

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

**2005-2007 YILLARI ARASINDA**  
**IĞDIR İLİNDEN ALINAN TOPRAK ÖRNEKLERİNDEKİ**  
**RADYASYON ÖLÇÜMÜ**

**Suat AKBAYIR**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Doç. Dr. Mevlüt KARABULUT**

**HAZİRAN-2008**

**KARS**

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek lisans öğrencisi Suat Akbayır'ın Doç.Dr Mevlüt KARABULUT' un danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı “ 2005-2007 yılları arasında Iğdır ilinden alınan toprak örneklerindeki radyasyon ölçümü” adlı bu çalışma , yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy..... ile kabul edilmiştir.

..../..../2008

	Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Hacali NECEFOĞLU.....	.....
Üye	: Doç. Dr. Mevlüt KARABULUT.....	.....
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ.....	.....

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..../..../2008 gün ve ...../..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

“2005-2007 yılları arasında Iğdır ilinden alınan toprak örneklerindeki radyasyon ölçümü” adlı bu tez çalışmasının deneysel çalışmaları Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Radyasyon Ölçüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında yakın ilgi ve desteğinden dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Mevlüt KARABULUT’ a içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasında yardımlarını esirgemeyen Fizik Bölümü Uzmanı Özkan VURAL ile Fizik Bölümü yüksek lisans öğrencisi Ahmet YILDIZ ’a teşekkürü bir borç bilirim.

Kars, 2008

Suat AKBAYIR

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESİMLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>TANIMLAR</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEORİK BİLGİLER</b> .....	<b>4</b>
2.1. Radyasyon Kaynakları .....	4
2.2. Doğal Radyoaktivite.....	4
2.3 Doğal Radyoaktif Seriler ve Doğal Radyoaktif Elementler .....	7
2.4.Kozmik Radyoaktivite.....	11
2.5 Yapay Radyoaktivite .....	15
2.6. Topraktaki Radyasyon .....	16
2.7. Çevresel Radyasyon .....	20
2.8. Radon .....	23
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>26</b>
3.1. Deneylerde kullanılan cihazlar .....	26
3.2. Gama Spektrometrik Sistem.....	26
3.3 HpGe Dedektör Sisteminin Çalışma Prensipleri .....	27
3.4. Toprak Numunelerinin Hazırlanması.....	28
3.5 Ölçüm Sahası ve yapılan radyoaktif ölçümler.....	31
3.6 Gama Spektrometresinin Enerji Kalibrasyonu .....	32
3.7 Gama Spektrometresinin Verim Kalibrasyonu.....	33
3.8 Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi .....	36
3.9 Topraktaki Radyoaktivite Seviyelerinin Analizi .....	37

<b>4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....</b>	<b>48</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>51</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>54</b>
<b>Ek-1 Iğdır ilinin toprak özellikleri .....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>55</b>

## ÖZET

Bu çalışmada Iğdır ilinin Ermenistan'ın Metsamor nükleer santrali sınır bölgesinden periyodik olarak toplanan toprak numunelerindeki radyoaktivite incelenmiştir. Bu amaçla Iğdır ilinin değişik noktalarından alınan toprak numunelerindeki radyoaktivite tespit edilmiştir.

Iğdır ili sınırları içerisinde 11 farklı noktadan alınan toprak örneklerinin periyodik gama spektrometrik analizi Canberra modeli HpGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  radyoizotopları ile bu radyoizotopların doğal bozunum ürünleri ve  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarının radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarının yıllık ortalama aktiviteleri sırasıyla  $15.4 \pm 2.4$ ,  $17.5 \pm 5.9$ ,  $23.6 \pm 2.9$  ve  $423.6 \pm 24.2$  Bq/kg olarak belirlenmiştir.

**2008, 68 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Iğdır, doğal radyoaktivite, radyoaktif seriler, gama spektrometresi, Metsamor.

## ABSTRACT

In this study, radioactivity in soil samples collected periodically along the border region of Iğdır with Armenia which is right across the Metsamor nuclear power plant was analysed. For this purpose, the radioactivity concentration of soil samples collected from different points of Iğdır region were determined.

Gamma spectrometric analyses of soil samples collected from 11 different point of Iğdır were performed by using the Canberra HpGe dedector. The radioactivity concentration of the decay products of  $^{238}\text{U}$ , and  $^{232}\text{Th}$  series, and,  $^{40}\text{K}$  and,  $^{137}\text{Cs}$  were determined. In these samples, the annual average activity concentrations of  $^{238}\text{U}$ , and  $^{232}\text{Th}$  and,  $^{40}\text{K}$  and,  $^{137}\text{Cs}$  were found to be  $15.4 \pm 2.4$ ,  $17.5 \pm 5.9$ ,  $23.6 \pm 2.9$  ve  $423.6 \pm 24.2$  Bq/kg, respectively.

**2008,68 pages**

**Key words:** Iğdır, natural radioactivity, radioactive series, gamma spectrometer, Metsamor.

## SİMGELER VE KISALTMA LİSTESİ

EC	Electron Capture
IT	Intrinsic Transition
HpGe	Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörü
IAEA	International Commission on Radiological Protection
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	World Health Organization
HV	Yüksek Voltaj Kaynağı
D	HpGe Dedektör
PA	Ön Yükseltici
MA	Ana Yükseltici
ADC	Sayısal-Örneksel Dönüştürücü
MCA	Çok Kanallı Analizör
PC	Bilgisayar
PR	Bilgisayar Yazıcısı
PL	Bilgisayar Grafik Çizicisi



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 2.4.1</b> Net yüke sahip kozmogenik parçacıklar ile net yüke sahip olmayan parçacıkların Dünyanın manyetik alanının etkisinde izledikleri yörüngeler .....	14
<b>Şekil 2.7.1</b> Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	23
<b>Şekil 3.2.1</b> HpGe dedektör sisteminin kurulum şeması.....	27
<b>Şekil 3.5.1</b> Iğdır ilinden toprak numunesi alınan bölgeler.....	31
<b>Şekil 3.7.1</b> Nokta geometresine göre enerji-verim eğrisi .....	34
<b>Şekil 3.7.2</b> Marinelli geometrisine göre enerji-verim eğrisi .....	35
<b>Şekil 3.9.1</b> Toprak numunelerindeki <sup>226</sup> Ra dağılımı.....	43
<b>Şekil 3.9.2</b> Toprak numunelerindeki <sup>238</sup> U dağılımı .....	43
<b>Şekil 3.9.3</b> Toprak numunelerindeki <sup>232</sup> Th dağılımı.....	44
<b>Şekil 3.9.4</b> Toprak numunelerindeki <sup>137</sup> Cs dağılımı .....	44
<b>Şekil 3.9.5</b> Toprak numunelerindeki <sup>40</sup> K dağılımı .....	45

## RESİMLER DİZİNİ

<b>Resim 3.4.1</b> Korhan yaylasından alınan toprak numunesi .....	29
<b>Resim 3.4.2</b> 10 ve 11. toprak istasyonlarının bulunduğu yer –Korhan Yaylası .....	30

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.2.1</b> Dünya üzerinde yaşayan bir insanın iç ve dış ışınlama yolu ile alabileceği yıllık etkin doz miktarları .....	5
<b>Çizelge 2.2.2</b> Yerkabuğunda bulunan doğal radyoaktif maddelerin yarı ömürleri ve bulunma oranları .....	6
<b>Çizelge 2.3.1</b> Karasal radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunma türleri .....	8
<b>Çizelge 2.3.2</b> Karasal radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunma türleri ( $^{238}\text{U}$ Serisi) .....	9
<b>Çizelge 2.3.3</b> Karasal radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunma türleri ( $^{232}\text{Th}$ Serisi) ...	10
<b>Çizelge 2.3.4</b> Karasal radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunma türleri ( $^{235}\text{U}$ Serisi) ...	11
<b>Çizelge 2.4.1</b> Bazı kozmogenik ürünlerin izotopları, yarı ömürleri ve bozunma türleri .....	13
<b>Çizelge 2.4.2</b> Kozmogenik radyonüklitlerin Dünya yüzeyinde (deniz seviyesinden) enlem değerlerine göre maruz kalınan efektif doz oranları .....	15
<b>Çizelge 2.5.1</b> Reaktörlerde üretilen radyoaktif maddelerin bir kısmı .....	16
<b>Çizelge 2.6.1</b> A.B.D. de ortalama karasal radyasyon miktarları .....	17
<b>Çizelge 2.6.2</b> Dünya genelinde karasal radyasyonun ülkelere göre dağılımı .....	18
<b>Çizelge 2.6.3</b> Nüfus sayısı dikkate alındığında Dünya üzerinde karasal radyasyon kaynaklı ortalama radyasyon miktarı ile bu radyasyonun havada soğurulan doz miktarı .....	20
<b>Çizelge 2.7.1</b> Bir insanın bir yılda çevresel radyoaktivitenin etkisiyle aldığı ortalama etkin doz.....	22
<b>Çizelge 2.8.1</b> Ev içi radon miktarı ile sağlık bakımından izin verilen Radon konsantrasyonları .....	25
<b>Çizelge 3.6.1</b> Standart kaynak olarak kullanılan radyonüklitlerin fotopik enerjileri ....	33
<b>Çizelge 3.9.1</b> $^{238}\text{U}$ serisi bozunum ürünlerinin aktiviteyi .....	37
<b>Çizelge 3.9.2</b> $^{232}\text{Th}$ serisi bozunum ürünleri ve $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ radyonüklitlerinin Aktiviteyi .....	38
<b>Çizelge 3.9.3</b> $^{238}\text{U}$ serisi bozunum ürünlerinin aktiviteyi .....	39
<b>Çizelge 3.9.4</b> $^{232}\text{Th}$ serisi bozunum ürünleri ve $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ radyonüklitlerinin Aktiviteyi .....	40
<b>Çizelge 3.9.5</b> $^{238}\text{U}$ serisi bozunum ürünlerinin aktiviteyi .....	41

<b>Çizelge 3.9.6</b> $^{232}\text{Th}$ serisi bozunum ürünleri ve $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ radyonüklitlerinin Aktiviteleri .....	42
--	----

## TANIMLAR

### Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktivite birimleri, Curie (Ci ) ve Becquerel (Bq) dir.

**1 Curie**, saniyede  $3.7 \times 10^{10}$  parçalanma veren radyoaktivitedir.

**Becquerel**, saniyedeki parçalanma sayısıdır. 1 Becquerel  $2.7 \times 10^{-11}$  Curie'dir.

**Rem** (rem), radyasyondan korunmada kullanılan biyolojik eşdeğer doz birimi olup, soğurulan dozla kalite faktörünün çarpımına eşittir.

**Rad** (rad), soğurulan doz birimi olup, 1 gram madde içinde 100 erg'lik enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon dozudur.

**Röntgen:** Normal hava şartlarında havanın 1 kg' ında  $2.58 \times 10^{-4}$  C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır.

$$1 R = 2.58 \times 10^{-4} C / kg$$

$$1 C/kg = 3.88 \times 10^3 R$$

**Soğurulmuş Doz:** Birim kütle başına depolanan enerjinin ölçüsüdür. Her tür radyasyona uygulanabilir. Birimi; Gray (Gy) = 1 Joule/kg olup eski birim cinsinden rad = 0.01 Gy dir. 1 Gy yüksek bir doz değeridir. Radyoterapide tedavi dozları 50-60 Gy civarındadır. Klasik radyolojik tetkiklerde alınan doz 0.001Gy'den küçüktür. Yıllık doğal radyasyondan kaynaklanan doz düzeyi (toprak, kozmik, gıdalar, radon, .) yaklaşık 0.0024 Gy'dir.

**Eşdeğer Doz:** Vücutta toplanan enerjinin ifadesidir. Düşük doz düzeylerinde radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarlarını da içeren bir kavramdır.

Birimi; Sievert (Sv) = 1 Joule/kg. Radyasyondan korunmada kullanılan bir birimdir.

Eski birim; 1 rem = 0.01 Sv. 1 Sv yüksek bir doz değeridir.

X ışınları, gamma ışınları ve beta ışınları için 1 Gy = 1 Sv'dir .

**Etkin Doz:** Doku veya organların aldığı dozun tüm vucut için yüklediği riski ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. Birimi Sievert'tir. Dünya Genelinde Doğal Radyasyon Kaynakları nedeniyle alınan yıllık etkin doz 2.4 mSv dir.

## 1.GİRİŞ

Dünya oluştuğundan beri gerek yerkabuğu kaynaklı (karasal) radyasyon gerekse uzay kaynaklı (kozmetik) radyasyon'un etkisinde kalmıştır. Karasal radyasyon ve kozmik radyasyon doğal radyasyon olarak adlandırılır. Doğal radyasyonun yanında, 1895 yılında x ışınlarının keşfedilmesi ve teknolojik gelişmeler sebebiyle insan yapımı yapay radyoaktivitenin etkisinde kalmıştır[1]. Maruz kalınan radyasyonun büyük bir miktarı (%85) doğal radyoaktif ışınlar, geri kalan (%15) ise yapay radyoaktiviteden kaynaklanmaktadır[2]. Karasal radyasyonlar; Uranyum, Toryum, Aktinyum ve Neptinyum radyonüklitleri ve bunların bozunum ürünleridir. Kozmik radyasyonlar; yaklaşık olarak %90 proton, %9 alfa parçacıkları ile %1 oranında elektronlardan meydana gelmektedir[3].

Karasal ve kozmik radyasyon olarak adlandırılan doğal radyoaktivite miktarı o bölge için temel radyasyon seviyesini oluşturur ve bu seviye fon radyasyon (background radyasyon) olarak adlandırılır. Her bölgenin jeolojik ve coğrafik koşullarına bağlı olarak temel radyasyon seviyesi farklılık gösterir. Bölgenin radyasyon seviyesindeki değişim temel radyasyon seviyesi göz önünde bulundurularak tespit edilir[4].

İnsanların hiç radyasyona maruz kalmaması söz konusu olamaz zira, insan vücudunda da bir miktar radyoaktif element bulunmaktadır. Önemli olan yukarıda sıralanan kaynaklardan alınan radyasyonun kontrol altında tutulmasıdır[5]. İnsanlar doğal kaynaklardan iç ve dış ışınlamalar şeklinde başlıca iki yolla radyoaktif ışımaya maruz kalmaktadırlar;

- a ) Kozmik ışınlar ile yerkabuğunda, inşaat malzemelerinde ve havada doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan dış ışınlamalar,
- b ) Havada ve gıda maddelerinde bulunan doğal radyoaktif maddelerin solunum ve ağız yolu ile vücuda girerek vücudu içten ışınlayan iç ışınlamalardır[1].

Çevresel radyoaktivite üzerine 50 yıldan daha uzun zamandır çalışma yapılmaktadır. Önceki çalışmalar daha çok kayalardaki, topraklardaki ve havadaki doğal radyoaktivite

üzerine yoğunlaşmıştır. Antropojenik radyoaktivite, ilk olarak 1945 de global çevreye girmiştir. Nükleer materyallerin üretimi, ticari güç reaktörlerinin gelişmesi ve işletilmesi, nükleer yakıt geri kazanım işletmeleri ve atık uzaklaştırma aktiviteleri sonucunda çevredeki radyoaktif kirlenme artmıştır[6].

Topraktaki doğal radyoaktifliğin sebebi toprakta az miktarda bulunan Uranyum, Toryum ve bunların bozunum ürünleridir. Toprakta yayılan gama ışınının başlıca kaynakları Uranyum ve Toryum serileri ile Potasyum ( $^{40}\text{K}$ )'dur.

Yapılan çalışmalar fosfat kayaları ve volkanik kayalarını (granit ve tortul kayalar) radyoaktivite açısından diğer kayalara göre oldukça zengin olduğunu göstermektedir[4,7,8]. Çin'de yapılan bir araştırmada granit içeren bölgelerdeki doğal radyoaktivite oranının diğer bölgelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir[7].

Bazı doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ışınlamalar sonucu alınan dozlar sabit olup insan faaliyetleri ve alışkanlıklarından bağımsızdır. Kozmik radyonüklitlerin ve  $^{40}\text{K}$ 'ın vücuda alınması sonucu meydana gelen iç ışınlamalar bu sınıfa dahil olup bu kaynaklardan alınan dozlar bütün dünyada homojen bir dağılım göstermektedir. Kozmik radyasyonlardan dış ışınlamalar sonucu alınan dozlar bölgeye ve deniz seviyesinden yüksekliğe göre değişir[1].

1986 yılının Nisan ayında meydana gelen Çernobil nükleer güç istasyonundaki kaza sonucunda büyük miktarda radyoaktif materyal çevreye yayılmıştır. Kazayı takip eden 10 günlük periyot içinde, radyonüklitler değişen meteorolojik şartlara bağlı olarak farklı doğrultulardaki rüzgarlarla kuzey yarım küreye yayılmış ve ciddi boyutlarda radyoaktif kirlenmeye neden olmuştur[6]. Ülkemiz de bu kazadan ötürü önemli oranda radyoaktif kirlenmeye maruz kalmıştır[2,9].

1895' te radyoaktivitenin keşfedilmesinden günümüze kadar radyoaktivitenin canlılar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Nijerya'da yapılan bir çalışmada doğal radyoaktivitenin önemli bir miktarını meydana getiren (%72) karasal radyasyonun kansere yakalanan insanlar ile ilişkisi araştırıldı. Kansere hastaları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda

hastaların coğrafik şartlara da bağlı olarak %1.3 ile %9.2' sinin karasal radyasyon sebebi ile kansere yakalandığı sonucu ortaya çıkmıştır[10]. Bu çalışma göz önünde bulundurulduğunda, kanser hastalığına yakalanan hastaların çok büyük bir kısmının ise insan ürünü olan radyoaktif kirlenme sonucu kanser hastalığına yakalandığı sonucuna ulaşılmaktadır.

Türkiye-Ermenistan sınırında Ermenistan'ın başkenti Erivan kenti yakınında bulunan, halen aktif olarak elektrik üretimine devam eden eski Rus teknolojisi ile yapılmış ve Iğdır ilinden sadece 16 km uzaklıkta bulunan Metsamor nükleer santralinden Iğdır ili ve çevresine radyoaktif serpinti olup olmadığının tespit edilmesi bölgemiz için hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Iğdır ilinden 2005-2007 yılları arasında periyodik olarak toplanan toprak numunelerindeki radyoaktivite düzeyleri belirlenmiştir.



## 2. TEORİK BİLGİLER

### 2.1 Radyasyon Kaynakları

Yeryüzünde maruz kalınan radyoaktif ışınlamalar meydana geldikleri kaynaklara göre iki gruba ayrılır.

- 1) Doğal Kaynaklar
  - a) Yer kabuğundaki radyoaktif maddeler nedeni ile var olan radyoaktivite
  - b) Uzay kaynaklı kozmik ışınlardan meydana gelen radyoaktivite
- 2) Yapay (İnsan yapısı) radyoaktivite

### 2.2 Doğal Radyoaktivite

Uranyum ve Toryum içeren doğal minarellerin radyoaktif bozunumları, nükleer fizik çalışmalarının başlamasında büyük rol oynamışlardır. Daha kısa yarı-ömürlü çekirdekler bozunarak yok olduklarından bugün sadece uzun ömürlü bozunmalar gözlenmektedir.  $^{235}\text{U}$  ve  $^{238}\text{U}$  'in son derece uzun yarı-ömürleri olmasaydı bugün doğada hiçbir uranyum bulunmayacak ve muhtemelen nükleer teknoloji ya da nükleer silah olmayacaktı[11].

1895 yılında Henry Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfiyle doğal radyoaktivite kavramı günlük hayatımızda yerini aldı. Yer kabuğunda mevcut olan, dünyanın oluşumundan itibaren var olan ve atom numarası 83 ten büyük olan bütün atomlar bu grubun içine sokulabilir. Volkanik kayalarda (granit ve tortul kayalar) oldukça yüksek radyasyon seviyesine rastlanılır[4]. İnsan üzerine etkileri bakımından kozmik radyasyon ve bunların atmosferimizle etkileşmesi sonucunda meydana getirdikleri radyoaktif parçacıklar da ihmal edilemeyecek kadar önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle deniz seviyesinden yüksek rakımlı bölgelere çıkıldıkça radyasyon oranı önemli ölçüde artış göstermektedir.

UNSCEAR 2000 verilerine göre dünya üzerinde yaşayan bir insanın iç ve dış ışınlama yolu ile alabileceği yıllık etkin doz miktarları Çizelge 2.2.1’ de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.1** Dünya üzerinde yaşayan bir insanın iç ve dış ışınlama yolu ile alabileceği yıllık etkin doz miktarları [12].

Kaynak	Yıllık kişi başına etkin doz (mSv)	Düzy (mSv)
<b>Dış ışınlama</b>		
Kozmik ışınlar	0.4	0.3-1.0
Karasal gama ışınları	0.5	0.3-0.6
<b>İç ışınlama</b>		
Nefes alma (çoğunlukla radon)	1.2	0.2-10
Gıda yolu ile	0.3	0.2-0.8
Toplam	2.4	1-10

Dışarıdan enerji alınmaksızın atomların dışarıya yüksek enerjili ışın ve parçacıklar yayınlanması olayı radyoaktivite olarak tanımlanır. Yer kabuğu kaynaklı yayımlanan ışın ve parçacıkların oldukça yüksek enerjilere sahip olmalarından dolayı bunlardan kaynaklanan radyasyon iyonize radyasyon olarak da adlandırılır.

Yerkabuğu kaynaklı dört adet radyoaktif seri bulunmaktadır. Bunlar;

- a)  $^{238}\text{U}$  (Uranyum serisi)
- b)  $^{232}\text{Th}$  (Toryum serisi)
- c)  $^{235}\text{U}$  (Aktinyum serisi)
- d)  $^{241}\text{Pu}$  (Neptinyum serisi)

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  serilerinin dünyanın var oluşundan beri olduğu bilinmekle beraber, Neptinyum serisi ise kaynağı olan  $^{241}\text{Pu}$  radyoaktif maddesi ve bu serinin bozunum ürünlerinin diğer serilere kıyasla daha küçük yarı ömürlere sahip olması nedeniyle şu an ortamda mevcut değildir ( $^{241}\text{Pu}$  ün yarı ömrü 14 yıldır). Neptinyum radyoaktif element ailesinin halen bilinen tek elementi  $^{209}\text{Bi}$  elementi olup yarı ömrü  $2.7 \times 10^{17}$  yıldır. İnsanlar doğal radyoaktif maddelerden normal bir bölgede yılda ortalama 2.4 mSv' lik bir etkin eşdeğer doz almaktadır[1].

Önemli radyonüklitler dünyanın oluşumundan beri varlıklarını sürdürme gelmiş yüzlerce milyon yıllık yarı ömre sahiptirler. Çizelge 2.2.2'de başlıca radyonüklitlerin yarı ömürleri verilmiştir.

**Çizelge 2.2.2** Yer kabuğunda bulunan doğal radyoaktif maddelerin yarı ömürleri ve bulunma oranları[13].

Yer kabuğundaki doğal radyoaktif maddeler			
Radyonüklit	Sembol	Yarı ömür	Doğal Aktivite
Uranyum 235	$^{235}\text{U}$	$7.04 \times 10^8$ yıl	Doğal Uranyumun %0.72 lik kısmı
Uranyum 238	$^{238}\text{U}$	$1.47 \times 10^9$ yıl	Toplam Uranyumun %99.2745 lik kısmı.
Toryum 232	$^{232}\text{Th}$	$1.405 \times 10^{10}$ yıl	
Radyum 226	$^{226}\text{Ra}$	1600 yıl	
Radon 222	$^{222}\text{Rn}$	3.82 gün	Soy gaz; Amerika da yıllık ortalama 0.016 pCi/L ( $0.6 \text{ Bq/m}^3$ ) den 0.75 pCi/L ( $28 \text{ Bq/m}^3$ ) oranında değişir.
Potasyum 40	$^{40}\text{K}$	$1.28 \times 10^9$ yıl	Toprak 1-30 pCi/g ( $0.037-1.1 \text{ Bq/g}$ )

### 2.3 Doğal Radyoaktif Seriler ve Doğal Radyoaktif Elementler

Uranyum bozunum serisinde;  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{210}\text{Pb}$  izotoplarının yarı ömürleri 22.3 ile  $4.5 \times 10^9$  yıl arasında değişmektedir.  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  ve  $^{210}\text{Po}$  izotoplarının yarı ömrü ise 3.8 ile 138 gün arasında değişmektedir. Bunlar dışında kalan diğer izotopların yarı ömürleri ise 30 dakikanın altındadır. Bu seride bozunmalardan yayınlanan alfa parçacıklarının enerjisi 4.2 MeV ile 7.69 MeV arındadır. Bu alfa bozunumu yapan izotopların özellikle 5 tanesi  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{210}\text{Po}$  diğerlerine göre daha tehlikelidir. Bu radyoaktif izotopların yarı ömürleri uzundur, diğer radyoaktif izotoplara göre buldukları ortamlarda daha uzun süre varlıklarını devam ettirirler ve büyük miktarda radyasyona sebebiyet verirler. Seride yukarıda sayılan sekiz izotopun dışında daha başka alfa bozunumu yapan izotoplar da vardır. Ancak bunların yarı ömürleri çok kısa olduğundan aktiviteye belirgin bir katkıda bulunmazlar. Uranyum serisinde beta parçacıklarının maksimum enerjisi 0.02 ile 3.26 MeV arasında değişmektedir[14].

Toryum bozunum serisinde;  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  ve  $^{228}\text{Th}$  izotoplarının yarı ömürleri 1.9 ile  $1.4 \times 10^{10}$  yıl arasında değişmektedir. Bunlar dışında kalan diğer izotopların yarı ömürleri ise 3.66 günün altındadır. Bu seride bozunmalardan yayınlanan alfa parçacıklarının enerjisi 4.1 MeV ile 8.95 MeV arındadır. Toryum serisinde beta parçacıklarının maksimum enerjisi 0.46 ile 2.124 MeV arasında değişmektedir.

Aktinyum bozunum serisinde;  $^{235}\text{U}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{227}\text{Ac}$  izotoplarının yarı ömürleri 21.77 ile  $7.04 \times 10^8$  yıl arasında değişmektedir.  $^{227}\text{Th}$ ,  $^{223}\text{Ra}$  ve  $^{231}\text{Th}$  izotoplarının yarı ömrü ise 1 ile 18.72 gün arasında değişmektedir. Bunlar dışında kalan diğer izotopların yarı ömürleri ise 36 dakikanın altındadır. Bu seride bozunmalardan yayınlanan alfa parçacıklarının enerjisi 4.78 MeV ile 7.53 MeV arındadır. Toryum serisinde beta parçacıklarının maksimum enerjisi 0.39 ile 1.42 MeV arasında değişmektedir.

Karasal orijinli Potasyum, Rubidyum, Lantanyum, Samaryum, Lutesyum radyoaktif elementler ile Uranyum, Toryum, Aktinyum radyoaktif serilerinin bozunumları, ve yarı ömür ve bozunma türleri Çizelge 2.3.1-2.3.2-2.3.3-2.3.4 'de verilmiştir.

**Çizelge 2.3.1** Karasal radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri[13].

Karasal Radyonüklitler			
	Sembol	Yarı ömür	Bozunum türü
Potasyum	<sup>40</sup> K	1.28 x 10 <sup>9</sup> yıl	$\beta$ (%89.3), EC* (%10.7)
Rubidyum	<sup>87</sup> Rb	4.75 x 10 <sup>10</sup> yıl	$\beta$ (%100)
Lantanyum	<sup>138</sup> La	1.05 x 10 <sup>11</sup> yıl	$\beta$ (%33.6), EC* (%66.4)
Samaryum	<sup>147</sup> Sm	1.06 x 10 <sup>11</sup> yıl	$\alpha$ (%100)
Lutesyum	<sup>176</sup> Lu	3.73 x 10 <sup>10</sup> yıl	$\beta$ (%100)

\* Elektron Capture (Elektron yakalama).

**Çizelge 2.3.2** Karasal radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri(<sup>238</sup>U Serisi )[13].

Karasal Radyonüklitler			
	Sembol	Yarı ömür	Bozunum türü
<sup>238</sup> U Serisi			
Uranyum	<sup>238</sup> U	4.47 x 10 <sup>9</sup> yıl	$\alpha$ (%100)
Toryum	<sup>234</sup> Th	24.10 gün	$\beta$ (%100)
Protaktinyum	<sup>234m</sup> Pa	1.17 dakika	$\beta$ (%99.8), IT* (%0.2)
Uranyum	<sup>234</sup> U	2.45 x 10 <sup>5</sup> yıl	$\alpha$ (%100)
Toryum	<sup>230</sup> Th	7.54 x 10 <sup>4</sup> yıl	$\alpha$ (%100)
Radyum	<sup>226</sup> Ra	1600 yıl	$\alpha$ (%100)
Radon	<sup>222</sup> Rn	3.824 gün	$\alpha$ (%100)
Polonyum	<sup>218</sup> Po	3.05 dakika	$\alpha$ (%99.98), $\beta$ (%0.02)
Kurşun	<sup>214</sup> Pb	26.8 dakika	$\beta$ (%100)
Bizmut	<sup>214</sup> Bi	19.9 dakika	$\alpha$ (%0.02), $\beta$ (%99.98)
Polonyum	<sup>214</sup> Po	164 mikro saniye	$\alpha$ (%100)
Kurşun	<sup>210</sup> Pb	22.3 yıl	$\beta$ (%100)
Bizmut	<sup>210</sup> Bi	5.013 gün	$\beta$ (%100)
Polonyum	<sup>210</sup> Po	138.4 gün	$\alpha$ (%100)
Kurşun	<sup>206</sup> Pb	kararlı	

\* Intrinsic Transition (İç iletim)

**Çizelge 2.3.3** Karasal radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri(<sup>232</sup> Th Serisi)[13].

Karasal Radyonüklitler			
	Sembol	Yarı ömür	Bozunum türü
<sup>232</sup> Th Serisi			
Toryum	<sup>232</sup> Th	1.405 x 10 <sup>10</sup> yıl	$\alpha$ (%100)
Radyum	<sup>228</sup> Ra	5.75 yıl	$\beta$ (%100)
Aktinyum	<sup>228</sup> Ac	6.15 saat	$\beta$ (%100)
Toryum	<sup>228</sup> Th	1.912 yıl	$\alpha$ (%100)
Radyum	<sup>224</sup> Ra	3.66 gün	$\alpha$ (%100)
Radon	<sup>220</sup> Rn	55.6 saniye	$\alpha$ (%100)
Polonyum	<sup>216</sup> Po	0.145 saniye	$\alpha$ (%100)
Kurşun	<sup>212</sup> Pb	10.64 saat	$\beta$ (%100)
Bizmut	<sup>212</sup> Bi	60.55 dakika	$\alpha$ (%36), $\beta$ (%64)
Polonyum	<sup>212</sup> Po	0.299 mikro saniye	$\alpha$ (%100)
Talyum	<sup>208</sup> Tl	3.053 dakika	$\beta$ (%100)
Kurşun	<sup>208</sup> Pb	kararlı	

**Çizelge 2.3.4** Karasal radyonüklitlerin yarı ömür ve bozunum türleri(<sup>235</sup>U Serisi)[13].

Karasal Radyonüklitler			
	Sembol	Yarı ömür	Bozunum türü
<sup>235</sup> U Serisi			
Uranyum	<sup>235</sup> U	7.04 x 10 <sup>8</sup> yıl	$\alpha$ (%100)
Toryum	<sup>231</sup> Th	25.52 saat	$\beta$ (%100)
Protaktinyum	<sup>231</sup> Pa	32760 yıl	$\alpha$ (%100)
Aktinyum	<sup>227</sup> Ac	21.77 yıl	$\alpha$ (%1.4), $\beta$ (%98.6)
Toryum	<sup>227</sup> Th	18.72 gün	$\alpha$ (%100)
Fransiyum	<sup>223</sup> Fr	21.8 dakika	$\beta$ (%100)
Radyum	<sup>223</sup> Ra	11.44 gün	$\alpha$ (%100)
Radon	<sup>219</sup> Ra	3.96 saniye	$\alpha$ (%100)
Polonyum	<sup>215</sup> Po	1.781 milisaniye	$\alpha$ (%100)
Kurşun	<sup>211</sup> Pb	36.1 dakika	$\beta$ (%100)
Bizmut	<sup>211</sup> Bi	2.14 dakika	$\alpha$ (%99.7), $\beta$ (%0.3)
Talyum	<sup>207</sup> Tl	4.77 dakika	$\beta$ (%100)
Kurşun	<sup>208</sup> Pb	kararlı	

## 2.4 Kozmik Radyoaktivite

Kozmik radyasyon doğal çevremizin bir parçasıdır ve sürekli olarak kozmik radyasyon kaynaklı iyonize radyasyonun bir miktar etkisinde kalırız. Kozmik radyasyonun kaynağı güneş ve diğer galaksilerdir. Kozmik radyasyonun dünya yüzeyindeki radyasyona katkısı %13 civarındadır[15]. Kozmik radyasyonlar çok yüksek hızlara sahip ağır parçacıklar ile yüksek enerjili foton ve müonlardan oluşmaktadır.



Kozmik radyasyonlar;

- a) Birincil kozmik radyasyon
- b) İkincil kozmik radyasyon

olmak üzere iki kısma ayrılır. Atmosfer ile etkileşime girmeden uzayda var olan radyasyon birincil kozmik radyasyon olarak adlandırılır. Uzay kaynaklı kozmik radyasyonun atmosfer ile etkileşimi sonucunda ortaya çıkan radyoaktivite ise ikincil kozmik radyasyon olarak adlandırılır.

Birincil kozmik ışınlar Dünya atmosferinin en üst katmanında %85 proton, %14 alfa parçacıkları ve %1' lik kısım ise atom numarası 4 ile 26 arasında olan ağır çekirdekleri içerir. Birincil kozmik ışınların çok büyük bir kısmı yer yüzüne ulaşamaz. Atmosferle etkileşen birincil kozmik ışınlar ikincil kozmik ışınları oluşturur. Etkileşim ürünleri olan ikincil kozmik ışınlar daha düşük enerjili ve dünyanın yüzeyinde sayılabilir. İkincil kozmik ışılara fotonlar, nötronlar ve müonlar örnek olarak verilebilir[16]. Birincil kozmik ışınların ihtiva ettikleri parçacıklar ve bunların yüzde oranları hakkında kesin bir sonuç yoktur. Chaisson & Mc Millan'a göre birincil kozmik ışınlar yaklaşık olarak %90 oranında proton (hidrojen çekirdeği), %9 oranında alfa parçacığı %1 oranında ise elektronlardan oluşmaktadır[17]. İkincil kozmik radyasyon ürünleri arasında bir miktar  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  ve  $^{24}\text{Na}$  gibi radyonüklitler üretilir ki bunlar kozmogenik radyonüklitler olarak adlandırılır[5]. Bütün veriler birincil kozmik ışınlarının çok büyük bir kısmının pozitif yüklü parçacıklar olduğunu göstermektedir. Bazı kozmogenik ürünlerin izotopları, yarı ömürleri ve bozunma türleri Çizelge 2.4.1'de verilmiştir.

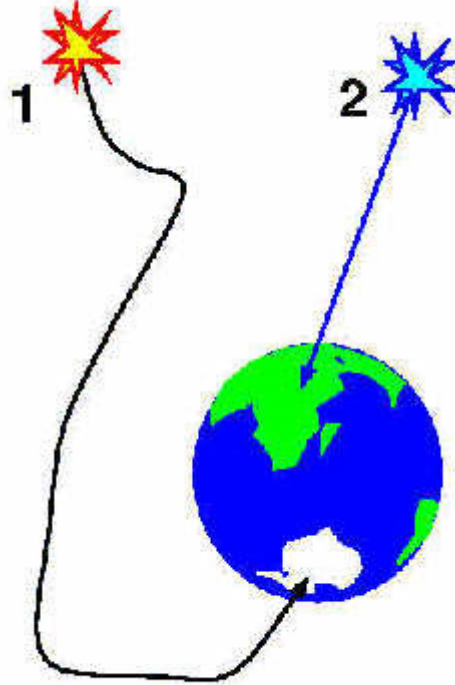
**Çizelge 2.4.1** Bazı kozmogenik ürünlerin izotopları, yarı ömürleri ve bozunma türleri[18].

Kozmogenik radyonüklitler			
Element	İzotop	Yarı ömür	Bozunma türü
Hidrojen	<sup>3</sup> H	12.33 yıl	$\beta$ (%100)
Berilyum	<sup>7</sup> Be	53.29 gün	EC* (%100)
	<sup>10</sup> Be	1.51 x 10 <sup>6</sup> yıl	$\beta$ (%100)
Karbon	<sup>14</sup> C	5730 yıl	$\beta$ (%100)
Sodyum	<sup>22</sup> Na	2,602 yıl	EC* (%100)
Aliminyum	<sup>26</sup> Al	7.4 x 10 <sup>5</sup> yıl	EC* (%100)
Silikon	<sup>32</sup> Si	172 yıl	$\beta$ (%100)
Fosfor	<sup>32</sup> P	14.26 gün	$\beta$ (%100)
	<sup>33</sup> P	25.34 gün	$\beta$ (%100)
Sülfür	<sup>35</sup> S	87.1 gün	$\beta$ (%100)
Klor	<sup>36</sup> Cl	3.01 x 10 <sup>3</sup> yıl	EC* (%1.9), $\beta$ (%98.1)
Argon	<sup>37</sup> Ar	35.04 gün	EC* (%100)
	<sup>39</sup> Ar	269 yıl	$\beta$ (%100)
Kripton	<sup>81</sup> Kr	2.29 x 10 <sup>5</sup> yıl	EC* (%100)

\* Elektron Capture (Elektron yakalama).

Kozmik radyasyonun dozu deniz seviyesinden yükseldikçe artar. Deniz seviyesinden 9 - 12 km yükseklikteki radyasyon deniz seviyesindeki radyasyonun 100 katıdır[15]. Atom altı parçacıklar olarak tanımlanan birincil kozmik ışınların ölçülen enerjisi 10<sup>9</sup> eV ile 10<sup>20</sup> eV arasında değişir. Kozmik ışınlarla bombardıman edilen yeryüzünde çok miktarda düşük enerjili kozmik ışınlar bulunmasına rağmen yüksek enerjili kozmik ışınlar enderdir. Kozmik ışınlar yüklü parçacıklar olduğundan atmosfere girdiklerinde yerin manyetik alanı dolayısıyla doğrusal bir yörünge izleyemezler ve daha fazla gaz

molekülleri ile çarpışarak enerjilerinin çok önemli bir kısmını kaybederler. Bu olay şematik olarak Şekil 2.4.1’ de gösterilmektedir.



**Şekil 2.4.1** Net yüke sahip kozmogenik parçacıklar ile net yüke sahip olmayan parçacıkların Dünya'nın manyetik alanının etkisinde izledikleri yörüngeler

Net yüke sahip kozmogenik parçacıklar Dünya'nın manyetik alanının etkisinde 1 nolu yörüngeyi takip eder, net yüke sahip olmayan parçacıklar ise 2 nolu yörüngeyi izleyerek yeryüzüne ulaşır. 1993 yılında Utah'da yapılan bir deneyde  $3 \times 10^{20}$  eV luk bir kozmik ışın sayılmıştır[19]. Yapılan radyoaktif ölçümler sonucunda radyoaktif miktarının ekvatoradan kutuplara gidildikçe arttığı tespit edilmiştir. Uzay kaynaklı kozmik ışınların (ev dışı –outdoor) Dünya üzerinde ve deniz seviyesinde enlem değerlerine göre dağılımı Çizelge 2.4.2' de verilmiştir.

**Çizelge 2.4.2** Kozmogenik radyonüklitlerden Dünya yüzeyinde (deniz seviyesinde) enlem değerlerine göre maruz kalınan efektif doz oranları[18].

Enlem(derece)	Enlem bandında nüfus(%)		Efektif doz oranı(nSvh <sup>-1</sup> )	
	Kuzey yarımküre	Güney yarımküre	Doğrudan iyonize bileşeni	Nötron bileşeni
80-90	0	0	32	11
70-80	0	0	32	11
60-70	0.4	0	32	10.9
50-60	13.7	0.5	32	10.0
40-50	15.5	0.9	32	7.8
30-40	20.4	13.0	32	5.3
20-30	32.7	14.9	30	4.0
10-20	11.0	16.7	30	3.7
0-10	6.3	54.0	30	3.6
Toplam	100	100		
<b>Nüfus ağırlıklı ortalama</b>				
Kuzey yarımküre			31.0	5.6
Güney yarımküre			30.3	4.0
Dünya(Ortalama)			30.9	5.5

## 2.5 Yapay Radyoaktivite

Doğada kararlı halde bulunan elementlerin hızlandırıcılarda veya nükleer reaktörlerde nötron bombardımanına tutularak kararsız hale getirilmesi işlemine yapay radyoaktivite adı verilir. Doğal radyoaktif maddelerde olduğu gibi dışarı yüksek enerjili ışın ve parçacık yayımlarlar. Yarı ömürleri doğal radyoaktif maddelerle karşılaştırıldığında

oldukça kısadır. Bazı yapay radyoaktif maddelerin yarı ömürleri Çizelge 2.5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.5.1** Reaktörlerde üretilen bazı radyoaktif maddeler[13].

Yapay radyoaktif madde	Sembol	Yarı ömür
Trityum	$^3\text{H}$	12.3 yıl
İyot 131	$^{131}\text{I}$	8.04 gün
İyot 129	$^{129}\text{I}$	$1.57 \times 10^7$ yıl
Sezyum 137	$^{137}\text{Cs}$	30.17 yıl
Stransiyum 90	$^{90}\text{Sr}$	28.78 yıl
Teknetyum 99	$^{99}\text{Tc}$	$2.11 \times 10^5$ yıl
Plütonyum 239	$^{239}\text{Pu}$	$2.41 \times 10^4$ yıl

## 2.6 Topraktaki Radyasyon

Yeryüzündeki toplam radyasyonun %85 gibi çok büyük bir kısmı yerkabuğundan kaynaklanmaktadır. Yer kabuğundaki kaya ve toprak Uranyum, Toryum ve Potasyum içerir. Uranyum ve Toryum alfa, beta ve gama ışını Potasyum-40 izotopu ise beta ve gama ışını yayar. Topraktaki radyasyonun İngiltere’deki yıllık radyasyona katkısı 0.03 mSv ile 1.01mSv ile arasında değişmektedir. Yer yüzünde granit gibi maddelerin bulunduğu bölgelerde radyoaktivite diğer bölgelere göre daha fazladır[7,20].

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yatakları olduğu görülür. Bu kaya yataklarının da karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey katmanından kaynaklandığı bilinmektedir[14]. Amerika Birleşik Devletleri’nde tespit edilen, topraktaki radyoaktif maddelerin toplam kütle karşılığındaki aktivite değerleri Çizelge 2.6.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.6.1** A.B.D’de ortalama karasal radyasyon miktarları[13].

ABD’de Doğal radyoaktivite (2.59 km <sup>2</sup> ’lik alan ve 30.48 cm derinlikte)	
<b>Radyonüklit</b>	<b>Aktivite</b>
Uranyum	25 (Bq/kg)
Toryum	40 (Bq/kg)
Potasyum-40	400 (Bq/kg)
Radyum	48 (Bq/kg)
Radon	10 (Bq/m <sup>3</sup> )

Çok geniş alanlara yayılmış olan granit kayaları önemli miktarda Toryum ve Uranyum içermektedir. Yapılan radyometrik araştırmalar sonucu bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonları oldukça yüksektir. Yapılan analizlerde Norveç’te 20-1200 nGy/h, İsveç’te 18-4000 nGy/h, Hindistan’da ise 20-1100 nGy/h olarak tespit edilmiştir. Bu ülkelerde ortalama gama radyasyonları ise Norveç’te 73 nGy/h, İsveç’te 80 nGy/h ve Hindistan’da ise 55 nGy/h olarak tespit edilmiştir[21]. Dünya genelinde ortalama karasal radyasyon miktarları Çizelge 2.6.2’ de verilmiştir.

**Çizelge 2.6.2** Dünya genelinde karasal radyasyonun ülkelere göre dağılımı [18].

Bölge/Ülke	Topraktaki Radyoaktivite (Bq/kg)							
	<sup>40</sup> K		<sup>238</sup> U		<sup>226</sup> Ra		<sup>232</sup> Th	
	Ort.	Değişim Düzeyi	Ort.	Değişim Düzeyi	Ort.	Değişim Düzeyi	Ort.	Değişim Düzeyi
<b>Afrika</b>								
Cezayir	370	66-1150	30	2-110	50	5-180	25	2-140
Mısır	320	29-650	37	6-120	17	5-64	18	2-96
<b>Kuzey Amerika</b>								
Kosta Rika	140	6-380	46	11-130	46	11-130	11	1-42
<b>Güney Amerika</b>								
Arjantin	650	540-750						
<b>Doğu Asya</b>								
Bangladeş	350	130-610			34	21-43		
Hindistan	400	38-760	29	7-81	29	7-81	64	14-160
Kazakistan	300	100-1200	37	12-120	35	12-120	60	10-220
Kore Cum.	670	17-1500						
Malezya	310	170-430	66	49-86	67	38-94	82	63-110
Tayland	230	7-712	114	3-370	48	11-78	51	7-120
<b>Batı Asya</b>								
Ermenistan	360	310-420	46	20-78	51	32-77	30	29-60
İran	640	250-980			28	8-55	22	5-42
Suriye	270	87-780	23	10-64	20	13-32	20	10-32
<b>Kuzey Avrupa</b>								
Estonya	510	140-1120			35	6-310	27	5-59
Litvanya	600	350-580	16	3-30			25	9-46
İsveç	780	560-1150			42	12-170	42	14-94

**Çizelge 2.6.2** Dünya genelinde karasal radyasyonun ülkelere göre dağılımı [18].

(Devamı)

<b>Batı Avrupa</b>								
Belçika	380	70-900			26	5-50	27	5-50
Almanya		40-1340		11-330		5-200		7-134
Lüksemburg	620	80-180			35	6-52	50	7-70
İsviçre	370	40-1000	40	10-150	40	10-900	25	4-70
<b>Doğu Avrupa</b>								
Bulgaristan	400	40-800	40	8-190	45	12-210	30	7-160
Macaristan	370	79-570	29	12-66	33	14-76	28	12-45
Rusya Fed.	520	100-1400	19	0-67	27	1-76	30	2-79
Slovakya	520	200-1380	32	15-130	32	12-120	38	12-80
<b>Güney Avrupa</b>								
Arnavutluk	360	15-150	23	6-96			24	4-160
Hırvatistan	490	140-710	110	83-180	54	21-77	45	12-65
Kıbrıs	140	0-670			17	0-120		
Yunanistan	360	12-1570	25	1-240	25	1-240	21	1-190
Portekiz	840	220-1230	49	26-82	44	8-65	51	22-100
Slovenya	370	15-1410			41	2-210	35	2-90
İspanya	470	25-1650			32	6-250	33	2-210



Dünya üzerinde karasal radyasyon kaynaklı ortalama radyasyon miktarı Çizelge 2.6.3’de verilmiştir.

**Çizelge 2.6.3** Nüfus sayısı dikkate alındığında Dünya üzerinde karasal radyasyon kaynaklı ortalama radyasyon miktarı ile bu radyasyonun havada soğurulan doz miktarı[18].

Radyonüklit	Topraktaki konsantrasyonu (Bq/kg)		Havada soğurulan doz miktarı (nGy/h)	
	Ortalama Değer	Nüfus-ağırlıklı değer	Ortalama Değer	Nüfus-ağırlıklı değer
<sup>40</sup> K	400	420	17	18
<sup>238</sup> U serisi	35	33	16	15
<sup>232</sup> Th serisi	30	45	18	27
Toplam			51	60

## 2.7 Çevresel Radyasyon

Yaşadığımız ortam en büyük radyasyon kaynaklarını içermektedir. Teknolojik gelişmeler sonucunda elde edilen ve kullanmak zorunda kaldığımız radyoaktif maddelerden, tedavi için kullanılan röntgen ve benzeri tıbbi cihazlardan, televizyon, cep telefonu, bilgisayar ve mikrodalga fırınlarından kaynaklanan radyasyon dozuna maruz kalırız. Bu radyasyon dozuna maruz kalan insanlar yalnız dış ışınlamaya maruz kalmaz bunun yanında solunum ve sindirim yoluyla da iç ışınlamalara maruz kalmaktadırlar. İnsan vücudu dış ışınlamalara maruz kaldığında, buna dış ışınlama, vücut içerisinde meydana gelen ışınlamalara ise iç ışınlama adı verilir. İnsan vücuduna gama ve beta ışınmaları dış ışınlama, alfa ışınmaları da iç ışınlama sonucunda daha çok zarar verirler.

Çevresel radyasyonun büyük bir kısmı yer kabuğunun oluşumunda doğal olarak mevcut olan radyonüklitler ve bunların bozunum ürünlerinin yayınladığı gama ışınlarıdır. Dünya üzerindeki radyasyon miktarları, coğrafik ve jeolojik konumlara bağlı olduğundan insanların maruz kaldıkları radyasyon insanların yaşadıkları bölgelere göre değişiklikler gösterir. Toprak ve kayalarda bulunan  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  doğal radyonüklitleri ile bunların bozunum ürünlerinin yanında, kozmik radyoaktivite de çevresel radyasyonu belirleyen önemli bir faktördür. Karasal ve kozmik radyasyon sebebi ile İstanbul'da yaşayan bir kişi ortalama yıllık  $80\mu\text{Sv}$ ' lik etkin doza maruz kalmaktadır[22]. Bu radyasyona ilaveten yapı malzemelerinin yayınladığı gama ışınları da çevresel radyasyona katkıda bulunur ve dış radyasyon kaynaklarının başında yer alır.

Yerden 1 metre yükseklikte ölçülen radyoaktiviteye 0-10 cm aralığındaki topraktan dolayı katkı %50 ilk 0-25 cm lik toprak katmanından radyoaktiviteye katkı ise %80 olarak tespit edilmiştir[23].

Radyoaktivitenin canlı metabolizma üzerine etkisi ev içi (indoor) ve ev dışı (outdoor) radyasyon miktarları ile belirlenir. Ev dışı radyoaktivite karasal, kozmik ve yapay radyoaktif maddelerin katkısı ile belirlenir. Ev içi radyoaktivite ise ev dışı radyoaktiviteye ilaveten ev yapımında kullanılan inşaat malzemelerinden ileri gelen (çimento, kaya vb.) radyoaktiviteden meydana gelir. Bir bölgede ev içi radyoaktivite ile ev dışı radyoaktivitenin birbirine eşit olması inşaat malzemelerinin tamamının o bölgeden karşılandığını gösterir. Bu gibi durumlar nadiren gözlenir.

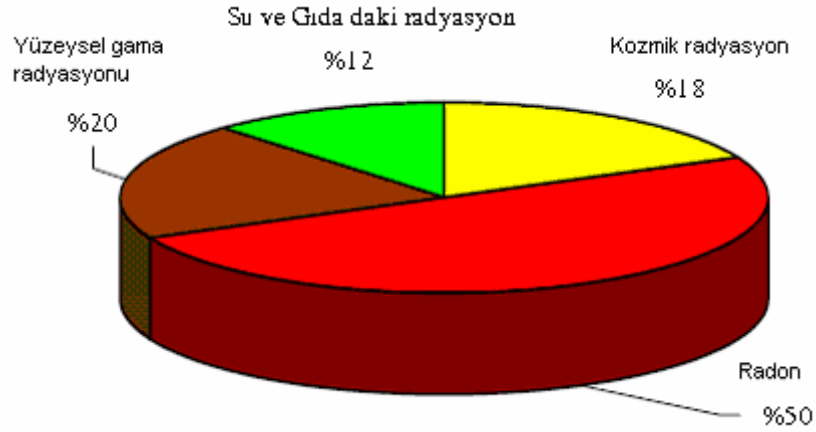
UNSCEAR 2000 verilerine göre kişi başı maruz kalınan ortalama ev dışı radyasyon miktarı  $58\text{ nGyh}^{-1}$ , ev içi radyasyon miktarı ise  $81\text{ nGyh}^{-1}$  olarak tespit edilmiştir[18]. Atmosferde bulunan toz ve partiküllerdeki doğal radyonüklitler ve yapı malzemelerinden çıkan  $^{222}\text{Rn}$  (radon) ve  $^{220}\text{Rn}$  (toron) gibi radyoaktif gazlar sindirim ve solunum yoluyla vücuda alındıklarında iç ışınlamalara sebep oldukları için bunlar aynı zamanda iç radyasyon kaynakları olarak ta bilinirler[5].

İnsanların yapay ve doğal radyoaktivite kaynaklı çevrenin etkisinde maruz kaldıkları kişi başına etkin doz miktarları Çizelge 2.7.1' de verilmiştir. Çevresel radyoaktivite

sonucunda maruz kaldığımız radyoaktivitenin oransal değerleri ise şematik olarak Şekil 2.7.1’ de verilmiştir.

**Çizelge 2.7.1** Bir insanın bir yılda çevresel radyoaktivitenin etkisiyle aldığı ortalama etkin doz[12].

Kaynak	Yıllık kişi başına etkin doz (mSv)	Açıklama
Doğal radyasyon (background)	2,4	Normalde 1-10 mSv değerindedir. Nüfusun fazla olduğu bölgelerde 10-20 mSv aralığında değişir.
Tanı amaçlı muayene	0,4	0,04 mSv -1 mSv aralığındadır
Atmosferdeki Nükleer deneme	0,005	1963 tarihinde maksimum değerine ulaşmıştır (0,15 mSv). Kuzey yarımkürede Güney yarımküreye göre daha yüksektir.
Çernobil kazası	0,002	1986 yılında kuzey yarımkürede maksimum değer olan 0,04 mSv den azalma görülmüştür. Kaza bölgesinde oldukça yüksektir.
Nükleer santraller	0,002	Teknolojik gelişmeler sonucunda maruz kalınan doz azaltılmıştır.



**Şekil 2.7.1** Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri[24].

## 2.8 Radon

Radon kokusuz, renksiz, tatsız doğal radyoaktif bir gazdır. Radon gazı Uranyum bozunması sonucu ortaya çıkar. Uranyum taş, çimento ve tuğla gibi yapı malzemelerinde bulunan doğal radyoaktif bir materyaldir. Dünya üzerinde özellikle taşlık ve dağlık bölgelerde bulunur. Radon kararsız bir radionüklit olup bozunum ürünleri kısa ömürlüdür. Uranyum ve Toryum serilerinin radyoaktif bozunmasından oluşan, 1600 yıl yarı ömürlü Radyum-226'dan oluşur, yeryüzünden havaya kolayca karışır ve alfa parçacığı yayınlarken daha kısa ömürlü parçacıklara bozunur. Kısa yarı ömre sahip radon bozunum ürünleri solunum yolu ile vücut için çok fazla tehlike arz eder. Radon ve radon bozunum ürünleri oldukça yüksek iyonize alfa radyasyonu yayınlamaktadır. Bozunum ürünleri vücuda nefes alma yolu ile girer. Radon açık havada oldukça az yoğun olduğundan çok düşük bir riske sebep olmasına rağmen bir oda içerisindeki fon radyasyonuna (background radyasyonuna) katkısı %50 civarındadır. Madenlerde, mağaralarda ve su arıtma tesislerinde radon seviyesi oldukça yüksektir. Ev içi radon konsantrasyonu evin yapıldığı kayalara ve toprağa bağlıdır. Bir evde radon seviyesi toprak ile temasta bulunan giriş katında diğer katlara oranla daha yüksektir.

Uranyum içermeyen ortamlarda, daha aşağıdaki katmanlardan çatlak ve kırıklar yoluyla yeraltından yayılarak havaya ve sulara karışır. Toprağın geçirgenliği, yapıdaki açıklık ve çatlaklar radonun yapı içlerine taşınmasını sağlar[2].

Radon gazı ev içine tabandaki çatlak veya duvar yapımındaki malzemeler ile dışarıdan ev içine giren borular yoluyla girer. Bunun sonucunda alt katlardaki radon konsantrasyonu üst katlara göre oldukça fazladır[2]. Ev içerisindeki radon konsantrasyonu yıl içinde günden güne, hatta saatten saate değişiklik gösterir. Bu nedenle ev içinde radon konsantrasyonunu tespit etmek için en az üç ay ölçüm yapmak gerekir[24].

Radona maruz kalınması, yayınlanan alfa parçacıklardan dolayı sağlığı olumsuz yönde etkiler. Yüksek miktarda radona maruz kalınması akciğer kanseri riskini oldukça yükseltir. Nefes alıp verildiğinde soygaz olan radon ve bozunum ürünleri havadaki molekül ve toz zerrecikleri ve duman ile birleşir ve akciğer hava yollarında kolayca depolanır. Orada bulunduğu sürece alfa parçacıkları formunda iyonize radyasyon yayar. Bu iyonize radyasyon akciğerdeki hava yolunun yüzeyini örten hücrelere zarar verir. Deneyler, bronşlardaki epitelyum hücreleri etkileyen iyonize radyasyonun kansere sebep olduğunu göstermiştir[24].

Sigara içenlerde akciğer kanseri riski içmeyenlere göre 25 kat artmaktadır [26]. İnsanlar yaşam standartlarına, yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine ve coğrafik şartlara bağlı olarak ortalama toplam 2.4 mSv lik yıllık doğal radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar. Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni radondur ve radon nedeniyle maruz kalınan doz yaklaşık %55' lik bir paya sahiptir[2].

Radonun kapalı mekanlarda birikimi insan sağlığını tehdit edici boyutlarda olabilir. İnşaat malzemeleri, evlerde kullanılan sular, doğal gaz da ev içi radon kaynağıdır. Ülkemizde 1984 yılından itibaren konutlarda radondan dolayı alınan radyasyon dozlarını hesaplamak, radon seviyesi yüksek bölgeleri tespit etmek ve Türkiye'nin radon haritasını hazırlamak amacıyla evlerde radon ölçümü projesi başlatılmış olup bu çalışmalar halen devam etmektedir. Dünya genelinde radon miktarı değişiklik gösterir. Ülkelerin gelişmişliğine, coğrafik ve jeolojik durumlarına göre radon dağılımı farklılık gösterir. Ev içi radon miktarı ile sağlık bakımından izin verilen radon konsantrasyonları Çizelge 2.8.1' de verilmiştir.

**Çizelge 2.8.1** Ev içi radon miktarı ile sağlık bakımından izin verilen radon konsantrasyonları[24].

Ülkeler	Ev içi ortalama radon konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> )	Kapalı ortamlar için İzin verilebilir radon konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> )
Çek Cumhuriyeti	140	200
Finlandiya	123	400
Almanya	50	250
İrlanda	60	200
İsrail	*	200
Litvanya	37	100
Lüksemburg	*	250
Norveç	51-60	200
Polonya	*	400
Rusya	19-250	*
İsveç	108	400
İsviçre	75	400
İngiltere	20	200
Avrupa birliği	*	400
A.B.D.	46	150
Kanada	*	800

\* Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından tespit edilmeyen veriler

### **3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

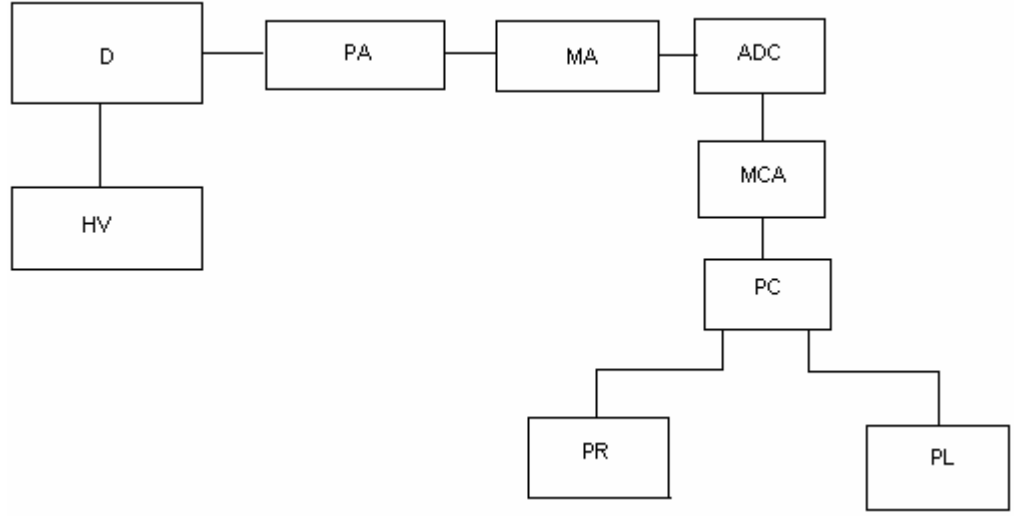
#### **3.1 Deneyleerde kullanılan cihazlar**

Ge dedektörü, cryostat, ön yükseltici,  
NIM kabı ve güç kaynağı – T C Model 909  
Ana yükseltici – C.I. Model 2021  
ADC - C.I. Model 8706  
Dedektör güç kaynağı – C.I. Model 3105  
<sup>60</sup>Co kaynağı –Kalibrasyon için standart kaynak  
Marinelli standart kaynak

#### **3.2 Gama Spektrometrik Sistem**

Bir Ge dedektör sistemi, sıvı azot (LN<sub>2</sub>) ısı havuzu (sink) ile termal olarak eşleşmiş bir vakum odasından oluşan cryostat içinde kurulmuş P-I-N yapısına sahip bir germanyum diyotudur. Dedektör odasının duvarları birbirlerine TIG (Tungsten inert gazı) kaynağı ile birleştirilmiş paslanmaz çelikten yapılmıştır. Cryostatlar gaz sızıntısını önlemek için yüksek sıcaklıklarda vakumlu fırınlanmış ve son conta yapılmadan önce sızıntı en az iki defa Helyum kütle spektrometre sızıntı dedektörleri ile kontrol edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan sistem, yüksek saflıkta çok kanallı %15-16'lık relatif verime sahip germanyum dedektörü, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi ve çok kanallı analizörden ibarettir.

HpGe gama spektrometre sistemi şematik olarak şekil 3.2.1'de verilmiştir. Şekilde D dedektör, HV yüksek voltaj, PA ön yükseltici, MA yükseltici, ADC sayısal dönüştürücü, MCA çok kanallı analizör, PC bilgisayar ve buna bağlı yazıcıdan oluşur.



**Şekil 3.2.1** HpGe dedektör sisteminin kurulum şeması.

Deneylelerimizde kullandığımız gama spektrometrik sistemde, yüksek saflıkta yarıiletken germanyum dedektörü bulunmakta olup (HpGe) bu dedektörün verimi düşük, ancak çözme gücü yüksektir. Gama spektrometrik yöntem, radyokimyasal ayırma işlemlerine gerek duyulmadan doğrudan tahribatsız, hızlı ve farklı radyonüklitleri aynı anda ölçme imkanı sağlamaktadır[27].

Dedektör, çevreden gelen doğal radyasyonu en aza indirmek için 32 mm kalınlıklı demir iskelet içine yerleştirilen 100 mm kalınlığındaki kurşun (Pb) ile zırhlanmıştır. Bu zırhın iç tarafı, Pb'den kaynaklanan x-ışınları için 1 mm kalınlığındaki Cu ve Cd levhalar ile kaplanmıştır[27].

Gama spektrometresinin verim kalibrasyonu için standart  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  radyoaktif kaynaklar ile standart Marinelli kaynağı kullanılmıştır.

### **3.3 HpGe Dedektör Sisteminin Çalışma Prensipleri**

HpGe dedektörler için yaygın olarak uygulanan fabrikasyon işlemlerin birisi, p- tipi bir materyal almak ve sonra bunun yüzeyine Li atomlarını yaymaktır. Bununla verici durumlar oluşturulur ve böylece n- tipi ince bir bölge yaratılmış olur. Bu dedektörler, pratikte ters besleme voltajlarıyla (1000V-5000V) çalıştırılırlar. Deneylelerimizde ters



besleme voltajı olarak 3500 V uygulandı. Bu voltaj iki etkiye sahiptir; Tükenme bölgesindeki (n- tipi ve p- tipi materyallerin temas ettiği eklem yakınındaki elektron ve deşiklerin birleşerek oluşturduğu bölge) elektrik alan şiddetini, yük birikimini daha verimli yaparak artırır ve bir tip materyalden diğerine daha fazla yük taşıyıcısını sürükleyecek bir kuvvet uygulayarak tükenme bölgesinin boyutlarını, dolayısıyla dedektörün duyarlı hacmini artırır.

Ters besleme ve hafifçe artırılan sıcaklık altında Li, geniş bir tükenme bölgesi yaparak p- tipi bölgeye sürüklenir ve bu tür dedektörler Ge(Li) şeklinde gösterilirler. Ge(Li) dedektör genellikle 77 K' de tutulmalıdır. Aksi takdirde Li, tükenme bölgesindeki örgünün dışına çıkar ve dedektörün verimini bozar[11].

### **3.4 Toprak Numunelerinin Hazırlanması**

Toprakta biriken aktivite; birim alana veya ağırlığa göre tanımlanır. Alınan toprak numunelerinde uygulanması gereken geometri, uygulanacak analize göre belirlenmelidir. Toprak numuneleri amacına göre yüzeyden veya radyonüklitlerin zamana göre toprak içinde ilerleme hızı tespit edilmek isteniyorsa farklı derinliklerden alınabilir. 0-15 cm, 0-25 cm veya 4-5 metre derinlikten toprak numunesi alınarak yeryüzünden daha alttaki katmanlardaki radyoaktivite miktarlarının tespiti yapılmıştır[28,29,30]. Ölçülerimiz için tespit ettiğimiz 11 toprak istasyonundan 1 nolu istasyonda 0-5 cm ve 5-10 cm aralığındaki toprak numuneleri toplanmış, diğer 10 istasyonda ise 0-5 cm aralığında toprak numuneleri toplanmış ve kütle cinsinden aktiviteleri hesaplanmıştır. Kütle cinsinden aktivite Bq/kg yüzey cinsinden aktivite ise Bq/m<sup>2</sup> cinsinden verilir. Numunelerin alınacağı bölgelerin doğal durumunun uzun süre bozulmayacağı tahmin edilen ve işlenmemiş toprak olmasına dikkat edilmelidir. Seçilen bölge erozyona uğramamış, meyilli olmayan düz bir arazide olmalıdır. Numune alınan bölge için yaklaşık 400 m<sup>2</sup>'lik bir alan yeterlidir. Numune alınırken köşelerinden ve ortasından numune alınmalı ve sağlıklı bir ölçüm için alınan toprak numuneleri karıştırılıp bir numune haline getirilmelidir. Bu bölgeler seçilirken seçilen bölgenin sulak arazi olmamasına dikkat edilmelidir. Numune alınacak arazinin küçük yapraklı ve çayır bitki örtüsü ile kaplı olmasına ve alınacak numunenin bitkiler ile birlikte

alınmasına dikkat edilmelidir. Alınan numune miktarları nokta kaynak için 100 – 200 gr civarında, Marinelli geometrisi için ise ise 1 – 2.5 kg aralığında olmalıdır. Alınan numunelerin içerisinde taş, bitki v.s. gibi nesnelere olacağından toprak numuneleri toplanırken ihtiyaç duyulan toprağın en az üç katı toprak alınmalıdır. Bir bölgeden periyodik olarak toprak alınacaksa numune alma sıklığı yılda bir ile beş kez arasında değişir. Tespit edilen bölgelerden Sonbahar, İlkbahar ve Yaz mevsimlerinde bir yılda yaklaşık 4 aylık periyotlar halinde numune toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Resim 3.4.1’de ise Korhan yaylasından alınan toprak numunesi, Resim 3.4.2’ de Korhan yaylasında bulunan meteor çukuru gösterilmektedir.



**Resim 3.4.1** Korhan yaylasından alınan toprak numunesi.





**Resim 3.4.2** 10 ve 11. toprak istasyonlarının bulunduğu mevki –Korhan Yaylası

Toplanan numuneler laboratuvarında yaş olarak tartıldıktan sonra 10 – 15 gün arasında kurumaya bırakılır. Kuruyan numunelerin içerisinde bulunan ağaç kökleri, böcekler, otlar ve taşlar ayıklanır. Kurutulan toprak tartılarak kuru ağırlıklar tespit edilir. Numuneler kırılarak küçük parçalar haline getirilir. 2 mm'lik elekten geçirilen toprak toz kıvamına gelecek şekilde blender ile öğütülür. Toprak numuneleri 120 °C de 120 dakika fırında bekletildikten sonra daha önce daraları alınan plastik kap veya marinelli kaplarının içlerine doldurulur. Tamamen doldurulan kaplar tartılır ve kap içerisindeki toprağın net kütlesi tespit edilir.

Fırınlama işleminin süresi toprak veya radyoaktivitesi belirlenecek olan organik maddeler de dahil olmak üzere kütle miktarı değişmeyecek şekilde ayarlanır. Fırınlama işlemi numunelerdeki nem bitinceye kadar devam ettirilir. Numunelerdeki nem tamamen kaybolduğu için numunelerin kütle miktarları zamanla değişmez. Aydın'da yapılan deneyde toprak fırınlama işlemi 12 saat boyunca 500 °C sıcaklıkta devam ettirilmiştir[31]. Çin'de yapılan bir çalışmada ise 24 saat boyunca 110 °C sıcaklıkta fırınlama işlemi gerçekleştirilmiştir[7]. Bölgenin nem durumu ve incelenecek maddenin cinsine göre fırınlama süresi farklılık gösterir.



Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü bünyesinde bulunan ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından kurulan Radyasyon Ölçüm Laboratuvarında aktiviteleri tayin edilmiştir. Aras nehri boyunca alınan numuneler T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8; Ağrı dağı Korhan yaylasından alınan numuneler T9, T10, T11; Iğdır merkezden alınan numune ise T12 olarak etiketlenmiştir. T1, T2 etiketli toprak örnekleri 1 nolu istasyondan alınmıştır. Yapılan bu çalışmada temel karasal radyasyon kaynakları olarak bilinen  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ile bunların bozunum ürünlerinin aktiviteleri ve  $^{40}\text{K}$  ile  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitlerinin aktivitelerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Toprak analizleri HpGe gama spektrometresi ile yapılmıştır.

$^{137}\text{Cs}$  radyonüklidinin aktivite tayini, doğada doğal olarak bulunmaması ve sadece nükleer denemeler ve reaktörlerdeki kazalar sonucu ortaya çıkan bir fisyon ürünü olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır.

### 3.6 Gama Spektrometresinin Enerji Kalibrasyonu

Gama spektrometresinin enerji kalibrasyonunda standart nokta kaynaklar ve standart Marinelli kaynaklar kullanıldı. Enerji pik değerleri bilinen bu kaynaklar kullanılarak gama spektrometresi ölçüme hazır hale getirildi. Nokta kaynaklar olarak bilinen standart  $^{137}\text{Cs}$  ile  $^{60}\text{Co}$  sırasıyla dedektörün 5 cm ile 12 cm uzağına yerleştirilerek 5000 saniye saydırıldı. İyi bir verim eğrisi elde edebilmek için bu işlem dört defa tekrarlandı. Marinelli standart kaynağı  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{60}\text{Co}$  enerji pik değerleri bilinen radyonüklitleri içermektedir. Marinelli standart kaynağı içinde bulunan radyonüklitlerin pik değerleri 80keV – 2500 keV arasında değişir. Kullanılan dedektör için  $^{60}\text{Co}$ 'ın 1332 keV'de yayınladığı gama ışını çözünürlüğü 1.9 keV dir. Dedektörün mutlak verim kalibrasyonu için tekli ve çoklu enerjilere sahip standart radyonüklitlerin kullanılması IAEA tarafından tavsiye edilmektedir. Çizelge 3.6.1'de IAEA tarafından tavsiye edilen standart radyonüklitler ve bu radyonüklitlerin enerji değerleri verilmiştir[32].  $^{137}\text{Cs}$  den elde edilen pik değeri 661.66 keV'e,  $^{60}\text{Co}$ 'dan elde edilen pik değerleri ise 1173.5 keV ve 1332.5 keV'e ayarlanarak kalibrasyon işlemi tamamlandı.

**Çizelge 3.6.1** Standart kaynak olarak kullanılan radyonüklitlerin fotopik enerjileri[32].

Radyonüklit	Enerji (keV)
$^{57}\text{Co}$	14.41
	122
	136.47
$^{60}\text{Co}$	1173.24
	1332.5
$^{65}\text{Zn}$	1115.546
$^{85}\text{Sr}$	514
$^{88}\text{Y}$	898.042
	1836.063
$^{109}\text{Cd}$	88.0341
$^{113}\text{Sn}$	391.702
$^{133}\text{Ba}$	80.988
	276.398
	302.853
	356.017
	383.551
$^{137}\text{Cs}$	661.66
$^{139}\text{Ce}$	165.857
$^{203}\text{Hg}$	279.197
$^{241}\text{Am}$	26.345
	59.537

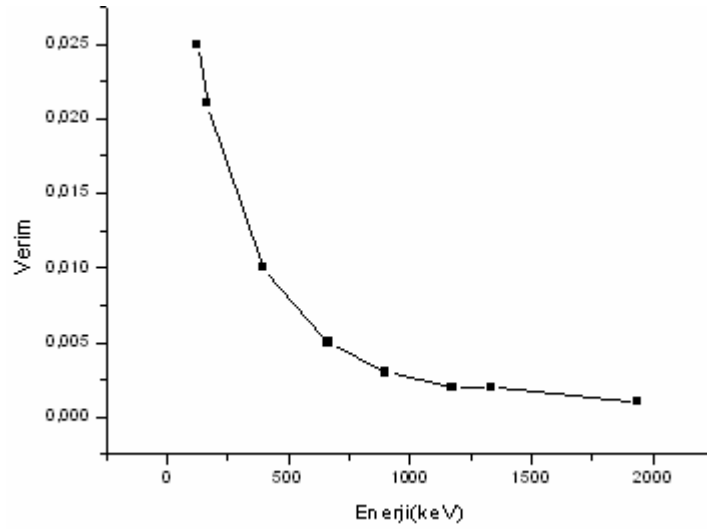
### 3.7 Gama Spektrometresinin Verim Kalibrasyonu

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 yaptığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir.

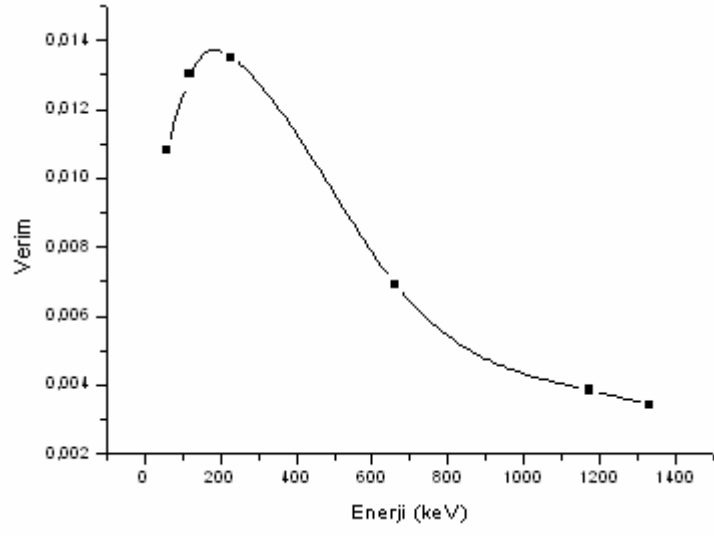
Verim tayini için genelde standart kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynak homojen olarak foton yayınlamayacağından bu durum dedektörün verimini etkiler. Bunun için kaynağın en çok foton yaydığı bölge dedektörün merkezine gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir[33].

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

Deneyimizde kullandığımız HpGe dedektörün enerji kalibrasyonu nokta ve Marinelli geometrisine göre yapıldı. Bu iki geometri için elde edilen enerji-verim eğrileri Şekil 3.7.1 ve Şekil 3.7.2’de verilmektedir



**Şekil 3.7.1** Nokta geometresine göre elde edilen enerji-verim eğrisi.



Şekil 3.7.2 Marinelli geometrisine göre elde edilen enerji- verim eğrisi.



### 3.8 Toprak Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizi

Ölçüm için hazır hale getirilen toprak numuneleri gama spektrometre sistemine yerleştirilerek 160000 saniye ile 250000 saniye aralığında saydırıldı. Sayım işlemi her radyoizotopun yayınladığı fotopik enerjisine göre kalibre edilmiş enerji aralığında gerçekleştirilmişti.

2003 yılında aynı bölgede yapılan çalışma göz önünde bulundurularak periyodik ölçümler ( 4'er aylık periyotlarla yılda 3 kez) sonucunda aktivite değişimleri gözlemlendi. Ölçümlerde sonbahar ve ilkbahar numuneleri nokta geometrisine göre yaz numuneleri ise marinelli geometrisine göre hesaplandı.

Yapılan ölçümlerde  $^{238}\text{U}$  serisi,  $^{232}\text{Th}$  serisi ile bunların bozunum ürünü olan radyonüklitlerin kütle başına aktiviteleri ile  $^{40}\text{K}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  aktiviteleri tayin edildi.  $^{137}\text{Cs}$  radyonükliti doğada doğal olarak bulunmayan ve reaktör kazaları veya nükleer silah denemeleri yolu ile ortaya çıkan radyoaktif bir elementtir.

Çernobil nükleer kazası, kuzey yarım kürede ciddi boyutlarda radyoaktif kirlenmeye neden olmuştur. Açığa çıkan çeşitli fisyon ürünleri arasında, özellikle radyosezyum, insanların aldığı efektif doza olan önemli katkısı, uzun yarı ömrü ve ölçüm kolaylığı nedenleri ile toprak kirlenmeleri için referans radyonüklit olarak seçilmiştir.

$^{238}\text{U}$  radyoaktif serisinin bozunum ürünleri; 186 keV'lik fotopik enerjisine karşılık gelen  $^{226}\text{Ra}$ , 352 keV'lik fotopik enerjisine karşılık gelen  $^{214}\text{Pb}$ , 609 keV'lik fotopik enerjisine karşılık gelen  $^{214}\text{Bi}$  radyoelementleri ile  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif serisinin bozunum ürünleri olan; 583 keV'lik fotopik enerjisine karşılık gelen  $^{208}\text{Tl}$ , 911 keV'lik fotopik enerjisine karşılık gelen  $^{228}\text{Ac}$  radyoaktif elementlerinin aktiflikleri ile 1461 keV'lik fotopik enerjisine karşılık gelen  $^{40}\text{K}$  ve 661.66 keV'lik fotopik enerjisine karşılık gelen  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitlerinin aktiflikleri Bq/kg birimi cinsinden hesaplandı.

186 keV'de ortaya çıkan fotopik  $^{235}\text{U}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  radyoaktif elementlerin birlikte gama ışınmaları sonucunda oluşturdukları ikili bir fotopiktir. Bu pik bu enerjide yeterli çözünürlükte bir Ge dedektörü kullanılırsa 186 keV'deki ikili pikin iki bileşenini

çözümlemek mümkün olabilir. Bu teknik geliştirilmiş bir teknik olup şu anda da kullanılan bir tekniktir[34].

Toprak içindeki  $^{232}\text{Th}$  konsantrasyonu  $^{228}\text{Ac}$ ' in gama ışımaya karşılık gelen 911 keV'lik fotopik tarafından,  $^{238}\text{U}$  konsantrasyonu ise  $^{214}\text{Bi}$ ' un gama ışımaya karşılık gelen 609 keV'lik fotopik tarafından belirlenir[22].

### 3.9 Topraktaki Radyoaktivite Seviyelerinin Analizi

2005 Ekim ayında alınan toprak numunelerinin aktiviteleri Çizelge 3.9.1 ve Çizelge 3.9.2' de verilmiştir.

**Çizelge 3.9.1**  $^{238}\text{U}$  serisi bozunum ürünlerinin aktiviteleri.

$^{238}\text{U}$ serisi bozunum ürünleri (Bq/kg)									
Numune	$^{226}\text{Ra}$			$^{214}\text{Pb}$			$^{214}\text{Bi}$		
T1	10.8	±	7.8	7	±	2.1	7.6	±	1.8
T2	16.9	±	13.4	6.5	±	2.4	9.6	±	2.3
T3	18	±	16.1	7.7	±	3.4	6.9	±	2.8
T4	95.2	±	33.8	88.4	±	8.5	1.1	±	8.8
T5	20.2	±	11.8	8.5	±	2.5	9.8	±	2.5
T6	11.4	±	6.7	7.3	±	3.6	9.5	±	3.2
T7	16.5	±	13.5	8.4	±	3.5	7.9	±	2.9
T8	18.4	±	16.1	5.4	±	2.2	5.5	±	2
T9	26.4	±	19.2	8.8	±	3.1	7.8	±	2.1
T10	27.8	±	22.4	8.1	±	3.3	8.2	±	2.6
T11	16.9	±	15.7	3.7	±	1.9	4.3	±	1.8
T12	17.6	±	16.8	20.3	±	5.5	10.8	±	3.5

**Çizelge 3.9.2**  $^{232}\text{Th}$  serisi bozunum ürünleri ve  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri.

Numune	$^{232}\text{Th}$ serisi bozunum ürünleri (Bq/kg)		$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$
	$^{208}\text{Tl}$	$^{228}\text{Ac}$	(Bq/kg)	(Bq/kg)
T1	2.8 ± 1.3	14.8 ± 5.1	7.7 ± 2.4	366.7 ± 21.8
T2	3.5 ± 1.7	13.6 ± 5.9	4.8 ± 2.6	411.1 ± 27.5
T3	3.7 ± 2.6	16.3 ± 11.2	7.3 ± 3.7	448.6 ± 38.3
T4	2.7 ± 1.7	13.7 ± 7.3	2.3 ± 2.9	330.3 ± 27.2
T5	4.4 ± 2.1	15.9 ± 6.1	5.1 ± 2.5	414.7 ± 25.3
T6	3.4 ± 2.5	8.3 ± 7	13.6 ± 5.1	394.6 ± 40.6
T7	4.4 ± 2.8	17 ± 10.2	3.8 ± 4.7	464.9 ± 35.9
T8	4.6 ± 2.3	19.3 ± 10.4	7.4 ± 3.2	401.3 ± 31.9
T9	5.5 ± 2.4	23.9 ± 8.6	68.1 ± 6.1	573.4 ± 39.8
T10	6.4 ± 2.9	23.5 ± 8.3	79.6 ± 6.4	604 ± 39.4
T11	5.4 ± 3	20.9 ± 11.4	58.2 ± 7.4	490.8 ± 41.6
T12	6.3 ± 3.1	24 ± 9.7	16.9 ± 4.5	664.8 ± 41.7

2006 Mart ayında alınan toprak numunelerinin aktiviteleri Çizelge 3.9.3 ve Çizelge 3.9.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.9.3**  $^{238}\text{U}$  serisi bozunum ürünlerinin aktiviteleri.

$^{238}\text{U}$ serisi bozunum ürünleri (Bq/kg)									
Numune	$^{226}\text{Ra}$			$^{214}\text{Pb}$			$^{214}\text{Bi}$		
T1	13.3	±	11.5	5.8	±	2.3	5.8	±	1.8
T2	12.4	±	9.1	6.6	±	2	7.9	±	2.1
T3	13.8	±	11	8.5	±	2.5	9.7	±	2.6
T4	19.1	±	11.7	14.6	±	3.3	17.8	±	2.9
T5	19.1	±	14.6	7.6	±	2.9	8.2	±	2.6
T6	13.9	±	11.6	6.4	±	2.1	7.7	±	1.8
T7	11	±	9.2	5.6	±	2.1	7.5	±	1.8
T8	11.6	±	0.7	10.2	±	0.3	11.4	±	0.3
T9	22.1	±	20.5	10.5	±	4.1	11.7	±	4
T10	19.5	±	13.5	14.5	±	4.2	18.1	±	3.9
T11	22.9	±	15.5	14.5	±	3.8	16.9	±	3.6
T12	14.8	±	11.4	17.5	±	3.8	20.8	±	3.6

**Çizelge 3.9.4**  $^{232}\text{Th}$  serisi bozunum ürünleri ve  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri.

Numune	$^{232}\text{Th}$ serisi bozunum ürünleri (Bq/kg)		$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$
	$^{208}\text{Tl}$	$^{228}\text{Ac}$	(Bq/kg)	(Bq/kg)
T1	2.9 ± 1.6	12.6 ± 5.7	5.4 ± 2.9	402.5 ± 25.1
T2	3.2 ± 1.6	15 ± 5.7	3.6 ± 2.4	333.1 ± 21.5
T3	4.9 ± 1.8	21.1 ± 9.3	7.4 ± 2.8	524.8 ± 29
T4	5.4 ± 1.6	23.8 ± 6.2	0.4 ± 1.4	649 ± 32.5
T5	4.6 ± 2.5	19.3 ± 10.6	5.4 ± 5.9	425.5 ± 31.6
T6	3.3 ± 1.6	14 ± 5.7	13.4 ± 2.8	409.3 ± 24.2
T7	2.8 ± 1.3	8.8 ± 4.3	3 ± 2	281.1 ± 19.1
T8	4.6 ± 0.2	20.4 ± 1.3	5.8 ± 0.3	458.1 ± 7.4
T9	6.3 ± 2.5	30.3 ± 11	119.9 ± 8.1	650.8 ± 40.3
T10	5.6 ± 2.2	19.9 ± 6.7	76.6 ± 5.7	541.4 ± 30.7
T11	6.1 ± 2.3	22.3 ± 7.2	54.6 ± 0.5	521.3 ± 29
T12	5.4 ± 1.8	25.5 ± 8	15.4 ± 2.9	594.4 ± 3.4

2006 Temmuz ayında alınan toprak numunelerinin aktiviteleleri Çizelge 3.9.5 ve Çizelge 3.9.6'de verilmiştir.

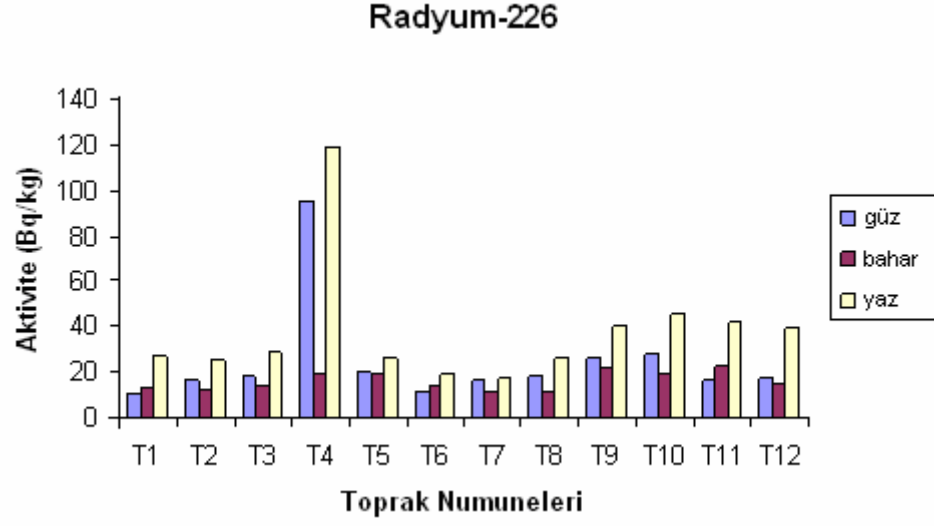
**Çizelge 3.9.5**  $^{238}\text{U}$  serisi bozunum ürünlerinin aktiviteleleri.

$^{238}\text{U}$ serisi bozunum ürünleri (Bq/kg)									
Numune	$^{226}\text{Ra}$			$^{214}\text{Pb}$			$^{214}\text{Bi}$		
T1	27.1	±	7.9	13.2	±	1.4	12	±	1.3
T2	25.8	±	9.7	12.9	±	1.6	11.6	±	1.3
T3	28.5	±	9.4	13.6	±	1.6	12.2	±	1.3
T4	118.9	±	20.6	73.7	±	3.6	65.1	±	3
T5	26.1	±	10.6	13.3	±	1.7	12.4	±	1.4
T6	19.6	±	7.1	10.9	±	1.5	9.5	±	1.2
T7	17.2	±	6.5	9.2	±	1.1	8.4	±	0.9
T8	26.6	±	9.9	13.1	±	1.6	11.8	±	1.5
T9	40.2	±	13.5	19.4	±	2.1	17.2	±	1.8
T10	45.2	±	14.9	18.4	±	2.3	16.1	±	1.8
T11	42	±	12.1	18.5	±	2	16	±	1.6
T12	39.8	±	12	21.2	±	2.1	18.6	±	1.9

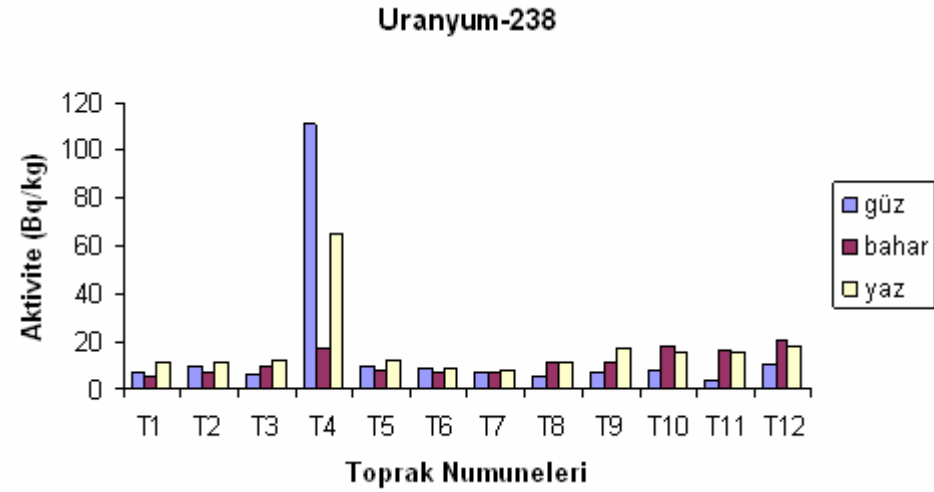
**Çizelge 3.9.6**  $^{232}\text{Th}$  serisi bozunum ürünleri ve  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri.

$^{232}\text{Th}$ serisi bozunum ürünleri (Bq/kg)			$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$
Numune	$^{208}\text{Tl}$	$^{228}\text{Ac}$	(Bq/kg)	(Bq/kg)
T1	4.4 ± 0.6	12.3 ± 2.1	8.3 ± 0.8	295.9 ± 10.3
T2	4.3 ± 0.7	12.7 ± 2.3	7.7 ± 0.8	282.9 ± 10.5
T3	5.6 ± 0.7	16.3 ± 2.1	5.3 ± 0.7	338.9 ± 10.6
T4	5 ± 1	12.3 ± 2.5	3.2 ± 0.9	281.7 ± 11.8
T5	5.2 ± 0.8	14.6 ± 2.2	4.6 ± 0.8	285.5 ± 10.9
T6	4.1 ± 0.6	11.5 ± 1.8	3.3 ± 0.6	271.5 ± 9.9
T7	3.2 ± 0.5	9.4 ± 1.6	2 ± 0.5	201.3 ± 7.6
T8	5.4 ± 0.7	14.8 ± 2.5	3.8 ± 0.7	316.5 ± 11.7
T9	6.5 ± 0.8	18.6 ± 2.5	74.2 ± 2.3	382.2 ± 12.9
T10	8 ± 0.9	23.3 ± 3	79.2 ± 2.6	421 ± 14.8
T11	7.5 ± 0.9	21 ± 2.6	55.6 ± 2	388.6 ± 12.8
T12	7.2 ± 0.9	20.1 ± 3.5	15.8 ± 1.2	427.1 ± 13.8

Her bir toprak örneğinden elde edilen  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerin bir yıllık aktivite değerleri Şekil 3.9.1,2,3,4,5' de verilmiştir.

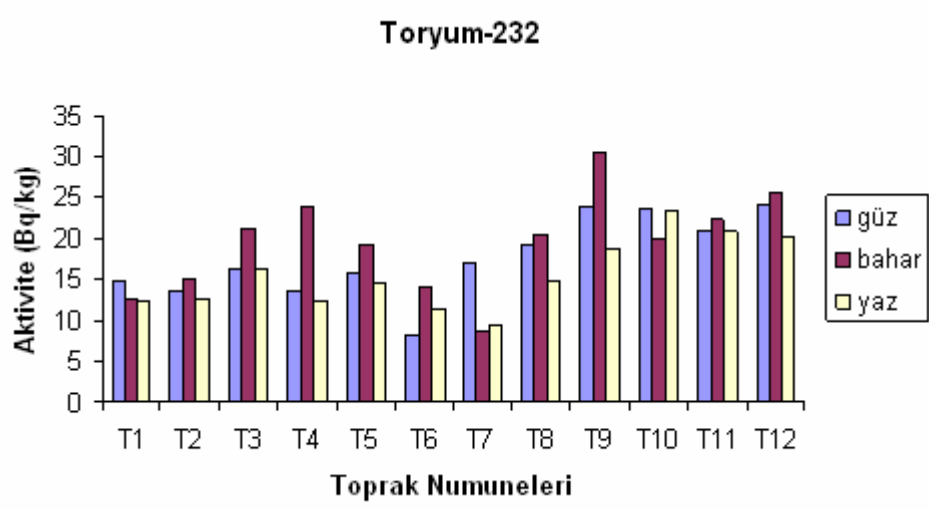


Şekil 3.9.1 Iğdır toprak numunelerindeki  $^{226}\text{Ra}$  dağılımı

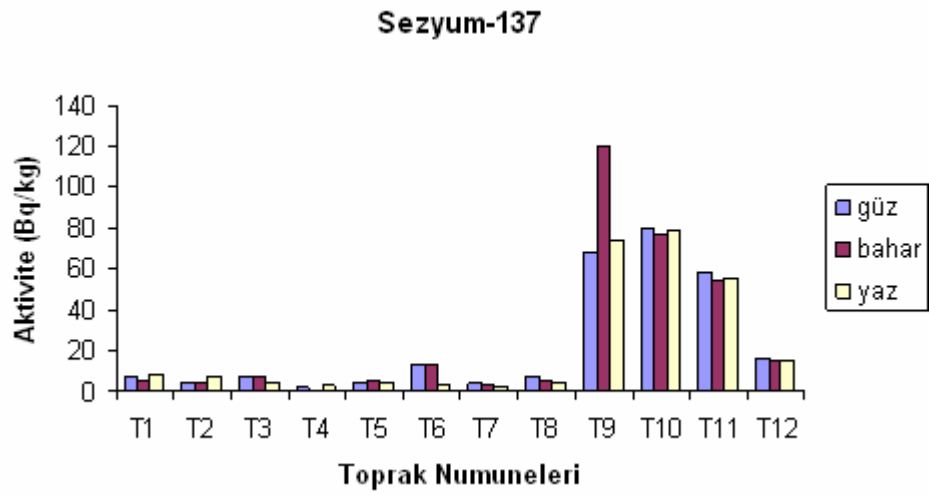


Şekil 3.9.2 Iğdır toprak numunelerindeki  $^{238}\text{U}$  dağılımı.

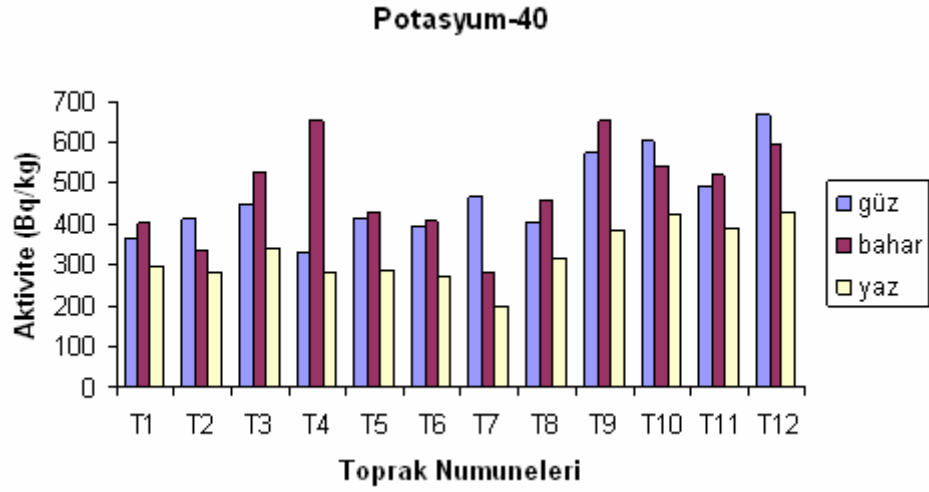




**Şekil 3.9.3** Iğdır toprak numunelerindeki <sup>232</sup> Th dağılımı.



**Şekil 3.9.4** Iğdır toprak numunelerindeki <sup>137</sup> Cs dağılımı.



**Şekil 3.9.5** Iğdır toprak numunelerindeki <sup>40</sup>K dağılımı.

2005 Güz mevsiminde toplanan ve aktiviteleri Çizelge 3.9.1 ve 3.9.2' de verilen toprak numunelerinin analizlerinden <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K radyoizotoplarının ortalama aktiviteleri sırasıyla  $24.7 \pm 16.1$ ,  $16.6 \pm 3$ ,  $17.6 \pm 8.4$ ,  $22.9 \pm 4.3$ ,  $463.8 \pm 34.3$  Bq/kg olarak ölçülmüştür.

2006 Bahar mevsiminde toplanan ve aktiviteleri Çizelge 3.9.3 ve 3.9.4' de verilen toprak numunelerinin analizlerinden <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K radyoizotoplarının aktivitelerinin ortalamaları sırasıyla  $16.1 \pm 11.7$ ,  $12.0 \pm 2.6$ ,  $19.4 \pm 6.8$ ,  $25.9 \pm 3.1$ ,  $482.6 \pm 26.9$  Bq/kg olarak ölçülmüştür.

2006 Yaz mevsiminde toplanan ve aktiviteleri Çizelge 3.9.5 ve 3.9.6' da verilen toprak numunelerinin analizlerinden <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K radyoizotopların ortalama aktiviteleri sırasıyla  $38.1 \pm 11.2$ ,  $17.6 \pm 1.6$ ,  $15.6 \pm 2.4$ ,  $21.9 \pm 1.2$ ,  $324.4 \pm 11.5$  Bq/kg olarak ölçülmüştür.

Iğdır ili toprak örneklerindeki yıllık ortalama radyoaktivite seviyeleri ise <sup>226</sup>Ra, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs ve <sup>40</sup>K radyoizotopların aktiviteleri sırasıyla  $26.3 \pm 13.0$ ,  $15.4 \pm 2.4$ ,  $17.5 \pm 5.9$ ,  $23.6 \pm 2.9$ ,  $423.6 \pm 24.2$  Bq/kg olarak belirlenmiştir.

Aynı bölgede 2003 yılında yapılan çalışmada ise  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarının ortalama aktiviteleri  $19 \pm 4$ ,  $16 \pm 4$ ,  $18 \pm 3$ ,  $18 \pm 4$ ,  $333 \pm 4$  Bq/kg olarak belirlenmiştir[33].

UNSCEAR 2000 verilerine göre Dünya üzerinde temel radyoaktivite kaynağı olarak bilinen karasal orjinli  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarının yıllık ortalama aktiviteleri sırasıyla 35, 30 ve 400 Bq/kg olarak verilmiştir[18].

Kastamonu ili sınırları içerisinde yapılan bir çalışmada  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarının aktiviteleri sırasıyla 37.4, 35, 30.8, 8.0, 431.4 Bq/kg olarak bulunmuştur[35].

Fırtına vadisinde yapılan çalışmada  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotopların ortalama aktiviteleri için sırasıyla 39, 38, 6 ve 573 Bq/kg değerleri tespit edilmiştir[28].

Manisa ilinde gerçekleştirilen bir çalışmada  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyoizotoplarının konsantrasyonları sırasıyla 29, 27 ve 340 Bq/kg olarak ölçülmüştür[36].

İstanbul'da gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri sırasıyla 21, 37 ve 342 Bq/kg olarak ölçülmüştür[24].

Çin'de granit taşlarının yoğun olarak bulunduğu bir bölgede yapılan çalışmada  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri sırasıyla 112, 71.5 ve 672 Bq/kg olarak ölçülmüştür[7].

Hindistan'ın Himaliya Pradeş bölgesinde yapılan radyoaktivite tayininde ise  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri sırasıyla 57.3, 82.2 ve 135.8 Bq/kg olarak tespit edilmiştir[37].

Güneybatı Hindistanda yapılan radyoaktivite ölçümleri sonucunda  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri sırasıyla 30.6, 38.2 ve 152.2 Bq/kg olarak tespit edilmiştir[38].

Pakistan Lahore’da yapılan bir çalışmada  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri 25.8, 49.2 ve 561.6 Bq/kg olarak belirlenmiştir[30].

Fisyon ürünü olup doğal olarak bulunmayan ve nükleer kazalar ve nükleer denemeler yolu ile çevreyi kirleten  $^{137}\text{Cs}$  radyoizotopunun aktivite ölçümleri canlı hayat için büyük önem taşımaktadır. 1986 Nisan ayında meydana gelen Çernobil nükleer santralindeki patlamanın neden olduğu radyoaktif kirliliğin, aradan 22 yıl geçmesine rağmen, hala etkisinin devam ettiği deneysel çalışmaların ortaya koyduğu bir gerçektir.

2004 yılında Tekirdağ’ın saray ilçesinde yapılan bir çalışmada  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitinin aktivitesi 14.9 Bq/kg olarak tespit edilmiştir[9].

1998 yılında İstanbul genelinde yapılan bir çalışmada İstanbul’un hala Çernobil reaktör kazasının izlerini taşıdığı tespit edilmiştir. Özellikle bazı bölgelerde  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu oldukça yüksektir. Kınalı Ada, Habipler ve Çamlıca bölgelerindeki  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitlerinin aktiviteleri sırasıyla 81, 51 ve 42 Bq/kg olarak ölçülmüştür[22].

Bursa Vakıfköy’de yapılan çalışmada ise  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklitinin aktivitesi 11.4 Bq/kg olarak tespit edilmiştir[39].

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Iğdır ili Türkiye–Ermenistan sınır bölgesinde, Aras nehri boyunca belirlediğimiz 7 toprak istasyonu, Ağrı Dağı'nın Iğdır ili sınırları içerisinde bulunan ve Korhan Yaylası olarak bilinen bölgede belirlediğimiz 3 toprak istasyonu, Iğdır merkezde belirlediğimiz 1 toprak istasyonundan 4'er aylık periyotlar halinde toprak numuneleri toplanmıştır.

Ölçümler sonucunda toprak numunelerinden elde edilen ortalama aktivite değerleri 2003 yılında aynı bölgede yapılan ölçümler sonucunda elde edilen radyoaktivite değerleri ile karşılaştırıldığında, sonuçlar arasında bazı küçük farklılıkların olduğu görülmektedir. Sonuçlardaki bu farklılığın en büyük nedeni, 2003 yılında yapılan çalışmada Ağrı dağında 2 toprak istasyonunun seçilmiş olması, bu çalışmada ise aynı bölgeden 3 toprak istasyonu belirlenmiş olmasıdır.

Her ne kadar toprak istasyonları, kullanılmayan bölgelerden seçilmiş ise de bu bölgeleri çevresel atıklardan (inşaat malzemeleri, tarımsal gübreler) tamamen korumanın bir yolu bulunmamaktadır. Bu nedenle 4 nolu toprak numunesindeki  $^{238}\text{U}$  konsantrasyonu ve bunun bozunum ürünü olan  $^{226}\text{Ra}$  konsantrasyonu lokal olarak yüksek çıkmıştır.

Bu etkiler ve deneysel hatalar göz önünde bulundurulduğunda elde edilen radyoaktivite miktarları, 2003 yılında elde edilen değerler ile uyum içerisinde. Bu çalışmada mevsimsel olarak radyoaktivite değerleri gözlenmiştir.  $^{226}\text{Ra}$  radyonüklitinin aktivitesi yaz mevsiminde diğer mevsimlere göre daha çok arttığı gözlenmektedir.  $^{238}\text{U}$  radyonüklitinin aktivitesi Sonbahar ve Yaz mevsimlerindeki aktivitesi İlkbaharda yapılan ölçümlerden yüksek çıkmaktadır.  $^{232}\text{Th}$  radyonüklitinin konsantrasyonu İlkbahar mevsiminde Yaz ve Sonbahar'daki ölçümlerle karşılaştırıldığında belirgin bir şekilde yüksek çıkmaktadır.  $^{137}\text{Cs}$  radyonükliti konsantrasyonları ise her bir toprak istasyonu bölgesinde alınan numunelerde yakın sonuçlar vermektedir.  $^{40}\text{K}$  radyonüklit konsantrasyonu ilkbaharda diğer mevsimlere göre göreceli olarak yüksek çıkmıştır. Bunun en büyük nedenlerinden birisi toprak numunesi alınan bölgelerin yakınında

bulunan bahçelere atılan potasyum gübrelerinin rüzgar veya başka nedenler ile toprak istasyonlarına ulaşabilmesi olarak görülebilir.

Elde edilen yıllık ortalama radyoaktivite değerleri 2000 yılında UNSCEAR tarafından yayınlanan dünya ortalaması değerleri ile karşılaştırıldıklarında  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyoaktif elementlerinin aktivitelerinin dünya ortalamasının altında bir değere sahip oldukları,  $^{40}\text{K}$  radyonükliti konsantrasyonu ise bir miktar dünya ortalamasının üzerinde olduğu görülmektedir.  $^{40}\text{K}$  radyonüklitinin aktivite miktarının yüksek çıkmasının en büyük nedenlerinden biri yukarıda belirtildiği gibi tarım bölgelerinden kaynaklanan kirliliktir.

İncelenen bölgenin Metsamor nükleer santralının yakınında bulunması nedeni ile bir reaktör ürünü olan  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklidinin aktivitesinin hesaplanması özel önem taşımaktadır. Nükleer santralin hemen yanında Aras nehri boyunca alınan toprak numunelerindeki  $^{137}\text{Cs}$  radyonüklit konsantrasyonu incelendiğinde, 2003 yılında yapılan çalışmalara yakın değerler gözlenmiştir. Yapılan periyodik ölçümler ve 2003 yılı ölçümleri karşılaştırıldığında Metsamor nükleer santralinden yayılan radyoaktif serpinti bulgularına rastlanılmamaktadır.

Iğdır ilini içine alan Iğdır ovasındaki  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu Tekirdağ'ın Saray ve Bursa'nın Vakıfköy ilçelerinde ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonlarından oldukça düşük çıkmaktadır[9,39].

Ağrı dağı eteklerinde ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu yaklaşık olarak 1998 yılında İstanbul ili sınırları içerisinde bulunan Kınalı ada, Habipler ve Çamlıca'da ölçülen  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyon değerlerine yakın bir değerdedir[22].

2006 yılında Mısır'ın kuzeyinde yapılan bir çalışmada topraktaki  $^{137}\text{Cs}$  konsantrasyonu ortalaması 6.1 Bq/kg olarak tesbit edilmiş ve bunun en büyük nedenlerinden birisi olarak Çernobil reaktör kazası gösterilmiştir[40]. Aras nehri boyunca ölçülen  $^{137}\text{Cs}$

radioaktivite miktarı 5.6 Bq/kg olup bu değer Mısır'ın Kuzeyinde Akdeniz yakınlarında ölçülen değere yakın bir değerdir.

## KAYNAKLAR

1. Çelebi, N., (1995), Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İTÜ.
2. [www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr) (03.01.2007).
3. [http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic\\_ray](http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray), (05.01.2007).
4. Amutha, R., Brahmanandhan, G.M., Malathi, J., Khanna, D., Selvasekarapandian, S., Sarida, R., Meenakshisundaram, V. and Gajendran, V., (2005), Study of background radiation from soil samples of Pollachi taluk, Tamilnadu, India, International Congress Series, Volume 1276, p.331-332.
5. Karahan G., (1997), İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini, İTÜ, Doktora Tezi, NEE.
6. Gür, Filiz., Yaprak, Günseli., (2003), Gediz Havzasında Radyosezyum Dağılımı, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
7. Yang, Ya-xin., Wu, Xin-min., Jiang, Zhong-ying., Wang, Wei-xing., Lu, Ji-gen., Lin, Jun., Wang, Lei-Ming and Hsia, Yuan-fu., (2005), Radioactivity concentrations in soils of the Xiazhuang granite area, China, Applied Radiation and Isotopes, Volume 63, p.255-259.
8. Khan ,K., Khan, H. M., Tufail, M., Khatibeh, A. J. A., Ahmad H. N., (1998), Radiometric analysis of Hazara phosphate rock and fertilizers in Pakistan, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 38, p.77-78.
9. Yarar, Yasemin and Kam, Erol., (2005), Environmental radioactivity concentrations of Tekirdağ, International Congress Series, Volume 1276, p.387-389.
10. Farai, I.P., Obed, R.I.and Jibiri, N.N., (2006), Soil radioactivity and incidence of cancer in Nigeria, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 90, p.29-36.
11. Çev: Şarer, B., (2001), Nükleer Fizik 1.Cilt, Palme Yayıncılık, Ankara, p.1-217.
12. <http://www.unscear.org/docs/reports/gareport.pdf> , (06.02.2007).
13. <http://www.physics.isu.edu/radinf/natural.htm>, (12.02.2007).
14. Gelir, A., İçme Suyundaki Radyoaktivitenin Belirlenmesi ve Yıllık Doz Eşdeğerinin Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE.
15. <http://www.who.int/phe/radiation/en/2004Radon.pdf>, (17.02.2007).



16. <http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Earth--Atmospheric--and-Planetary-Sciences/12-091January--IAP--2006/7DAFF716-5773-4AF1-AEB5-BA097060ECF6/0/session2a.pdf>, (16.03.2007).
17. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Astro/cosmic.html>, (22.03.2007).
18. <http://www.unscear.org/docs/reports/annexb.pdf>, (02.04.2007).
19. <http://www.cosmic-ray.org/news/sbf/index.html>, (05.05.2007).
20. <http://www.rsc.org/images/number6-tcm18-17768.pdf>, (13.05.2007).
21. <http://www.unscear.org/unscear/en/publications/1988.html>, (01.06.2007).
22. Karahan, G. and Bayulken, A., (2000), Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey), Journal of Environmental Radioactivity, Volume 47, p.213-221.
23. Quindos, L. S., Fernández, P. L., Ródenas, C., Gómez-Arozamena, J and Arteche, J., (2004), Conversion factors for external gamma dose derived from natural radionuclides in soils, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 71, p.139-145.
24. <http://www.who.int/phe/radiation/en/2004Radon.pdf>, (14.06.2007).
25. <http://www.unscear.org/docs/reports/1993/1993b.pdf>, (17.06.2007).
26. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/index.html>, (26.06.2007).
27. Turhan, Ş., Boran, S., Yücel, H., Demirel, H., Parmaksız, A., Çakır, İ.T., Yurtseven, İ., Karadeniz, H., Kaşkaş, A., (2003), Gama spektrometresi ile çevresel örneklerde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{235}\text{U}$  radyonüklitlerin aktivitelerinin doğrudan ölçülmesinde kullanılan bazı fotopiklerin yayınlanma olasılıklarının belirlenmesi, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Erciyes Üniversitesi, KAYSERİ.
28. Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G. and Çevik, U., (2007), Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey), Applied Radiation and Isotopes, Volume 65, p.1281-1289.
29. Yanaki, N. E., Ashery, D. and Kronfeld, J., (1999), Gamma-ray analysis of the sediments overlying the Helez and Kochav oil fields, Israel, Journal of Geochemical Exploration, Volume 66, p.249-254.
30. Akhtar, Nasim., Tufail, M., Ashraf, M. and Mohsin Iqbal, M., (2005), Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan, Radiation Measurements, 39, p.11-14.

31. Kumru, M. N., Bakaç, M., (2003), R-mode factor analysis applied to the distribution of elements in soils from the Aydın basin, Turkey, *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 77, p.81-91.
32. IAEA-TECDOC-619, (1991), x-ray and gamma-ray standards for detector calibration. IAEA, Vienna.
33. Göksu, V., (2005), Kars-Iğdır Yöresinde Toprak ve Sudaki Radyoaktivitenin Tayini, Yüksek lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi.
34. Karangelos, D. J., Anagnostakis M. J., Hiniş, E. P., Simopoulos, S. E. and Zunic, Z. S., (2004) , Determination of depleted uranium in environmental samples by gamma-spectroscopic techniques, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 76, p.295-310.
35. Kam, Erol and Bozkurt, Ahmet, (2007), Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 65, p.440-444.
36. Ereeş, F.S., Aközcan, S., Parlak, Y. and Çam ,S., (2006), Assessment of dose rates around Manisa (Turkey), *Radiation Measurements*, Volume 41, p.598-601.
37. Rani, Asha and Singh, Surinder, (2005), Natural radioactivity levels in soil samples from some areas of Himachal Pradesh, India using  $\gamma$ -ray spectrometry, *Atmospheric Environment*, Volume 39, p.6306-6314.
38. Karunakara, N., Somashekarappa, H.,M., Siddappa, K., (2005), Natural radioactivity in South West Coast of India, *International Congress Series*, Volume 1276, p.346-347.
39. Yalcin, S., Gurler , O., The radioactivity measurements in soil, coal and water in south Marmara region of Turkey, *Radiation Measurements*, Volume 42, p.281-285.
40. El-Reefy, H.I., Sharshar, T., Zaghoul, R. and Bardan, H.M., (2006), Distribution of gamma-ray emitting radionuclides in the environment of Burullus Lake: I. Soils and vegetations, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 87, p.148-169.
41. <http://www.igdir.gov.tr>, (29.06.2007).

## **EKLER**

### **Ek 1 Iğdır İli Toprak Özellikleri**

Genetikleri yönünden “azonal” topraklar sınıfına giren ova topraklarında hakim olan formasyon bazalttır. Bazaltlar üstünde, muhtelif zamanlarda farklı yerlerden taşınmak suretiyle alüvyal karakterli toprak örtüsü hasıl olmuştur. Batı ve güneydeki yamaç araziler “kolüvyal” karakterlidir. Aras nehrinin, Iğdır Ovası topraklarının bünyesi üzerinde büyük etkisi olmuştur. Geçmiş devirlerde taşkınlar ve Aras nehrinin yatak değiştirmelerine bağlı olarak kil, silt, kum ve değişik bünyede topraklar oluşmuştur. Ovada granüller yapıda olan topraklarda geçirgenlik, su tutma kapasitesi ve havalandırma gibi özelliklerin elverişli oluşuna karşılık, diğer yapılardaki topraklarda bu özellikler zayıftır. Bütünüyle farklı hususiyetler gösteren ova topraklarında kilden çakıla kadar her çeşit bünyeye rastlanmaktadır. Ancak, taban arazilerde kök bölgesi ve kök bölgesinin altında genellikle ağır ve orta bünyeli, yamaçlarda ise hafif ve çok hafif bünyeli topraklar yaygın durumdadır. Ovanın çeşitli kısımlarında üst ve alt toprakların ağır veya orta bünyede bulunmasına karşılık, dağ yamaçlarına ve Aras nehrine doğru yaklaşıldıkça hafif bünyeli topraklar ağırlık kazanmaktadır. Ova topraklarının büyük bir kısmında derinlik 150 cm’den daha fazla olup, batıdan doğuya doğru gidildikçe, toprak kalınlığı genellikle artmaktadır. Toprak derinliğini sınırlayan çakıl ve kum katmanlarıdır. Bu katmanlar, Aras nehrinin geçmiş devirlerde yatak değiştirmeleri sonucu oluşmuştur. Bundan dolayı bazı alanlarda toprak derinliği 10 cm ye kadar iner.

Ovanın hemen hemen her tarafında tuzlu, alkali ve borlu topraklara rastlanır. 83.211 hektar yüzölçümüne sahip olan Iğdır Ovasının 36.476 hektarı (%43.8) tuzlu-alkali ve borlu araziler olup, tarıma uygun değildir. Bu gibi sahalara 6.000 hektarı bulan yol, kanal, yerleşme, sazlık ve kamışlık alanları da eklersek, ova yüzölçümünün 41.701 hektarının veya %34den fazlasının tarım dışı olduğu anlaşılır. Ova toprakları, kireç bakımından zengindir. Genel olarak toprakların kireç değerleri %10-15 arasında olmakla birlikte bazı arazilerde bu değerler %21-37 arasında değişmektedir. Sulama ve yağışlar neticesi umumiyetle toprak profillerinde nispi bir kireç yıkanması meydana gelmiş ve mevcut drenaj şartlarına göre kireç alt tabakalar da birikmiştir.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Suat AKBAYIR

Doğum Yeri : Malatya

Doğum Tarihi : 02/11/1969

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ş.K.Ö. End.Mes.Lisesi - 1886

Lisans : Atatürk Üniversitesi - 2002

Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kafkas Üniversitesi – 1993

Yayımları (SCI ve diğeri):

Diğer Konular :