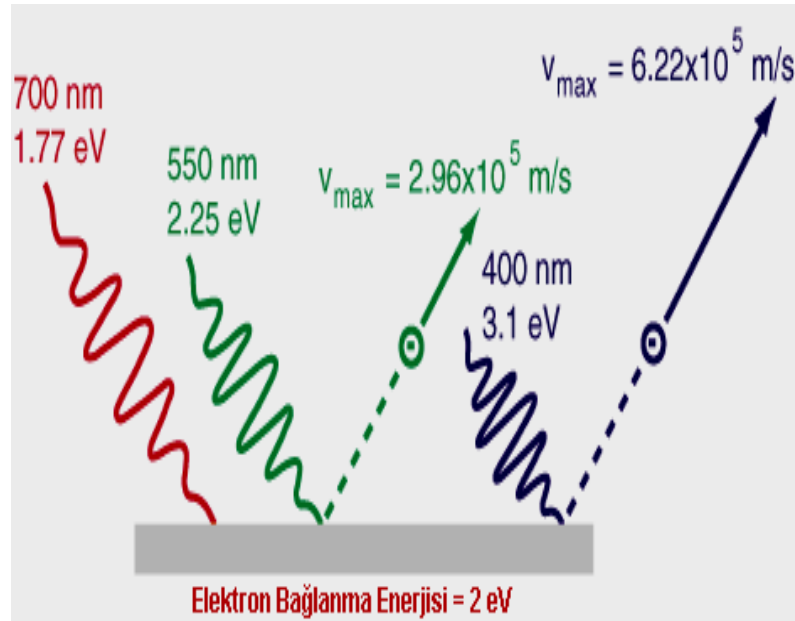
### 2.4.1 Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik soğurma, dedektör kristalin ilk elektronları ile gelen gamma ışınlarının etkileşmesi sonucu olur. Bu etkileşim sırasında gamma ışınının bütün enerjisi kaybolur; fakat bu enerji tamamen elektronlara kinetik enerji olarak aktarılmaz, bir kısmı elektronu uyararak için kullanılır. Bu elektronlar, fotoelektron olarak adlandırılır.

Fotoelektronların kinetik enerjisi ( $T_e$ ), gelen gamma ışınının enerjisinden ( $E_\gamma$ ), elektronu uyararak için gerekli olan enerjinin ( $E_b$ ) çıkarılmasıyla;

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (2.1)$$

denklem 2.1’de gösterildiği gibi hesaplanabilir. Fotoelektrik soğurumdan sonra, fotoelektrondan boş kalan yerin başka elektronlar tarafından doldurulması ile birlikte karakteristik x-ışınları yayınlanır. Bu x-ışınlarının soğurulması ve ikincil elektronların kinetik enerjilerine dönüşmeleri bir anlamda kayıp enerjiyi geri çağırmak olacaktır. Teorik olarak artık fotonların enerjisinin bir kısmı, geri tepen atomların kinetik enerjisine geçer ancak bu ihmal edilebilir. Diğer yandan, geri tepen atom tarafından taşınan momentum önemlidir. Bu sayede momentumun serbest bir elektron tarafından fotoelektrik etki ile dönüştürülemeyeceği gösterilebilir. Bu yüzden fotoelektrik etki için kullanılacak elektronların atoma bağlılığı şarttır. Şekil 2.11’de fotoelektrik olayın şematik diyagramı gösterilmiştir.



**Şekil 2.11** Fotoelektrik olay. Potasyum için bağlanma enerjisi 2 eV değerinden yüksek olduğundan dolayı, bu enerjinin altındaki fotonlar elektron koparamaz[32].

## 2.4.2 Compton ve Thomson Saçılması

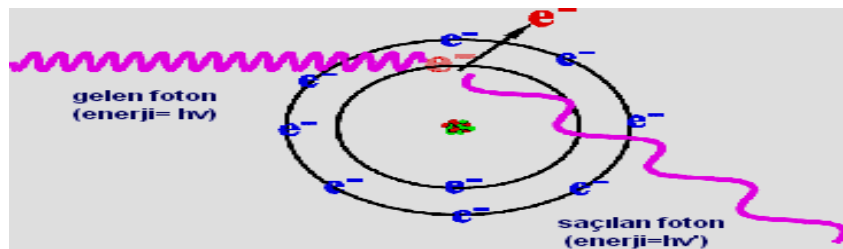
Compton saçılmasında foton, maddedeki bir atomun elektronu tarafından saçılır (Şekil 2.12). Gamma ışını, enerjisinin ( $E_\gamma$ ) düşmesiyle ( $E'_\gamma$ ) bir açıyla saçılabilir ve bu saçılmayla ortaya çıkan enerji kaybı,

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad (2.2)$$

denklem (2.2)'den de görüldüğü gibi elektronlara kinetik enerji olarak geçer. Saçılan gamma ışının enerjisi saçılmadan sonra daha azdır ve kristal ile tekrar etkileşebilir veya etkileşme yapmadan terk edebilir. Ayrıca gamma ışını bir ya da birden fazla compton saçılması da yaşayabilir. Enerji düştükçe fotoelektrik soğurulmanın oluşma olasılığı da artar. Bundan dolayı gamma ışını enerjisinin sadece bir kısmını da, Compton saçılması ile tamamını da (Compton Saçılmasını takip eden fotoelektrik soğurulmayla) kristalde kaybedebilir. Elektronun kinetik enerjisi, enerji ve çizgisel momentumun korunumu kullanılarak;

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma^2(1-\cos\theta)}{mc^2 + E_\gamma(1-\cos\theta)} \quad (2.3)$$

yukarıdaki denklem 2.3 ile hesaplanır. Burada  $m=9,11 \cdot 10^{-31}$  kg değeri ile elektronun durgun kütlesi ve  $c=3 \cdot 10^8$  m/s ışığın boşluktaki hızıdır.

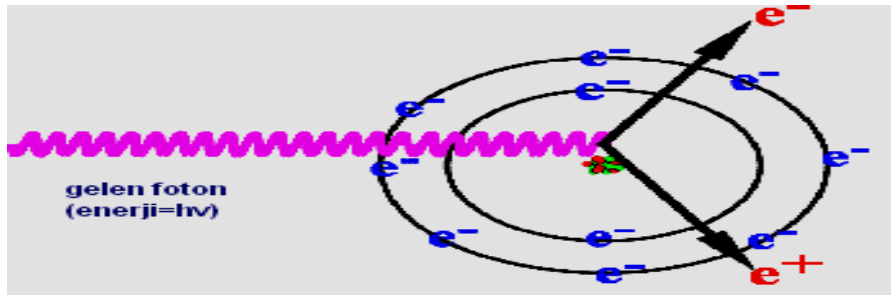


Şekil 2.12 Compton saçılmasının şematik gösterimi[28].

Thomson saçılması, Compton saçılmasının basit bir şeklidir. Bu saçılmada saçılan fotonun enerjisi, gelen fotonun enerjisine eşittir ( $E' = E\gamma$ ), fakat saçılan fotonun yönü değişmiştir.

### 2.4.3 Çift Oluşumu

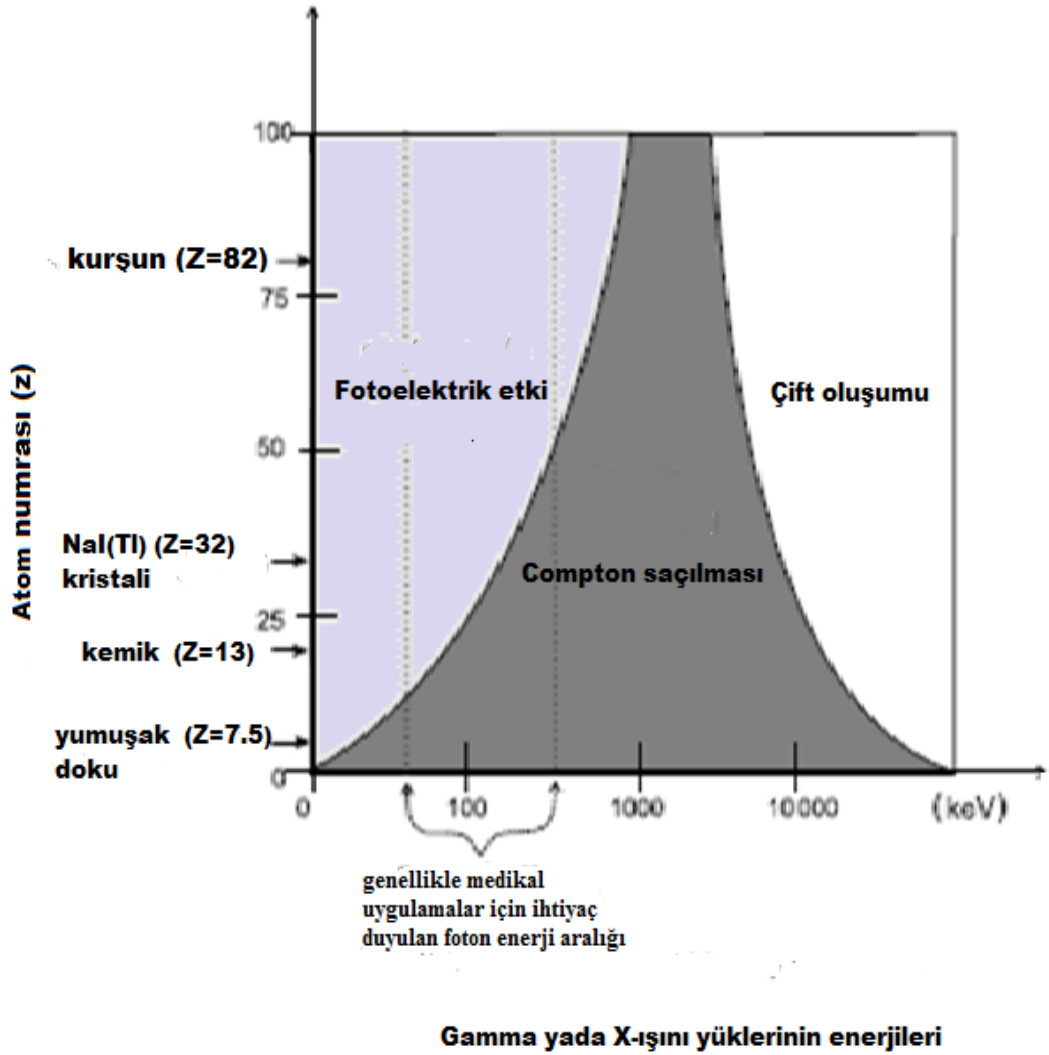
Çift oluşumu işleminde gelen gamma ışını çekirdeğin yakınında elektron-pozitron çifti üretecek şekilde foton yeterli enerjiye sahipse, madde tarafından soğurular ve sonucunda elektron-pozitron çifti meydana gelir. Pozitronun kütlesi elektronun kütlesine eşit olduğundan, (bir elektron ya da pozitronun durgun kütlesi 0.51 MeV) elektron-pozitron çift oluşumu için eşik enerjisi 1.02 MeV ( $2m_0c^2$ ) olacaktır. Oluşan pozitron kinetik enerjisinin çoğunu kaybettikten sonra bir elektron yakalayıp pozitronyum (kararsız ve  $10^{-10}$  sn yarı-ömür) diye adlandırılan hidrojen benzeri bir atom meydana getirir. Pozitronyum atomu bozunarak (anihilasyon) zıt yönlü eşit enerjili iki foton meydana getirir (Şekil 2.13). Fotonların her biri enerji-momentum korunumunu sağlamak için 0.511 MeV'lik enerjiye sahip olmalıdır.



Şekil 2.13 Çift oluşumunun şematik diyagramı gösterilmiştir[28].

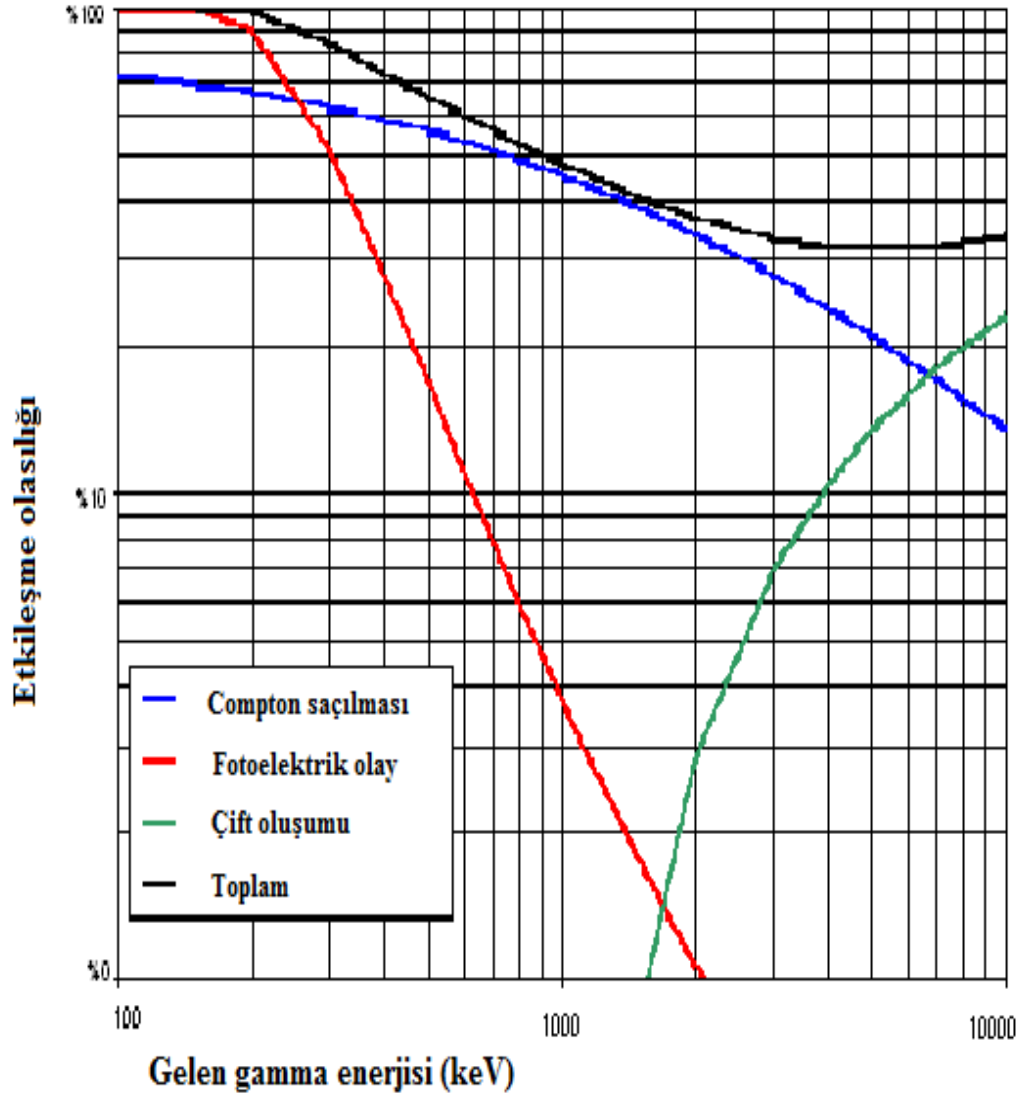


Tüm bu etkileşimleri Şekil 2.14’de görülen bir grafikte özetleyecek olursak; düşük foton enerjilerinde ve büyük Z numaralı atomlarda, fotoelektrik olay baskındır. Enerji değeri arttıkça, fotonun soğurulma olasılığı azalacağından, çarptığı atom tarafından soğurulmayacak fakat Compton saçılmasına uğrayacak ve saçılacaktır. 5 MeV’in üzerindeki enerjilerde ise, çift oluşum baskın hale gelecektir.



Şekil 2.14 Fotoelektrik olay, Compton olay ve Çift oluşumun baskın olduğu bölgeler[33].

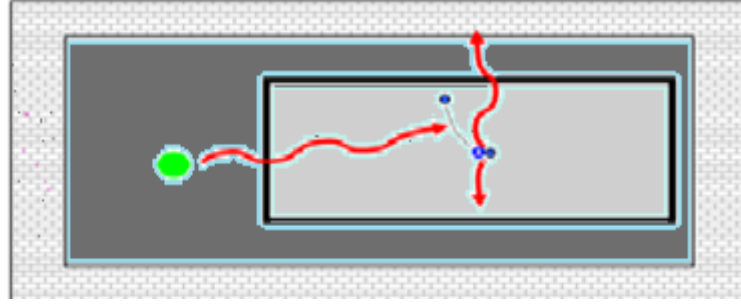
Şekil 2.15; 30 mm kalınlığındaki bir NaI dedektörü için inceltme katsayılarının değerlerini göstermektedir. Görüldüğü gibi düşük enerji değerlerinde, fotoelektrik etkileşme olasılığı fazla ve enerji değeri arttıkça bu olasılık azalmakta, yüksek enerjilerde ise çift üretim etkileşme olasılığı baskın hale gelmektedir.



Şekil 2.15 30 mm kalınlığında NaI dedektörü için hesaplanan etkileşme olasılıkları[33].

### 2.4.3.1 Tek Kaçak Piki

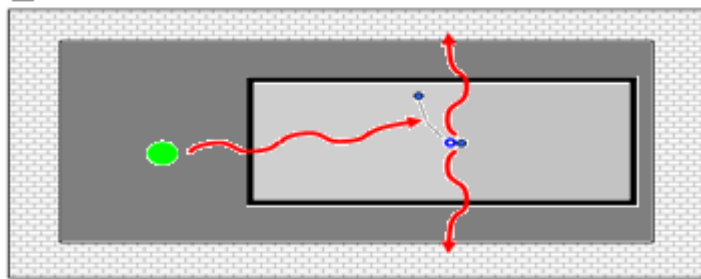
Anhilasyon sonucu oluşan iki gammadan biri dedektör dışına çıkabilir ve 0,511 MeV enerjili foton dedektörde depo edilemediğinden, tam enerji pikinden 0,511 MeV daha aşağıda bir pik oluşur. Bu pike tek kaçak piki denir. Şekil 2.16'da tek kaçak piki şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Tek kaçak piki şematik gösterimi[28].

### 2.4.3.2 Çift Kaçak Piki

Anhilasyon sonucu oluşan gamaların ikisi de dedektör dışına çıkabilir ve fotopik enerjisinden 1,022 MeV daha düşük bir enerjide pik oluşur Şekil 2.17'de çift kaçak piki şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Çift kaçak piki şematik gösterimi[28].

### 2.4.3.3 X-Işını Piki

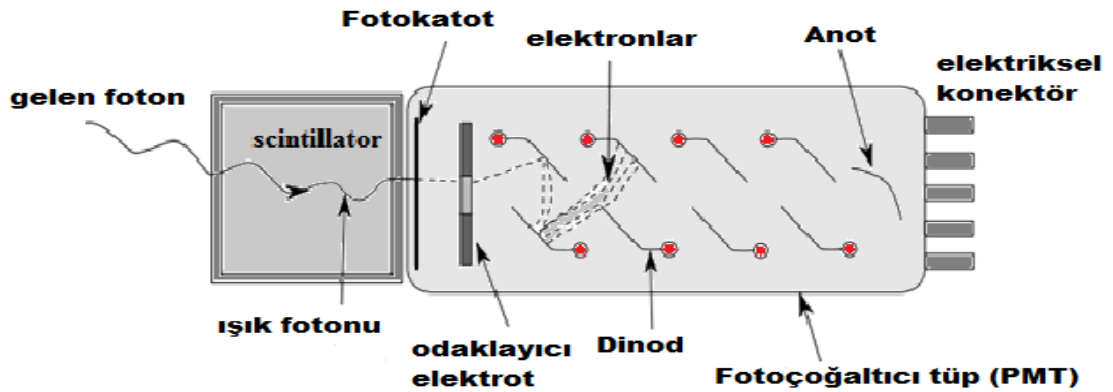
Spektrumunda gözlemlenen bir başka durumda, gamma ışınının detektörü çevreleyen zırh malzemesiyle fotoelektrik etkileşme yapması sonucu, X-ışınlar çıkabilir. Dedektörle etkileşen bu X-ışınları 74,96 keV’de bir pik oluşturur. Bu pike karakteristik X-ışın piki veya Pb X-ışın piki denir.

### 2.4.3.4 Sum Pik

Çoğu uygulamada araştırılan izotopun bozunumunda birden fazla gamma çıkmaktadır. Bu iki gammanın tek bir bozunum gibi etkileşim yapması, enerjilerinin depolama süresi, dedektörün ayırma zamanıyla kıyaslandığında çok küçükse mümkün olur. Eğer bu olaylar yeterince oluşuyorsa spektrumda sum pik gözlenebilir olur. Bu pik spektrumda, iki gamma ışın enerjisinin toplamı olarak görülür.

## 2.5 Sintilasyon Dedektörleri

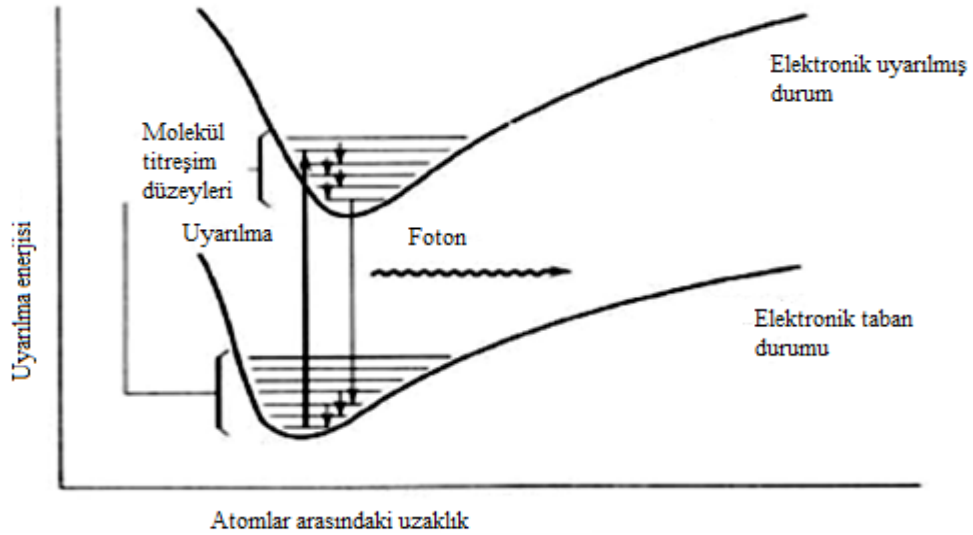
İyonlaşma sonucu oluşan elektronlar, elektronik pulslarla oluşan elektronlarla aynı değildir. İyonlaşma elektronuyla puls elektronları arasında ışık aracıdır[34]. Sintilasyon dedektörlerinde meydana gelen işlemler Şekil 2.18 incelenerek anlaşılabilir.



Şekil 2.18 Sintilasyon dedektörlerindeki temel işlemler[35].

Şekilden de görüleceği gibi, gelen radyasyon dedektöre girer ve atomları uyarılmış durumlara çıkararak çok fazla sayıda etkileşme yapar. Uyarılmış durumlar hızla, görünür bölgede (veya görünür bölgeye yakın) ışık yayımlarlar. Işık, foto duyarlı yüzeye çarparak foton başına en çok bir elektron salınmasına neden olur. Bu ikincil elektronlar; fotoçoğaltıcı tüpte (PMT) çoğaltılır, hızlandırılır ve çıkış pulsları şekline dönüştürülür[34].

Bir organik sintilatörde elektronik yapı, Şekil 2.19 ile verilmiştir. Elektronik durumlar, moleküller arasındaki çekim ve itme kuvvetlerinin ortak etkisiyle oluşan bir minimum potansiyel ile temsil edilir. Çekim kuvveti, moleküllerin birbirinden daha fazla ayrılmalarını, itme kuvveti ise daha fazla yaklaşmalarını engeller. Minimum elektrik potansiyel molekül atomlarının birbirine göre titreşmesinden kaynaklanan bir dizi titreşim düzeyinden meydana gelir[34].



Şekil 2.19 Sintilasyon dedektörlerinde elektronik yapı[34].

Katı veya sıvı bir ortamdan geçen yüklü parçacıklar ortamın atomlarını uyarır. Uyarılan atomlar tekrar taban seviyelerine dönerken ışık fotonları verirler.

Sintilatörleri, organik ve inorganik sintilatörler olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz;

### 2.5.1 Organik sintilatörler

Organik sintilatörler, aromatik bileşikler sınıfına aittirler ve erir madde olarak bilinen bir veya daha fazla katkıdan oluşan düşük konsantrasyonlu taluen ve xylene gibi organik çözücülerden oluşur. Organik sintilatörler hem saf organik kristal olarak hem de sıvı organik çözücüler veya plastik sintilatör (polimer olarak bilinen) olarak kullanılır. Organik sintilatörlerde, sintilasyon süreci moleküler geçişlerinin bir sonucudur. Katı, gaz ve sıvı sintilatörler sintilatörün fiziksel durumundan etkilenmezler.

Organik sintilatörün, İnorganik sintilatörlere nazaran esas avantajı daha hızlı tepki zamanı ve bozunma zamanına sahip olmasıdır. Organik sintilatör için bu zaman farkı 10 ns'den daha az, inorganik sintilatörler için yaklaşık 1µs'dir. Bundan dolayı organik sintilatörler hızlı zaman ölçümleri için çok daha uygundur. Işık dönüştürme verimliliği, sintilasyon verimi, genellikle inorganik sintilatörlerde, organik sintilatörlerden çok daha yüksektir. Örneğin; bütün organik sintilatörler içinde verimi en yüksek olan, Antresan'ın sintilasyon verimi, NaI(Tl)'in yaklaşık üçte biri kadardır.

Organik sintilatörlerin; saf organik kristal, sıvı organik çözelti ve plastik sintilatör gibi farklı tipleri vardır ve her bir sintilatörün kullanıldığı özel uygulamaları için bazı avantajları vardır. Saf organik sintilatörlerde dağılan enerji, bozunma meydana gelmeden önce, moleküller arasında aktarılır. Sıvı ve plastik sintilatörlerde dağılan enerji ilk olarak çözücüler tarafından absorblanır, daha sonra çözünen moleküllere aktarılır ki burada ışık emisyonu oluşur. Antresan ve stilben (taluen, doymamış karbonhidrat) saf organik kristal sintilatörlerinde en çok bilinen ve kullanıldıkları. Anthracene diğer organik sintilatörler içinde en yüksek sintilasyon verimine sahiptir. Stilbene en düşük sintilasyon verimine sahiptir, ancak çeşitli radyasyon parçacıkları arasındaki farkı ayırt etmede çok daha kullanışlıdır. Materyaller diğer materyallere nazaran hem kırılma katsayıları hem de büyük boyutlarını elde etmek zordur.

Sıvı organik sintilatörler (LOS) ve plastik sintilatörler (PS) aynı bileşiklere sahiptirler, ancak fiziksel şekilleri farklıdır. Onlar; LOS için sıvı, PS için polimer ve bir veya daha fazla çözünen ve çözücülerden oluşurlar. Sıvı organik sintilatörler, nükleerde ve çevresel alan ölçümlerinde (özellikle alfa ve beta parçacıklar için) çok yaygın kullanıma sahiptirler. Sıvı sintilatörlerde, katı sintilatörler gibi elle taşınabilir.

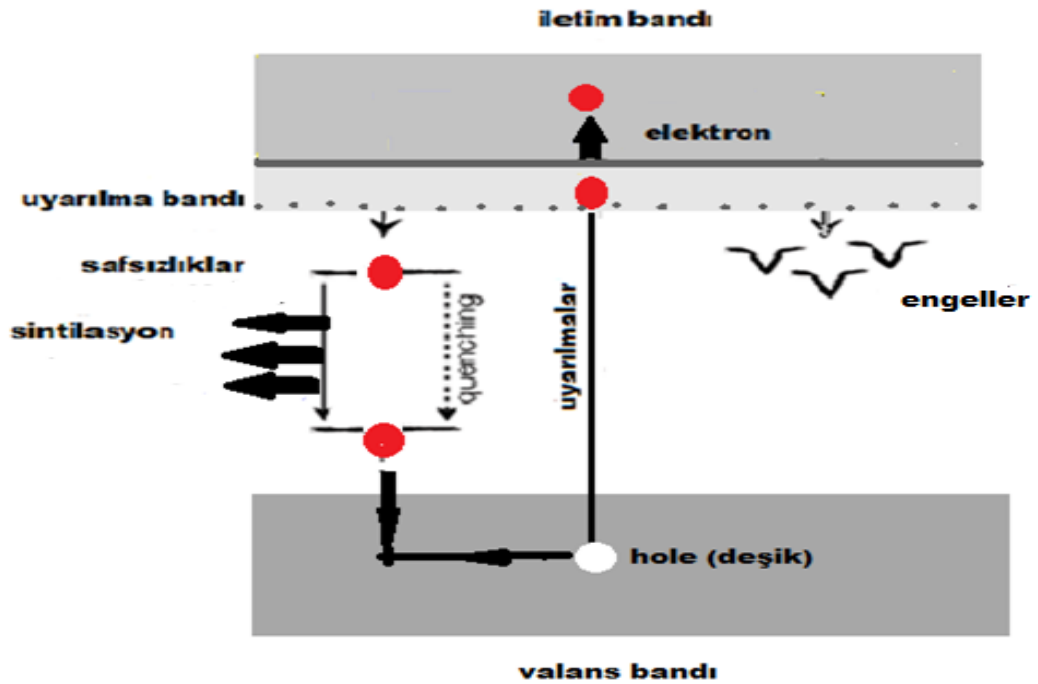
### 2.5.2 İnorganik sintilatör

İnorganik kristal sintilatörler; özellikle soydum iyodür ve sezyum iyodür gibi alkali halojenlerdir. Yüksek atom numaraları, yüksek yoğunluk ve yüksek ışık çıkışına sahip olduklarından, gamma ışınını dedekte etmekte yaygın olarak kullanılmaktadırlar. İnorganik kristal sintilatörlerinin saf ve gerçek kristaller, örneğin NaI ve CsI gibi ve katkılı ve dış kristaller, örneğin NaI(Tl), CsI(Tl) ve CaI<sub>2</sub>(Tl) gibi, olmak üzere iki tipi vardır.

İnorganik materyallerin sintilasyon mekanizması, materyallerin kristal örgüleri ile belirlenen enerji düzeylerine veya bandlara bağlıdır. Normalde elektronlar örgü bölgelerinde boldur, düşük enerji bandları valans bant olarak bilinir. Bir sonraki izinli enerji bandı iletim bandıdır ve genellikle bu bant boştur. Madde içinde saçılan enerji, elektronları örgü bölgelerinden iletim bandına taşır. Elektron örgü bölgesinin herhangi bir yerinde serbest olarak hareket eder ve valans bandında yine serbestçe hareket edebileceği pozitif bir hole (boşluk) bırakır. Bazen absorblanmış enerji, elektronları iletim bandına taşımada yeterli değildir. Bunun yerine, elektronlar elektrostatik olarak valans bandında pozitif boşluğa bağlı kalırlar, yani uyarılma. Yasak enerji aralığı, valans ve iletim bandı arasında bulunur. Sintilatör kristali ile radyasyon etkileşmesi sonucunda, elektronlar valans bandından, daha yüksek enerji seviyesine, iletim bandına çıkabilmek için yeterli enerjiyi ulaşabilir ve valans bandında pozitif boşluk bırakır. Saf kristalde, belli bir bozunma süresi sonunda bir elektron bir foton yayınlamaya valans bandına döner. Bu yöntem yeterli değildir ve birçok fotoçoğaltıcı tüplerin en iyi karşılık verdikleri görünebilir aralık içinde titreşen foton enerjisi gereğinden fazladır. Aktivator,

yani küçük miktardaki safsızlık, bozunma süreci boyunca görünen ışık fotonlarının yayılım olasılığını artırmak için eklenir[36].

Talyum gibi aktivatorler, bazı örgü bölgelerindeki enerji band aralıklarının düzenini değiştirecektir. Burada saf kristallerin izinli enerji bandlarında, ek enerji bantları var olacaktır (Şekil 2.20). Düşük enerji aralığındaki aktivator, enerji bantları yoluyla elektronların alt seviyeye geçerken, görünür ışık bölgesinde fotonlar verecektir ki buda verimli sintilatör yönteminin temeli olarak düşünülür. Bu yüzden, ışığın çıkış pulsusu, yarı ömrü tipik olarak  $10^{-7}$  s mertebesindeki bir sürede gerçekleşen, aktivator atomlarının geçişleri sonucunda üretilir. Sintilasyon süreci ile rekabet eden diğer yöntemler ise, quenching (söndürücü) ve fosforesans'dir. Radyasyonsuz uyarılma süreçlerine quenching denir. Quenching katkı maddelerinin artırılması ile artar, örneğin sıvı sintilatörde çözülen oksijen katkısı gibi. Fosforesans genellikle arka plan ışığının önemli bir kaynağı olabilir. Quenching belirli radyasyonsuz (ışınmasız) geçişler nedeniyle, radyasyon enerjisi ile sintilasyon enerjisi dönüşümündeki kayıp mekanizmaları temsil eder.



Şekil 2.20 İnorganik sintilasyon mekanizması[36].



Işık çıkışının büyüklüğü, sintilasyon verimi ve yayılan ışığın dalga boyu herhangi bir dedektör için en önemli özelliklerdir. Sintilasyon verimi ve yayımlanan ışığın dalga boyu, fotokatotda serbest kalan fotoelektronların sayısını, dedektör sisteminin çıkışındaki, elektrik pulsunu ve puls yüksekliğini etkiler.

NaI(Tl) kristali gamma ışığı ölçümlerinde yaygınca tercih edilen inorganik sintilatörlerdir. NaI(Tl) kristali, üstün ışık verimine ve yüksek atom numarasına sahiptir. NaI(Tl) kristalinin büyük boyutları ve farklı şekilleri yapılmaktadır. NaI(Tl) higroskopik (nem kapma) ve biraz kırılmandır; mekanik veya termal şoklardan kolayca zarar görebilir. Çeşitli deneysel veriler, NaI(Tl)'un mutlak veriminin yaklaşık % 12 olduğunu göstermektedir.

İyi bir detektör için, kullanılan kristalin bazı özellikleri taşıması gerekmektedir. Örneğin, radyasyonun bıraktığı enerjiyi iyi bir verimle ışık enerjisine çevirmelidir. Alfalar ve protonlar gibi ağır tanecikler için kristal ince olabilirken, beta, gama ve nötronlar için kristal kalınlığı birkaç milimetre ile birkaç santimetre arasında olmalıdır. Ayrıca, kristal kendi yayımladığı ışığı için şeffaf olmalıdır. Compton saçılması, fotoelektrik olay ya da çift oluşumu olayları ile gammalar, enerjilerini kristale aktardıklarından, kristalin atom numarası yüksek olmalıdır. Bunun yanında, ışık emisyon süresi oldukça kısa olmalı, kristal kolayca hazırlanabilmeli ve zamanla bozulmamalıdır[36].

İnorganik sintilatörlerin avantajı, yüksek ışık üretirler, yüksek yoğunluklulardır ve iyi enerji çözünürlüğüne sahip olmalarıdır. Ancak; pahalı, karışık kristal yapıya sahip ve büyük sıcaklığa bağlı olmaları da dezavantajlarıdır. Organik sintilatörlerin avantajı ise, çok hızlı, kolay şekillenen, küçük sıcaklığa bağlı olması, puls şekil ayrımının mümkün olması ve ucuz olmasıdır, düşük ışık üretimi ise dezavantajıdır.

İnorganik sintilatörler [CsI(Tl), CsI(Na), CaF<sub>2</sub>(Eu), LiI(Eu), BaF<sub>2</sub>, ZnS(Ag) ve CaF<sub>2</sub>(Eu) farklı yoğunluklara, ışığın dönüşüm verimliliğine, yayınlanma dalga boylarına sahiptir. Çizelge 2.3’de yaygın şekilde kullanılan sintilatörlerin özellikleri gösterilmektedir.

**Çizelge 2.3** Yaygın bir şekilde kullanılan sintilatörlerin özellikleri[40].

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Kırılma İndisi	Maksimum Yayınlanma Dalga boyu (nm)	Bozunma Sabit (μs)	Dönüştürme Verimliliği	Higroskopik (Nem Kapma)
NaI(TL)	3,67	1,85	415	0,23	100	var
CsI(TL)	4,51	1,79	550	0,6/3,4	85	yok
CsI(Na)	4,51	1,84	420	0,63	45	biraz
CsI	4,51	1,95	315	16x10 <sup>-3</sup>	4-6	yok
BGO	7,13	2,15	480	300	15-20	yok
<sup>6</sup> LiI(Eu)	4,08	1,96	470	1,4	35	var
<sup>6</sup> Li-cam	2,6	1,56	350-430	60x10 <sup>-3</sup>	4-6	yok
CsF	4,64	1,48	390	3-5x10 <sup>-3</sup>	5-7	var

### 2.5.2.1 NaI(Tl) Sintilatör Dedektörü

Talyum ile aktive edilerek oluşan sodyum iyodür NaI(Tl) kristali, gamma ışınlarının sayımı için mükemmel bir sintilatördür. Talyum atom numarası yüksek bir element olup, saf kristale katkı olarak eklenir ve aktivator olarak bilinir (alkali haldeki inorganik maddelere yardım etmek için bir miktar katkı katılır, bu maddeye aktivator/aktifleyici denir)[38].

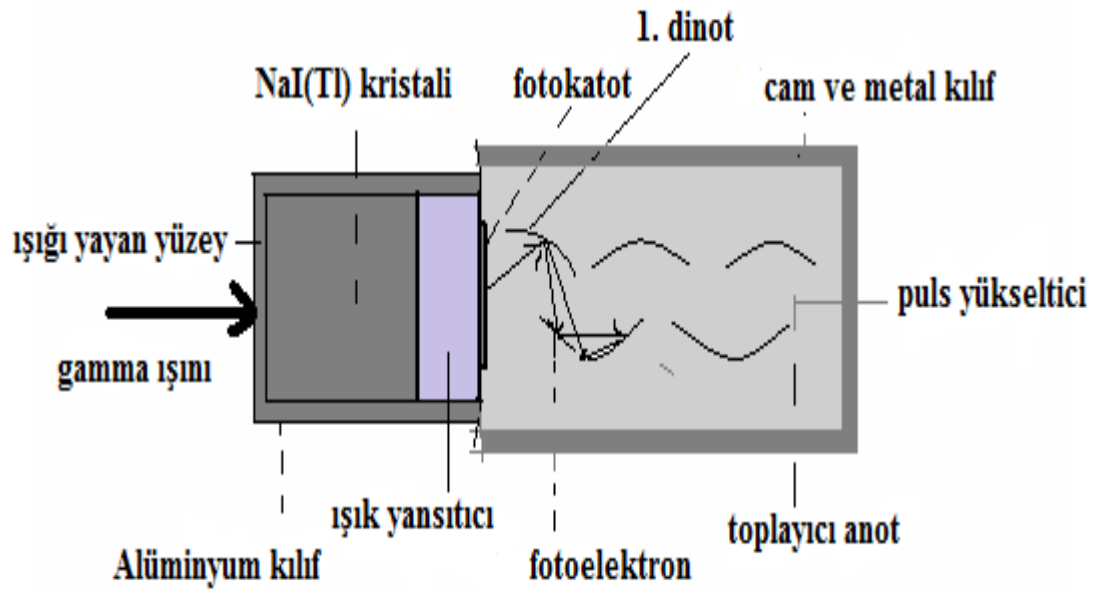
İyotun atom numarasının yüksek olması ve yüksek fotoelektrik absorpsiyonu yüksek verim sağlar. Ancak çok kırılğan olmaları, ısıya ve mekanik şoka karşı hassas olmaları, nemli ortamlarda renk değiştirmeleri ve pahalı olmaları gibi dezavantajları vardır[38].

Bu dedektörlerin en iyi çözünürlük değerleri, 3x3 inç boyutlarında bir kristal kullanılarak <sup>137</sup>Cs radyoaktif kaynağından alınan 662 keV enerjili gamma ışınları için % 7,5 ile % 8.5 arasında değişir. Bu kristal, daha küçük veya daha büyük boyutlarda kullanıldığında bu kadar iyi çözünürlük elde etmek mümkün değildir.

Tabanlarda ve yan yüzlerde kurşun bloklar bulunmaktadır. Kurşunun konmasının sebebi, bina yapı malzemelerinden ve çevreden gelebilecek katkı radyasyonunu en aza indirmektir. NaI(Tl) kristali nem kapıcı olduğundan, fotoçoğaltıcıya optik kontak yapılan yüzü haricinde (iç çevresinde) bütün çevresi alüminyum levha ile kaplıdır. Bu levhanın iç kısmı ise, ışık yansıtıcısı olarak magnezyum oksitle kaplıdır.

İyi bir sintilatör olan NaI(Tl) kristali, üzerine gelen radyasyon enerjisini soğurarak görünür bölgede ışık yayımlar. Sintilatör kendi ışığı için geçirgen olduğundan kristalden yayımlanan ve yüzeylerden yansıyan bu ışınlar fotoçoğaltıcı tüpün fotokatodu üzerine düşerler. Fotokatodun yüzeyi, genellikle ince bir sezyum-antimon alaşımı levhadan yapılır. Fotokatoda gelen ışınlar burada (fotoelektrik olayla) elektron yayımlanmasına neden olurlar. Bu elektronlar katlı potansiyel farlarla hızlandırılarak BeCu alaşımından yapılmış ve sıra ile yerleştirilmiş dinodlar üzerine çoğalarak düşerler. Bu alaşımın

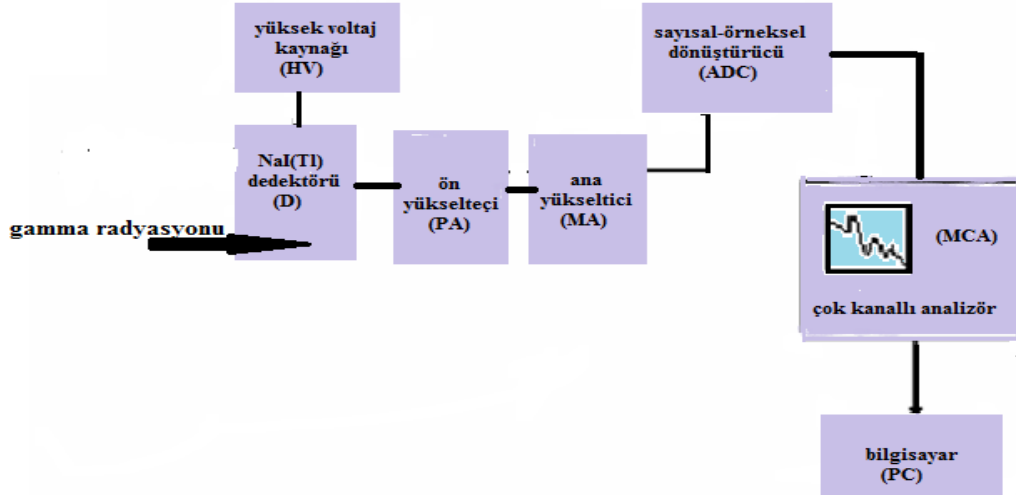
özelliği, sıcaklık etkisi ile az elektron yayımlaması ve ikincil elektron yayımlama katsayısının yüksek olmasıdır. Fotoçoğaltıcı tüplerde elektron çoğalma katsayısı veya kazanç (yani, fotokatottan yayınlanan her bir elektrona karşılık son çoğaltıcıdan yayınlanan elektron sayısının)  $10^6$  ile  $10^7$  civarındadır[37]. Bu elektronlar, anot tarafından toplanır ve puls kaydediciye verilir. Fotoçoğaltıcıdan çıkan pulslar, gelen parçacığın enerjisine bağlı olmakla beraber farklı yüksekliktedirler[39]. Şekil 2.21’de NaI(Tl) dedektörü Şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.21 NaI(Tl) dedektörünün Şematik gösterimi[35].

NaI(Tl) dedektörlerinin enerji ayırım gücü, katıhal dedektörlere göre yaklaşık 10 kez daha düşüktür. Bununla birlikte birçok çalışmada özellikle aktivitenin düşük olduğu çevresel aktivite ölçümlerinde, yeterli ayırma gücü ve yüksek verimliliği nedeni ile çok uygundur. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır.

NaI(Tl) gama spektrometre sistemi şematik olarak Şekil 2.22’de verilmiştir. Şekilde; D dedektör, HV yüksek voltaj, PA ön yükselteci, MA yükselteci, ADC sayısal dönüştürücü, MCA çok kanallı analizör ve PC bilgisayardan oluşur.



Şekil 2.22 NaI(Tl) dedektörünün kurulum şeması

Dedektörün çalışabilmesi için dedektöre voltaj (çalışmada kullandığımız dedektör için 800 V) verilir. Kaynaktan yayılan radyasyon dedektörle etkileşerek soğurulan enerji ile orantılı bir akım darbesi meydana getirir. Bu darbe, yükselticiler yardımıyla voltaj darbesine çevrilir, yükseltilir, şekillendirilir ve ADC’ye gelir. Burada bilgiler çok kanallı analizöre (MCA) gelir. Analizörden sayısal hale çevrilen bilgiler, ekranda spektrum olarak gözlenir. Bu spektrum veya spektrumla ilgili bilgiler MCA’ya bağlı uygun bir bilgisayarda görülür.

**Ön Yükselteçler (PM)**, dedektörden gelen göreceli olarak küçük sinyali büyütme, dedektör ve sonraki bileşenler arasında direnç seviyesini ayarlamak, müteakip işlemler için sinyal şeklini ayarlamak ve biçimlendirmek amacıyla kullanılır. Bütün dedektörler gibi, çıkış akımının pulsu sinyali sağlayacak şekilde uyumlu olmalıdır. Çünkü elektronik gürültü genellikle problem değildir. Sintilatör sistemlerinde önyükselteç, özellikle düşük gürültü şartına ihtiyaç duymaz.

Ön yükseltecin, voltaj-duyarlı, akım-duyarlı ve yük-duyarlı olmak üzere yaygın olarak kullanılan üç tipi vardır. Ön yükselteçlerde yük-duyarlı olanları genellikle rutin kullanımlar için tercih edilir, ancak düşük fiyatlı voltaj-duyarlı tipleri de yaygın kullanılır. Normal gamma spektrometrelerinde; yük-duyarlı yerine, voltaj duyarlı tercih ettiğimizde küçük sorunlar ortaya çıkar. Akım-duyarlı önyükselteç, hızlı zaman ölçme uygulamaları için özellikle şarttır ve normal enerji spektrumları için kullanılmamaktadır[42].

**Yükselteçler (MA)**, ön yükselteçten gelen sinyali yükseltmek, yeniden şekillendirmek ve şekillendirmek için gerekli olan gelen sinyal bilgilerini saklamak amacıyla kullanılır[28,42].

Dedektör sistemleri ve bilgisayardaki gelişmeler basit sintilasyon sistemlerinin, bilgisayarlara doğrudan bağlanabileceği anlamına gelir. Bu tüm fonksiyonların taşınabilir sistemde bulunmasını sağlar. ORTEC *digiBASE*<sup>TM</sup> sistemci önyükselteç, yüksek voltaj kaynağı ve dijital sinyal işlemcisini fotoçoğaltıcıya sadece basit bir USB kablosuyla uygun donanımlı bilgisayara bağlanacak şekilde fotoçoğaltıcıya dâhil eder[42].

**Çok Kanallı Analizör (MCA)**, spektrum analizinin kolayca yapılabilmesine imkân veren elektronik bir sistemdir. ADC'de sinyal işleme aşamalarından geçen sinyaller uygun adresleme düzeni yapabilen MCA'da histogram şeklinde görülebilir. Sinyaller MCA'nın kanal olarak tanımlanan hafıza bölgelerinde depolanır. Sinyal işleme aşamasında hafızada kaydedilen spektrum monitörde gözlenir, analiz edilir ve yazıcı ünitesine veya bir bilgisayara aktarılır. Gama spektrometrelerinde, MCA'lar bilgi saklama ve işleme ünitesidir[28].

Sintilasyon spektrometresi MCA sistem üzerinde herhangi özel bir yer teşkil etmez. Genellikle, yarı iletken dedektörle karşılaştırıldıklarında düşük çözünürlüklü olduklarından dolayı spektrum boyutları çok daha küçük olabilir[42].

**Sayısal-örneksel dönüştürücü (ADC)**, bir MCA'nın kalbi, elektrik darbesini sayısal niceliğe çeviren sayısal-örneksel dönüştürücü (ADC) birimi olup; darbe yüksekliğinin analog büyüklüğünü (volt), kanal başına düşen sayısal niceliğe dönüştürür[28].

### **Enerji Kalibrasyonu**

Enerji kalibrasyonu, belli bir kazanç değeri için spektrumda gözlenen piklerin buldukları kanal ile ait oldukları enerji arasındaki bağıntının bulunmasını sağlar. Dedektör sisteminin belli bir kazançtaki enerji kalibrasyonu, yani belirlenen radyoaktif kaynaklardan yayımlanan gamma ışınlarına ait tam enerji pik kanal numaralarının tayin edilmesidir[28].

Enerji kalibrasyonu ile çok kanallı analizör (MCA) kalibre edilir. Kalibrasyon işleminden sonra, MCA da kanal başına düşen enerji hesaplanır. Elde edilen kalibrasyon ifadesi, daha sonra bilinmeyen bir numunenin MCA da oluşacak piklerinin nitel olarak tanımlanmasında kullanılır.

Sayım sisteminin enerji kalibrasyonu, değişik enerjilere sahip standart gamma kalibrasyonu kaynakları kullanılarak yapılır. En çok kullanılan kalibrasyon kaynakları Çizelge 2.4'de verilmiştir.

**Çizelge 2.4** Enerji Kalibrasyonu için önerilen izotoplar[41].

Radyonükleit	Yarılanma süresi	E (keV)	$f_\gamma$
Am-241	432.70 yıl	59.54	0.359
Co-57	271.80 gün	122.06 - 136.47	0.855 - 0.106
Co-60	5.27 yıl	1173.24 - 1332.50	0.9990 - 0.9998
Cs-137	30.10 yıl	661.67	0.851
Mn-54	312.10 gün	834.84	0.99975
Na-22	1.61 yıl	1274.52	0.9994

Kalibrasyon işlemi için, yükseltcin kazancı herhangi bir değere ayarlanır. Kalibrasyon işleminde kullanılan kaynakların spektrumda oluşturduğu piklerin tepe noktalarına göre, o enerjideki piklerin hangi kanallarda oluştuğu tespit edilir. Sonra bu piklerdeki enerji değerleri, bir fonksiyona fit edilerek kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edilir. Bu şekilde MCA'nın tüm kanalları kalibre edilmiş olur. Kalibrasyon eğrisi;

$$E=a_1 + (a_2.C) + (a_3.C^2) \quad (2.5)$$

(2.5) denklemiyle ifade edilir. Bu denklemde, İlgilenilen tam enerji pikinin enerjisi (E), kanal numarası (C) ve fonksiyon katsayıları ( $a_x$ ) olarak tanımlanır.

Enerji kalibrasyonu esnasında dedektörün ayırma gücü (resolution) FWHM (F), kanal numarası (C) ve fonksiyon katsayısı ( $b_x$ ) olmak üzere;

$$F=b_1+ (b_2.C) + (b_3.C^2) \quad (2.6)$$

(2.6) denklemiyle kontrol edilir.



## Verim Kalibrasyonu

Sayım sisteminin kaynaktan çıkan radyasyonu algılayabilme yeteneğinin ölçüsüne verim denir. Gerçek verim; dedektör malzemesine, radyasyonun enerjisine ve dedektörün boyutlarına bağlıdır. Mutlak verim ise, bunların yanında radyasyon kaynağının malzemesine, geometrisine ve kaynak-dedektör mesafesine de bağlıdır[28].

Gamma spektrometresinde verim, kaydedilen olaylara göre sınıflandırılır. Aktif hacim içerisinde, gama radyasyonunun dedektör malzemesi ile etkileşmesi sonucu oluşturduğu atma sayısının tamamının dikkate alınması ile elde edilen verime toplam verim denir. Gelen radyasyonun bütün enerjisini bıraktığını düşündüğümüz olayların sayısının dikkate alınması ile elde edilen verime, tam enerji pik verimi denir. Tam enerji pik verimi ile aktivite doğru orantılıdır.  $E_\gamma$  enerjisindeki tam enerji pik verimi ( $\varepsilon$ ), ilgilenilen radyonüklid ya da ilgilenilen enerjiyi kapsayan çoklu radyonüklid içeren, aktivitesi bilinen standard referans malzeme kullanılarak elde edilir.  $E_\gamma$  enerjisindeki tam enerji pik verimi, aktivite hesabının yapıldığı formüle benzeyen;

$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot \gamma \cdot t_s \cdot K_1 \cdot K_2} \quad (2.7)$$

(2.7)'de verilen denklemle hesaplanır. Burada ilgilenilen tam enerji pikinin (fotopik) düzeltilmiş net alanı (N), ilgili fotopik'in ait olduğu radyonüklid'in aktivitesi (A), ilgilenilen fotopik  $E_\gamma$  enerjisine karşılık gelen gamma yayınlanma ihtimali ( $\gamma$ ), numune spektrumunun elde edilmesi için geçen, saniye cinsinden sayım süresi ( $t_s$ ), numunenin toplanması ile ölçme işlemine başlama zamanı arasında geçen süre için bozunum düzeltme faktörü ( $K_1$ ) ve analiz edilen numunenin ölçme işlemi esnasında geçen süre için bozunum düzeltme faktörü ( $K_2$ ) ile temsil edilir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, toprak örneklerinin toplanıp analize hazırlanması, Kars-İl merkezi toprak toplama istasyonunun haritası, çalışmada kullandığımız NaI(Tl) sintilasyon dedektörü, bu dedektörün enerji ve verimi hakkında bilgi verilmektedir.

#### 3.1 Toprak Örneği Alma ve Örnek Hazırlama Yöntemleri

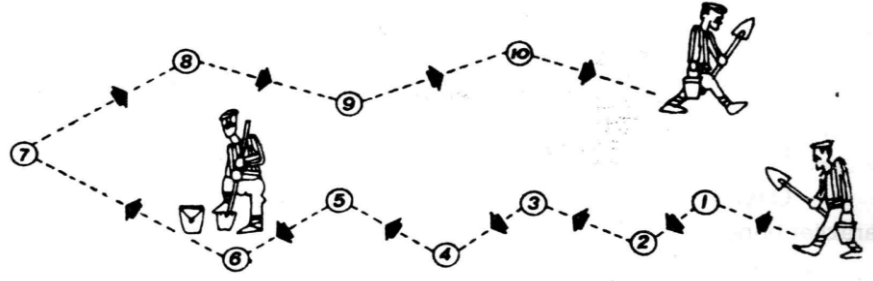
Yer seçimi, toprak örneklerin alınma yöntemi ve örneklerin analize hazırlanması gamma spektroskopi analizleri için çok önemlidir. Usulüne uygun şekilde alınmamış bir toprak örneği, en gelişmiş cihazlarla ve en duyarlı yöntemlerle analiz edilse bile, yanlış sonuçlara neden olabileceği gibi, para, emek ve zamanın da boşa gitmesine yol açar[28].

Örnek alınacak yerin, açık ve düz bir arazi olması, su geçirgenliğinin iyi, yüzeyinin otlarla tamamen kaplanmamış veya yüksek bitkiler ve bunların dal ve yapraklarıyla gölgelenmemiş olması, binalardan ve ağaçlardan uzak, yakın zamanda işlenmemiş veya ekilmemiş yaklaşık 10 m çaplı bir alan olması gereklidir. Toprak yüzeyinin sel veya aşırı yağmur suları ile zarar görmemiş ve ileride zarar görmeyecek olması, mümkünse vadi eteklerinden uzak olması gereklidir. Ayrıca toprak katmanlarının karışmasına neden olan, kemirici ve solucanların çok olmaması gereklidir. Mümkün olduğu kadar bitki örtüsü farklılığı olmamalıdır. Örnekleme yerlerinin koordinatları GPS ile belirlenir. Bir önceki örnekleme yerine göre 50 m mesafe içerisinde kalınmalıdır. Toprak örnekleri bilgi formuna koordinatlar kaydedilir.

Büyük bir tarladan numune aldığımızda, aldığımız numune tüm tarladaki toprak miktarına kıyasla çok azdır. Tüm tarlayı temsil edeceği göz önüne alındığında ne şekilde seçileceğinin önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Her yönüyle doyurucu, değişik

koşullara uygun ve genel kabul görmüş bir toprak numunesi toplama yöntemi olmadığında, amaca uygun numune toplama yöntemi belirlenmelidir.

Radyonüklidler; genelde toprağın üst tabakalarında biriktiklerinden, tarımsal olmayan alanlarda toprak örneği 0-10 cm derinlikten, tarım yapılan yerlerde ise pulluk derinliği olan 0-20 cm derinlikten alınmalıdır. Toprak örneklerinin alınacağı noktanın çevresinden en az üç noktadan örnek alınarak karıştırılır. Arazinin veya tarlanın bir ucundan girerek öbür ucuna kadar örnekler alınarak ilerlenir. Ancak bu örnekler, tarlanın bir ucundan öbür ucuna doğru düz bir çizgi üzerinde ilerleyerek Şekil 3.1'deki gibi zig-zak'lar çizilerek açılan çukurlardan alınmalıdır.



**Şekil 3.1** Toprak numunesinin alınımının şematik gösterimi[26].

Bu şekilde arazi ve tarladan alınan toprak örnekleri, kovaya konarak ilerlenir ve tarlanın öbür başına çıkılır. Tarladan alınan ve kovaya üst üste konulan bütün toprak örnekleri iyice karıştırılır. Kese kâğıdı, naylon veya bez torbaya yaklaşık 2 kg kadar toprak örneği konur.

Toplanan toprak örnekleri, oda sıcaklığında, toz almayacak bir şekilde kurutulur. Kurutulan toprak örneklerinden, organik artık maddelerin temizlenmesi veya olduğu gibi korunması, yapılan işin amacına bağlıdır. Taş parçacıkları ayıklanıp atılır. Toprak örnekleri; içerisindeki yabancı maddelerden arındırıldıktan sonra istenilen büyüklük ve homojenliğe getirilen örnekler, parçalanır ve toz haline getirilip, etiketleri ile birlikte örnek kaplarına koyularak analiz edileceği laboratuara teslim edilir.

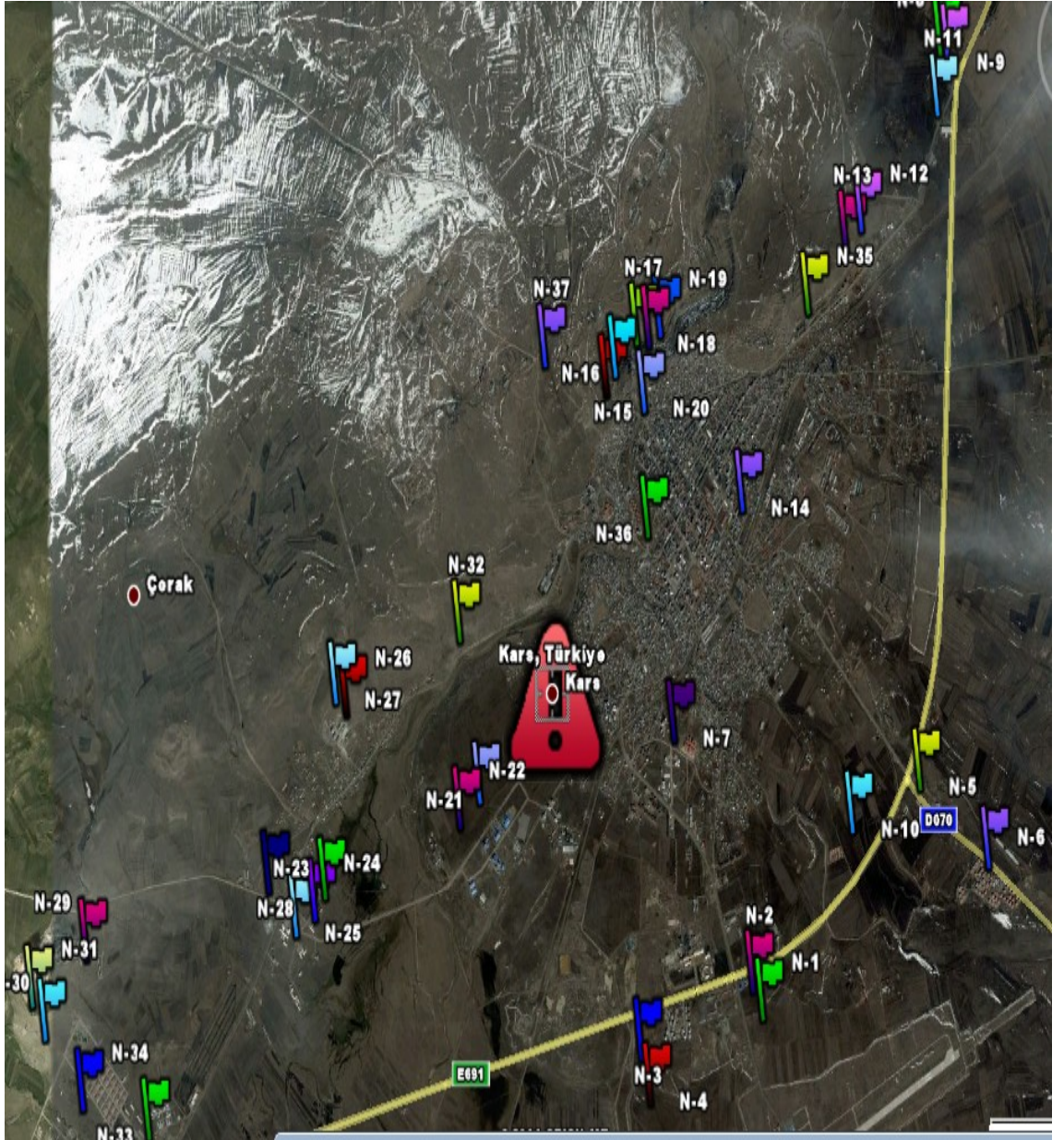
Bu çalışmada, Kars-il merkezi çevresinden yukarıda vermiş olduğum yöntemlere uygun olarak toplanan, 38 farklı toprak numunesi 2 kg'lık saklama poşetlerine konularak laboratuara getirildi. Toprak numuneleri kurutulmak üzere (yaklaşık bir ay boyunca) kâğıt üzerine serildi. Kuruduktan sonra her bir toprak numunesi içindeki taş, yabancı ot, vb. gibi yabancı maddeler temizlendi. Daha sonra toprak numunelerinin her biri ayrı ayrı elekten geçirildi. Diğer bir aşamada; elekten geçirilen toprak numuneleri mikserle, toz haline getirildi. Toz haline getirilen toprak numuneleri, Resim 3.1'de görüldüğü gibi 100 ml hacimli, 65x55 mm ebatlı vida kapaklı şeffaf patolojik numune kaplarına yerleştirildi. Numune kaplarının kapağı parafin bandı ile sıkıca sarıldı. Toprak numunelerinin her biri hassas teraziyle tartılarak, ağırlıkları gram cinsinden kaydedildi. Numune içindeki radyum ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için yaklaşık 40 gün bekletildi.



**Resim 3.1** Toprak numuneleri

### 3.2 Ölçüm Sahası

Bu çalışmada, ölçüm sahası olarak Kars-il merkezi çevresi seçilmiş ve Resim 3.2’de bayrakla gösterilen (toprak numunelerinin alındığı) yerlerin doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak belirlenmiştir. Örnekleme noktaları GPS (Garmin 12 XL) ile belirlenmiştir



Resim 3.2 Kars-il merkezi çevresinden toprak numunesi alınan yerler.



### 3.3 NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü

Toprak örneklerinin gamma spektrometrik analizleri, Resim 3.3’de gösterilen NaI(Tl) 3”x3” digiBASE Maestro-32 sintilasyon dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm cihazının özellikleri ve çalışma prensibi Bölüm 2.5.2.1’de ayrıntılı olarak tanımlanmıştır.

Bilgisayar programı olarak Scintivision™-32 (A35-B32) programı kullanılmıştır. Scintivision programı ile ilgili daha detaylı bilgi Ek 5’te verilmiştir.



**Resim 3.3** NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü.

### 3.3.1 NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörünün Enerji Kalibrasyonu

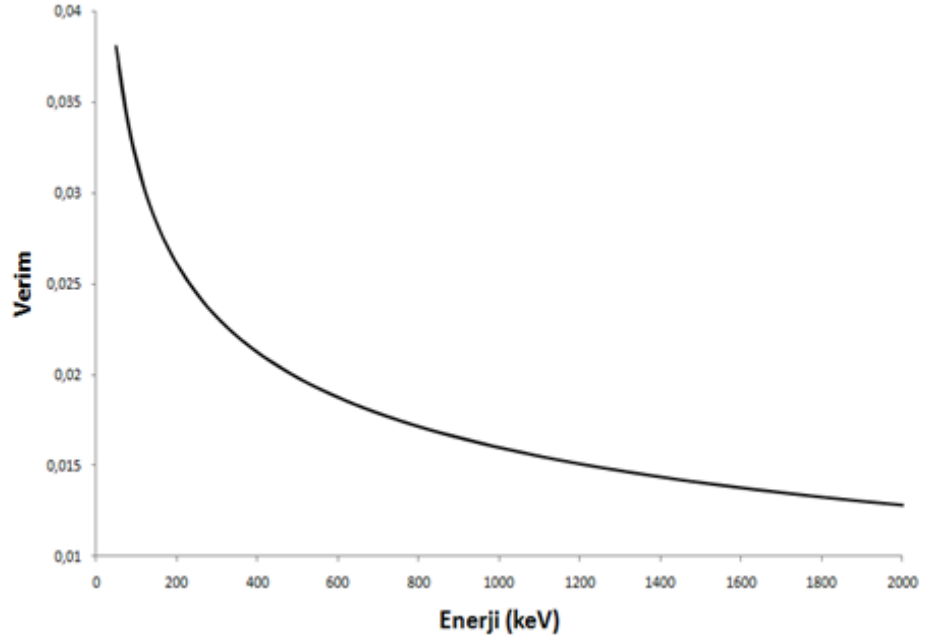
Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilebilmesi için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için, önceden enerjileri bilinen çekirdekten oluşmuş standart bir kaynağa ihtiyaç vardır. Enerji kalibrasyonu için, dedektörün önüne konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek hangi kanallara geldiği tespit edilir. Çalışmada kullandığımız dedektör; standart kaynaklar,  $^{241}\text{Am}$ 'in 59.54 keV'lik enerjisi,  $^{57}\text{Co}$ 'nin 122.07 keV'lik enerjisi,  $^{134}\text{Cs}$ 'ün 604.66 ve 795.76 keV'lik enerjisi kullanılarak ile kalibre edildi. (Detaylı bilgi için Bölüm 2.5.2.1 bakınız)

### 3.3.2 NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörünün Verim Kalibrasyonu

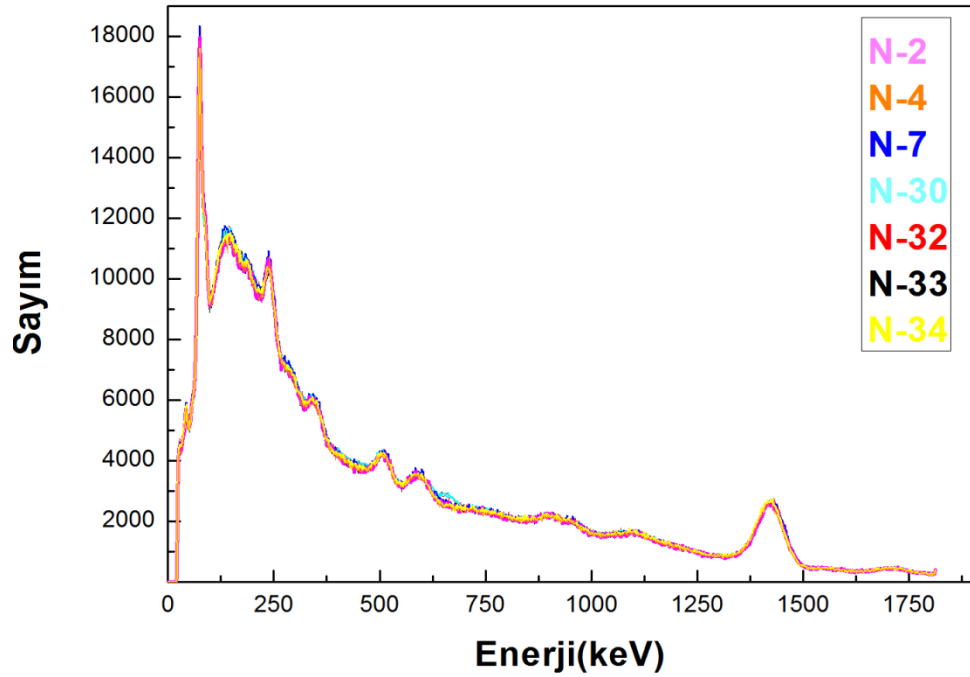
Dedektör verimi; dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Dedektörün saydığı gamma sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için, dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Verim tayini için genellikle standard kaynaklar kullanılır.

Bir dedektörün herhangi bir enerjideki verimi, dedektörden sabit uzaklıkta bulunan standart kaynaktan, birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısını bilmekle tayin edilir.

Bu çalışmada kullanılan NaI(Tl) dedektörünün; Şekil 3.2'de enerji-verim eğrisi gösterilmekte ve Şekil 3.3'de, numunelerin sayımı sonucu elde edilen spektrumların birkaçı gösterilmektedir.



Şekil 3.2 NaI(Tl) dedektörünün enerji-verim eğrisi.



Şekil 3.3 NaI(Tl) dedektörü ile sayımı yapılan, toprak numunelerinin birkaçının spektrumu.



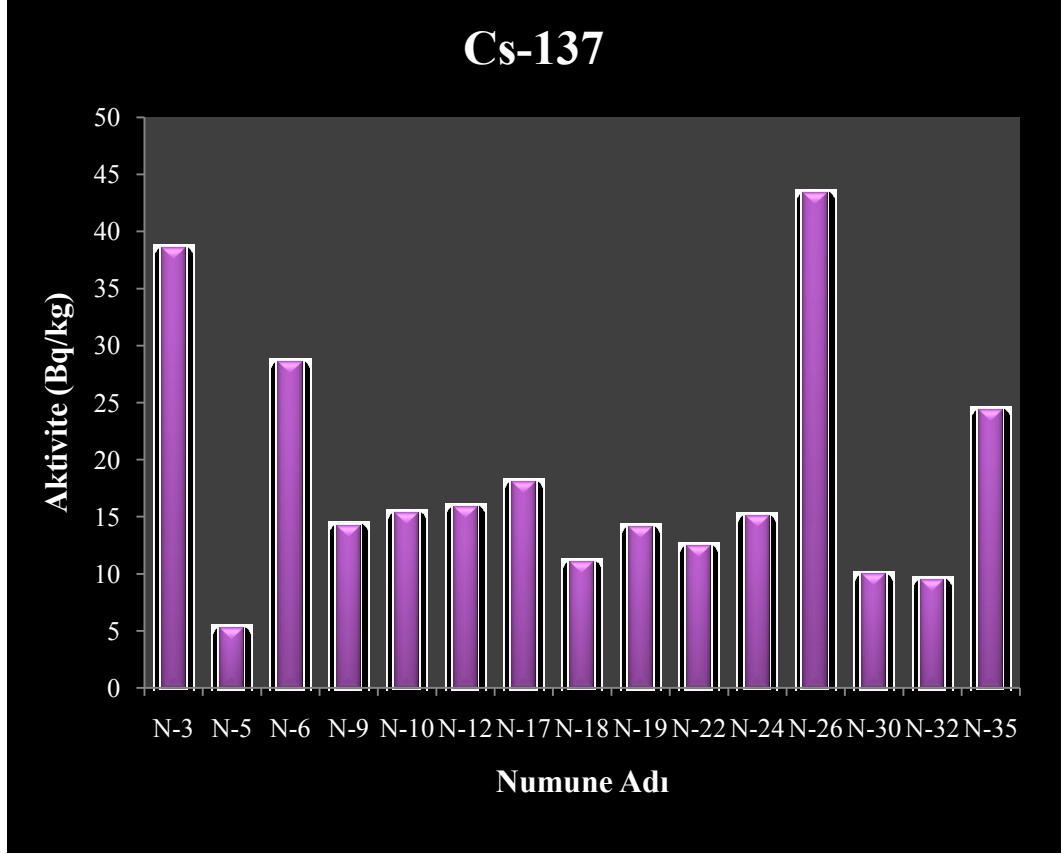
#### 4. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

2009 yılının Temmuz ve Ağustos aylarında toplanan toprak numuneleri, 2011 Haziran ayında NaI(Tl) sintilasyon dedektörüne konularak yaklaşık bir gün (24 saat) boyunca sayılmıştır. Sayım sonucunda  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ) aktivite konsantrasyonları elde edilmiştir. Daha sonra bu sonuçlar; Türkiye’de yapılan bazı çalışmalarla daha sonra Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye ortalaması ve Dünya ortalaması ile karşılaştırılmıştır. Bu radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları aşağıda ayrı ayrı ele alınmaktadır.

##### 4.1 Toprak Örneklerinde $^{137}\text{Cs}$ ’nin Aktivite Konsantrasyonu

$^{137}\text{Cs}$ , fisyon ürünü olup doğada doğal olarak bulunmamaktadır.  $^{137}\text{Cs}$ ’nin yarı ömrü 30,17 yıldır. 662 keV’de %85 bollukta bir piki vardır. Yapılan nükleer denemeler veya nükleer kazalar sonucunda atmosfere atılan fisyon ürünü radyonüklidler, radyoaktif yağışlar ile yere düşerler. Zamanla yağmur ve akıntı sularıyla toprağın derinliklerine inebilirler.

Çalıştığımız toprak örneklerinde, değişik konsantrasyonlarda  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopuna rastlanmıştır. Şekil 4.1’de Kars merkez civarında, 38 istasyondan alınan toprak örneklerinde  $^{137}\text{Cs}$  aktivite konsantrasyonları verilmektedir.  $^{137}\text{Cs}$ ’nin aktivite konsantrasyonu  $5.15\pm 1,8$  Bq/kg ile  $43,3\pm 3,6$  Bq/kg değerleri arasında değişmekle birlikte ortalama  $18\pm 2,7$  Bq/kg’dir.



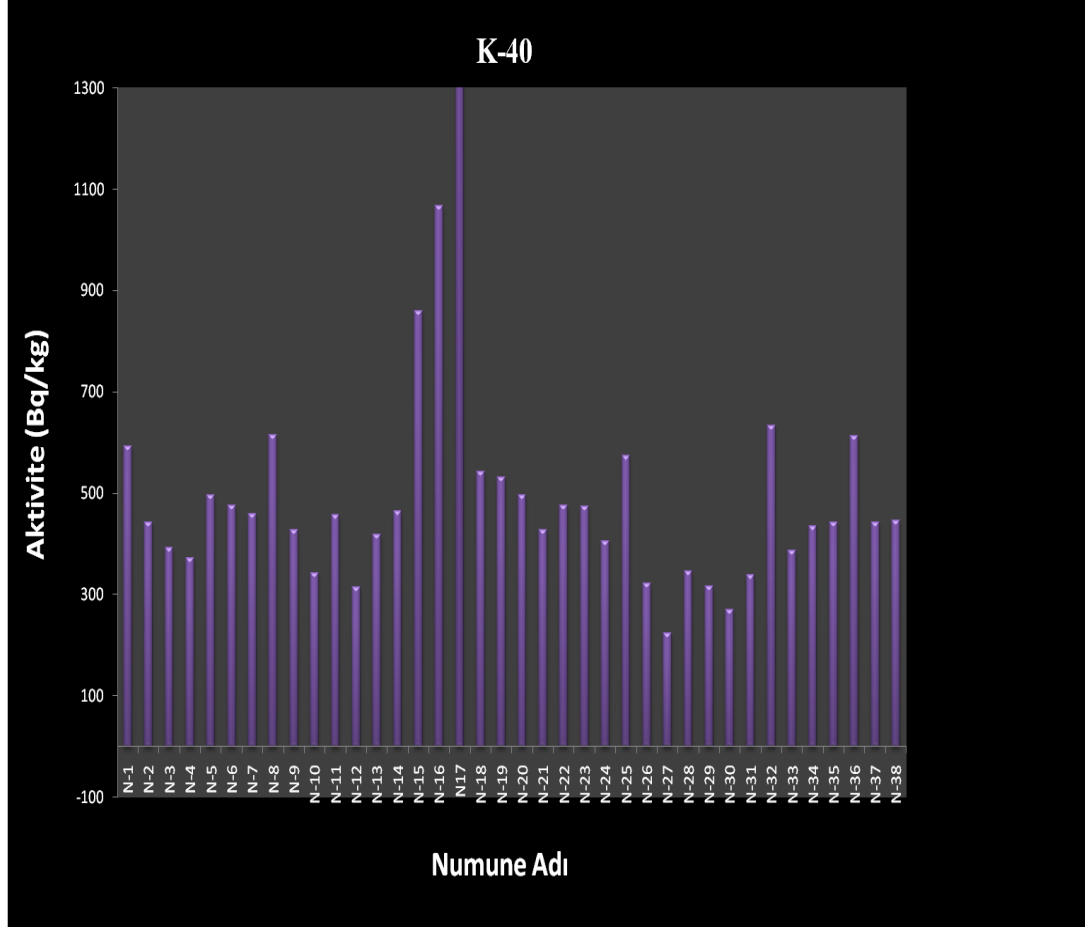
**Şekil 4.1** Kars merkezinde alınan toprak numunelerinde  $^{137}\text{Cs}$ 'nin dağılımı.

Yapılan bazı çalışmalarda,  $^{137}\text{Cs}$ 'nin ortalama aktivite konsantrasyonunu, Iğdır toprak örneklerinde, sırasıyla  $18 \pm 4$  ve  $23,6 \pm 2,9$  Bq/kg[43,44], Tekirdağ toprak örneklerinde 4,54 Bq/kg[45], Çanakkale Kestanbol toprak örneklerinde 18 Bq/kg[46] ve Kastamonu toprak örneklerinde 8,0 Bq/kg olarak tespit edilmiştir[47].

#### 4.2 Toprak Örneklerinde $^{40}\text{K}$ 'nin Aktivite Konsantrasyonu

$^{40}\text{K}$ , bozunum serilerine ait olmayıp doğada tek başına bulunmaktadır. Yarı ömrü  $1,26 \times 10^9$  yıldır. 1460keV'de % 11 bollukta bir piki vardır.  $^{40}\text{K}$  toprakta oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır.

Çalıştığımız toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda  $^{40}\text{K}$  radyoizotopuna rastlanmıştır.  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu  $224\pm 51$  Bq/kg ile  $1068\pm 82$  Bq/kg değerleri arasında değişmekle birlikte ortalama  $536\pm 52$  Bq/kg'dır. Şekil 4.2'de Kars merkez civarında, 38 istasyondan alınan toprak örneklerinde  $^{40}\text{K}$ 'ın aktivite konsantrasyonları verilmektedir.



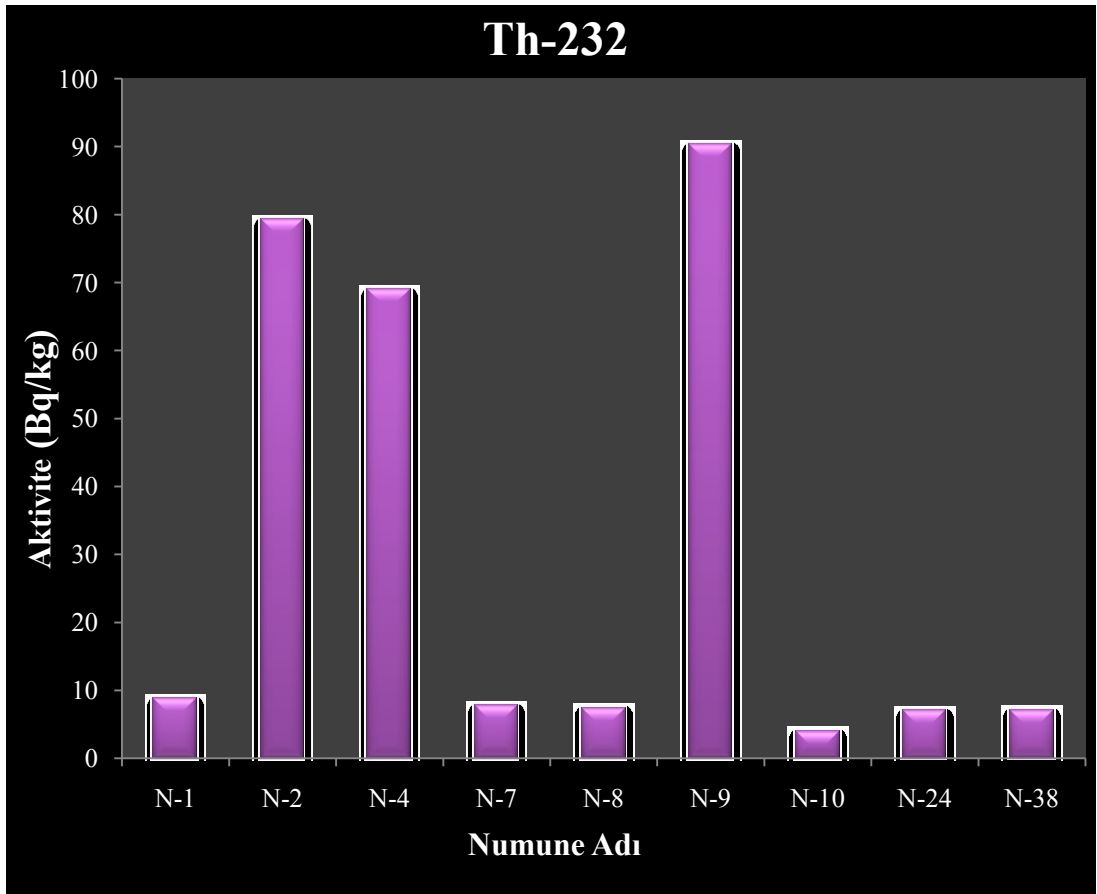
Şekil 4.2 Kars merkezinde alınan toprak numunelerinde  $^{40}\text{K}$ 'ın dağılımı

Yapılan bazı çalışmalarda,  $^{40}\text{K}$ 'ın ortalama aktivite konsantrasyonunu, Iğdır toprak örneklerinde sırasıyla  $333\pm 34$  ve  $423,6\pm 24,2$  Bq/kg[43,44], Türkiye-İstanbul yüzey topraklarında  $342$  Bq/kg[24], Kastamonu toprak örneklerinde  $431,4$  Bq/kg[47], Çanakkale Kestanol toprak örneklerinde  $1207$  Bq/kg[46] ve Tekirdağ toprak örneklerinde  $579$  Bq/kg olarak tespit edilmiştir[45].

### 4.3 Toprak Öneklerinde $^{232}\text{Th}$ 'nin Aktivite Konsantrasyonu

$^{232}\text{Th}$ 'nin radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken, bozunum serisindeki;  $^{208}\text{Tl}$  (583 keV'deki piki) ve  $^{228}\text{Ac}$ 'in (338 ve 911 keV'deki piki) aktivite konsantrasyonlarının ortalaması alınmıştır.

Çalıştığımız toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda  $^{232}\text{Th}$  radyoizotopuna rastlanmıştır.  $^{232}\text{Th}$ 'nin aktivite konsantrasyonu  $8,8\pm 2,4$  Bq/kg ile  $90,3\pm 15$  Bq/kg değerleri arasında değişmekle birlikte ortalama  $32\pm 6$  Bq/kg'dır. Şekil 4.2'de Kars merkez civarında, 38 istasyondan alınan toprak örneklerinde  $^{232}\text{Th}$ 'nin aktivite konsantrasyonları verilmektedir.



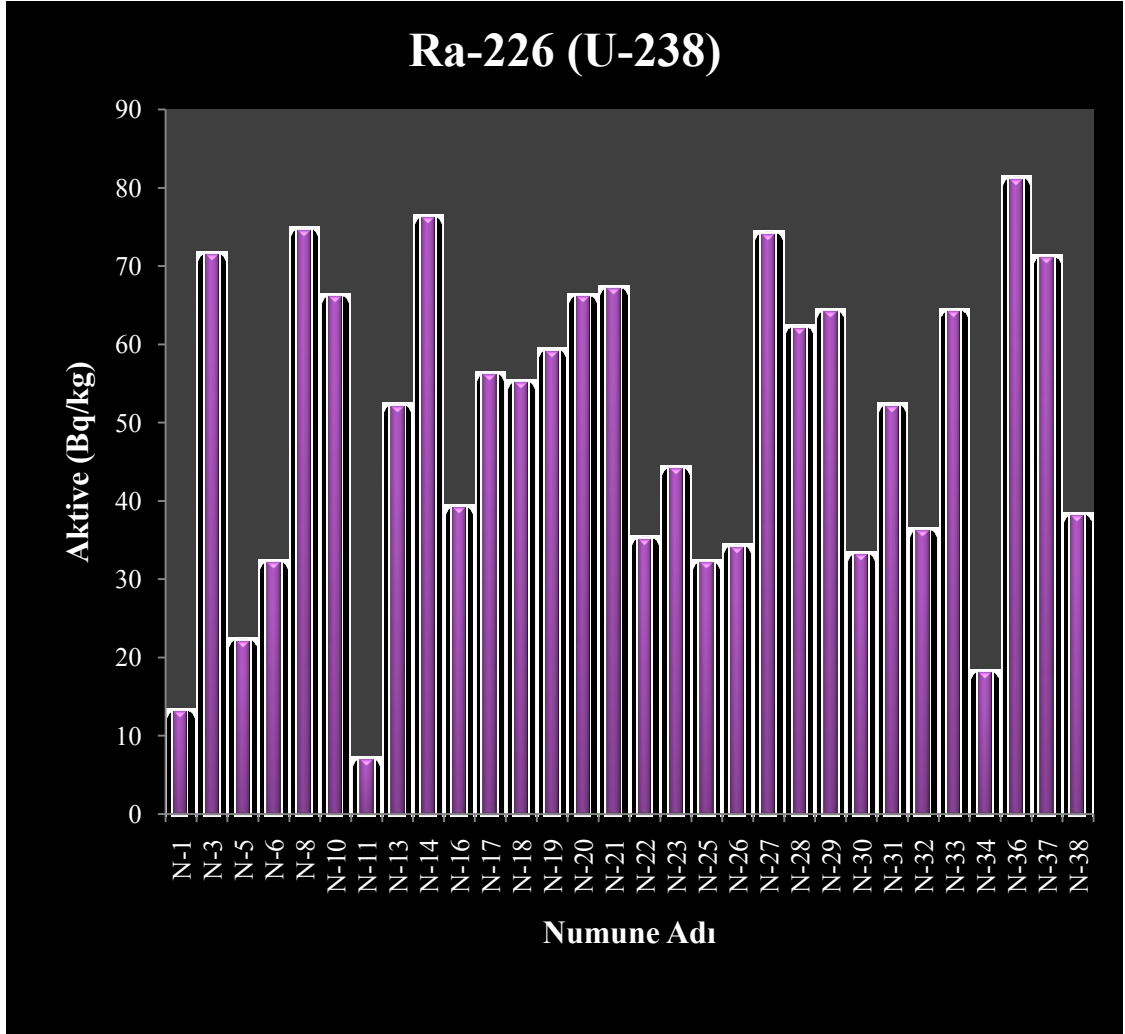
Şekil 4.3 Kars merkezinde alınan toprak numunelerinde  $^{232}\text{Th}$ 'nin dağılımı.

Yapılan bazı çalışmalarda,  $^{232}\text{Th}$ 'nin ortalama aktivite konsantrasyonunu; İğdır toprak örneklerinde, sırasıyla  $18\pm 3$  ve  $17,5\pm 5,9$  Bq/kg [43,44], Türkiye-İstanbul yüzey topraklarında, 37 Bq/kg [24], Kocaeli toprak örneklerinde, aktivite konsantrasyonunu 11-65 Bq/kg aralığında [25], Kastamonu toprak örneklerinde, 30.8 Bq/kg [47], Çanakkale Kestanbol toprak örneklerinde, 192 Bq/kg [46] ve Tekirdağ toprak örneklerinde 39 Bq/kg olarak tespit edilmiştir [45].

#### 4.4 Toprak Örneklerinde $^{226}\text{Ra}$ ( $^{238}\text{U}$ )'in Aktivite Konsantrasyonu

$^{226}\text{Ra}$ 'nın radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken, bozunum serisindeki;  $^{214}\text{Pb}$  (352 ve 295 keV piklerine) ve  $^{214}\text{Bi}$  (609 ve 1764 keV piklerine) aktivite konsantrasyonlarının ortalaması alınmıştır. İdealde/ teoride,  $^{226}\text{Ra}$ 'nın ürünü olan  $^{220}\text{Rn}$  ve  $^{220}\text{Rn}$ 'nin kızları olan  $^{214}\text{Bi}$  ve  $^{214}\text{Pb}$  arasında denge olduğunu düşünerek, 295, 352, 609 ve 1764'deki piklerinin aktivitelerinin ortalaması alınarak  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ) aktivitesi hesaplanmıştır.

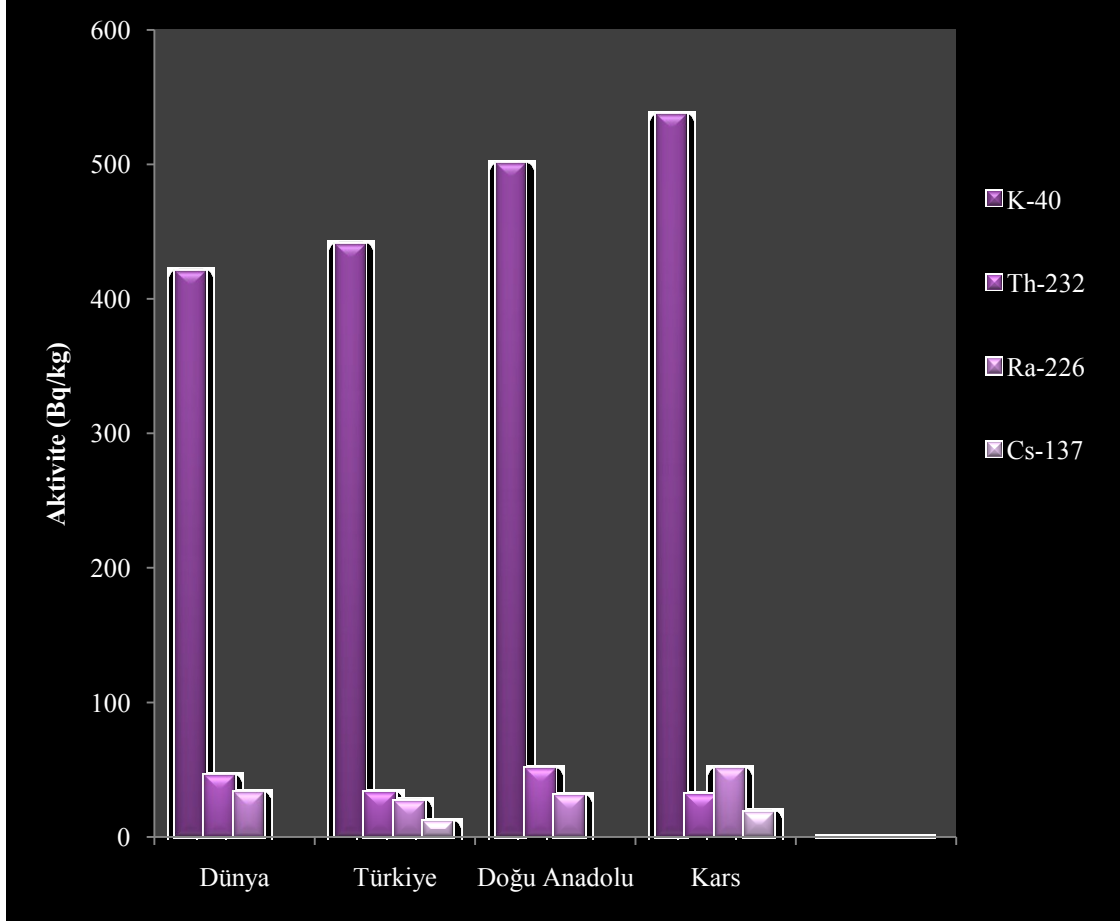
Çalıştığımız toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda  $^{226}\text{Ra}$ 'nın radyoizotopuna rastlanmıştır.  $^{226}\text{Ra}$ 'nın aktivite konsantrasyonu  $6,85\pm 1$  Bq/kg ile  $76\pm 1,3$  Bq/kg değerleri arasında değişmekle birlikte ortalama  $49.79\pm 5,36$  Bq/kg'dır. Şekil 4.4'de Kars merkez civarında, 38 istasyondan alınan toprak örneklerinde  $^{226}\text{Ra}$ 'nın aktivite konsantrasyonları verilmektedir.



**Şekil 4.4** Kars merkezinde alınan toprak numunelerinde  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ )'nın dağılımı.

Yapılan bazı çalışmalarda,  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ )'nın ortalama aktivite konsantrasyonunu; Iğdır toprak örneklerinde, sırasıyla  $19 \pm 4$  ve  $17,5 \pm 5,9$  Bq/kg[43,44]. Türkiye-İstanbul yüzey topraklarındaki  $^{238}\text{U}$ 'in ortalama aktivite konsantrasyonunu 21 Bq/kg[24], Kastamonu toprak örneklerinde, 37.4 Bq/kg[47]. Çanakkale Kestanbol toprak örneklerinde, 153 Bq/kg[46] ve Tekirdağ toprak örneklerinde 36 Bq/kg olarak tespit edilmiştir[45].

Şekil 4.5’de, Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi ve Kars topraklarında  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ) aktivite konsantrasyonlarının ortalaması gösterilmektedir[28,29].



Şekil 4.5  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ) aktivite konsantrasyonlarının, Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi ve Kars ortalaması[28,29].

$^{137}\text{Cs}$ 'nin ortalama aktivite konsantrasyonunun, Türkiye ortalaması,  $10,5 \pm 1,0$  Bq/kg olarak tespit edilmiştir[28]. Ölçümlerden elde ettiğimiz sonuçla karşılaştırdığımızda; sonucun Türkiye ortalamasının üstünde olduğu görülmektedir.

$^{40}\text{K}$ 'ın ortalama aktivite konsantrasyonunun; Dünya ortalaması 420 Bq/kg, Türkiye ortalaması 440 Bq/kg ve Doğu Anadolu Bölgesi 500 Bq/kg olarak tespit

edilmiştir[28,29]. Ölçümlerden elde ettiğimiz sonuçla karşılaştırdığımızda; sonucun Dünya ortalaması, Türkiye ortalaması ve Doğu Anadolu Bölgesinin ortalamasının biraz üstünde olduğu görülmektedir.

<sup>232</sup>Th'nin ortalama aktivite konsantrasyonunun; Dünya ortalaması 45 Bq/kg, Türkiye ortalaması 32 Bq/kg ve Doğu Anadolu Bölgesi 50 Bq/kg olarak tespit edilmiştir[28,29]. Ölçümlerden elde ettiğimiz sonuçla karşılaştırdığımızda; sonucun Dünya ortalaması ve Doğu Anadolu Bölgesinin ortalamasının altında, Türkiye ortalaması ile aynı olduğu görülmektedir.

<sup>226</sup>Ra (<sup>238</sup>U) ortalama aktivite konsantrasyonunun; Dünya ortalaması 32 Bq/kg, Türkiye ortalaması 26 Bq/kg ve Doğu Anadolu Bölgesi 30 Bq/kg olarak tespit edilmiştir[28,29]. Ölçümlerden elde ettiğimiz sonuçla karşılaştırdığımızda; sonucun Dünya ortalamasının, Doğu Anadolu Bölgesi ortalamasının ve Türkiye ortalamasının üstünde olduğu görülmektedir.

Bu çalışma, Türkiye Radyasyon Haritasındaki eksikliği gidermek amacıyla TAEK'in çevresel radyoaktif izleme programı kapsamında, Kafkas Üniversitesiyle imzalamış olduğu işbirliği protokolu kapsamında yürütülmüştür. Bu çalışmayla, Kars-İl merkezi topraklarında doğal radyasyon seviyeleri belirlenmiştir. Çevresel radyoaktif izleme programına yönelik daha sonraki çalışmalarda, Kars'ın ilçelerini de kapsayacak şekilde bu ölçümlerin devam ettirilmesi gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Işık, Y., 2009. “Küçük Menderes Havzası Tarım Topraklarında Doğal Radyonüklid Seviyesinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, , izmir.
- [2] N. Karunakara et al, “ $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  distribution in the environment of kaiga of South west coast of India”, Health Physics, Vol.80; 470-476 (2001).
- [3] M. Brai et al, “Environmental radioactivity at Stromboli (Aerolian islands), Applied Radiation and Isotopes” Vol.57; 99-107 (2002).
- [4] J. Yeboah et al, “Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Vol.249; 629-632 (2001).
- [5] S. Singh et al, “Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India, Radiation Measurements” Vol.36; 547-549 (2003).
- [6] S. Saravanan et al, “Preliminary measurements of natural radioactivity at Madurai district of Tamilnadu, India, Radiation Measurements” Vol.36; 397-389 (2003).
- [7] M.K. Fasasi, “Natural radioactivity of the tar-sand deposits of Ondo State, Southwestern Nigeria” Nuclear instruments & Methods in Physics Research Vol.505; 449-453 (2003).

- [8] D. Malczewski et al, "Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environs of Swieradow Zdroj in Sudetes, Poland, by in situ gamma-ray spectrometry" *Journal of Environmental Radioactivity* Vol.73, Issue 3,; 233-245 (2004).
- [9] L.C. Sujo et al, " $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  series concentrations in soil.  $^{222}\text{Ra}$  indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of Aldama, Chihuahua, Mexico" *Journal of Environmental Radioactivity*" Vol.77; 205-219 (2004).
- [10] S. Garimella and U. Prasad "Distribution of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{238}\text{U}$  in Soils of Southern and Western Coasts of Viti Levu, Fiji, Sitaram Garimella and Umawatti Prasad" *S. Pac. J. Nat. Sci.* Vol.20; 9-14 (2002).
- [11] F.S. Erees vd, "Gediz Havzasındaki Yer Altı Sularının Gross-Alfa Aktivitesinin Ra-Ba Çöktürme Yöntemiyle Ölçülmesi", *Yer altı Suları ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, sayfa: 461-465, 21-23 Mart 2001
- [12] Saç, M.M., Erees, F.S., "İzmir-Seferihisar Bölgesindeki Termal Sularda  $^{222}\text{Rn}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  Konsantrasyonlarının Belirlenmesi", *Yer altı Suları ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, sayfa: 467-472, İzmir (2001).
- [13] Marques, A.L. et al, "Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors" *Applied Radiation and Isotopes* ISSN 0969-8043, Vol.60; 801-804 (2004).
- [14] Sagan, S.A. vd, "Radionuclides in Hot Mineral Spring Waters in". *Jordan-Journal of Environmental Radioactivity* 52; 99-107 (2001).

- [15] Azovazi, M. et al, "Natural radioactivity in phosphates, phosphogypsum and natural waters in Morocco" *Journal of Environmental Radioactivity* 54;231-242 (2001).
- [16] Sagan, S.A. vd, "Radionuclides in Hot Mineral Spring Waters in". *Jordan-Journal of Environmental Radioactivity* 52; 99-107 (2001).
- [17] Hakam, D.K. et al, "Determination and comparison of uranium and radium isotopes activities and activity ratios in samples from some natural water sources in Morocco" *Journal of Environmental Radioactivity* 57;175-189 (2001).
- [18] Hakonson-Hayes, A.C. et al, "Assessing potential risks from exposure to natural uranium in well waters" *Journal of Environmental Radioactivity* 59; 29-40 (2002).
- [19] Oshita, K. et al, "Synthesis of novel chitosan resin derivatized with serine moiety for the column collection/concentration of uranium and the determination of uranium by ICP-MS". *Analytica Chimica Acta* 480; 239-249 (2003).
- [20] Almeida, R.M.R. et al, "Groundwater radon, radium and uranium concentrations in Regiao dos Lagos, Rio de Janeiro State, Brazil". *Journal of Environmental Radioactivity* 73; 323-334 (2004).
- [21] Salih, I. et al, "Impact of Fluoride and Other Aquatic Parameters on Radon Concentration in Natural Waters" *Applied Radiation and Isotopes* 60; 99-104 (1 january 2004).
- [22] Kobal, I. et al, "Radioactivity of Thermal and Mineral Springs in Slovenia". *Health Physics* Vol.37; 239-242 (1979).

[23] Gür, F., “Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimler Enstitüsü, 1999.

[24] Karahan, G. ve Bayulken, A. “Assessment of Gamma Dose Rates Around Istanbul”. Journal of Environmental Radioactivity Vol.47; 213-221 (2000).

[25] B. Karakelle, vd, “Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey”. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Vol.254; 649-651 (2002).

[26] <http://www.metu.edu.tr/~sahin/yayin/RADYASYON>

[27] <http://www.bssboray.com.tr/Turkce/index.php?Page=GSMveSaglik>

[28] <http://www.taek.com.tr> (Erişim tarihi: Mayıs 2011).

[29] UNSCEAR (United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation) Annex B: Exposures from natural radition sources (74 pages)

[30] Çam, S.; Barıs, C.; Özsoylu, F.B.; Erees, F.S., “Radon, Dogal Gaz, Biyogaz ve Çöplük Gazı. Biyoenerji 2004 Sempozyumu Bildiriler Kitabı”, sayfa:294-301 (2004).

[31] Çam, S., “Saruhanlı ve Çevre Yerlesim alanlarından alınan topraklardaki doğal radyoaktivite tayini” Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2004

[32][http://anapod.anadolu.edu.tr/groups/ucs541maltan/wiki/e4af2/ELEKTROMAGNET%C4%B0K\\_ENERJ%C4%B0.html](http://anapod.anadolu.edu.tr/groups/ucs541maltan/wiki/e4af2/ELEKTROMAGNET%C4%B0K_ENERJ%C4%B0.html)

[33] Almaz, E., “ $\beta$  Parçacıklarının Internal Bremsstrahlung Spektrumlarının Analizi” Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007

[34] Krane, K.S., “Nükleer Fizik”, Palme Yayıncılık, Şarer, B., Ankara, 2.cilt, 2006.

[35] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/52/Photomultipliertube.svg/400px.Photomultipliertube.svg.png> (Erişim tarihi: Mayıs 2011).

[36] Ashraf Khater, National Center for Nuclear Safety and Radiation Control, Atomic Energy Authority, P.O. Box 7551, Nasr City, Cairo 11762, Egypt. Chapter 10: Radiation Detection Methods

[37] Rosseland, S., Z. Physik, 14, p.173, (1923).

[38] Görpe, A., Cantez, S., 1972. Pratik Nükleer Tıp, İstanbul Tıp Fakültesi, 29.

[39] Arya, A.P. “Çekirdek Fizikinin Esasları” (1989) Çeviri editörü; Şahin, Y. Aktif yayıncılık, Erzurum

[40] Harshaw QS Scintillation Detector Catalogue and Saint-Gobain Ceramics and Plastics Inc. Internet sources. (March 1992)

[41] IAEA Technical Reports Series No.295 (s.52)

[42] Gordon R. Gilmore, John Wiley & Sons “Practical Gamma-ray Spectrometry” 2nd Edition Ltd. ISBN: 978-0-470-86196-7 (2008).

[43] Göksu, V. “Kars-Iğdır yöresinde Toprak ve Sudaki Radyoaktivitenin Tayini” , Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Kars, 2005.

[44] Akbayır, S. “2005-2007 yılları arasında Iğdır ilinden alınan toprak örneklerindeki radyasyon ölçümü” ,Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Kars, 2008.

[45] Kam, E. vd “Tekirdağ ili ve Çevresinin Doğal Radyasyon Seviyelerinin Belirlenmesi”, 22. Ulusal Fizik Kongresi, Bodrum, 2004.

[46] Merdanoğlu, B. “Kestonbol Civarındaki Su, Toprak ve Granit Örneklerinde Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2004.

[47] Kam, E. ve Bozkurt, A., “Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey”, Applied Radiation and Isotopes, Volume 65, p.440-444.

## EKLER

### Ek.1 Birimler

Bq	Becquerel (aktivite birimi)
C	Coulomb (elektrik yükü birimi)
cal	Kalori (enerji-ısı birimi)
Ci	Curie (aktivite birimi)
eV	Elektron volt (enerji birimi)
g	Gram (kütle birimi)
Gy	Gray (soğurulmuş doz birimi)
ha	Hektar (alan birimi)
l	Litre (hacim birimi)
J	Joule (enerji-iş birimi)
m	Metre (uzunluk birimi)
ppm	Parts per million (derişim birimi)
R	Rontgen (ışınlama birimi)
rad	Soğurulmuş doz birimi (radiation absorbed dose)
rem	Eşdeğer doz birimi (roentgen equivalent man)
s	Saniye (zaman birimi)
Sv	Sievert (eşdeğer doz birimi)
t	Ton (kütle birimi)
W	Watt (güç birimi)

## Ek.2 Birim Sisteminde Kullanılan Ön Ekler

Sembol	Ön Ek	Faktör
E	eksa	$10^{18}$
P	peta	$10^{15}$
T	tera	$10^{12}$
G	giga	$10^9$
M	mega	$10^6$
k	kilo	$10^3$
h	hekto	$10^2$
d	desi	$10^{-1}$
c	santi	$10^{-2}$
m	mili	$10^{-3}$
$\mu$	mikro	$10^{-6}$
n	nano	$10^{-9}$
p	piko	$10^{-12}$



### Ek.3 Radyasyon Ağırlık Faktörü [29]

Tipi	Enerji Aralığı	Radyasyon Ağırlık Faktörü( $W_R$ ):
Fotonlar	All	1
Elektronlar/Muonlar	All	1
	<10 keV	5
	10 keV - 100 keV	10
Nötronlar	100 keV - 5 MeV	20
	2 MeV - 20 MeV	10
	>20 MeV	5
Protonlar	>2 MeV	5
Alfa parçacıkları	All	20
Fisyon ürünleri	All	20
Ağır çekirdekler	All	20

**Ek.4 Doku Ağırlık Faktörü [29].**

Doku veya Organ	Doku Ağırlık Faktörü( $W_T$ )
Üreme organları	0,20
Kırmızı kemik iliği	0,12
Kolon	0,12
Akciğer	0,12
Mide	0,12
Mesane	0,05
Meme	0,05
Karaciğer	0,05
Yemek borusu	0,05
Troit	0,05
Cilt	0,01
Kemik yüzeyi	0,01
Diğerleri	0,05

Ek.5 ScintivisionTM-32 (A35-B32) programı

**ORTEC®**

**ScintiVision™-32**  
**for Windows® 95, 98, NT®, 2000, and XP®**  
**MCA Emulation and Analysis Software for**  
**Scintillation Detector Spectra**

**A35-B32**  
**Software User's Manual**

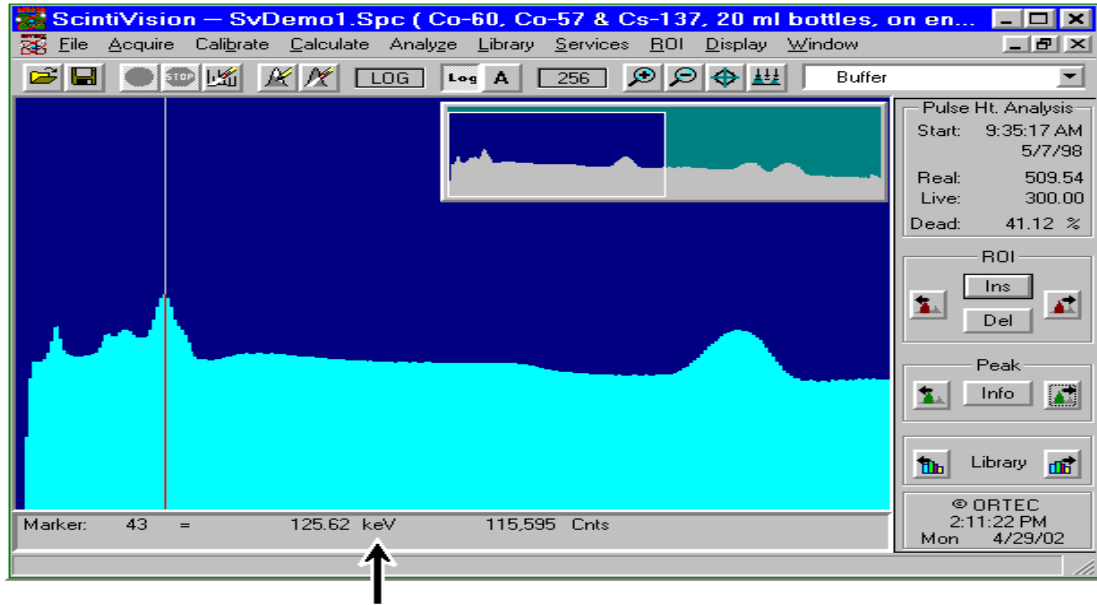
**Software Version 2**

Printed in U.S.A.

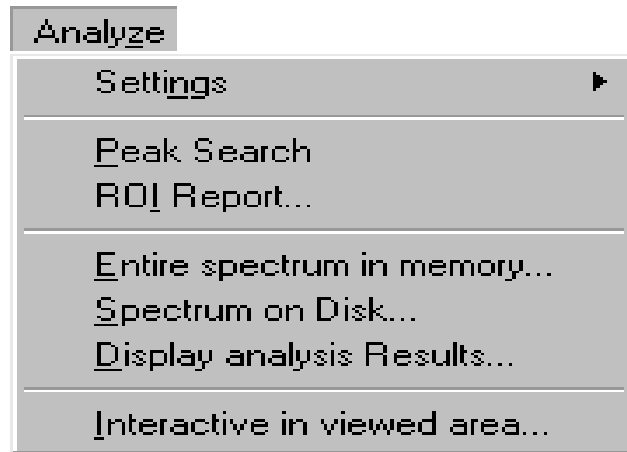
ORTEC Part No. 777810  
Manual Revision E

1203

## Scintivision



## Analyze



Analiz menü, şekilde gösterilmiştir. Bu menü, numuneyi tanımlamayı, raporlamayı, analiz seçeneklerini belirlemeyi; disk üzerindeki spektrumu analiz etmeyi ve kayıt edilmiş spektrumun tümünü veya bir kısmını tanımlamamıza izin verir.

## Sample Type

### Sample

**Analysis Options**

Sample | System | Report | Analysis | Corrections

File :  Browse... Save As ...

Creation:  Edition:

Description:  Presets

**Decay Correction**

Collection... date: 02-May-2002  
time: 12:05:52

During Acquisition

**Analysis Range**

From: 10 To: 8000

**Background Type**

1-Pt  3-Pt  5-Pt

**Nuclide Library**

Internal

Browse...

**Calibration**

Internal

Browse...

OK Cancel Help

**Settings** ➡ **Sample Type** butonunu tıklayınca yukarıdaki “kutu ekran” açılır. Bu ekranda analiz için gerekli olan; numune ismi, toplama zamanı (verilen tarih ve saate göre sayım sırasında kaynaklanan düzeltmeyi yapar, bu tarih ve saat sonuç olarak numunede bulunan tüm radyonüklidlerin yarılanma sürelerine bağlı olarak tüm spektrumu etkiler), kütüphane, kalibrasyon ,1-3-5 “Background type” (burada ifade edilen rakam, pikin bitim noktalarından itibaren kaç kanal sağından ve solundan doğal fon ortalaması alınarak doğal fonun hesaplanacağını belirtir) gibi tüm parametreler tanımlanır.

## System

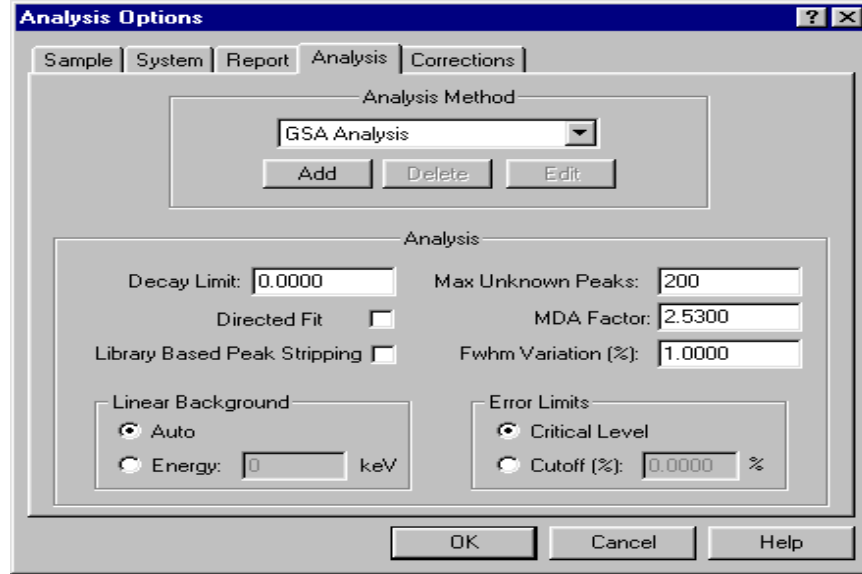
The screenshot shows the 'Analysis Options' dialog box with the following settings:

- Laboratory name:** ORTEC
- Operator name:** Callie Kitts
- Library:**
  - Match Width:** 0.5000 \* FWHM (keV)
  - Fraction Limit:** 0.0000 Percent
- Units:**
  - Bq:** Selected (Multiplier: 1.00000, Activity: Bq)
  - µCi:** Unselected (Divisor: 1.00000, Size: 1.00000 Kg)
- PEAK SEARCH SENSITIVITY:** 3 (Most... 1 2 3 4 5 ...Least)

“Library” bölümünde “Match Width” ile pikin tepe enerjisinin kütüphanede bulunan en yakın enerjili pikten ne kadar kayacağını ve hâlâ aynı kütüphane piki ile eşleştirilip eşleştirilemeyeceğini belirler. Bu değer FWHM kesri olarak girilir. Bu değer çok küçükse pikin merkezindeki istatistiksel sapmalardan dolayı bazı spektrum pik, kütüphaneye göre tanınmaz. “Fraction Limit” nüklodün spektrumda var ya da yok olduğunu belirleyen parametrelerden biridir. Spektrumdaki bir radyonüklodün tanımlanmış piklerinin yayılma olasılıklarının toplamının radyonüklodün analiz edilen enerji aralığındaki tüm piklerinin yayılma olasılıklarının toplamına oranı değer olarak girilir. Eğer sonuç “FL” den büyükse nüklodün spektrumda var diye belirlenir. Bu değer, radyonüklode âit olası tüm piklerin belirlenmesi durumunda 1, herhangi bir pikin belirlenememesi durumunda ise “0” olur.

Peak Search Sensitivity “1-2-3-4-5” analizde kullanılacak piklerin seçimindeki hassasiyeti belirler. 1→ En fazla sayıda pik bulunur. Fakat burada bulunan piklerin birçoğu yanlış pikler olacaktır. 5→Büyük pikleri seçer, bazı küçük pikleri kaybeder. Başlangıç olarak 3 değeri seçilmelidir.

## Analysis

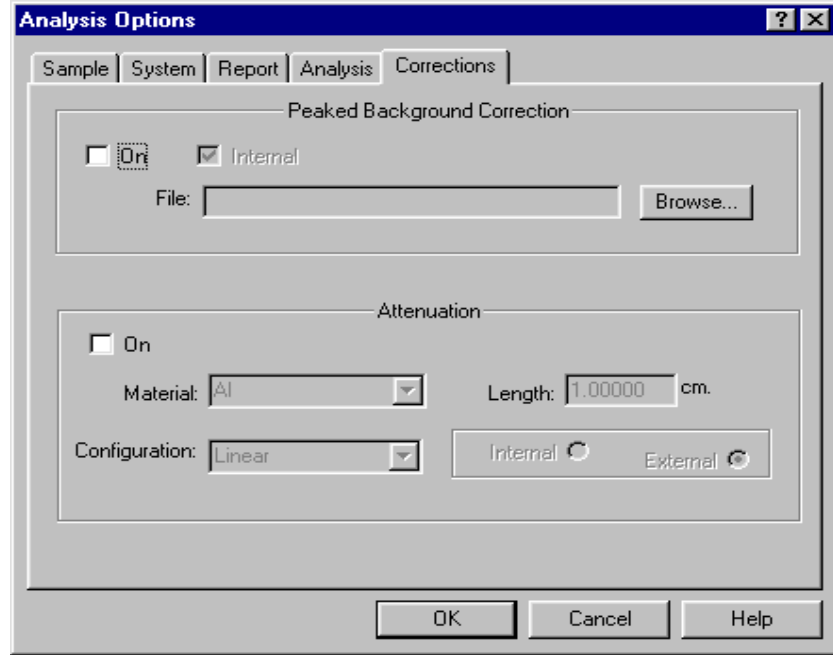


“Analysis” bölümünde “Decay Limit” radyonüklidin var olup olmadığının belirlenmesinde kullanılır. Spektrum “decay correction” modunda analiz edildiğinde, radyonüklidin pikleri olsa da olmasa da “decay limit”te verilen değerden daha fazla yarılandıysa radyonüklid yok sayılır.

“FWHM Variation” pik FWHM hesaplanan ilk belirsizliğine uygulanır. % 50 değeri, iyi bir fitin elde edilmesi için pik genişliğinin makul olarak değişebileceği aralığı belirler. Spektrum kalibrasyonu iyi yapıldıysa bu değer %10’a kadar düşürülebilir. Çok küçük değerler bazı durumlarda tekli piklerin çoklu pik olarak algılanmasına neden olur.

“Error Limits” Pik, istatistik testini geçemezse raporda yazılır ancak aktivite hesabında kullanılmaz. “Critical Level” seçildiğinde cut-off değeri program tarafından  $2.33 \times \sqrt{\text{Background Variance}}$  ile hesaplanır ve pik alanı bu değer üstünde olduğu durumlarda hesaba katılır. “Cut-off (%)” seçildiğinde pik belirsizlik değeri bu cut-off (%) değerinden büyük ise pik hesaba alınmaz.

## Corrections



“Peaked Background Correction” başlığı altında doğal fon düzeltmesinin yapıp yapılmayacağı belirlenir. (.PBC) dosyası düzeltme için kullanılır. “Analyze-Settings-Peak Background Correction-Select PBC.” menüsüyle oluşturulmuş olan (.PBC) dosyası yüklenir.



## Ek.6 Karsın Coğrafi Özellikleri

Kuzeydoğu Anadolu'nun yüksek yaylalarında yer alan Kars ili, 42° 10' ve 44° 49' doğu boylamları ile 39° 22' ve 41° 37' kuzey enlemleri arasında bulunur. 18.557 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüyle Türkiye topraklarının % 2,4'ünü kapsayan Kars'ta il merkezinin deniz düzeyinden yüksekliği 1.450 metredir. İl alanını oluşturan yüksek plato; doğudan Arpaçay ve Araş Vadileri; güneyden Araş Güneyi Dağları; kuzey ve kuzeybatıdan ise Yalnızçam Dağları ve uzantıları tarafından kuşatılmıştır. İl toprakları genel olarak büyük bir plato özelliği göstermektedir. Toprakların % 50,7'si platolarla kaplıdır. Ovaların payı ise % 11,1'dir. % 95'i tarıma elverişli olan il topraklarının % 22'sinde bitkisel üretim yapılmaktadır. Toprakların kullanımı açısından en büyük payı % 68,5 ile çayır ve meralar alır.

Yeryüzü şekilleri; Bir yandan Araş ve Arpaçay vadileri, bir yandan da Yalnızçam Dağları ile çevrelenen Kars il alanı, Karadeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu'yu birbirinden ayıran, yüksek ve sürekli sıradağlar arasında kalır. Anadolu'nun kuzeydoğusunda, Sovyetler Birliği sınırında bulunan Kars toprakları, yapısı, yükseltisi, iklimi ve yararlanma biçimleriyle, Doğu Anadolu genelinden farklı bir coğrafi birim oluşturur. Bölge genellikle, volkanik oluşumlarla örtülmüştür. Birkaç küçük nokta dışında, yörede tortul kütlelere rastlanmaz. İl alanlarının parçalanmış ve kırık yapısına karşın yöredeki sıradağlar birçok yerinden kesilmiş ve volkanik oluşumlarla kaplanmış durumdadır. Ana Araş Vadisi ile Aras'ın kolu olan Kars Çayı Vadisi'nin güney kesiminde batı-doğu yönünde bu yapı daha belirgindir. Kuzeydeki Kura Havzası ise volkanik yapı bakımından daha gelişkindir. İl alanındaki yeryüzü şekilleri Doğu Anadolu'nun öbür bölgelerine göre çok değişiktir. Doğu Anadolu genelindeki yapının tersine, burada aşınmış, yuvarlak tepelikler ve sönük biçimler yaygındır. Volkanlardan çıkan lavlar ve küller çevreye yayılarak çukur yerleri doldurmuştur. Bu nedenle, Kars il alanı, tekdüze görümlü geniş yaylalar ve ovalar durumunu almıştır. Platolar üzerinde yükselen dağlar da çok sarp olmayıp genellikle kalın bir toprak tabakası ile örtülüdür. Dik yamaçlara ve çıplak kayalıklara ancak vadi içlerinde rastlanabilir. Yörenin bu yapısı, Hazar Denizi'ne doğru hafif eğimli olmasından ve yılın büyük bir bölümünde kar

altında kalması nedeniyle kuvvetli aşınmalara uğramamasından kaynaklanmaktadır. Her yeri kalın bir toprak tabakası ile örtülü olan ve yaz aylarında sık sık yağmur alan Kars il alanı, Doğu Anadolu'nun en çok ot ve çayır yetişen yöresidir.

Kars yöresinde ovalar, genellikle akarsu vadileri boyunca sıralanmış durumdadır. Araş Vadisi'nin doğu ucundaki Iğdır Ovası ile yüksekte olmasına karşın belli ölçüde Karadeniz ikliminden etkilenen Posof çevresindeki vadi tabanları dışında, ildeki ovaların tümü yüksek ve soğuktur. Yer yer alüvyonlarla kaplı ova toprakları çok verimlidir. Çoğunun yükseltisi 2.000 metrenin üzerinde olan bu tarım alanlarında, Iğdır Ovası dışında tahıllarla yaz sebzeleri, yetişmez. Kimi meyve ağaçlarıyla, kavak ve söğüt dışında ağaca da rastlanmamaktadır.

Platolar-Yaylalar: Kars İli'nin % 50,7'si platolarla kaplıdır. Bu platolar genellikle akarsu vadileri boyunca sıralanan ovaların arasında yer almaktadır. Önemlilerinden biri Aras-Arpaçay vadileri ile Kars Ovası arasında, öbürü Kars Ovası ile Kura Irmağı boyunca uzanan Göle ve Ardahan ovaları arasında, bir başkasıysa bölgeyi Karadeniz Havzası'ndan ayıran Yalnızçam Dağları üzerinde yer alır. Volkanik yapılı olan bu yaylaların yönü, genellikle, kıvrım dağlarının düzgün şekillerine uymaz. Bu yaylalar, ovalardan 250-500 metre yüksekte, üzerlerinde yer yer ve tek tek dağlar yükselen inişli, çıkışlı, yuvarlak şekilli kabarıklıklar durumundadır. Çok geniş ve dalgalı olan platoların bazı kesimlerinde küçük düzlükler ve çöküntü gölleri bulunur.

Kars Ovası'nın iki yanını çevreleyen yüksek düzlüklere Kars Platoları adı verilmektedir. Ovası güneyden çeviren dağlar, burasını Araş Vadisi'nden ayırmaktadır. Ovanın güneyindeki bu platolar, genellikle birbirine koşut ise de, yer yer volkanik oluşumlarla parçalanmış durumdadırlar. Kars Platoları Sarıkamış'ın hemen güneyinden başlayarak, doğuda Arpaçay Vadisi'ne kuzeyde Beşgedikler Düzü'ne dek uzanır. Platonun, Sarıkamış'ın güney ve doğusuna düşen kesimleri ormanlarla kaplıdır. Doğuya doğru gidildiğinde orman örtüsü yavaş yavaş ortadan kalkmaya başlar.

Kars Platosu, Araş Vadisi'ne doğru alçalır. Ama vadi tabanına yakın, kesimlerinde sarp yerler ve kayalıklar vardır. Platonun Aladağ'a doğru olan kuzeybatı yönü daha yumuşak bir eğimle alçalır. Bu yöre genellikle susuzdur. Kaynaklar ancak çok aşağılarda Aras'a bakan yamaçlardadır. Fazla yağış almasına karşın, çok geçirimli bir toprak tabakası ile kaplı olduğundan suyu hızla süzen bu kesimde, otlak ve çayırlar, platoların öbür bölümlerine göre daha yoksuldu. Aladağ'dan kuzeye Kars Ovası'na doğru iyice daralan ve alçalan plato doğuya ve kuzeydoğuya doğru genişler ve yükselti hızla artar. İlde, Kars Çayı Vadisi, Araş Vadisi ve Arpaçay Vadisi'yle çevrelenen bu ana plato dışında, çok sayıda başka plato da vardır. Daha düzenli bir sıra oluşturan Allahüekber Dağları ve Yalnızçam Dağları ile Kısır Dağı, Keldağ ve Akbaba Dağı'nın dorukları dışında kalan kesimlerde, çeşitli yükseltilerde platolar uzanmaktadır. Çöküntü oluklarının tabanlarında ve akarsu vadilerinde yer alan plato düzlükleri, genellikle geniş otlaklarla kaplıdır. Erzurum-Kars Yaylası olarak adlandırılan bu yüksek bölge, yüksek ve hafif dalgalı plato alanlarının bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Kuzeybatıdan Doğu Karadeniz Sıradağlarıyla ayrılan ilde, dağların yerini yüksek plato düzlükleri, ormanların yerini çayır ve otlaklar almaya başlar.

Kars'ta platoların genel yükseltisi 1.500-2.000 metre arasındadır. Kalın bir toprak tabakası ile kaplı olan yaylalardaki otlak ve çayırların il hayvancılığının gelişmesinde önemli rolü vardır.

**Ek.7** Kars-il merkezdeki toprak alma istasyonlarının koordinatları

<b>Numune Adı</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>
N-1 [HAVAALANI-1]	40°34'22,73"	043°6'24,69"
N-2 [HAVAALANI-2]	40°34'16,34"	043°6'29,54"
N-3 [ŞEKER FABRİKASI-1]	40°34'7,06"	043°5'28,43"
N-4 [ŞEKER FABRİKASI-2]	40°35'56,57"	043°5'32,99"
N-5 [TOKİ-1]	40°35'9,82"	043°7'49,03"
N-6 [TOKİ-2]	40°34'51,73"	043°8'23,45"
N-7 [HASTANE]	40°35'21,08"	043°5'45,01"
N-8 [OTOGAR-1]	40°38'0,91"	043°01'704"
N-9 [OTOGAR-2]	40°37'58,74"	043°8'3,71"
N-10 [K.S.K]	40°34'59,83"	043°7'15,18"
N-11 [SEBZE HALI]	40°37'47,14"	043°7'58,23"
N-12 [OT PAZARI]	40°37'19,91"	043°7'19,36"
N-13 [MAL PAZARI]	40°37'15,01"	043°7'11,65"
N-14 [GAR]	40°36'14,78"	043°6'19,56"
N-15 [ANIT]	40°36'41,56"	043°5'10,80"
N-16 [KALE]	40°36'46,12"	043°5'15,32"
N-17 [DERE İÇİ-1]	40°36'53,73"	043°5'26,16"
N-18 [DERE İÇİ-2]	40°36'53,08"	043°5'32,25"
N-19 [DERE İÇİ-3]	40°36'55,58"	043°5'38,05"
N-20 [EVLİYA CAMİ]	40°36'38,02"	043°5'29,99"
N-21 [KAMPÜS-1]	40°35'6,70"	043°4'6,82"

N-22 [KAMPÜS-2]	40°35'0,89"	043°3'56,93"
N-23 [KAMPÜS-3]	40°34'44,3"	043°2'48,55"
N-24 [KAMPÜS-4]	40°34'39,20"	043°2'43,46"
N-25 [EĞİTİM]	40°34'35,53"	043°2'33,86"
N-26 [YURT-1]	40°35'27,08"	043°2'59,49"
N-27 [YURT-2]	40°35'30,06"	043°2'54,34"
N-28 [TEİAŞ]	40°34'45,82"	043°2'20,20"
N-29 [ÇİMENTO FABRİKASI-3]	40°34'30,15"	043°0'48,63"
N-30 [ÇİMENTO FABRİKASI-2]	40°34'11,44"	043°0'27,64"
N-31 [ÇİMENTO FABRİKASI-1]	40°34'19,28"	043°0'21,40"
N-32 [ÇEŞME]	40°35'44,39"	043°3'56,66"
N-33 [BOTAŞ]	40°33'48,16"	043°1'19,62"
N-34 [SANAYİ]	40°33'55,00"	043°0'46,36"
N-35 [KÖY HİZMETLERİ]	40°37'0,80"	043°6'52,66"
N-36 KAYABAŞI	40°36'8,79"	043°5'31,77"
N-37 KIŞLA	40°36'48,03"	043°4'39,77"
N-38 BAYRAMPAŞA	40°37'49,49"	043°7'82,17"

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :SERAP REŞİTOĞLU

Doğum Yeri :GAZİANTEP

Doğum Tarihi :20.05.1984

Medeni Hali :EVLİ

Yabancı Dili :İNGİLİZCE

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lise :GAZİANTEP LİSESİ (2002)

Lisans :ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ (2008)

Yüksek Lisans :KAFKAS ÜNİVERSİTESİ (2011)