

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

ARDAHAN MERKEZ, HANAK, DAMAL, POSOF, ÇILDIR, GÖLE
İLÇELERİNDE TOPRAKTAKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTE
SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Şakir BALCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Gülçin CENGİZ

KARS
HAZİRAN-2015

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Şakir BALCI'nın, Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ CENGİZ danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "Ardahan Merkez, Hanak, Damal, Posof, Çıldır, Göle İlçelerinde Topraktaki Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi" adlı bu çalışmada, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından lisansüstü Eğitim yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

03/06/2015

Adı ve Soyadı

İmza

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Gülçin CENGİZ

Üye : Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT

Üye : Doç. Dr. Engin ATEŞER



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../..... gün ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Muzaffer ALKAN

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

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

“ARDAHAN Merkez, Hanak, Damal, Posof, Çıldır ve Göle ilçelerinde Topraktaki Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi” adlı bu tez çalışmasının deneysel çalışmaları Kafkas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Radyasyon Ölçüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayı bana öneren ve gerçekleşmesinde benden bilgi, destek ve yardımlarını esirgemeyen, araştırmamda engin ve derin bilgisi ile bana yol gösteren, tezimin yazımına kadar her aşamada değerli zamanını bana ayıran ve zorluklarımda bana yardımcı olan değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Gülçin BİLGİCİ CENGİZ’e sonsuz teşekkürlerimi sunar ayrıca çalışmamda benden yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans arkadaşım İlyas ÇAĞLAR’ a numune toplama ve hazırlamamda bana yardımcı olan arkadaşlarım Doğan KAYATÜRK ve Ufuk DEMİR’e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
SİMGELER.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.2. YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	1
1.2.1. Dünya'daki Çalışmalar.....	1
1.2.2. Türkiye'deki Çalışmalar.....	5
2. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE.....	8
2.1. Radyasyon Çeşitleri.....	8
2.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	9
2.2. RADYASYON KAYNAKLARI.....	11
2.2.1. Doğal Radyasyon.....	12
2.2.1.1. Kozmik ışınlar.....	13
2.2.1.2. Karasal Radyasyon.....	14
2.2.2. Yapay Radyasyon.....	15
3. MATERYAL VE METOT.....	16
3.1. MATERYAL.....	16
3.1.1. Sintilasyon Dedektörleri.....	16
3.1.2. NaI (Tl) Detektörü.....	19
3.1.2.1. Enerji Kalibrasyonu.....	23
3.1.2.2. Verim Kalibrasyonu.....	24
3.2. METOT.....	25

3.2.1. Toprak Örneği Alma ve Örnek Hazırlama Yöntemleri.....	25
3.2.2. Ölçüm Sahası	27
4.BULGULAR VE TARTIŞMALAR	32
4.1.Toprak örneklerinde ^{40}K 'in aktivite konsantrasyonu	32
4.2. Toprak örneklerinde ^{137}Cs 'in aktivite konsantrasyonu.....	36
4.3. Toprak örneklerinde ^{232}Th 'in aktivite konsantrasyonu.....	40
4.4. Toprak örneklerinde ^{226}Ra (^{238}U)'in aktivite konsantrasyonu	44
4.5. Sonuçların Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi, Kars ve Iğdır İlleri ile Kıyaslanması.....	48
5.SONUÇ	53
KAYNAKLAR.....	54
EKLER.....	60
EK: 1 Radyasyon Birimleri	60
EK: 2Ardahan İli Coğrafi Konumu ve Toprak özellikleri	61
EK: 3 Ardahan Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları ..	62
EK: 4 Çıldır Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları	62
EK: 5 Hanak Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları	63
EK: 6 Damal Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları	63
EK: 7 Posof Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları.....	63
EK: 8 Göle Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ÖZET

İnsanlar, içinde yaşadıkları çevrede gerek doğal ve gerekse yapay kaynaklardan meydana gelen radyasyonlara maruz kalırlar. Bir bölgedeki doğal radyasyon seviyesinin bilinmesi, hem insanların yaşadıkları yerin doğal radyoaktivite seviyelerini bilmeleri hem de daha sonra radyoaktivite düzeyinde olası değişimleri tespit etmeleri açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada Ardahan iline ve çevresine ait toprak örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonlarının tespiti amaçlanmıştır. Ardahan ili ve çevresindeki ilçelerden toplanan toplam 35 adet toprak numunesinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları Kafkas Üniversitesi Fizik Bölümü'ndeki NaI(Tl) dedektörü gamma spektrometresi ile ölçülmüştür. Ardahan ili ve ilçelerinin toprak örneklerinin ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra (^{238}U), ^{232}Th , ^{40}K için sırasıyla, 29,9, 36,7 ve 435 Bq/kg olarak ve fisyon ürünü olan ^{137}Cs için 14,5 Bq/kg olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Ardahan ili ve yöresi için grafiksel olarak gösterilmiştir. Sonuçlar Türkiye'nin diğer illeri için elde edilen bulgular ve Dünya ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ardahan, Gama Spektrometresi, Toprak Aktivite Konsantrasyonu.

ABSTRACT

People are exposed to radiations stemming from both the natural and artificial sources in their living environments. It is of great importance to know the natural radioactivity level in any region not only for letting people recognize the natural radioactivity levels of their living area, but also for detecting any possible variations in the radioactivity levels. The activity concentrations of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in 35 soil samples collected from the Ardahan city and its surrounded districts were measured through NaI(Tl) gamma spectrometry at the Kafkas University, Physics Department. The average activities of the samples were determined to be 29.9, 36.7 and 435 Bq/kg for the natural radionuclides ^{226}Ra (^{238}U), ^{232}Th , ^{40}K , respectively, and 14.5 Bq/kg for the fission product ^{137}Cs . The results obtained for Ardahan city and its district were presented graphically and compared with the world average values and data obtained from other provinces of Turkey.

Keywords: Ardahan, Gamma Spectrometry, Soil Activity Concentration

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

A	Aktivite
D	Soğurulmuş doz
e	Elektron
E	Etkin doz
H	Eşdeğer doz
M	Kütle
n	Nötron
p	Proton
t_{1/2}	Yarılanma süresi
W	Ağırlık faktörü
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gamma ışınları
λ	Radyoaktif bozunma sabiti

KISALTMALAR

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)
PM	Plastik Sintilatör (Plastic Scintillator)
PMT	Foto Çoğaltıcı Tüp (Photomultiplier tube)
DAB	Doğu Anadolu Bölgesi
MCA	Çok Kanallı Analizör (Multi Channel Analyser)
PA	Ön Yükselteç (Preamplifier)
MA	Ana Yükselteç (Amplifier)
PC	Bilgisayar
ADC	Sayısal-Örneksel Dönüştürücü (Analog-to-Digital Converter)
HV	Yüksek Voltaj

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil:2.1. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu.	9
Şekil:2.2: İyonlaştırıcı radyasyonun giricilikleri.	11
Şekil 2.3: Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri	13
Şekil 2.4:Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan Küresel radyasyon dozunun oransal değerleri	16
Şekil 3.1: Sintilasyon dedektörlerinde temel işlemler.	17
Şekil 3.2:Sintilasyon dedektörlerinde elektronik yapı	18
Şekil 3.3 : NaI(Tl) dedektörünün şematik gösterimi	20
Şekil 3.4: NaI(Tl) dedektörünün kurulum şeması	21
Şekil 3.5: Toprak numunesi almanın şematik gösterimi.....	26
Şekil 4.1 : Ardahan Merkez toprak örneklerindeki ⁴⁰ K aktivite dağılımı.	33
Şekil 4.2 : Çıldır toprak örneklerindeki ⁴⁰ K aktivite dağılımı.	33
Şekil 4.3 : Hanak toprak örneklerindeki ⁴⁰ K aktivite dağılımı.....	34
Şekil 4.4 : Damal toprak örneklerindeki ⁴⁰ K aktivite dağılımı.....	34
Şekil 4.5 : Posof toprak örneklerindeki ⁴⁰ K aktivite dağılımı.	35
Şekil 4.6 : Göle toprak örneklerindeki ⁴⁰ K aktivite dağılımı.	35
Şekil 4. : Ardahan Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof, Göle toprak örneklerindeki ⁴⁰ K dağılımı	36
Şekil 4.8 : Ardahan Merkez toprak örneklerindeki ¹³⁷ Csaktivite dağılımı.	37
Şekil 4.9 : Çıldır toprak örneklerindeki ¹³⁷ Cs aktivite dağılımı.	37
Şekil 4.10 : Hanak toprak örneklerindeki ¹³⁷ Cs aktivite dağılımı.	38
Şekil 4.11 : Damal toprak örneklerindeki i ¹³⁷ Cs aktivite dağılımı.	38
Şekil 4.12 : Posof toprak örneklerindeki i ¹³⁷ Cs aktivite dağılımı.....	39
Şekil 4.13 : Göle toprak örneklerindeki ¹³⁷ Cs aktivite dağılımı.	39
Şekil 4.14 : Ardahan Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof, Göle toprak örneklerindeki ¹³⁷ Csdağılımı.	40
Şekil 4.15 : Ardahan Merkez toprak örneklerindeki ²³² Th aktivite dağılımı.	41
Şekil 4.16 : Çıldır toprak örneklerindeki ²³² Th aktivite dağılımı.	41
Şekil 4.17 : Hanak toprak örneklerindeki ²³² Th aktivite dağılımı.	42
Şekil 4.18:Damal toprak örneklerindeki ²³² Thaktivite dağılımı.....	42
Şekil 4.19 : Posof toprak örneklerindeki ²³² Th aktivite dağılımı.	43

Şekil 4.20 : Göle toprak örneklerindeki ²³² Th aktivite dağılımı.....	43
Şekil 4.21 : Ardahan Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof, Göle toprak örneklerindeki ²³² Th dağılımı.....	44
Şekil 4.22 : Ardahan Merkez toprak örneklerindeki i ²²⁶ R(²³⁸ U)aktivite dağılımı.....	45
Şekil 4.23 : Çıldır toprak örneklerindeki ²²⁶ R(²³⁸ U)aktivite dağılımı.....	45
Şekil 4.24 : Çıldır toprak örneklerindeki ²²⁶ R(²³⁸ U)aktivite dağılımı.....	46
Şekil 4.25 : Damal toprak örneklerindeki i ²²⁶ R(²³⁸ U)aktivite dağılımı.	46
Şekil 4.26 : Posof toprak örneklerindeki ²²⁶ R(²³⁸ U)aktivite dağılımı.	47
Şekil 4.27 : Göle toprak örneklerindeki i ²²⁶ R(²³⁸ U)aktivite dağılımı.	47
Şekil 4.28 : Ardahan Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof, Göle toprak örneklerindeki ²²⁶ Ra(²³⁸ U) dağılımı.....	48
Şekil 4.29 : ⁴⁰ KRadyoaktivite konsantrasyonunun Dünya, Türkiye, DAB, Kars, Iğdır ve Ardahan ortalaması.....	49
Şekil 4.30 : ¹³⁷ CsRadyoaktivite konsantrasyonunun Dünya, Türkiye, DAB, Kars, Iğdır ve Ardahan ortalaması.	50
Şekil 4.31 : ²³² Th Radyoaktivite konsantrasyonunun Dünya, Türkiye, DAB, Kars,Iğdır ve Ardahan ortalaması.....	51
Şekil 4.32 : ²²⁶ Ra(²³⁸ U) Radyoaktivite konsantrasyonunun Dünya, Türkiye, DAB, Kars, Iğdır ve Ardahan ortalaması.	52

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo: 2.1. : Radyasyon Çeşitleri.....	8
Tablo 2.2.:Radyasyon dozunun kaynaklara göre dağılımı	12

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No
Resim 3.1: NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü.....	25
Resim 3.2: Ardahan merkez toprak numunesi alınan istasyonlar.....	28
Resim 3.3: Çıldır toprak numunesi alınan istasyonlar	29
Resim 3.4: Hanak toprak numunesi alınan istasyonlar.	29
Resim 3.5: Damal toprak numunesi alınan istasyonlar.	30
Resim 3.6: Posof toprak numunesi alınan istasyonlar.....	30
Resim 3.7: Göle toprak numunesi alınan istasyonlar.	31

1. GİRİŞ

İnsanlar ve diğer canlılar yaşam ortamlarında doğal ve insanoğlunun ürettiği yapay radyasyona maruz kalırlar. Maruz kaldığımız radyasyonun temel kaynağı olan doğal radyasyon kozmik ve karasal orjinli olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal ve yapay radyonüklitlerden kaynaklanan gama radyasyonu dış ışınlamaya sebep olurken, solunum ve sindirim yoluyla vücuda alınan radyonüklitlerden yayımlanan alfa (α) ve beta (β) radyasyonu iç ışınlamaya önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bireylerin; yaşam standartlarına, yaşadığı ortamın fiziksel özelliklerine ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İnsanlar, nükleer enerji, tıp, endüstriyel uygulamalar ve tüketim ürünleri (cep telefonu v.b.) gibi yapay radyasyon kaynaklarından yıllık ortalama 0.6 mSv' doğal radyasyon kaynaklarından ise yıllık ortalama 2.4 mSv etkin eşdeğer doz almaktadır[1,2].

İnsanların ve diğer canlıların yaşam sürelerine etkilerini ve oluşturacağı zararların araştırılması çevresel radyoaktivite çalışmalarını yapmayı gerektirir. Yapılan bu tür çalışmalar, hem doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi, hem de radyoaktif serpinti ve çevredeki insanların katkılarıyla oluşabilecek radyoaktif değişimlerden dolayı insanların maruz kaldıkları radyasyonun tespiti açısından önemlidir. Bu nedenle bir çok bilim insanı dünyanın oluşumundan bu yana var olan topraktaki radyonüklitlerden en önemlileri: (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U) kaynaklanan karasal radyasyonun belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapmaktadır.

1.2. YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, ülkemizde ve dünyada birçok araştırmacı tarafından topraktaki radyonüklitlerden kaynaklanan karasal radyasyonun belirlenmesine yönelik yapılmış çalışmaları özetlenmiştir.

1.2.1. Dünya'daki Çalışmalar

E.O. Agbalagba ve R.A. Onoja tarafından 2012 yılında Nijerya'da yapılan bir çalışmada; NaI(Tl) sintilatör dedektörü kullanılarak toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir. Aktivite

konsantrasyonları sırasıyla; ^{226}Ra için ortalama 41.0 ± 5 Bq/kg, ^{232}Th için ortalama 29.7 ± 4 Bq/kg ve ^{40}K için ortalama 412.5 ± 20 Bq/kg bulunmuştur. Yine bu çalışmada soğrulmuş doz oranı ortalama 30 ± 5.5 nGyh⁻¹, yıllık etkin doz oranı 6.8 μSvy^{-1} olarak hesaplanmıştır[1].

S. Sing ve arkadaşları tarafından 2003 yılında Hindistan'da yapılan çalışmalarda; NaI(TI) dedektörü kullanılarak topraktaki doğal radyoaktivite ölçülmüş ve sonuçta ^{40}K aktivite konsantrasyonu $143,7-228,9$ Bq/kg; ^{232}Th aktivite konsantrasyonu $35,2-122,89$ Bq/kg ve ^{226}Ra aktivite konsantrasyonu $25,1-75,79$ Bq/kg aralığında bulunmuştur. Bu ölçümler, her bir örnekten 250 gr tartılarak alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada, Radyumun eşdeğer aktivitesi $90,88-275,339$ Bq/kg aralığında hesaplanmıştır[3].

J. Yeboah ve arkadaşları tarafından 2001 yılında Gana'da yapılan çalışmada toprak örneklerinde ve kayalardaki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde; ^{40}K aktivitesi $91,1-13959$ Bq/kg; ^{238}U aktivitesi $2,4-62,7$ Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesi $3,2-145,7$ Bq/kg aralığında değişirken, kaya örneklerinde; ^{40}K aktivitesi $9,0-1510,1$ Bq/Kg, ^{238}U aktivitesi $0,7-40,0$ Bq/kg ve ^{232}Th aktivitesi de $0,5-117,5$ Bq/kg aralığındadır. Bir metre yüksekte 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].

S. Saravanan ve arkadaşları tarafından 2003 yılında Hindistan'da NaI(TI) dedektörü kullanılarak Timilnadu bölgesindeki toprakların doğal background radyasyonu ölçülmüştür. Toprakların aktivite düzeyleri ^{40}K aktivitesi $73,1-120$ Bq/kg aralığında ve ortalama $96,0$ Bq/kg'dır; ^{232}Th aktivitesi $21,6-69,6$ Bq/kg aralığında ve ortalama $43,9$ Bq/kg'dır ve ^{226}Ra aktivitesi $31,8-52,0$ Bq/kg aralığında ve ortalama $42,9$ Bq/kg'dır. Radyumun eşdeğer aktivitesi $68,3-149,0$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır[5].

Malczewski ve arkadaşları tarafından Polonya'da yapılan incelemeler sonucunda; toprakta ve kayadaki doğal ve antropojenik radyoaktivite düzeylerinin ^{40}K için $320-1200$ Bq/kg aralığında, ^{232}Th serisi için $25-62$ Bq/kg aralığında ve ^{226}Ra için $31-122$ Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur[6].

2004 yılında Meksika’da yapılan çalışmada yüksek çözünürlüklü gama spektrometresi kullanılarak ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th serilerinin konsantrasyonları toprak için belirlenmiştir. ^{238}U ve ^{232}Th serileri için değer 30 Bq/kg civarındadır[7].

2002 yılında Fiji’de yapılan çalışmada 50 toprak örneği toplanarak NaI(Tl) dedektörü ile ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th un ortalama aktivite seviyeleri sırasıyla, 160-2,8 ve 3,6 Bq/kg olarak bulunmuştur[8].

Ajayi tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak kayalardaki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 40,3-2436,6 Bq/kg, 3,5-110,5 Bq/kg ve 1,2-107,5 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Yine aynı çalışmada ortalama soğurulan doz oranı bir metre yüksekliğinde 0,128nGy/h ölçülmüştür[9].

S. Selvasekarapandian ve arkadaşları 2000 yılında Hindistan’ın Gudalero topraklarındaki doğal radyonüklid tayinini gama ısın spektrumu ile tayin etmiş ve ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ’nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 195,2 Bq/kg, 37,7 Bq/kg ve 75,3 Bq/kg olarak bulunmuştur[10].

2003 yılında Michalis Tzortzis tarafından gama ısın spektroskopisiHPGe dedektörü kullanılarak Kıbrıs’ın karakteristik jeolojik kayalarında ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları sırasıyla 1,3-52,8 Bq/kg, 0,9-90,3 Bq/kg ve 13-894 Bq/kg olarak ölçülmüştür[11].

2000 yılında Ebaid ve arkadaşları tarafından Mısır topraklarında çevresel radyoaktivite ölçümleri gama-ısın spektrometresi NaI(Tl) dedektörü kullanılarak incelenmiş ve ^{238}U aktivite konsantrasyonun 13,7-27,9 Bq/kg aralığında, ^{232}Th aktivite konsantrasyonun 15,4-53,1 Bq/kg aralığında ve ^{40}K aktivite konsantrasyonun 176-407 Bq/kg aralığında değiştiği bulunmuştur[12].

R. Ravisankar ve arkadaşları tarafında 2012 yılında yapılan çalışmada; Hindistan’ın Timilnadu bölgesinde toprak örneklerindeki radyoaktivite seviyeleri NaI(Tl) sintilatör dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Radyoaktivite konsantrasyonları, ^{238}U için 2,17-2353 Bq/kg aralığın da, ^{232}Th için 13,54-89,89 Bq/kg aralığında ve ^{40}K için 625,09-2207,3 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Yine bu çalışmada soğrulmuş doz oranı, 41,63-132,40 nGyh⁻¹ aralığında ve yıllık etkin doz oranı ise, 049-0,158 mSvy⁻¹ aralığın da hesaplanmıştır[13].

2003 yılında M.K. Fasasi ve arkadaşları tarafından, Nijerya'da yapılan çalışmada; katran kumundaki doğal radyoaktivite, Coaxial Germanyum(SeGe) dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. ^{214}Bi (^{238}U) aktivitesi 165,64 Bq/kg ve ^{208}Tl (^{232}Th) aktivitesi 150,25 Bq/kg olarak ölçülmüştür[14].

J. Al-Jundi ve arkadaşları tarafından 2003 yılında HPGe dedektörü kullanılarak yapılan çalışmada; Ürdün'ün Amman-Akaba karayolu boyunca toplanan toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite seviyeleri tayin edilmiştir. Doğal radyoaktivite konsantrasyonları ^{238}U için 22–104 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 21–103 Bq/kg ve ^{40}K için 138–601 Bq/kg aralığında bulunmuştur[15].

T. Santawamaitre ve arkadaşları tarafından HPGe dedektörü kullanılarak 2011 yılında gama ışını spektrometresi aracılığıyla Tayland'da yapılan bir çalışmada; ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir. Aktivite konsantrasyonları ^{238}U için $55,3\pm 1,2$ – $65,2\pm 1,4$ Bq/kg aralığında, ^{232}Th için $60,7\pm 1,2$ – $69,1\pm 1,3$ Bq/kg aralığında ve ^{40}K için $393,4\pm 13$ – 478 ± 16 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Soğurulmuş gama doz oranı $8,6\pm 1,9$ – $90,4\pm 2,1$ nGyh⁻¹ aralığında ve yıllık eşdeğer etkin doz ise $100,1\pm 2,3$ – $110,8\pm 2,5$ µSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır[16].

Z. Morsy ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada; Mısır'ın Ebo Zaabal kentinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyonları toprak bitki ve su örneklerinde HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Toprak, bitki ve su örnekleri için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla ^{238}U için 6.57, 10.16 ve 5.44 Bq/kg, ^{232}Th için 8.46, 8.33 ve 6.04 Bq/kg ve ^{40}K için 136.3, 216.8 ve 119.2 Bq/kg bulunmuştur. Bu çalışmada toprak örnekleri için havada soğurulmuş doz oranı, $14,2\pm 0,83$ nGyh⁻¹ ve yıllık etkin doz oranı ise $0,0174\pm 0,001$ mSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır[17].

M.S. Hamideen ve J. Sharaf tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada; Ürdün'ün Russaifa bölgesindeki Fosfat tepeleri boyunca toplanan toprak örneklerindeki doğal olarak meydana gelen karasal radyonüklidlerin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) aktivite konsantrasyonları HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Aktivite konsantrasyonları ^{238}U için $5,3$ – $1201,1$ Bq/kg aralığında, ^{232}Th için $2,2$ – $31,2$ Bq/kg aralığında ve ^{40}K için $19,4$ – $288,4$ Bq/kg aralığında bulunmuştur. Soğurulmuş doz oranı ise $26,1$ – $563,2$ nGyh⁻¹ aralığında tespit edilmiştir[18].

B.Y. Almayahi ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada; Malezya Yarımadasının kuzeyinde toprak örneklerindeki radyoaktivite miktarları, HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Toprak örneklerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları sırasıyla; 57 ± 3 , 68 ± 4 ve 427 ± 17 Bq/kg olarak bulunmuştur. Bu çalışmada soğrulmuş doz oranı 88 nGyh^{-1} ve yıllık etkin doz oranı ise 108 mSvy^{-1} olarak hesaplanmıştır[19].

1.2.2. Türkiye'deki Çalışmalar

2000 yılında G. Karahan ve A. Bayulken tarafından, Türkiye-İstanbul yüzey topraklarındaki doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonları, HPGe dedektörü kullanılarak ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 21, 37 ve 342 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada yerden bir metre yükseklikteki soğrulmuş gama dozu oranı 65 nGyh^{-1} olarak tespit edilmiştir[20].

2002 yılında Karakelle ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; Kocaeli toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite, HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu $2\pm 0,6$ ile 25 ± 6 Bq/kg, ^{238}U aktivite konsantrasyonu 11 ± 4 ile 49 ± 10 Bq/kg aralığında, ^{40}K aktivite konsantrasyonu 161 ± 30 ile 964 ± 127 Bq/kg aralığında ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonu 11 ± 3 ile 65 ± 13 Bq/kg aralığında ölçülmüştür[21].

2005 yılında F.S. Ereeş ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; Manisa ili yüzey topraklarında doğal radyoaktivite konsantrasyonları NaI(Tl) sintilatör dedektörü kullanılarak tespit edilmiştir. Toprak örneklerindeki radyonüklidlerin ortalama konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla, 28,5, 27,0 ve 340,0 Bq/kg olarak bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada ortalama yıllık etkin doz kişi başına $66 \mu\text{Sv}$ bulunmuştur[22].

2008 yılında M. Değerlier ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; Adana ilinin yüzey topraklarındaki doğal radyonüklid konsantrasyonları HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. Ortalama aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 17,6, 21,1 ve 297,5 Bq/kg olarak bulunmuştur. Yine aynı çalışmada ortalama dış gama doz oranı 67 nGyh^{-1} ve yıllık etkin doz oranı ise $82 \mu\text{Sv}$ bulunmuştur[23].

2007 yılında A. Bozkurt ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; HPGe dedektörü kullanılarak Şanlıurfa yüzey topraklarındaki radyonüklid aktivite konsantrasyonları ^{238}U ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 20.8, 24.95 ve 298.6 Bq/kg ve ^{137}Cs fisyon ürününün konsantrasyonu ise 9.08 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada ortalama soğurulmuş doz oranı $60,9 \text{ nGyh}^{-1}$ ve bu radyonüklidlerden kaynaklanan yıllık etkin doz ise $46.9 \mu\text{Sv}$ ölçülmüştür[24].

2007 yılında E. Kam ve A. Bozkurt tarafından Kastamonu ilinde yapılan çalışmada; HPGe dedektörü kullanılarak toprak örneklerindeki radyoaktivite konsantrasyonları ^{238}U ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 32.93Bq/kg, 27.17Bq/kg ve 431.43 Bq/kg ve ^{137}Cs fisyon ürününün konsantrasyonu ise 8,02 Bq/kg olarak ölçülmüştür[25].

2008 yılında N. Çelik ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; Giresun topraklarındaki doğal radyoaktivite seviyeleri HPGe dedektörü kullanılarak tespit edilmiştir. Ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla $33\pm 13 \text{ Bq/kg}$, $43\pm 14 \text{ Bq/kg}$, 73386 Bq/kg ve $318\pm 46 \text{ Bq/kg}$ olarak ölçülmüştür. Yine bu çalışmada, ^{226}Ra ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerinden kaynaklanan ortalama etkin doz, $92 \mu\text{Sv}$ ve ^{137}Cs radyonüklidinden kaynaklanan ortalama etkin doz ise $11 \mu\text{Sv}^{-1}$ ölçülmüştür[26].

H. Taşkın ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada; Kırklareli topraklarındaki radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları, HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 37 ± 18 , 28 ± 13 , 40 ± 18 , 8 ± 5 ve $667\pm 281 \text{ Bq/kg}$ bulunmuştur. Bu çalışmada, ortalama gama dozu oranı $118\pm 34 \text{ nGyh}^{-1}$ ve yıllık etkin doz oranı ise $144 \mu \text{ Sv}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır[27].

N. Çelik ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada; HPGe dedektörü kullanılarak Doğu Karadeniz Bölgesinde toprak örneklerindeki doğal radyonüklid konsantrasyonları tespit edilmiştir. Aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 12–120 Bq/kg, ^{232}Th için 13–121 Bq/kg ve ^{40}K için 204–1295 Bq/kg aralıklarında bulunmuştur. Bu radyonüklidlerin yanı sıra ^{137}Cs radonüklidinin aktivite konsantrasyonu toprak, liken ve yosun örneklerinde tespit edilmiş ve ^{137}Cs radonüklidinin aktivite konsantrasyonu toprak örneklerinde 27–755 Bq/kg aralığında,

liken örneklerinde 29–879 Bq/kg aralığında ve yosun örneklerinde ise 67–1397 Bq/kg aralığında bulunmuştur[28].

N. Çelik ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada; gama spektrometresi yöntemi ile HPGe dedektörü kullanılarak Ordu ili topraklarında ve Ordu ilinde kullanılan yapı malzemelerindeki radyonüklid konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu çalışmada doğal radyonüklidlerin yanı sıra ^{137}Cs radonüklidinin aktivite konsantrasyonu da tespit edilmiştir. Toprak örneklerindeki aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 13,4–151,7 Bq/kg, ^{232}Th için 14,3–98,5 Bq /kg, ^{40}K için 303–1107 Bq/kg ve ^{137}Cs için 67,4–257,3 Bq/kg aralıklarında bulunmuştur. Yapı malzemelerindeki ortalama aktivite konsantrasyonları ise ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 34,5 Bq/kg, 26,9 Bq/kg ve 378,4 Bq/kg olarak bulunmuştur[29].

2011 yılında A. Kurnaz ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; Trabzon yüzey topraklarındaki doğal radyonüklid konsantrasyonları ve bir fisyon ürünü olan ^{137}Cs konsantrasyonu HPGe dedektörü kullanılarak tespit edilmiştir. Ortalama aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için sırasıyla 41 Bq/kg, 35 Bq/kg, 437 Bq/kg ve 21 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada havadaki soğurulmuş gamma doz oranı 59 nGy h^{-1} ve karasal gama radyasyonundan kaynaklanan yıllık ortalama etkin doz ise $72 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır[30].

2008 yılında Ö. Yeşilbağ tarafından yapılan çalışmada Gama spektroskopik analizi için alınan toprak numunelerindeki ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K doğal radyoaktif elementleri ile ^{137}Cs yapay radyoaktif elementinin ilçelere göre aktivite konsantrasyonları HPGe dedektörü ile ölçülmüştür. ^{226}Ra aktivitesi 35,99 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. En düşük aktivite değeri 13,10 Bq/kg, en yüksek aktivite değeri ise 69,8 Bq/kg dir. Ortalama ^{232}Th aktivitesi 30,77 Bq/kg olup minimum değeri 18,56 Bq/kg, maksimum değeri ise 57,26 Bq/kg dir. Ortalama ^{40}K aktivitesi 342,13 Bq/kg . Alınan toprak numunelerinden 8 tanesi dışında ^{137}Cs yapay radyoaktif elementine rastlanmıştır ve ortalama değeri 10,72 Bq/kg olarak bulunmuştur[31].

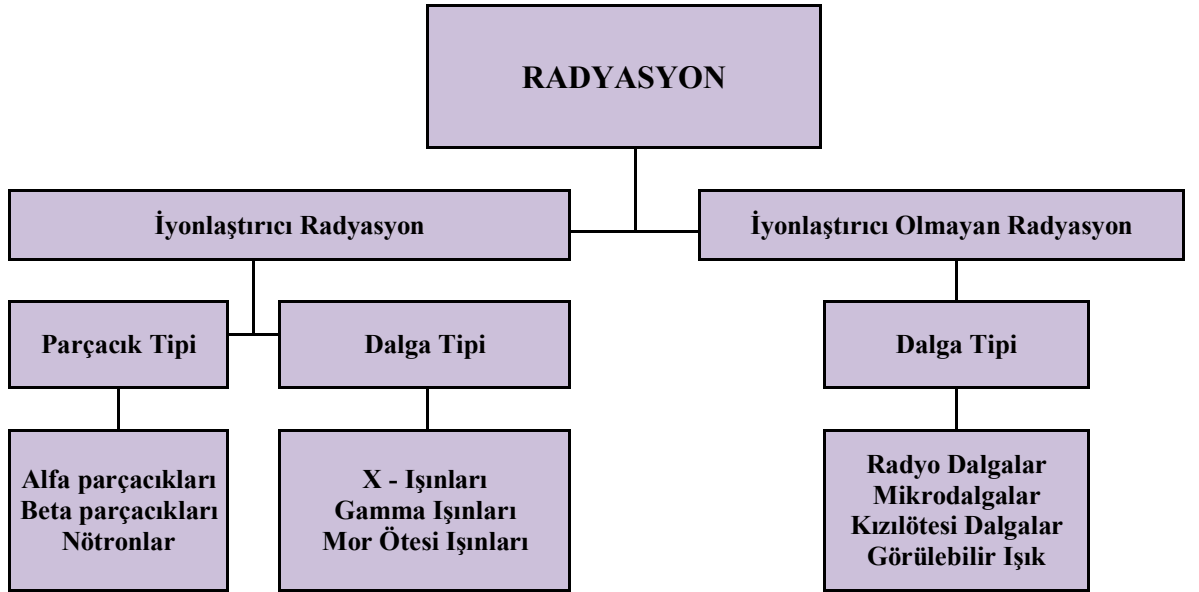
2.RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE

Radyasyon, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanabilir. Ayrıca bu tanım gereğince doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale geçebilmek için yayınladıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de radyasyon olarak adlandırılır.

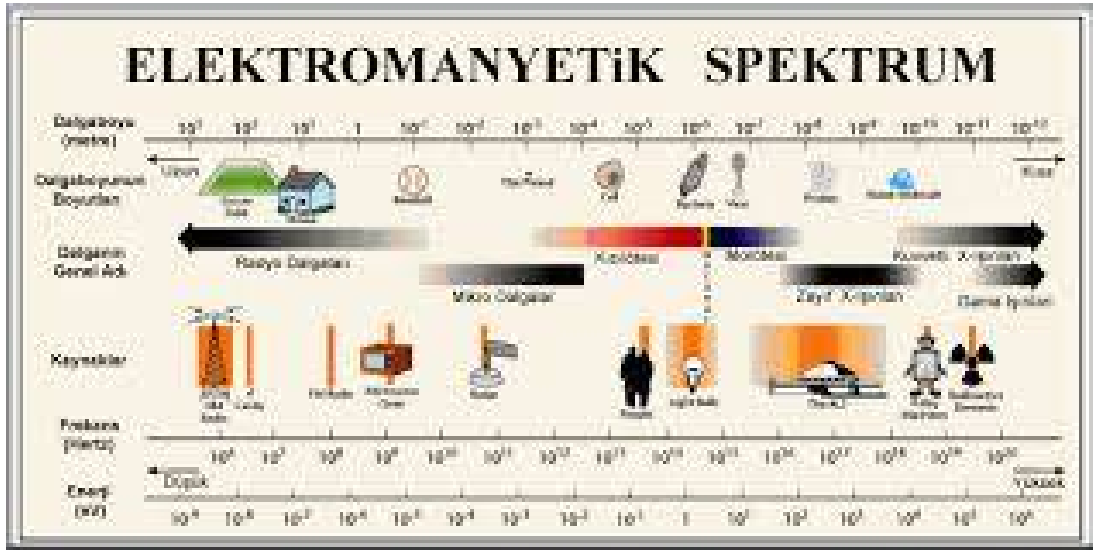
2.1.Radyasyon Çeşitleri

Tablo 2.1’de görüldüğü gibi radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır.

Tablo 2.1Radyasyon Çeşitleri.



Parçacık tipi radyasyonu; alfa, beta parçacıkları ve nötronlar gibi; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacık formundaki radyasyondur. Belli bir enerjiye sahip ancak kütesiz olan dalga tipi radyasyonları ışık hızıyla (3×10^8 m/s) hareket ederler. Dalga tipi radyasyon, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir[32].



Şekil:2.1. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu[33].

2.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, etkileştiği madde içerisindeki atomlardan elektron kopararak yüklü parçacıklar(iyonlar) oluşturan radyasyondur. Yüksek enerjili parçacık ve elektromanyetik dalgaların, atom yakınından geçerken oluşturdukları elektron yörüngesindeki değişimler ya da elektronun yörüngesinden çıkması iyonlaştırıcı radyasyonun etkileridir[34].

İyonlaştırıcı radyasyony yaşadığımız çevrede tüm canlılar üzerinde, gerekli önlemler alınmadığı takdirde zararlı olabilecek radyasyon türüdür. Başlıca iyonlaştırıcı radyasyon türleri; alfa radyasyonu, beta radyasyonu, x-ışınları, γ -ışınları ve nötronlardır[35].

Alfa radyasyonu (α); kararsız atom çekirdeklerinden yayınlanan, pozitif yüklü helyum çekirdeğidir. Büyük kütleli parçacıklar olduklarından havadasadece 1-2 cm yol alabilirler. Alfa parçacıkları cilt tarafından tamamen soğurabilen yüklü parçacıklar olduklarından, solunum ya da sindirim sisteminde yüksek radyasyon dozunun etkisiyle kemik yüzeylerinde ve kırmızı kemik iliğinde hasara sebep olabilir.

Beta radyasyonu(β), kararsız bir atom çekirdeğinden yayılan elektrondur. Çok küçük kütleleri nedeniyle beta parçacıklarının doku veya malzemeler içine giricilikleri alfa parçacıklarından daha fazladır. Beta parçacıkları havada ancak birkaç metre gidebildiklerinden birkaç milimetre kalınlığındaki plastik veya metal tabakalar tarafından tamamen soğurulabilirler. Beta parçacıkları α parçacıklarından daha az iyonlaşmaya sebep oldukları için normal olarak cildin üst tabakası tarafından soğurulurlar. Yüksek enerjili beta yayıncıları ile aşırı derecede ışınlama cilt yanıklarına neden olabileceğinden, solunum yada sindirim yoluyla vücuda alındığı takdirde tehlikeli olabilirler.

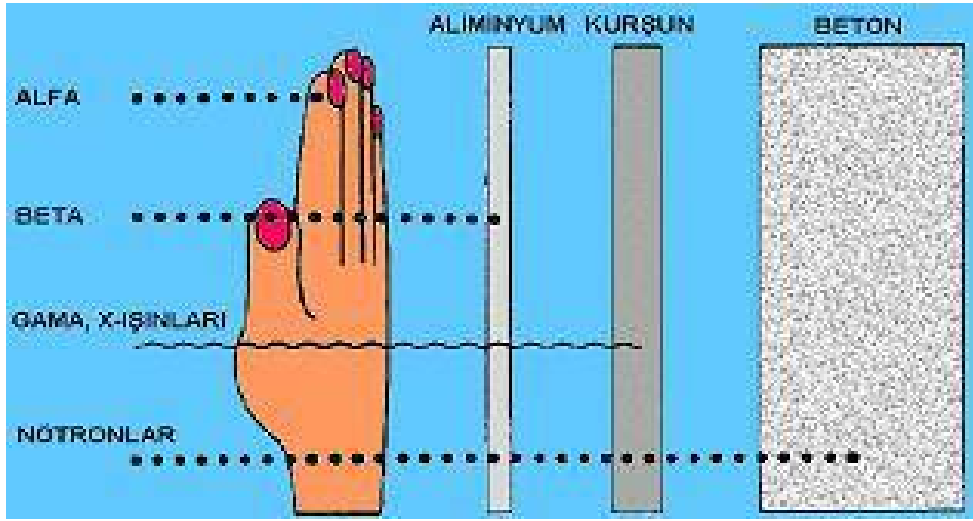
Nötron radyasyonu(n); Genellikle yapay olarak elde edilen nötronlar, elektriksel olarak yüksüz parçacıklar oldukları için çok girici olabilirler. Doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmayan nötronlar madde veya doku ile etkileştiklerinde iyonlaşmaya neden olan beta veya gama radyasyonlarının yayınlanmasına yol açarlar. Nötron radyasyonundan kaynaklanan ışınlamanın azaltılması amacıyla kalın beton, su veya parafin kütleleriyle zırlama yapılabilir[35].

Gamma radyasyonu(γ); Bir radyoaktif bozunma(α veya β bozunumu) sonucunda uyarılmış durumda kalan kararsız atom çekirdeğinin taban enerji seviyesine geçerken yayınladığı yüksek enerjili fotonlara gama radyasyonu denir. Gama ışınları, kütsüz ve yüksüzdürler. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi elektromanyetik spektrumun en yüksek enerjili(dalga boyu en kısa) kısmını oluştururlar. Yüksek enerjilerinden dolayı madde içerisine giricilikleri α ve β parçacıklarına göre daha fazladır.

Madde içinden geçen gama radyasyonu ile elektron etkileşimi atomlarda iyonlaşmaya neden olur. Giriciliği fazla olan gama radyasyonunun canlılara verdiği zararları en aza indirmek amacıyla yoğunluğu yüksek olan kurşun ya da çelik gibi kalın malzemelerle zırlanma yapılabilir[35,36].

X-ışınları; Gama radyasyonuna benzer yüksek enerjili fotonlardır. Yüksek enerjili bir elektron demetinin çok hızlı yavaşlatılmasıyla da atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleriyle oluşur.

X-ışınları da aynı gama ışınları gibi, yoğunluğu yüksek olan malzemelerle zırlanarak iç organlara verdiği ciddi radyasyon dozu önlenir. Şekil 2.2’de iyonlaştırıcı radyasyon türlerinin giricilikleri gösterilmiştir[35].



Şekil:2.2. İyonlaştırıcı radyasyonun giricilikleri[33].

2.2. RADYASYON KAYNAKLARI

Dünyanın oluşumundanbu yana doğadaki çok uzun ömürlü radyoaktif elementler ve dış uzaydan gelen kozmik ışınlar insanoğlunun yaşadığı çevredeki doğal radyasyon düzeyini oluşturmaktadır.Yapılan nükleer bomba denemeleri ile bazı teknolojik ürünlerin kullanımları doğal radyasyon seviyesinde artışasebep olmaktadır.

Yaşanılan yerin kutuplara olan uzaklığı,toprak yapısı vemevsimlere bağlı hava şartlarıyla beraber barınma amaçlı yapılanbinalarda kullanılan malzemeler maruz kalınan doğal radyasyon seviyelerinin nedenleridir. Ayrıca, yaşanılan yerdeki alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü,yağmur, kar, gibi doğa olayları da doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğü üzerinde etkilidir, Doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılan radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2,7 mSv/yıl olarak belirlenmiştir[36].Tablo 2.2’de bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımıverilmiştir.

Tablo 2.2. Radyasyon dozunun kaynaklara göre dağılımı [37].

KOZMİK	0,39 mSv
GAMA	0,46 mSv
İÇ	0,23 mSv
RADON	1,30 mSv
TIBBİ	0,30 mSv
MESLEKİ	0,007 mSv
SERPİNTİ	0,002 mSv
ATIKLAR	0,001 mSv
TÜKETİCİ ÜRÜNLERİ	0,0005 mSv

2.2.1. Doğal Radyasyon

Güneş'ten, yıldızlardan gelen kozmik ışınlarla birlikte yer kabuğundaki taş, toprak, hava, su, bitkiler ve tüm canlılarda bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonlar, doğal radyasyonlardır. Doğal radyasyon kaynaklarının neden olduğüküresel radyasyon dozlarına ait oransal değerlerŞekil2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri [37].

2.2.1.1. Kozmik ışınlar

Doğal radyasyonun bir kısmını güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar oluşturmaktadır. Dünya atmosferi tarafından tutulan bu ışınların ancak küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşır. Kozmik ışınların, %93'ünü hidrojen atomu çekirdekleri, %6,3'ünü helyum atomu çekirdekleri ve bir miktar da trityum ve karbon 14 çekirdekleri oluşturur. Atmosferdeki hava molekülleriyle ve atomlarıyla çarpışankozmik ışınlar, yeni çekirdekler üretir ve enerjileri zamanla azalır ya da kaybolur. Böylece, kozmik ışınlardan ikincil ve daha sonraki bir dizi tepkimelerle üretilen protonlar, nötronlar, elektronlar, mezonlar ve gammalar gibi daha birçok ışın yeryüzüne ulaşır. Mezonlar, çok kısa ömürlü elementler parçacıklar olup, kütleleri elektronla proton arasındadır. Yeryüzünde; deniz düzeyindeki kozmik ışınların %90'ı mezonlar tarafından oluşturulur. Oluşturulan bu mezonlar saniyeden çok daha kısa bir sürede bozunarak elektriksel yüklerine göre ya bir elektronla ya da bir pozitronla birlikte iki nötrino yayarlar. Deniz seviyesinden yükseldikçe, kozmik ışınların şiddeti yaklaşık olarak her 1500 metrede iki katına çıkar. Deniz seviyesindeki bir yerleşim alanında kozmik ışınlarından maruz kalınan yıllık ortalama radyasyon dozu, 0,25-0,3 mSv iken, deniz seviyesinden 3000 metre yükseklikte 1,1 mSv ve 10.000 m yüksekliğindeyse ortalama 44 mSv' e yükselmektedir. Bu nedenle kozmik ışınlardan yüksek yerleşim bölgelerinde yaşayanlar, uçak personeli ve uzun uçuş yapanların aldığı radyasyon dozları, nükleer reaktörlerde, nükleer tıpta ve diğer nükleer

araştırma merkezlerindeki radyasyonla uğraşan personel gruplarının aldıkları yıllık ortalama dozdan çok fazladır.[37].

2.2.1.2. Karasal Radyasyon

Başlıca karasal radyasyon kaynakları ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ve bunların bozunum ürünleri olan radyonüklitlerdir. ^{238}U ve bozunum ürünlerinin ise doğal fona katkıları ihmal edilebilecek düzeyde olduğu için dikkate alınmamıştır. Fakat ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th elementleri uzun yarı ömürlü oldukları için doğal fona katkıları oldukça fazladır. Bu radyonüklitler özellikle volkanik kayalarda, değişim geçiren kayalarda, toprakta ve deniz diplerinde birikmiş çamurlarda yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır[20].

Karasal radyasyona maruz kalma bölgeden bölgeye değişmekle birlikte birbirine yakın yerler arasında bile farklılıklar göstermektedir. Evin yapımında kullanılan inşaat malzemelerindeki doğal radyonüklit konsantrasyon oranları bile, alınan yıllık radyasyon dozunu etkilemektedir. Doğal temel radyasyon seviyesinin yüksek olduğu yerlerde, dış radyasyonlarla ışınlama diğer yerlere göre oldukça fazladır. Dağlık ve deniz seviyesinden yüksek yerlerde yaşayan insanlar, deniz seviyesine yakın yerlerde yaşayan insanlardan daha fazla dış radyasyona maruz kalmaktadır. Çünkü deniz seviyesinden yükseltildikçe kozmik ışınlama şiddeti de artmaktadır. ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th gibi doğal radyonüklitlerin birim kütle başına aktivite konsantrasyonları toprak ve kaya tiplerine göre değişir. Bir radyonüklitin birim kütle başına aktivite konsantrasyonu, yer seviyesinden bir metre yükseklikte havadaki absorbanmış doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir[38].

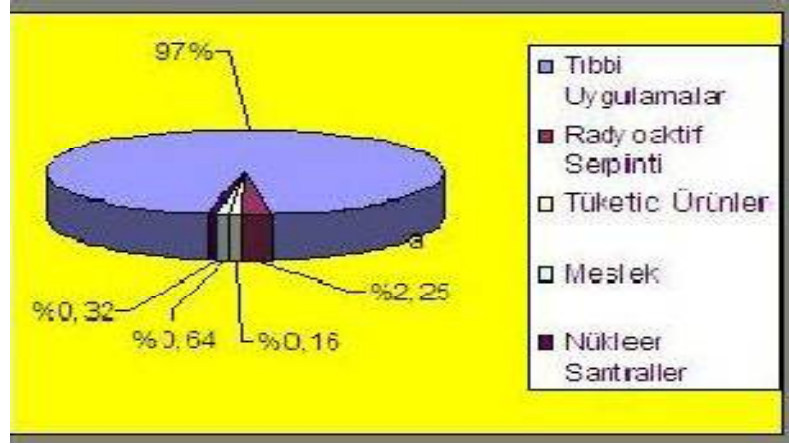
Dış gama ışınlamaları, kütle aktivite konsantrasyonlarıyla doğrudan ilgilidir. Havada ölçülen absorbanmış radyasyon dozu, radyonüklitlerin topraktaki konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Dış ışınlama hesapları topraktaki radyonüklitlerin bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi durumuna göre yapılır[38].

2.2.2. Yapay Radyasyon

İnsanlar doğal radyasyon kaynaklarının yanı sıra, hızla büyüyen teknolojinin getirdiği yapay radyasyon kaynaklarından da etkilenmektedir. Gelişmiş teknolojiye sahip ülkelerdeki yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan devamını sağlamak mümkün değildir. Bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üreterek birçok işin daha iyi, kolay, çabuk ve ucuza yapabildiği.

Yapay radyasyon kaynaklarından da doğal radyasyon kaynaklarından etkilendiğimiz gibi etkileniriz. Yapay radyasyon kaynaklarından alınan bu doz miktarı, doğal kaynaklardan alınan doz miktarına göre çok daha düşük olmaları ve tamamen kontrol altında tutulabilmeleri maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Nükleer bomba denemelerinin neden olduğu radyoaktif serpintiler, Çernobil ve Fukuşima kazası gibi nükleer reaktör kazaları sonucunda meydana gelen serpintiler, nükleer reaktörlerden ortaya çıkan radyoaktif maddeler, tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Gama ışınlarının tıptaki diğer kullanım alanlarının dışında, tümör hücrelerini yok edebilmesi amacıyla kanser tedavisinde radyasyon kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra bilim ve teknoloji uygulamalarında kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları, iyonlaştırıcı ışınlar yayan televizyon gibi aygıtlar, çeşitli aygıtlarda kullanılan radyoaktif kaynaklar az da olsa başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır[33].



Şekil 2.4: Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan Küresel radyasyon dozunun oransal değerleri[33].

3. MATERYAL VE METOT

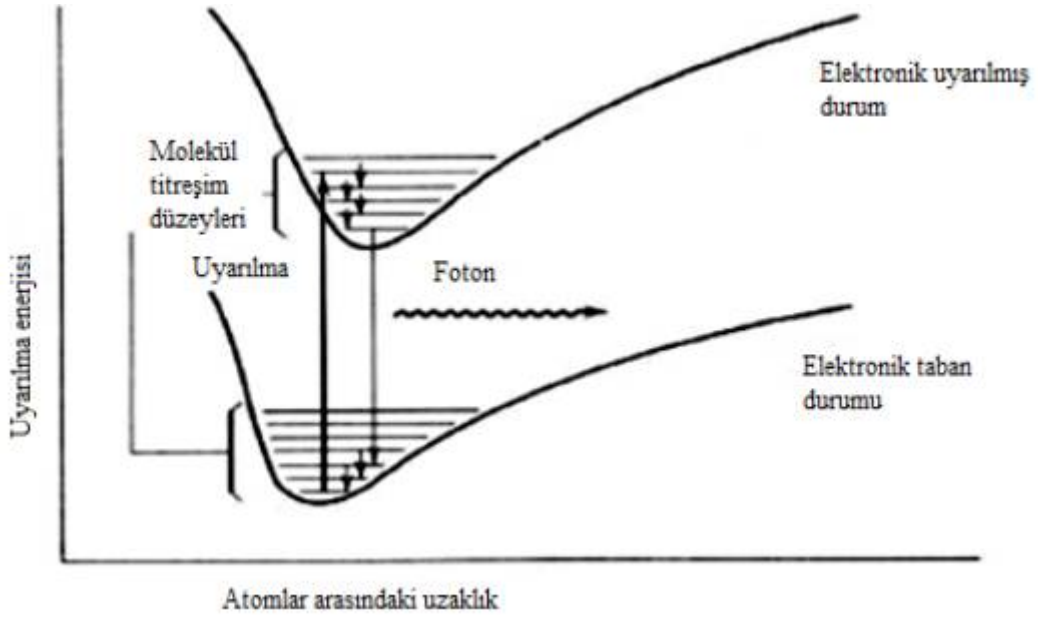
3.1. MATERYAL

Nükleer analiz yöntemlerinden biri olan gamma spektroskopisi ile çevremizde radyoaktif maddelerin varlığı ve bu radyoaktif maddelerin aktivitelerine sebep olan izotoplar tespit edilir. Gamma spektroskopisi yönteminde numune hazırlanması diğer kimyasal ayırma işlemlerine göre daha kolay ve hızlıdır. Hazırlanacak bir numune ile farklı radyoaktif çekirdeklerin belirlenmesi tek tek ve aynı anda gerçekleştirilir. Gama spektroskopisi yöntemiyle yapılan ölçümlerden edilen bilgilerin güvenilirlik düzeylerinin yüksektir. Ayrıca düşük ölçüm sınırı nedeniyle, bu spektroskopik yöntem özellikle çevresel örneklerin analizinde kullanılırlar.

3.1.1 Sintilasyon Dedektörleri

Sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasen, naftalin ve fenantren gibi bazı maddelere bir tek yüklü parçacık, X-ışını veya γ -ışını çarptığı zaman, bu maddeler bir ışık parıltısı meydana getirirler. Bu gibi maddelere sintilatörler adı verilir. Sintilasyon bir materyalin uyarıldığı zaman ışık yaydığı bir süreçtir. Bu ışık parıltıları elektrik pulslarına dönüştürülür ki, daha sonra bu pulslar yükseltılarak, sayılabilir anlamlı sinyallere dönüştürülürler. Radyasyon dedektörleri sintilasyonları alıp, değerlendiren

parçacıklar ortamın atomlarını uyarır. Uyarılan atomlar tekrar taban seviyelerine dönerken ışık fotonları verirler[40].



Şekil 3.2 Sintilasyon dedektörlerinde elektronik yapı[40].

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 CaI₂(Tl) gibi, olmak üzere iki tipi vardır[41].

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.

3.1.2. NaI (Tl) Detektörü

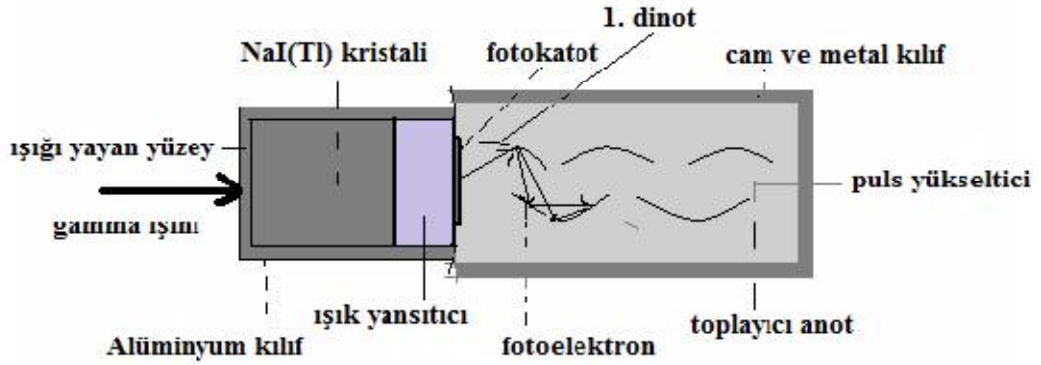
İnorganik sintilatörlerden en yaygın kullanılanı bir alkali halojenürün tekkristali olan NaI kristalidir. Geçirgenliği sağlamak için tek kristale gerek vardır; kristal yüzeyindeki yansımalar ve soğurulmalar çok kristalli sintilatörü kullanışsız hale getirir. Kristaldeki atomların birlikte etkileşmeleri enerji bant serilerinde kesikli enerji seviyelerine sebep olurlar. En yüksek iki bant değerlik bandı ve iletimbandı'dır. NaI gibi yalıtkan bir materyalde değerlik bandı genellikle dolu, iletimbandı ise boştur. Gelen radyasyon bir elektronu enerji aralığını atlatarak iletim bandına uyarabilir. Elektron, enerjisini foton yayımlayarak kaybeder ve değerlik bandına geri döner. Foton yayımlanma olasılığını artırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak için kristale aktivatör denen küçük miktarda safsızlıklar ilave edilir. En çok kullanılan aktivatörlerden biri Talyum'dur.

Talyum ile aktive edilerek oluşan sodyum iyodür (NaI(Tl)) kristali, gamma ışınlarının sayımı için mükemmel bir sintilatördür. 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[42].

Bu dedektörlerin en iyi çözünürlük değerleri, 3x3 inç boyutlarında bir kristal kullanılarak ¹³⁷Cs 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.

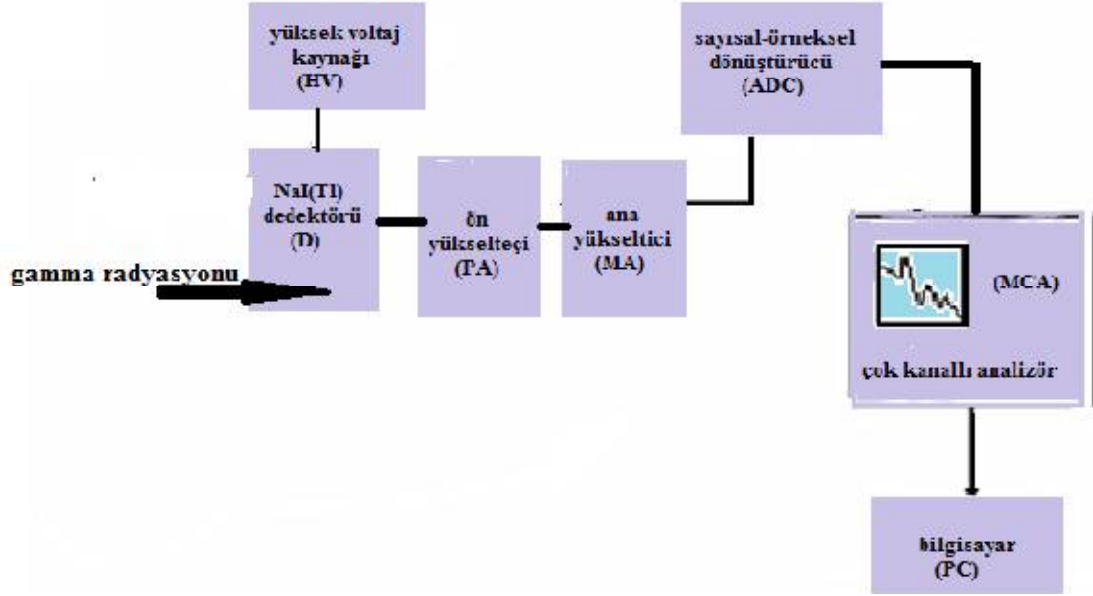
İyi bir sintilatör olan NaI(Tl) kristali, üzerine gelen radyasyon enerjisini soğurarak görünür bölgede ışık yayımlar. Sintilatör kendi ışığı için geçirgen olduğundan kristalden yayımlanan ve yüzeylerden yansıyan bu ışınlar fotoçoğaltıcı tüpün fotokatodu üzerine düşerler. Fotokatodun yüzeyi, genellikle ince bir sezyum-antimon alaşımı levhadan yapılır. Fotokatoda gelen ışınlar burada (fotoelektrik olayla)

elektron yayımlanmasına neden olurlar. Bu elektronlar katlı potansiyel farklarla 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 yayımlanan her bir elektrona karşılık son çoğaltıcıdan yayımlanan elektron sayısının) 106 ile 107 civarındadır [43]. Bu elektronlar, anot tarafından toplanır ve puls kaydediciye verilir. Fotoçoğaltıcıdan çıkan pulslar, gelen parçacığın enerjisine bağlı olmakla beraber farklı yüksekliktedirler[44]. Şekil 3.3’de NaI(Tl) dedektörü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3 NaI(Tl) dedektörünün şematik gösterimi[39].

NaI(Tl) dedektörleri nin enerji ayırma 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. Sayım ve aynı zamanda enerji ayırma için bu dedektörler kullanılır NaI(Tl) gama spektrometre sistemi şematik olarak şekil 3.4 de verilmiştir. Şekil3.4’de, dedektör, HV yüksek voltaj, PA ön yükseltici, MA yükseltici, ADC sayısal dönüştürücü, MCA çok kanallı analizör ve PC bilgisayardan oluşur[39].



Şekil 3.4 NaI(Tl) dedektörünün kurulum şeması[39].

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[45].

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[45].

Yükselteçler(MA), ön yükselteçten gelen sinyali yükseltmek, yeniden şekillendirmek ve şekillendirmek için gerekli olan gelen sinyal bilgilerini saklamak amacıyla kullanılır[33,45].

Dedektör sistemleri ve bilgisayardaki gelişmeler basit sintilasyon sistemlerinin, bilgisayarlara doğrudan bağlanabileceği anlamına gelir. Bu tüm fonksiyonların taşınabilir sistemde bulunmasını sağlar. ORTEC *digiBASE*TM sistemci önyükselteç, yüksek voltaj kaynağı ve dijital sinyal işlemcisini foto çoğaltıcıya sadece basit bir USB kablosuyla uygun donanımlı bilgisayara bağlanacak şekilde foto çoğaltıcıya dâhil eder[45].

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. 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[45].

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[33].

Kaydedici: MCA'dan veya MCA bağlantılı bilgisayardan alınan bilgilerin kaydedilmesi için, yazıcı veya grafik çizici kullanılır. Topraktaki radyoaktivite değerlerinin belirlenmesi süresince gama spektrometrik analizleri, etrafi kurşunla zırhlanmış NaI(Tl) detektörü ile buna bağlı çok kanallı analizör ve ilgili elektronik birimlerden oluşmuş bir gama ölçüm sisteminde yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler uygun yazılım programlı sistemi ile otomatik olarak elde edilmiştir[45].

3.1.2.1. 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 gama ışınlarına ait tam enerji pik kanal numaralarının tayin edilmesidir [33].

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 gama kalibrasyonu kaynakları kullanılarak yapılır. En çok kullanılan kalibrasyon kaynakları Kalibrasyon işlemi için, yükseltecin kazancı herhangi bir değere ayarlanır. Kalibrasyon işleminde kullanılan kaynakların spektrumda oluşturduğu piklerin tepe noktalarına göre, o enerjideki piklerin hangi kanallarda olduğu 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;

$$E=a_1 + (a_2.C) + (a_3.C^2) \quad (3.1)$$

yukarıdaki(3.1) denklemiyle ifade edilir. Bu denklemde, ilgilenilen tam enerji pikinin enerjisi (E), kanal numarası (C) ve fonksiyon katsayıları (a_x) olarak tanımlanır.

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

$$F=b_1+ (b_2.C) + (b_3. C^2) \quad (3.2)$$

(3.2) denklemiyle kontrol edilir.

3.1.2.2 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[46].

Gama 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_γ enerjisindeki tam enerji pik verimi (ε), ilgilenilen radyonüklid ya da ilgilenilen enerjiyi kapsayan çoklu radyonüklid içeren, aktivitesi bilinen standart referans malzeme kullanılarak elde edilir. E_γ enerjisindeki tam enerji pik verimi, aktivite hesabının yapıldığı formüle benzeyen;

$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot \gamma \cdot t_s \cdot K_1 \cdot K_2} \quad (3.3)$$

(3.3)'de verilen denklemlerle hesaplanır. Burada ilgilenilen tam enerji pikinin (fotopik) düzeltilmiş net alanı (N), ilgili fotopik'in ait olduğu radyonüklid'in aktivitesi (A), ilgilenilen fotopik E_γ enerjisine karşılık gelen gama yayınlanma ihtimali (γ), 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 (K₁) ve analiz edilen numunenin ölçme işlemi esnasında geçen süre için bozunum düzeltme faktörü (K₂) ile temsil edilir.[41].

3.2.METOT

Toprak örneklerinin gama spektrometrik analizleri, Kafkas Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Radyasyon Ölçüm Laboratuvarında, Resim 3.1’de gösterilen NaI(Tl) 3x3 dijiBASE Maestro-32 sintilasyon dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Bilgisayar programı olarak ScintivisionTM-32 (A35-B32) programı kullanılmıştır. Ölçüm cihazı, ayrıntılı olarak Bölüm 3.1.2’de tanıtılmıştır.



Resim 3.1: NaI(Tl) Sintilasyon Dedektörü.

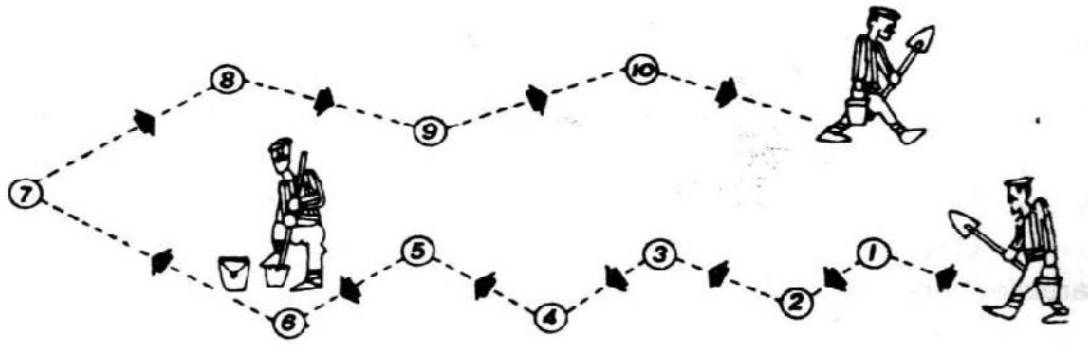
3.2.1. Toprak Örneği Alma ve Örnek Hazırlama Yöntemleri

Doğal radyoaktivite tayininde örneklerin toplanması ve hazırlanması işlemleri, deneysel çalışmaların önemli bir aşaması olup amaca uygun bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Toprak numunesinin alınması aşamasında iklim şartlarına bağlı olarak sıcaklık ve nem şartlarının uygunluğuna dikkat edilmelidir. Numune alınırken toprağın ne çok kuru nede numuneyi alanın ayağına bulaşacak kadar ıslak olmadığı en uygun zaman seçilmelidir. Toprak numunelerinin toplanması için seçilen çalışma sahasının bölgeyi tanımlayacak şekilde homojen bir dağılım göstermesine ve yerleşim alanlarına yakın

ancak ekim yapılmamış, otsuz ve düz alanların seçilmesine özen gösterilmelidir. Toprak yüzeyinin yağmur ve akıntı suları ile zarar görmemiş ve ileride zarar görmeyecek olmasına, mümkün oldukça vadi eteklerinden uzak yerler olmasına ve yüksek bitkiler ve bunların dal ve yapraklarıyla gölgelenmemiş olması dikkat edilmelidir. Ayrıca örnek toplanırken; önceden gübre veya kireç konulmuş yerlerden, hayvan gübresi yığılan yerlerden, tarlanın çukur ve tümsek yerlerinden ve su arkı ve yollara yakın kısımlarından örnek alınmamasına dikkat edilmelidir.

Toprak numuneleri; seçilen alanın bir ucundan öbür ucuna doğru düz bir çizgi üzerinde ilerleyerek şekil 3.5'deki gibi zig-zak'lar çizilerek her bir istasyonum 5-7 farklı noktastan alınmıştır. Numuneler alınırken toprak yüzeyi temizlenerek yüzeyden yaklaşık olarak 15 cm kadar bir derinlikten numune toplama aracı ile alınmış ve içerisinde taş, ot, ağaç kabukları gibi yabancı cisimler ayıklanmıştır[47].



Şekil 3.5: Toprak numunesi almanın şematik gösterimi[47].

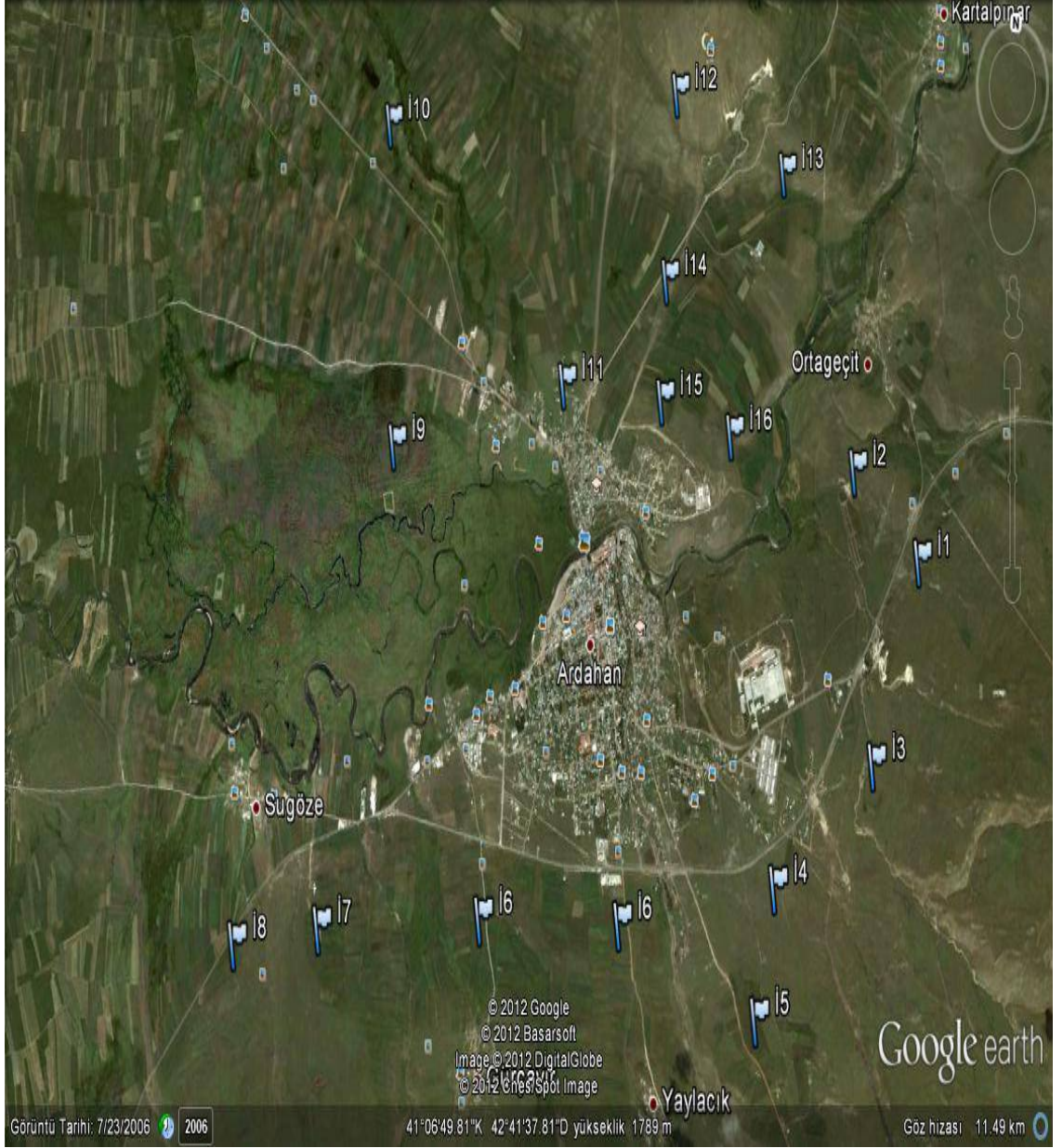
Her biri yaklaşık olarak 2 kg olacak şekilde 210adet toprak örneği toplam 35 istasyondan toplanmıştır. Daha sonra her bir istasyondan alınan numuneler birleştirilerek, etiketlenmiş naylon torbalara konulmuş ve laboratuvara getirilmiştir.

Toprak örnekleri içlerinde bulunan taş, ot ve odun gibi yabancı maddelerden iyice arındırıldıktan sonra kuru zeminde serilerek 45 gün süreyle laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Toprakta bulunan nemi buharlaştırma ile azaltmak ve çok küçük parçacıklar haline gelebilecek şekilde öğütebilmek amacıyla kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutma işlemi esnasında, buharlaşma ile kaybolacak radyoaktivite miktarı ihmal edilebilecek düzeydedir. Laboratuvar ortamında kurutulan toprak numunelerinin her biri ayrı ayrı elekten geçirilmiştir. Daha sonra elekten geçirilen

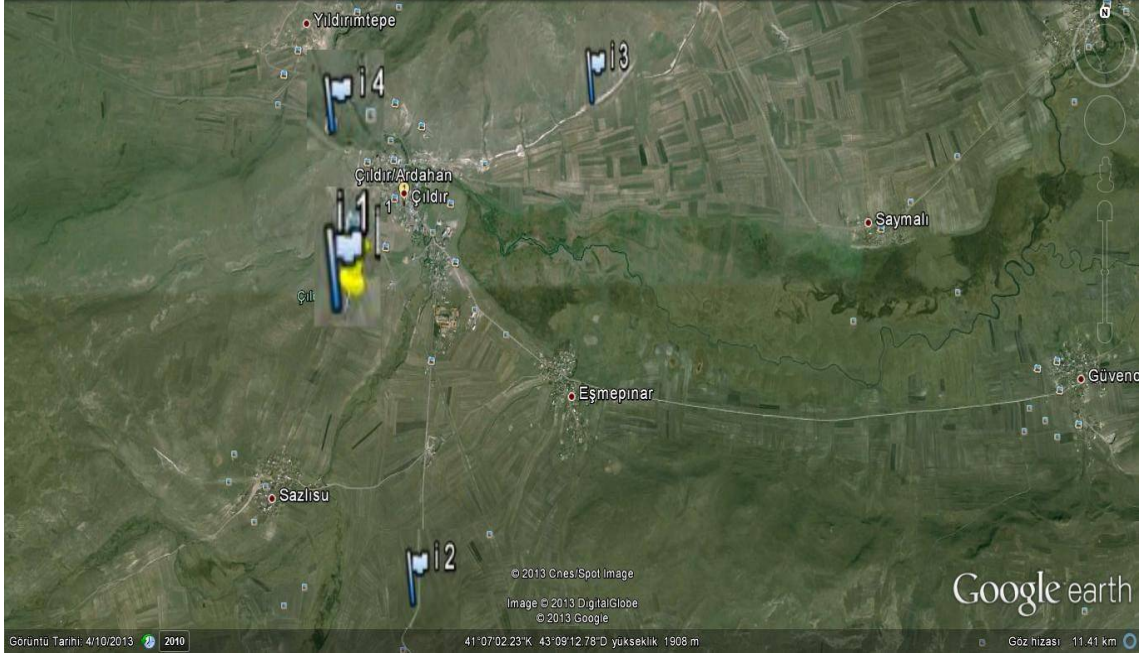
toprak numuneleri mikserle, toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen toprak numuneleri, 100 ml hacimli, 65x55 mm ebatlı, darası alınmış vida kapaklı şeffaf patolojik numune kaplarına yerleştirildi ve toprak numunelerinin her biri hassas teraziyle tartılarak, ağırlıkları kilogram cinsinden kaydedildi. Toprak içerisinde bulunan; Toryum, Radyum ve bunların bozunma ürünlerinin dengeye gelmesini sağlamak amacıyla kapların ağız kısmı hava geçirmeyecek şekilde sıkıca kapatılmış ve yaklaşık kırk günlük süreyle bekletilmiştir.

3.2.2. Ölçüm Sahası

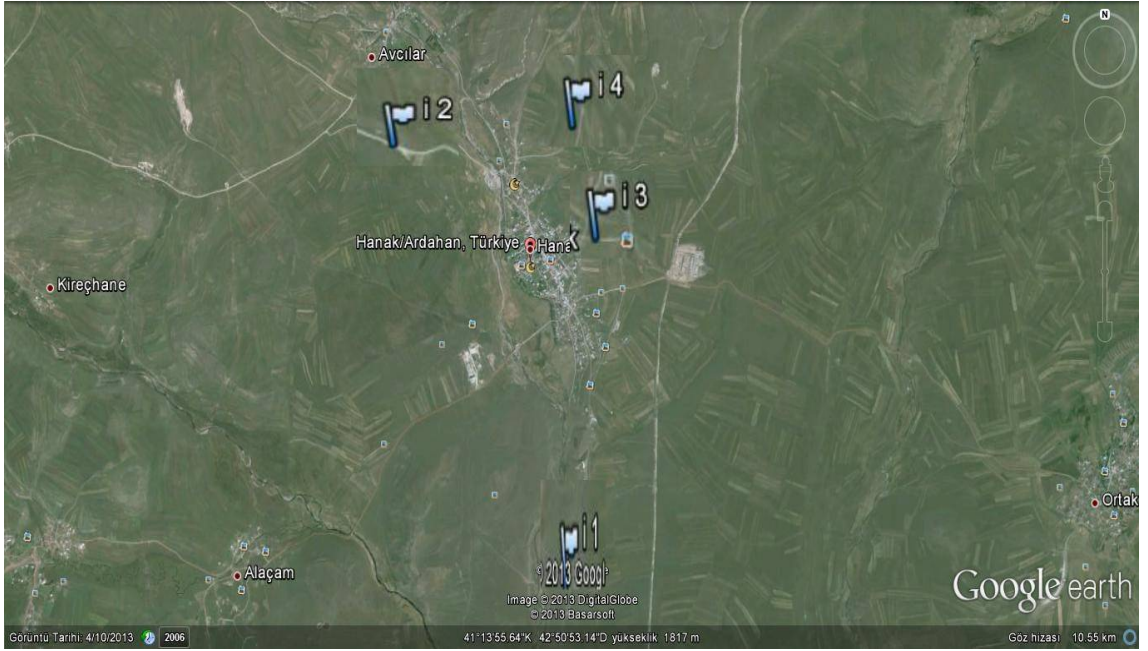
Bu çalışmada, ölçüm sahası olarak Ardahan merkez, Hanak, Damal, Posof, Çıldır ve Göle ilçe merkezleri ve çevresi seçilmiştir ve toprak özellikleri Ek 1’de verilmiştir. Resim (3.2-3.7)’de mavi imleçle işaretlenen noktalardan toprak numunelerinin alındığı istasyonları göstermektedir. Örnekleme noktaları, GPS (global position system) ile belirlenmiş ve konumlar kaydedilmiştir. Örnekleme noktalarının koordinatları Ek(2-7)’de verilmiştir. Bu istasyonlardan alınan toprak örneklerinin doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak belirlenmiştir.



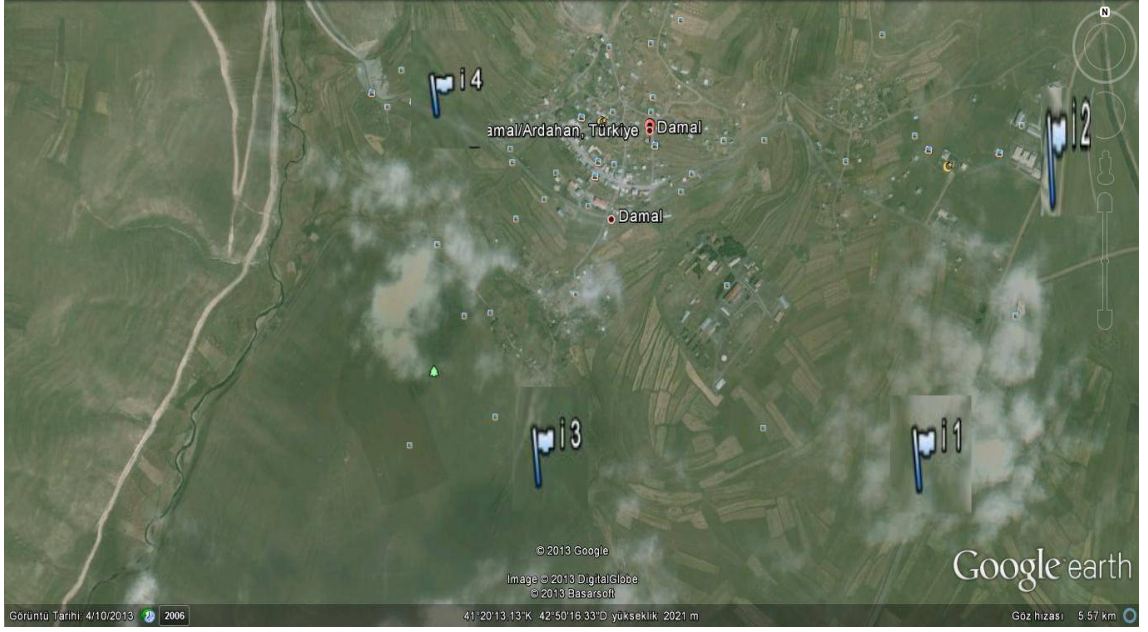
Resim 3.2: Ardahan merkeztoprak numunesi alınan istasyonlar.



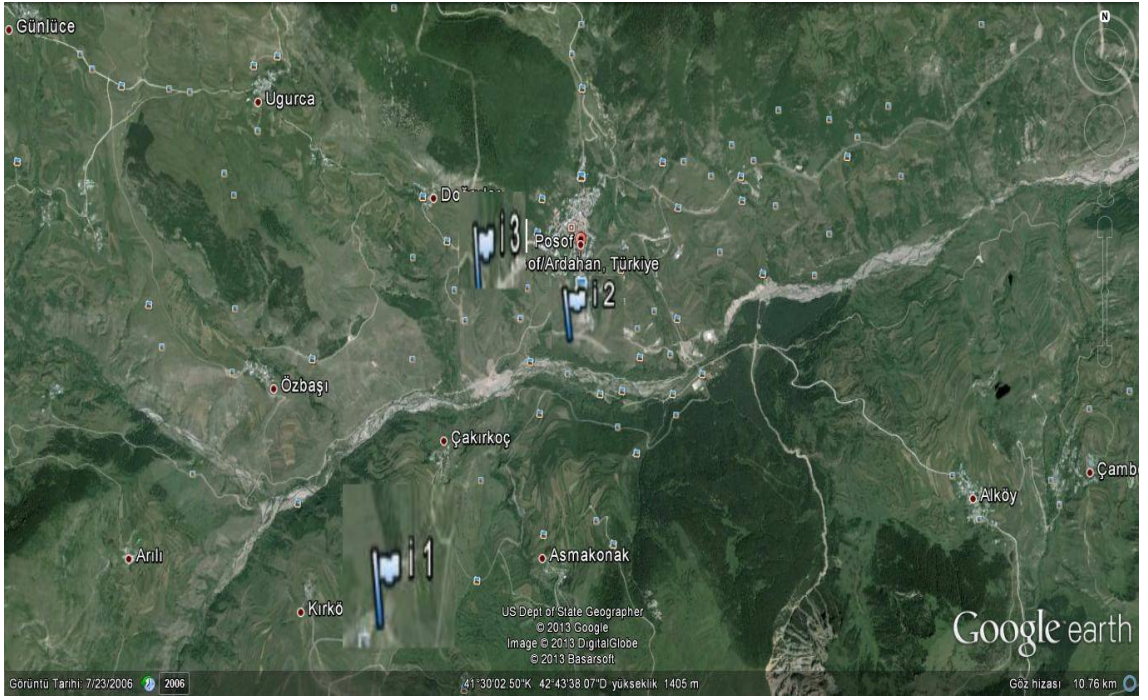
Resim 3.3: Çıldırtoprak numunesi alınan istasyonlar.



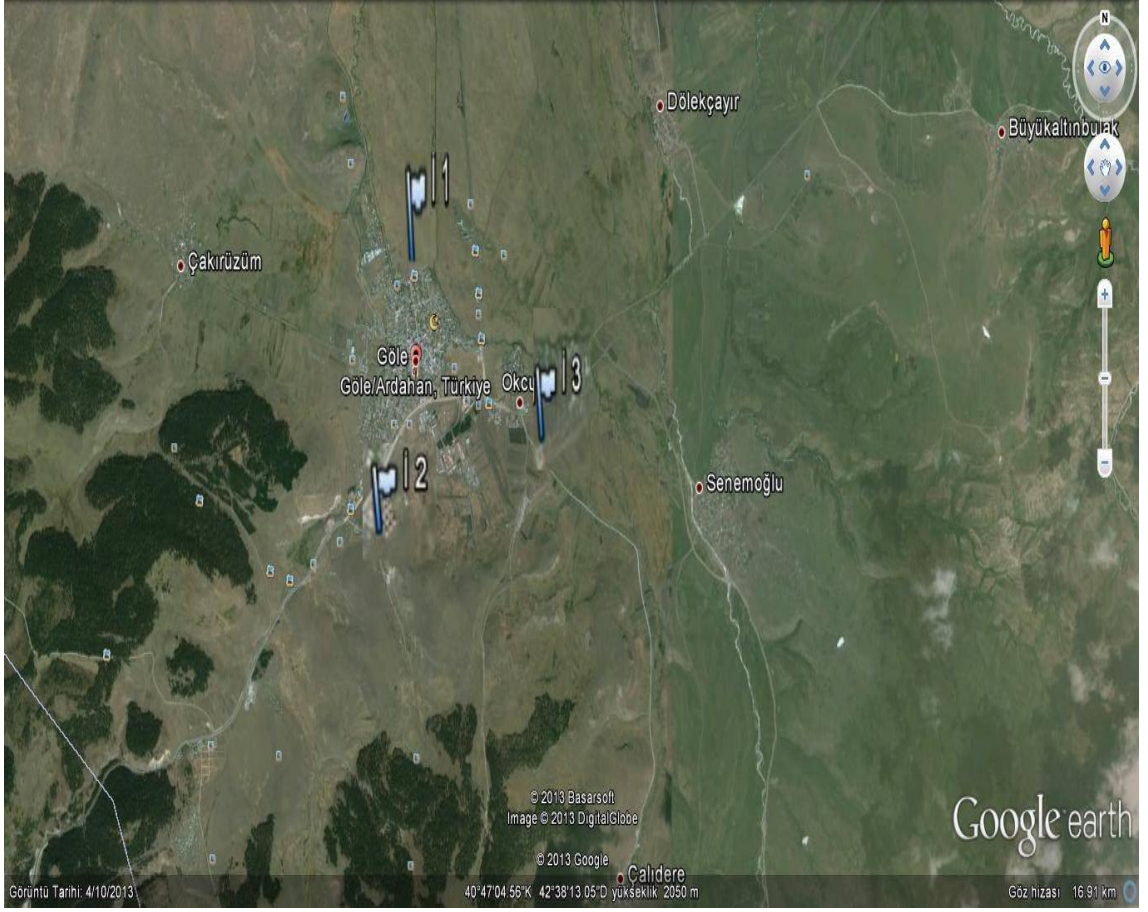
Resim 3.4: Hanaktoprak numunesi alınan istasyonlar.



Resim 3.5: Damal toprak numunesi alınan istasyonlar.



Resim 3.6: Posof toprak numunesi alınan istasyonlar.



Resim 3.7: Gole toprak numunesi alınan istasyonlar.

4.BULGULAR VE TARTIŞMALAR

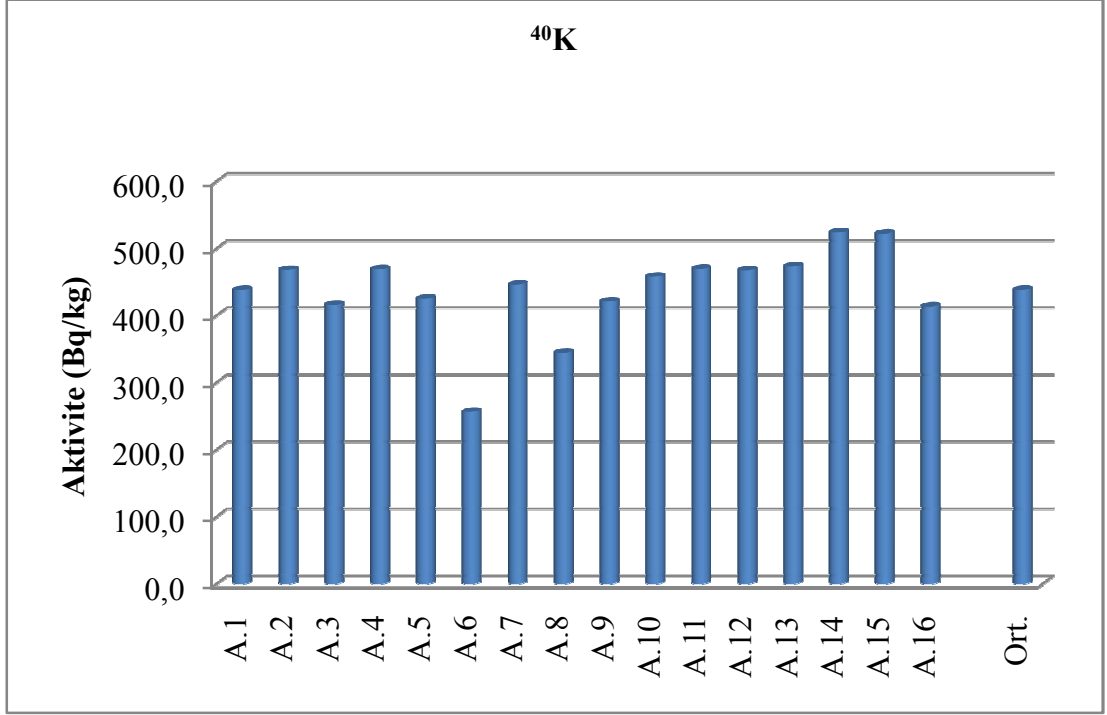
Ardahan il merkezi ile Çıldır, Hanak, Damal, Posof ve Göle ilçelerinde 2013 yıllarında toplam 35 adet toprak numunesi alınarak 2014 yılında ölçümlerin yirmi dört (24) saat boyunca NaI(TI) dedektörüne konularak ölçülmüştür. Net pik alanının oluşması için numunesiz ölçümde yapılmıştır.

Toprak numunelerinin hesaplamaları karşılaştırmalı aktivite hesabı kullanılarak hesaplanmış, bu ölçümlerde doğal radyoizotoplarla (^{40}K , ^{226}Ra (^{238}U)ve ^{232}Th) birlikte fisyon ürünü olan ^{137}Cs radyoizotopuna ait konsantrasyon da tespit edilmiştir. Bu sonuçlar; Dünya, Türkiye, DAB, Kars, Iğdır, Ardahan ve ilçeleri arasında karşılaştırılmıştır.

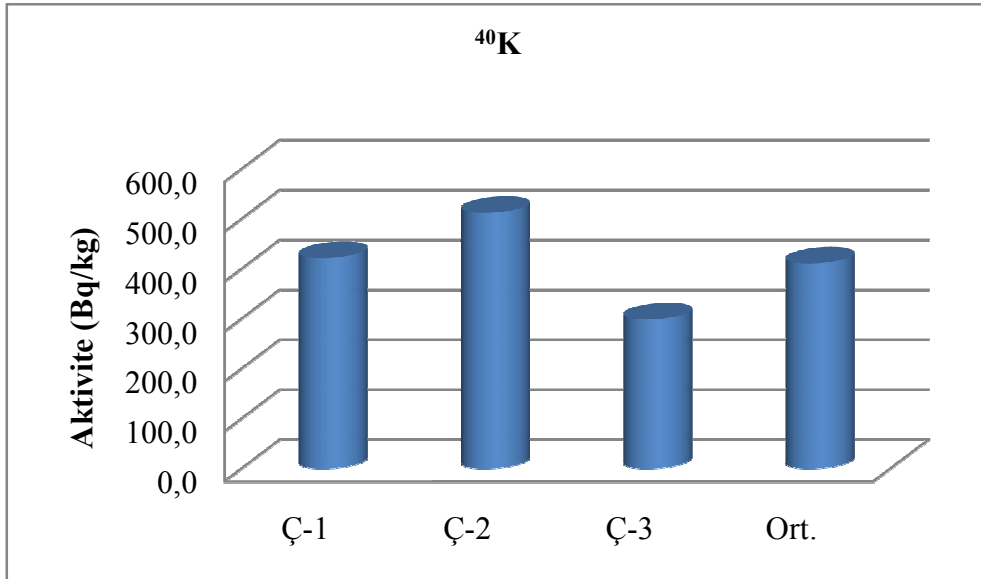
4.1.Toprak örneklerinde ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonu

^{40}K , bozunum serisine dahil olmayıp doğada tek başına bulunmaktadır. ^{40}K toprakta oldukça yüksek konsantrasyonda bulunmakta ve yarı ömrü $1,26 \times 10^9$ yıl olup, 1460 keV'de %11 bollukta bir piki vardır.

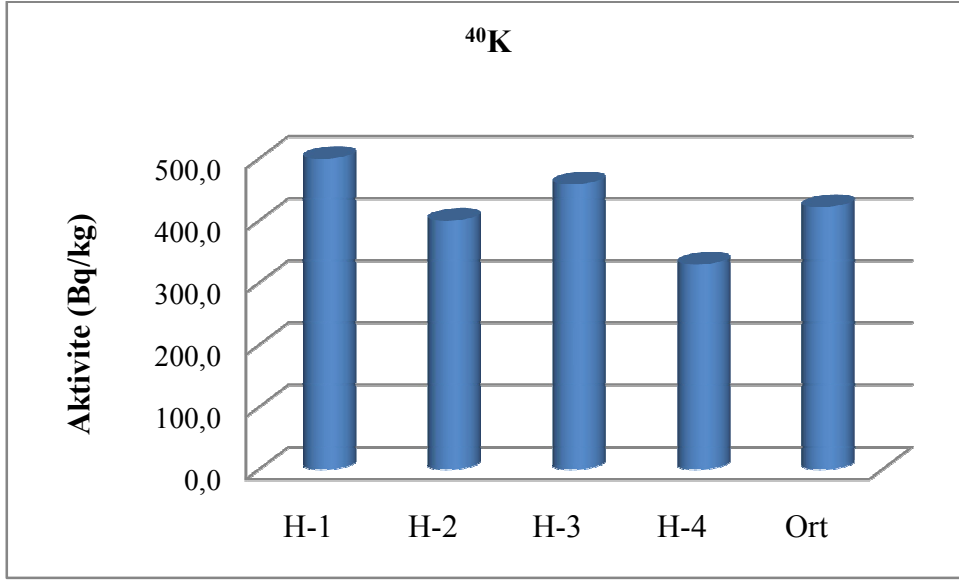
^{40}K aktivite konsantrasyonu; Ardahan Merkez toprak örneklerinde $256,2 \pm 26,4$ Bq/kg ile $523,9 \pm 21,4$ Bq/kg arasında, ortalama olarak $438,2 \pm 22,2$ Bq/kg, Çıldır ilçesinden alınan toprak örneklerinde $298,7 \pm 28,6$ Bq/kg ile $511,9 \pm 23,1$ Bq/kg arasında, ortalama olarak $410,7 \pm 24,1$ Bq/kg, Hanak ilçesi toprak örneklerinde $329,5 \pm 23,0$ Bq/kg ile $499,5 \pm 25,3$ Bq/kg arasında, ortalama olarak $421,9 \pm 25,2$ Bq/kg, Damal ilçesi toprak örneklerinde $285,7 \pm 25,9$ Bq/kg ile $667 \pm 27,0$ Bq/kg ortalama olarak $441,9 \pm 28,4$ Bq/kg, Posof ilçesi toprak örneklerinde $401,8 \pm 28,1$ Bq/kg ile $621,3 \pm 25,3$ Bq/kg arasında, ortalama olarak $490,0 \pm 26,7$ Bq/kg, Göle ilçesi toprak örneklerinde $359,3 \pm 19,3$ Bq/kg ile $424,5 \pm 22,7$ Bq/kg arasında, ortalama olarak $397,2 \pm 24,1$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı verilmektedir.



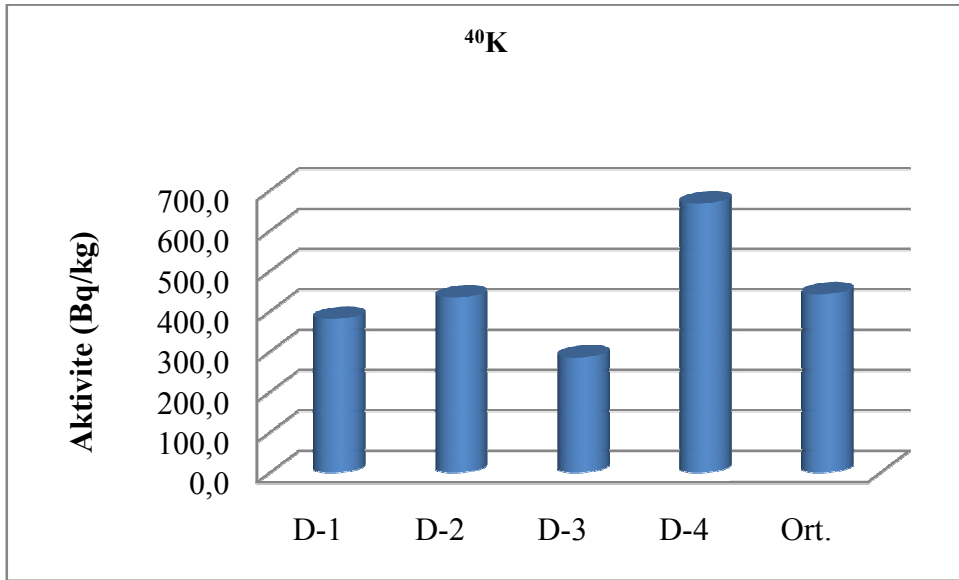
Şekil 4.1: Ardahan Merkez toprak örneklerindeki ⁴⁰Kaktivite dağılımı.



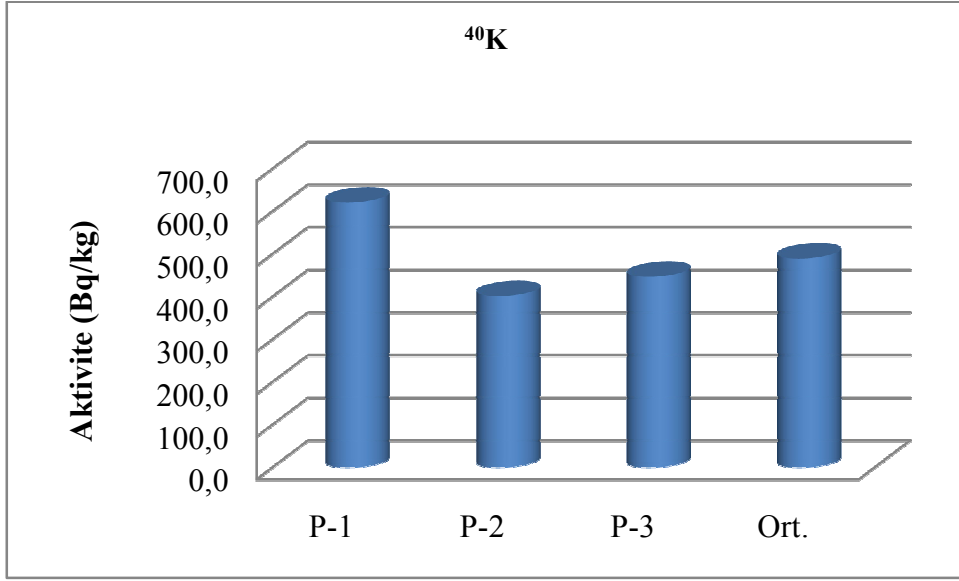
Şekil 4.2: Çıldırtoprak örneklerindeki ⁴⁰Kaktivite dağılımı.



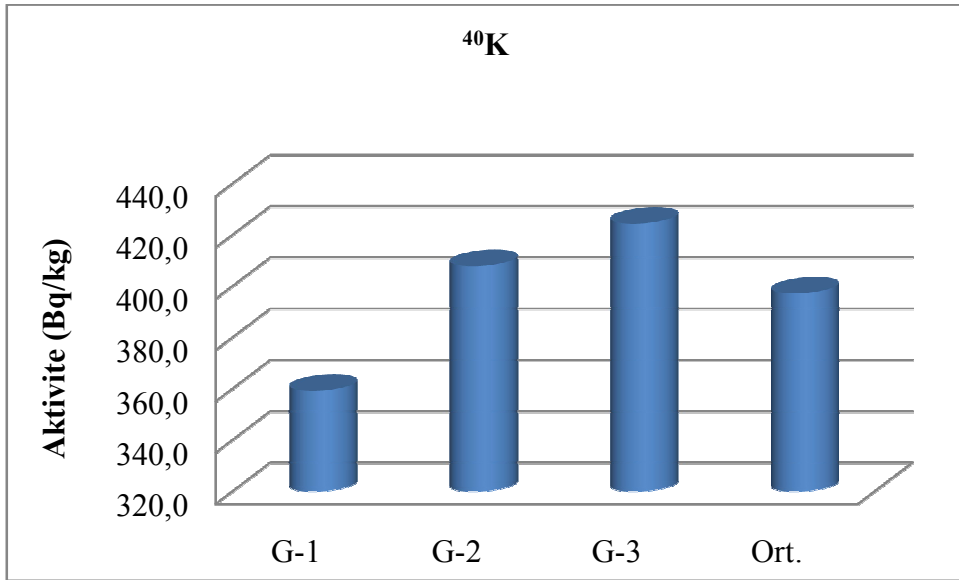
Şekil 4.3: Hanak toprak örneklerindeki ⁴⁰Kaktivite dağılımı.



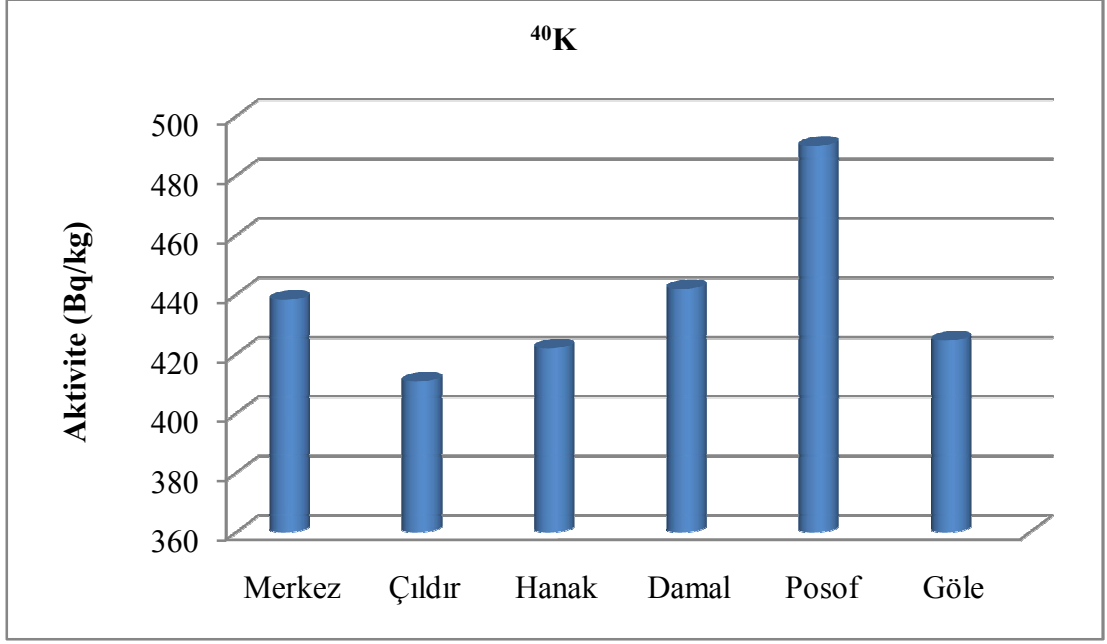
Şekil 4.4: Damal toprak örneklerindeki ⁴⁰Kaktivite dağılımı.



Şekil 4.5: Posof toprak örneklerindeki ⁴⁰K aktivite dağılımı.



Şekil 4.6: Göletoprak örneklerindeki ⁴⁰K dağılımı.

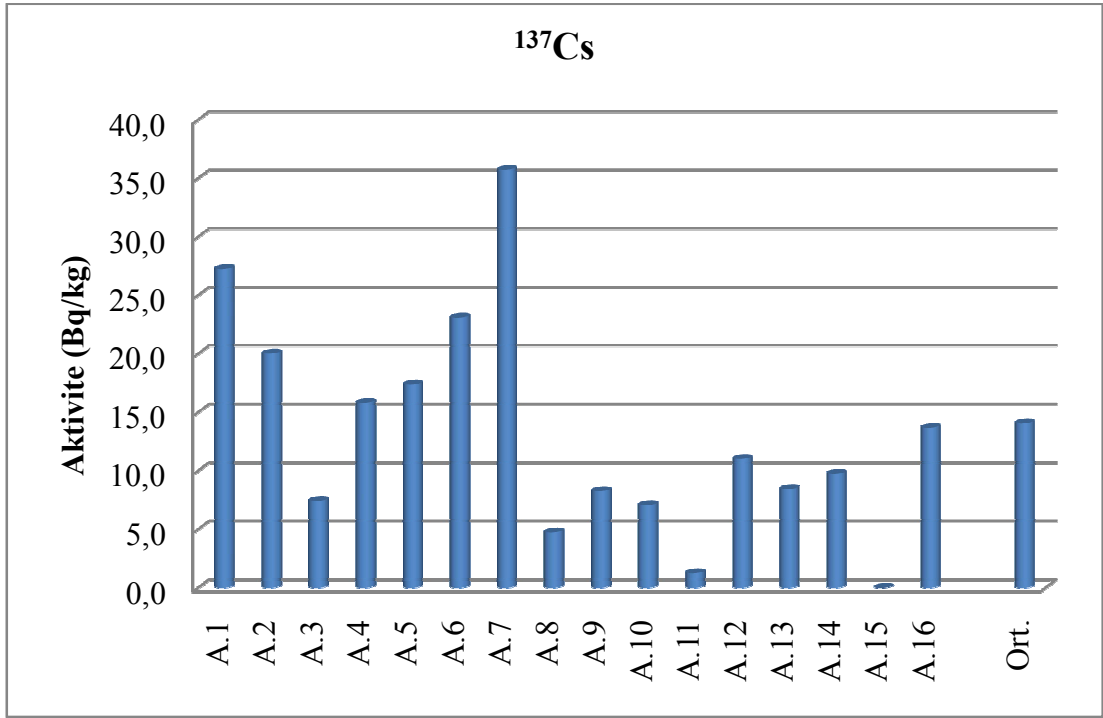


Şekil 4.7: Ardahan Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof, Göle toprak örneklerindeki ^{40}K dağılımı.

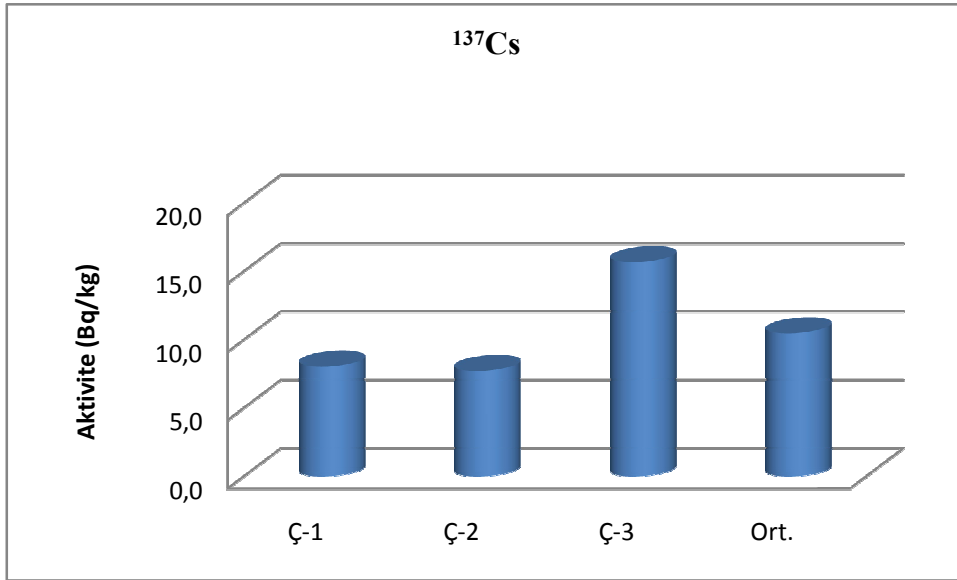
4.2. Toprak örneklerinde ^{137}Cs 'in aktivite konsantrasyonu

^{137}Cs fisyon ürünü olup tabiatta doğal halde bulunmamaktadır. Yapılan nükleer deneyler, patlamalar yada radyoaktif serpintiler zamanla yağmur sularıyla toprağı derinliklerine inebilir ve çevreye yayılabilmektedir. ^{137}Cs yarı ömrü 30,17 yıldır ve 662 keV pikte % 85 bollukta bir piki vardır.

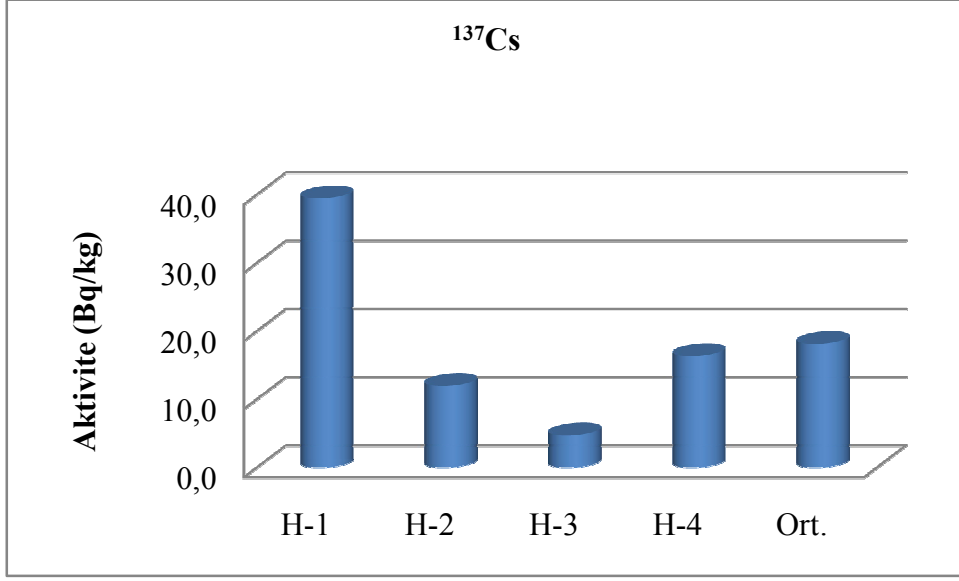
^{137}Cs aktivite konsantrasyonu; Ardahan merkezden alınan toprak örneklerinde 1,3±0,6 Bq/kg ile 35,7±1,1 Bq/kg arasında, ortalama olarak 14,1±0,8 Bq/kg, Çıldır ilçesinden alınan topraklarda 7,7±0,7 Bq/kg ile 15,7±0,9 Bq/kg arasında, ortalama 10,5 ± 0,7 Bq/kg, Hanak ilçesinden alınan topraklarda 4,7±0,8 Bq/kg ile 38,5±1,2 Bq/kg arasında, ortalama 18,1±0,9 Bq/kg, Damal ilçesinden alınan topraklarda 19,8±0,9 Bq/kg ile 25,0±1,0 Bq/kg arasında, ortalama 21,5 ± 1,0 Bq/kg, Posof ilçesinden alınan topraklarda 3,0±0,9 Bq/kg ile 21,7±1,6 Bq/kg arasında, ortalama olarak 11,0±1,1 Bq/kg, Göle ilçesinden alınan topraklarda 18,0 ± 0,9 Bq/kg ile 27,7±0,9 Bq/kg arasında, ortalama 22,2±0,9 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13 deki çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerinde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun ilçelere göre dağılımı verilmiştir.



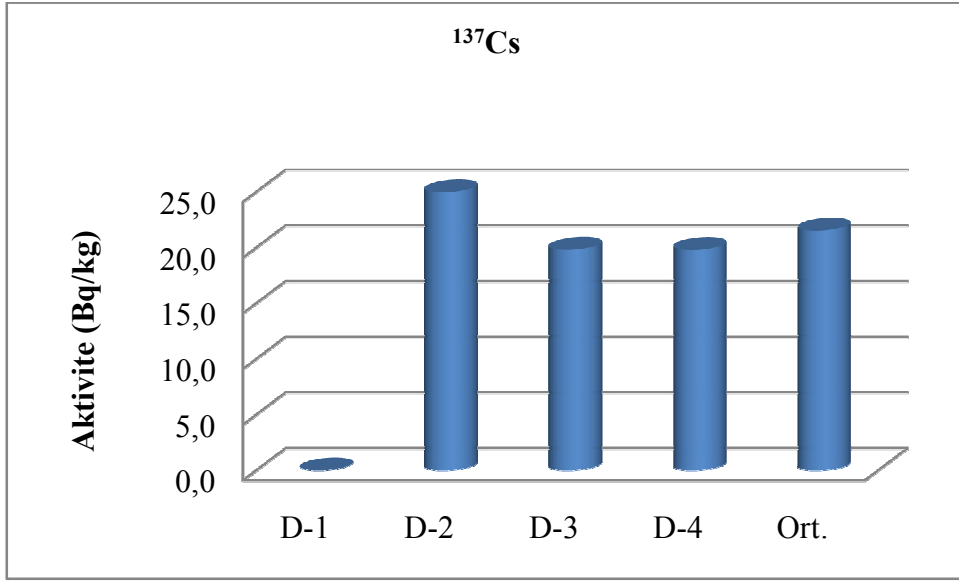
Şekil 4.8: Ardahan Merkez toprak örneklerindeki¹³⁷Csaktivite dağılımı.



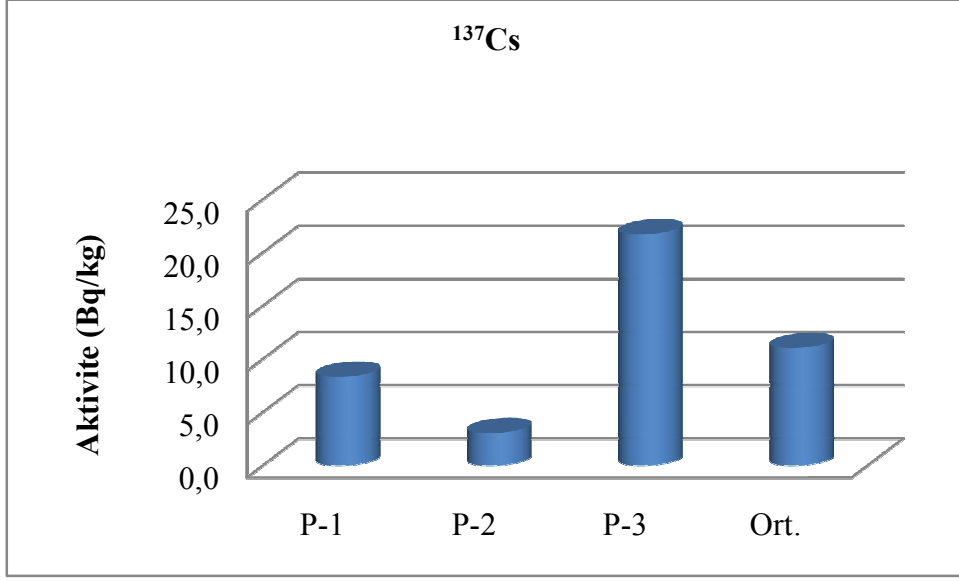
Şekil 4.9: Çıldır toprak örneklerindeki¹³⁷Csaktivite dağılımı.



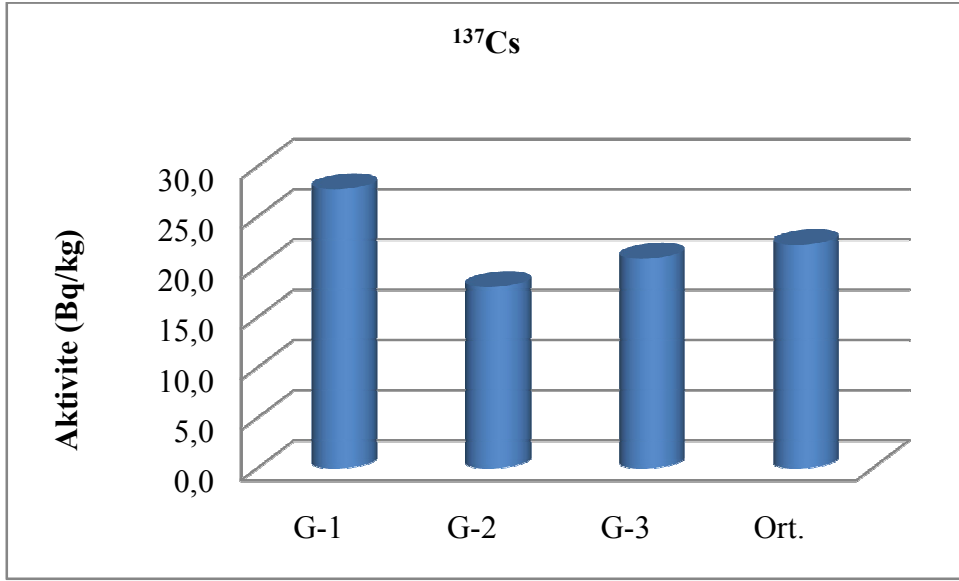
Şekil 4.10: Hanak toprak örneklerindeki ^{137}Cs aktivite dağılımı.



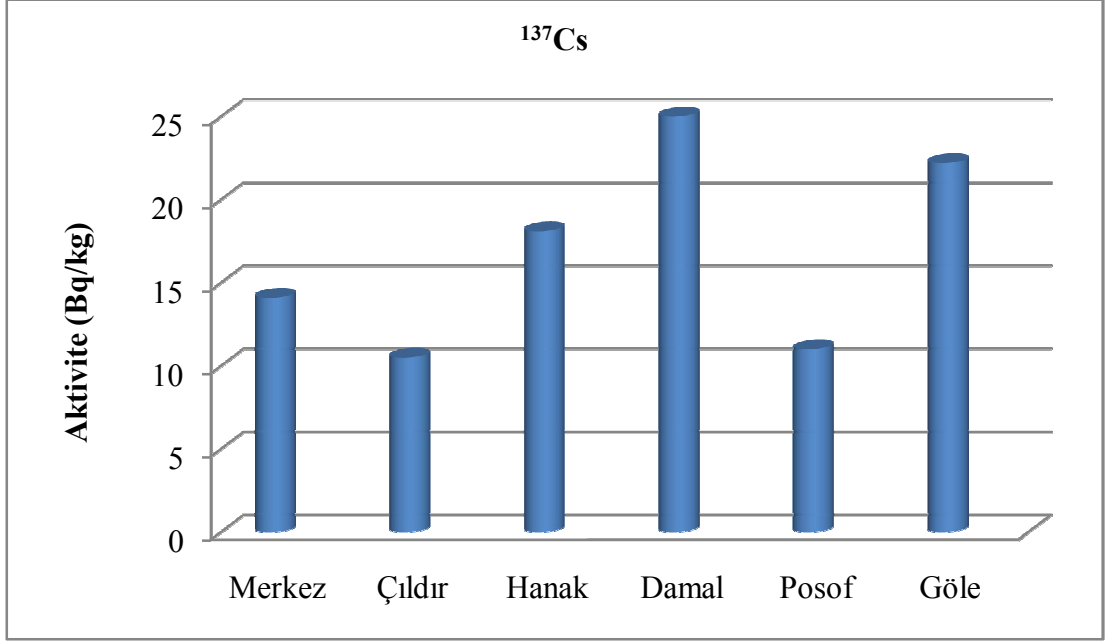
Şekil 4.11: Ardahan Damal bölgesindeki ^{137}Cs aktivite dağılımı.



Şekil 4.12: Posoftoprak örneklerindeki ^{137}Cs aktivite dağılımı.



Şekil 4.13: Göle toprak örneklerindeki ^{137}Cs aktivite dağılımı.



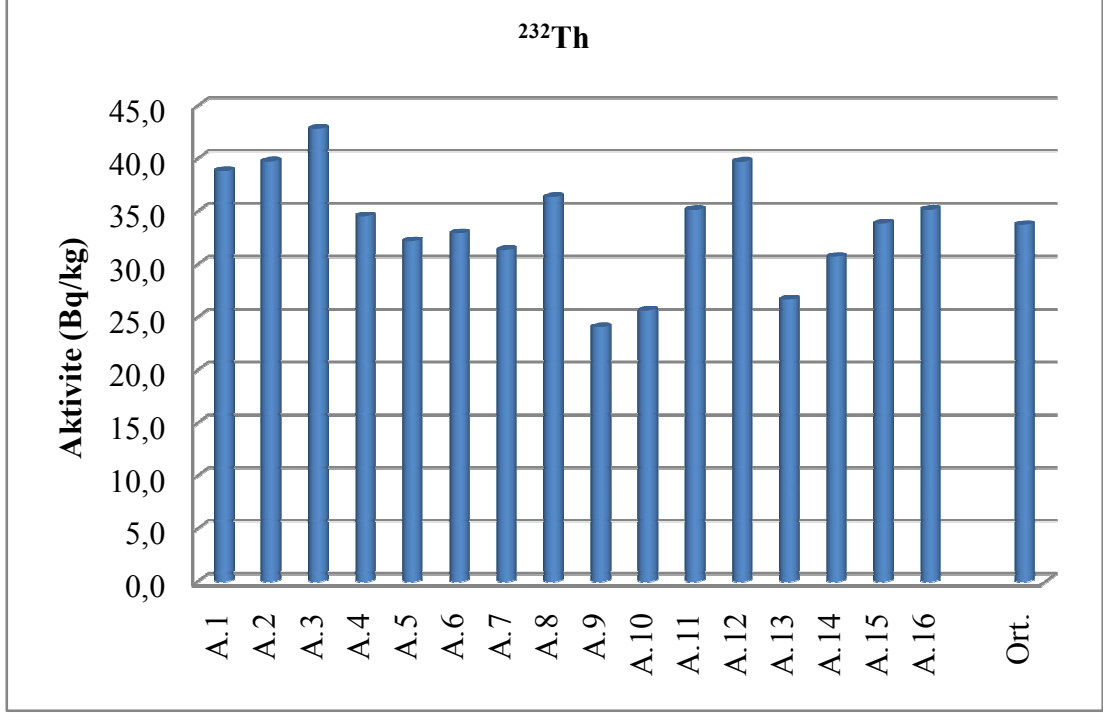
Şekil 4.14: Ardahan Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof, Göle toprak örneklerindeki ^{137}Cs dağılımı.

4.3. Toprak örneklerinde ^{232}Th 'in aktivite konsantrasyonu

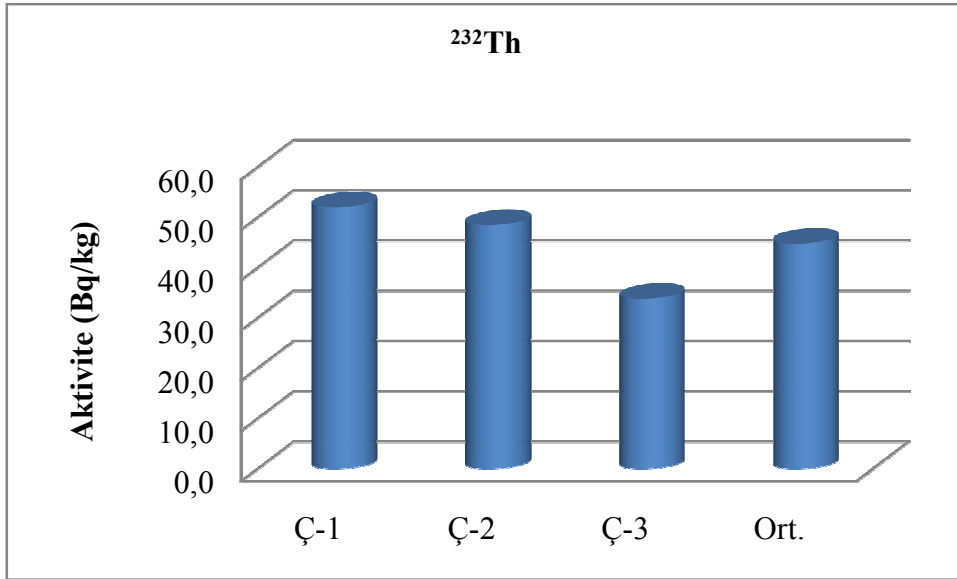
^{232}Th 'in radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken, bozunum serisindeki; ^{208}Tl aktivite farklı enerjideki piklerin konsantrasyonlarının ortalaması alınmıştır. ^{208}Tl , ^{232}Th 'nin bozunum ürünü olup, 278 keV, 583 keV, 860 keV ve 2615 keV arasında pikleri vardır. Bolluklar sırasıyla %2.3, % 30.7, % 4.6 ve % 35.6'dır. Bu çalışmamızda ^{208}Tl 'nin, 2615 keV'deki pikinden yararlanılmıştır.

^{232}Th aktivite konsantrasyonu; Ardahan Merkez deki toprak örneklerinde 24,1 \pm 5,5 Bq/ kg ile 42,8 \pm 5,3 Bq/kg arasında, ortalama 33,7 \pm 5,6 Bq/kg, Çıldır ilçesinden alınan toprak örneklerinde 33,8 \pm 8,2 Bq/kg ile 52,0 \pm 7,1Bq/kg arasında, ortalama 44,8 \pm 7,7 Bq/kg, Hanak ilçesinden alınan toprak örneklerinde 33,5 \pm 9,1 Bq/kg ile 46,1 \pm 7,6Bq/kg arasında, ortalama 38,0 \pm 8,3Bq/kg, Damal ilçesinden alınan toprak örneklerinde 39,7 \pm 9,4 Bq/ kg ile 55,5 \pm 9,0 Bq/kg arasında, ortalama 48,3 \pm 8,9 Bq/kg, Posof ilçesinden alınan toprak örneklerinde 11,8 \pm 7,8 Bq/ kg ile 27,6 \pm 7,9 Bq/kg arasında, ortalama 21,9 \pm 8,2 Bq/kg, Göle ilçesinden alınan toprak örneklerinde 40,4 \pm 6,6 Bq/kg ile 44,5 \pm 7,8 Bq/kg arasında, ortalama 42,1 \pm 7,5 Bq/kg olarak tespit

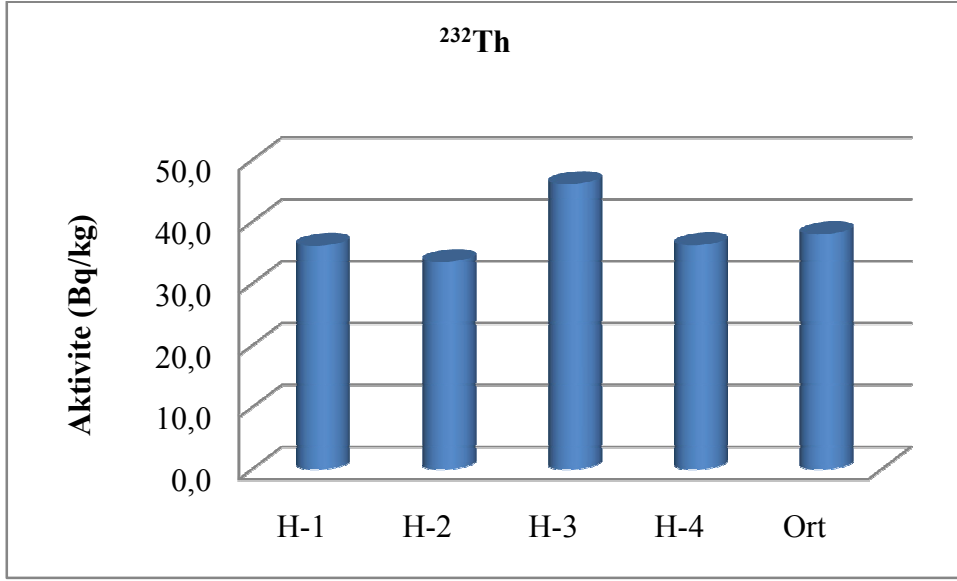
edilmiştir.Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20’ de çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerinin²³²Thaktivite konsantrasyonunun ilçelere göre dağılımı verilmiştir.



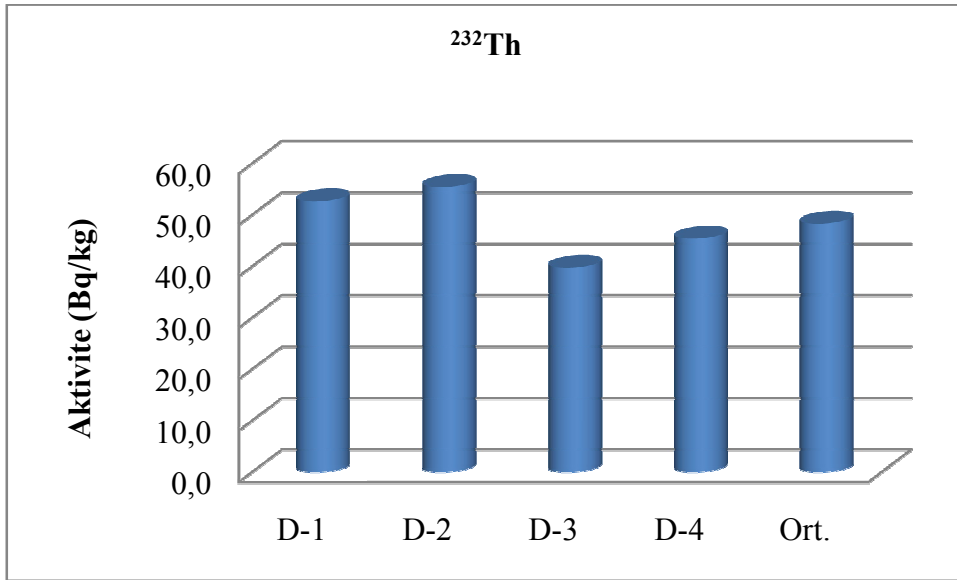
Şekil 4.15 : Ardahan Merkeztoprak örneklerindeki²³²Thaktivite dağılımı.



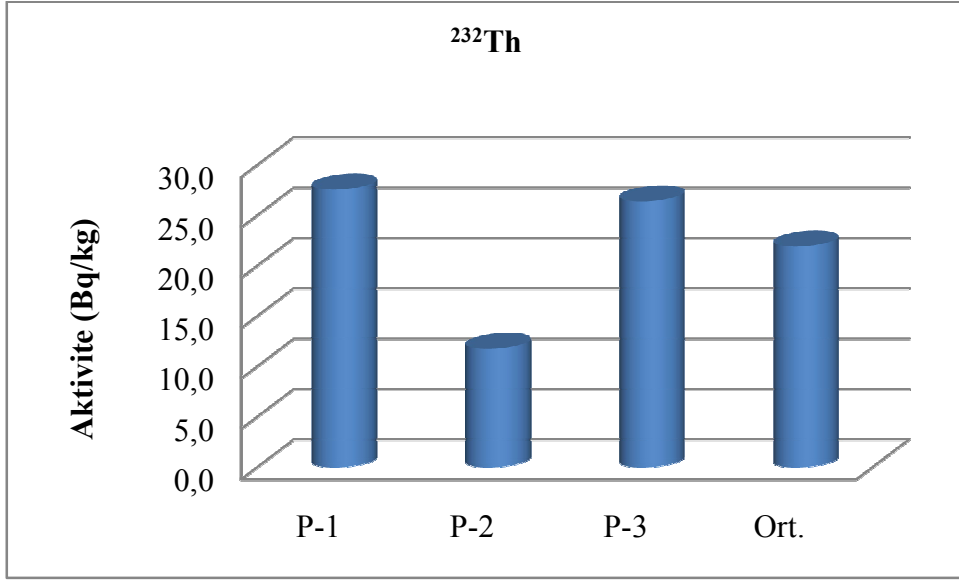
Şekil 4.16 : Çıldır toprak örneklerindeki²³²Thaktivite dağılımı.



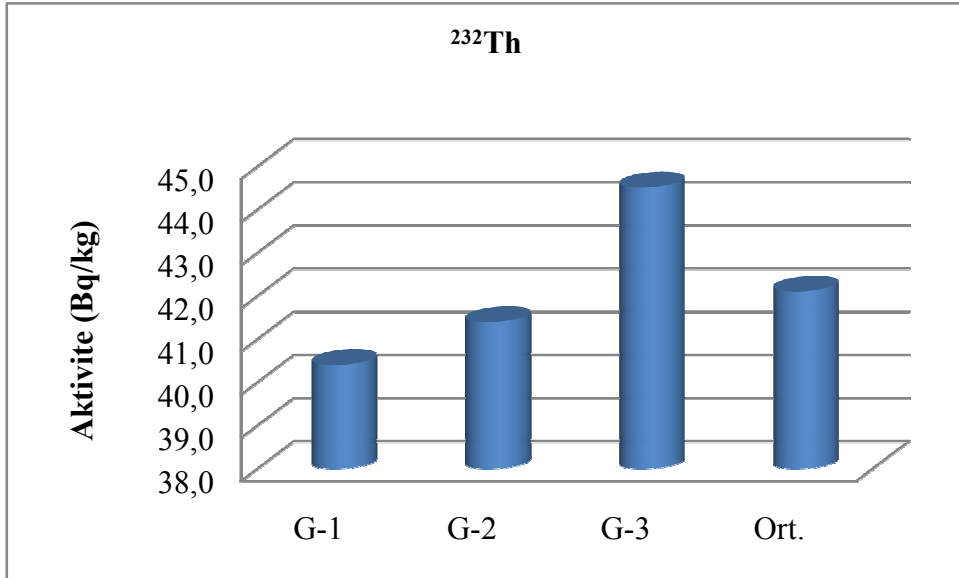
Şekil 4.17 : Hanaktoprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite dağılımı.



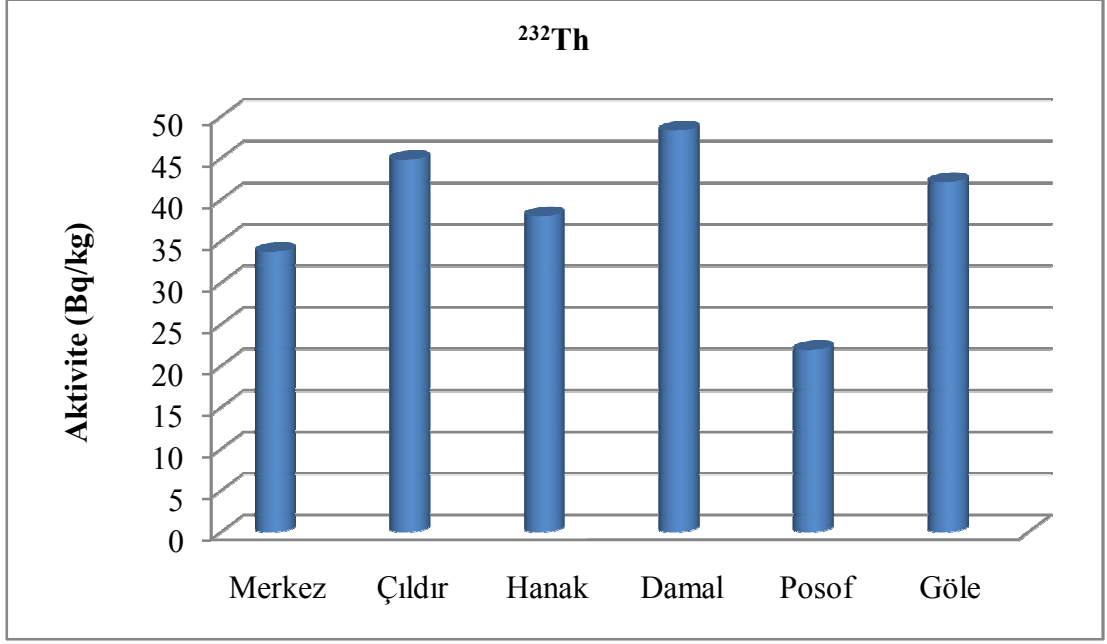
Şekil 4.18 : Damaltoprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite dağılımı.



Şekil 4.19 : Posoftoprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite dağılımı.



Şekil 4.20 : Göletoprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite dağılımı.

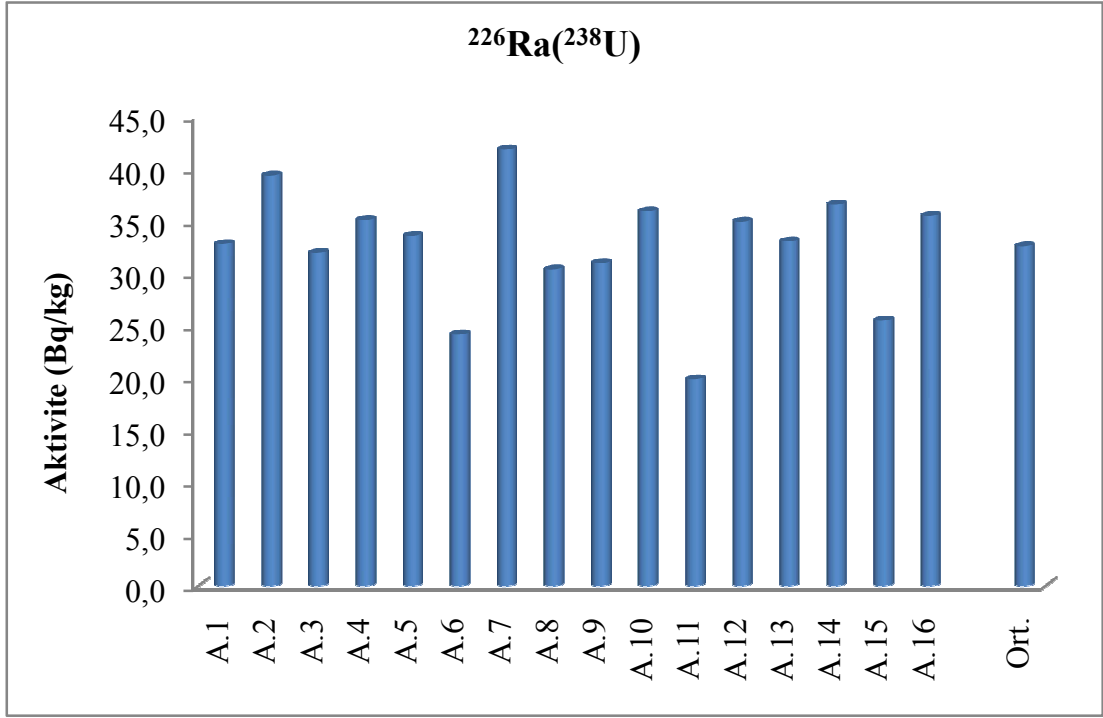


Şekil 4.21: Ardahan Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof, Göle toprak örneklerindeki ^{232}Th dağılımı.

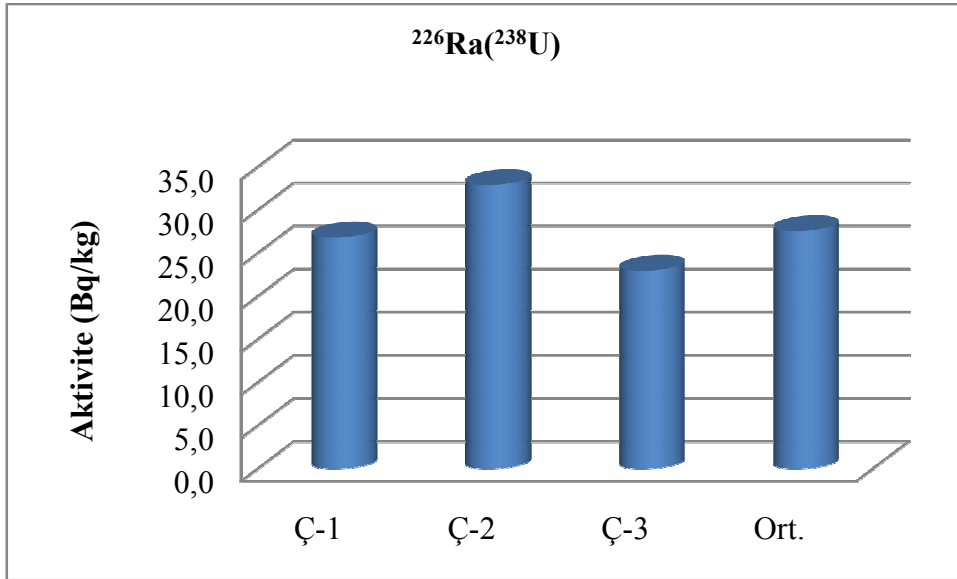
4.4. Toprak örneklerinde ^{226}Ra (^{238}U)'in aktivite konsantrasyonu

Çalışmamızda ^{226}Ra (^{238}U)' un 609 keV, 1120 keV ve 1764 keV' deki piklerinden yararlanıldı. ^{226}Ra (^{238}U)' un aktivite konsantrasyonu; Ardahan Merkez'deki toprak örneklerinde $19,8 \pm 5,9$ Bq/kg ile $41,8 \pm 6,4$ Bq/kg arasında, ortalama $32,6 \pm 6,4$ Bq/kg, Çıldır ilçesindeki toprak örneklerinde $23,0 \pm 6,6$ Bq/kg ile $32,9 \pm 6,1$ Bq/kg arasında, ortalama $27,6 \pm 6,2$ Bq/kg, Hanak ilçesi toprak örneklerinde $29,3 \pm 7,2$ Bq/kg ile $38,7 \pm 7,1$ Bq/kg arasında ortalama $30,7 \pm 6,7$ Bq/kg, Damal ilçesinden alınan toprak örneklerinde $25,4 \pm 7,8$ Bq/kg ile $48,6 \pm 7,4$ Bq/kg arasında ortalama $36,6 \pm 7,3$ Bq/kg, Posof ilçesinden alınan toprak örneklerinde $7,9 \pm 4,8$ Bq/kg ile $22,8 \pm 6,3$ Bq/kg arasında ortalama $14,0 \pm 6,1$ Bq/kg, Göle ilçesinden alınan toprak örneklerinde $11,5 \pm 5,1$ Bq/kg ile $36,5 \pm 6,7$ Bq/kg arasında ortalama $23,9 \pm 6,2$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 ve 4.27'de çalışma

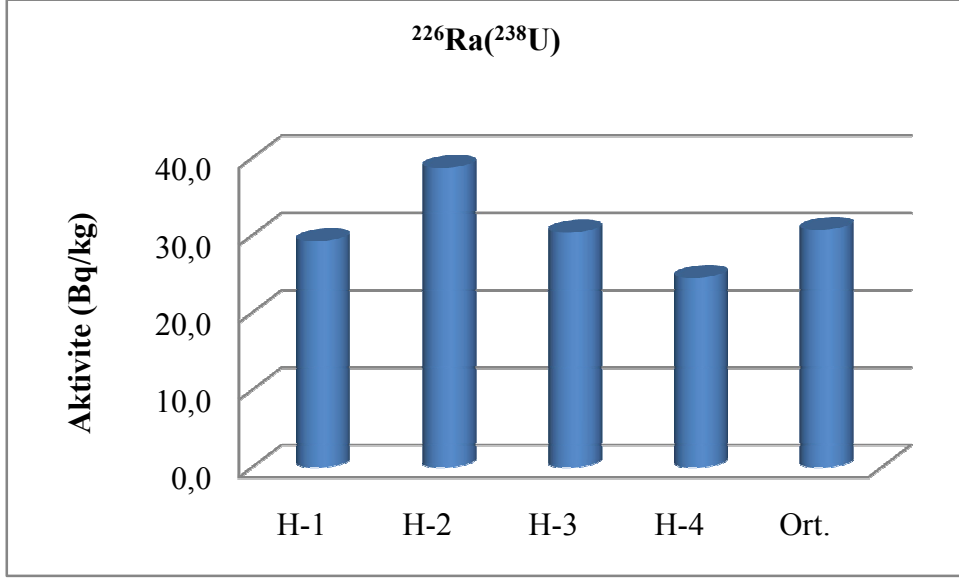
bölgesinden alınan toprak örneklerinin $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı verilmiştir.



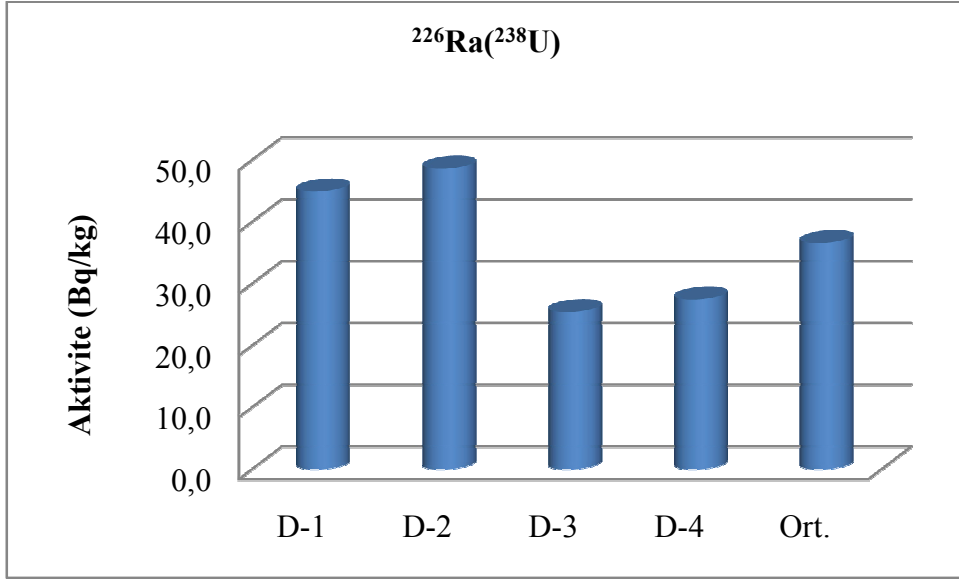
Şekil 4.22: Ardahan Merkez toprak örneklerindeki $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ aktivite dağılımı.



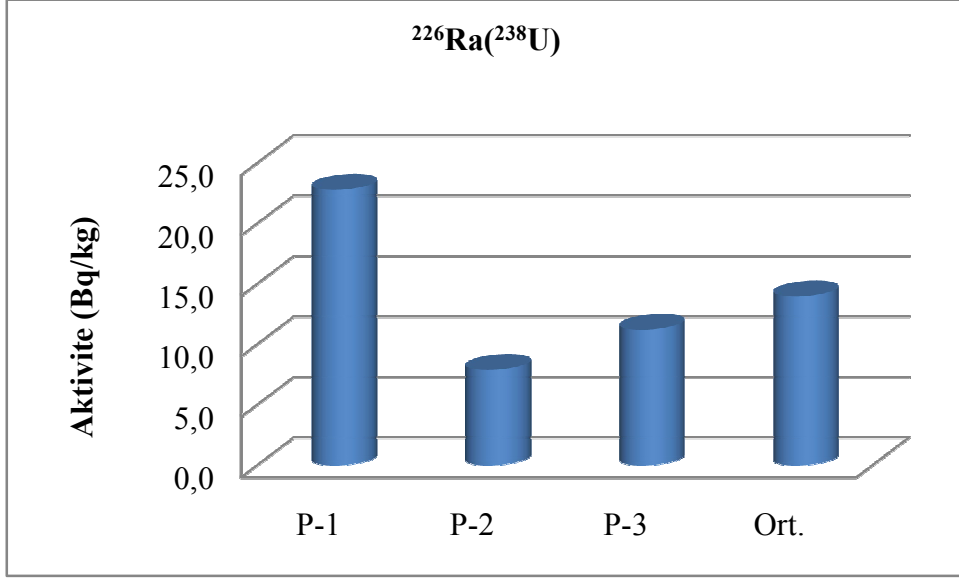
Şekil 4.23: Çıldır toprak örneklerindeki $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ aktivite dağılımı.



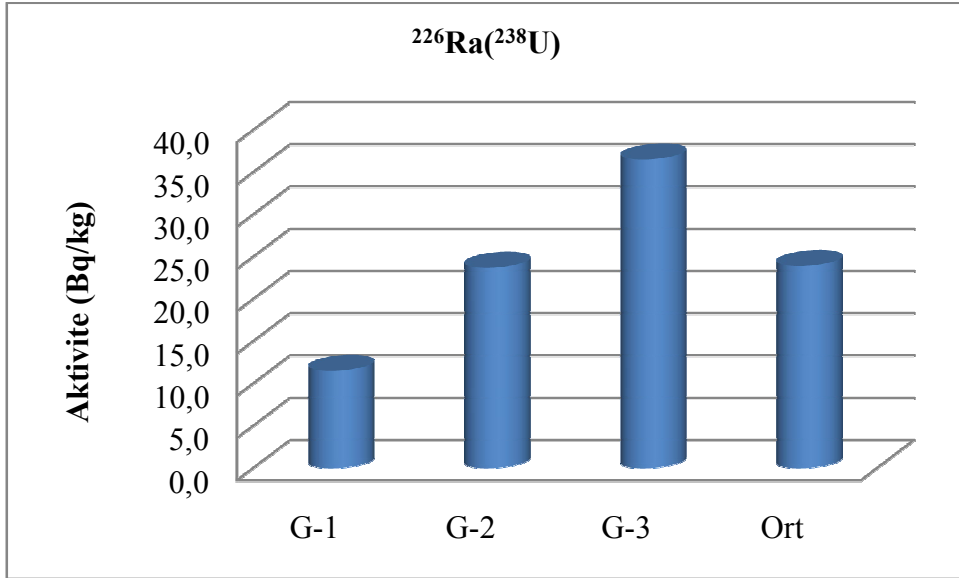
Şekil 4.24: Çıldirtoprak örneklerindeki $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ aktivite dağılımı.



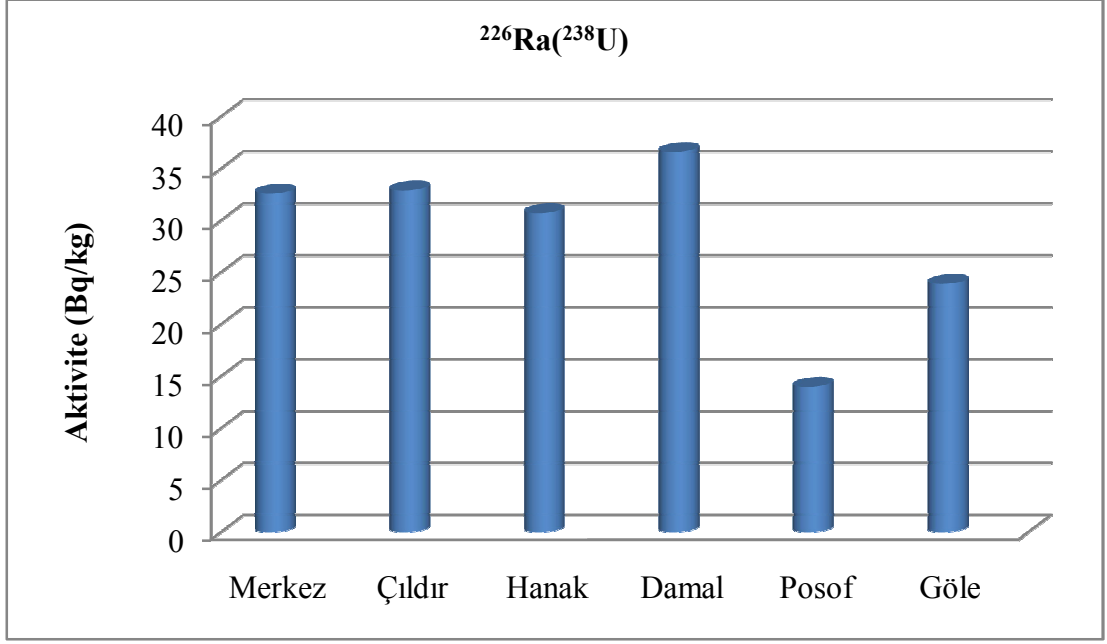
Şekil 4.25: Damal toprak örneklerindeki $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ aktivite dağılımı.



Şekil 4.26: Posof toprak örneklerindeki $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ aktivite dağılımı.



Şekil 4.27: Göletoprak örneklerindeki $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ aktivite dağılımı.



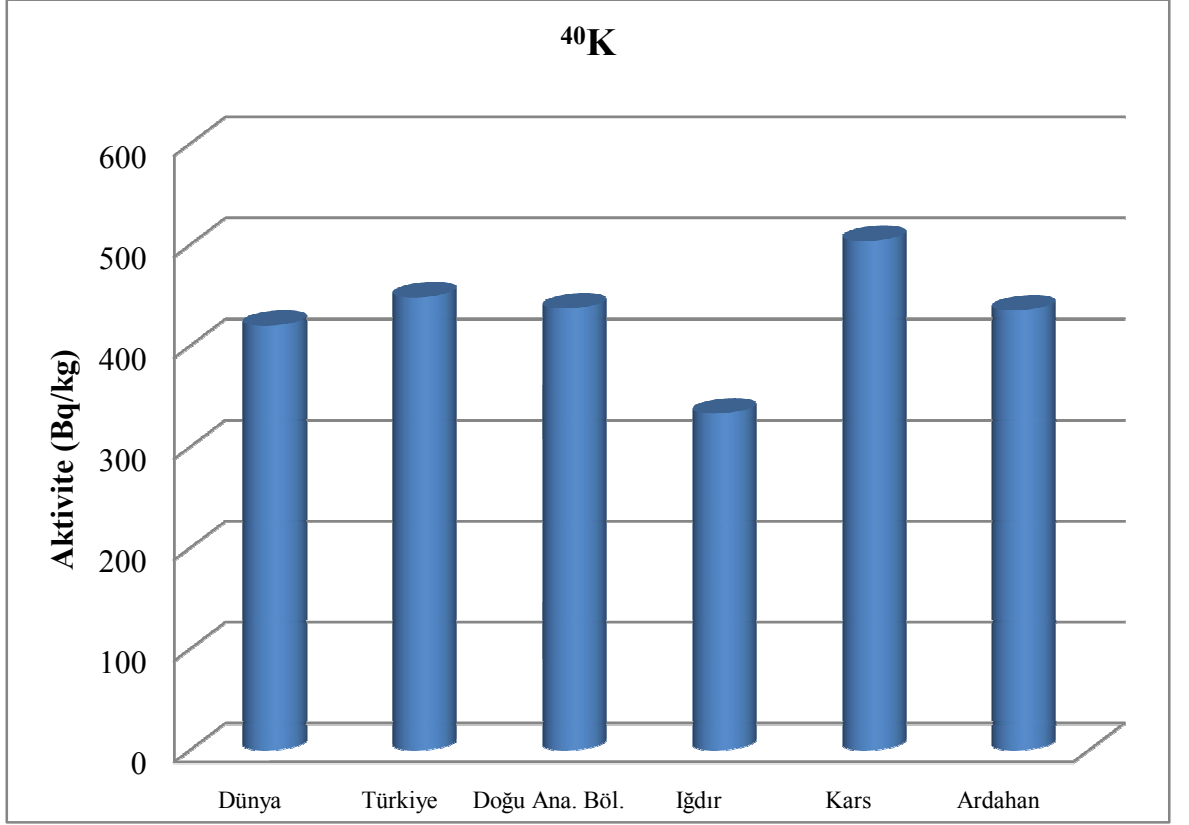
Şekil 4.28: Ardahan Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof, Göle toprak örneklerindeki $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ dağılımı.

4.5. Sonuçların Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi, Kars ve Iğdır İllerile Kıyaslanması

Ölçümler sonucunda ^{40}K ' in ortalama radyoaktivite konsantrasyonu Ardahan Merkez için $438,2 \pm 22,2$ Bq/kg, Çıldır için $410,7 \pm 24,1$ Bq/kg, Hanak ortalaması $421,9 \pm 25,2$ Bq/kg, Damal için $441,9 \pm 28,4$ Bq/kg, Posof için $490,0 \pm 26,7$ Bq/kg ve Göle için ise $397,2 \pm 7,3$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak, Ardahan il merkezi ve ilçelerinin ortalaması $435,1 \pm 23,9$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

^{40}K in ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun; Dünya ortalaması 420 Bq/kg, Türkiye ortalaması $448,5 \pm 7,3$ Bq/kg, Doğu Anadolu Bölgesi (DAB) ortalaması $437 \pm 15,7$ Bq/kg, Iğdır ortalaması 333 Bq/kg ve Kars ortalaması 503,8 Bq/kg'dır [48-51].

Tespitlerimizden elde ettiğimiz sonuçlar doğrultusunda, ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonları karşılaştırıldığında Şekil 4.29'de görüleceği gibi; Ardahan Merkez ve ilçelerinin sonuçları, Dünya, Türkiye ve Doğu Anadolu Bölgesi bölgesindeki sonuçlara yakın, Iğdır ili ortalamasının üstünde ve Kars ili ortalamasının altında olduğu tespit edilmiştir.

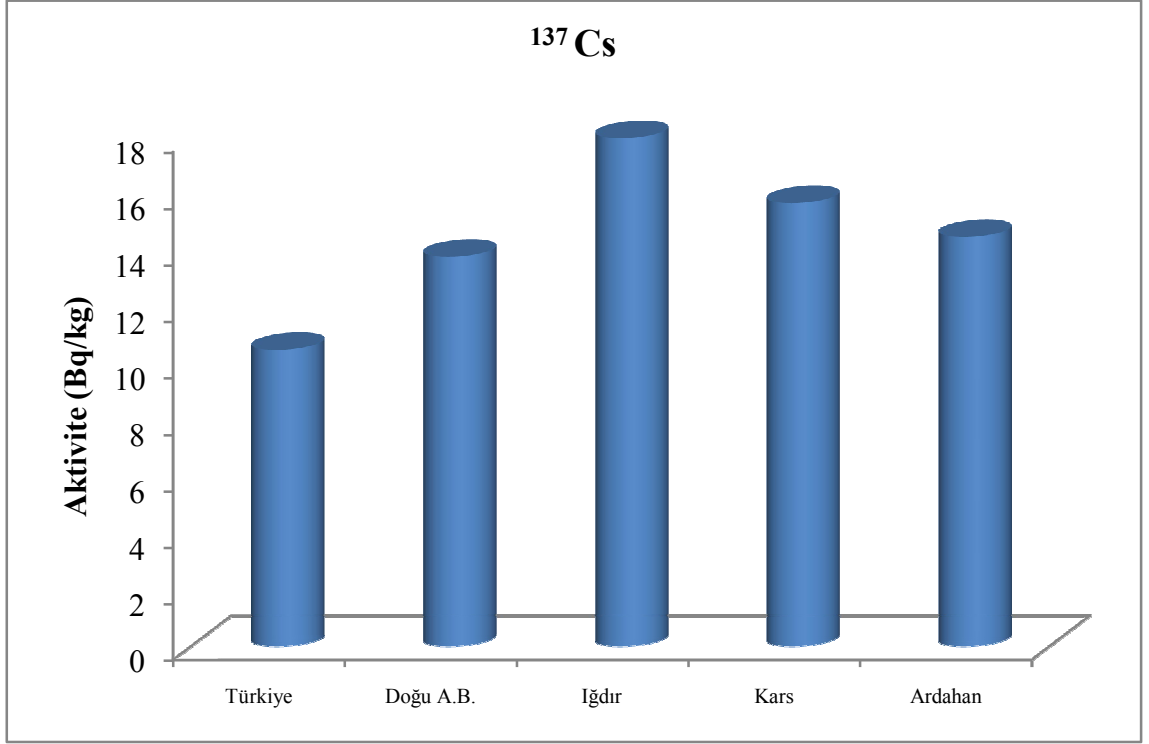


Şekil 4.29: ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonlarının sırasıyla, Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi ve Iğdır, Kars, Ardahan İllerinin ortalaması[48-51].

^{137}Cs 'nin ortalama radyoaktivite konsantrasyonu; Ardahan Merkez ortalaması $14,1 \pm 0,8$ Bq/kg, Çıldır için $10,5 \pm 0,7$ Bq/kg, Hanak için $18,1 \pm 0,9$ Bq/kg, Damal için $21,5 \pm 1,0$ Bq/kg, Posof için $11,0 \pm 1,1$ Bq/kg ve Göle için ise $22,2 \pm 0,9$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak; Ardahan il merkezi ve ilçelerinin ortalaması $14,5 \pm 1,0$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

^{137}Cs nin ortalama radyoaktivite konsantrasyonu, Türkiye ortalaması $13,4 \pm 0,8$ Bq/kg, Doğu Anadolu Bölgesi ortalaması $13,8 \pm 1,3$ Bq/kg, Iğdır ortalaması 18 Bq/kg ve Kars ortalaması 15,7 Bq/kg'dır[48-51].

Tespitlerimiz sonucunda ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonunun Şekil 4.30'den de görüldüğü gibi, Ardahan il merkezi ve ilçelerinin ortalamasını; Türkiye ile Doğu Anadolu Bölgesi ortalamalarının üstünde ve Iğdır ili ile Kars ili ortalamalarının altında olduğu tespit edilmiştir.

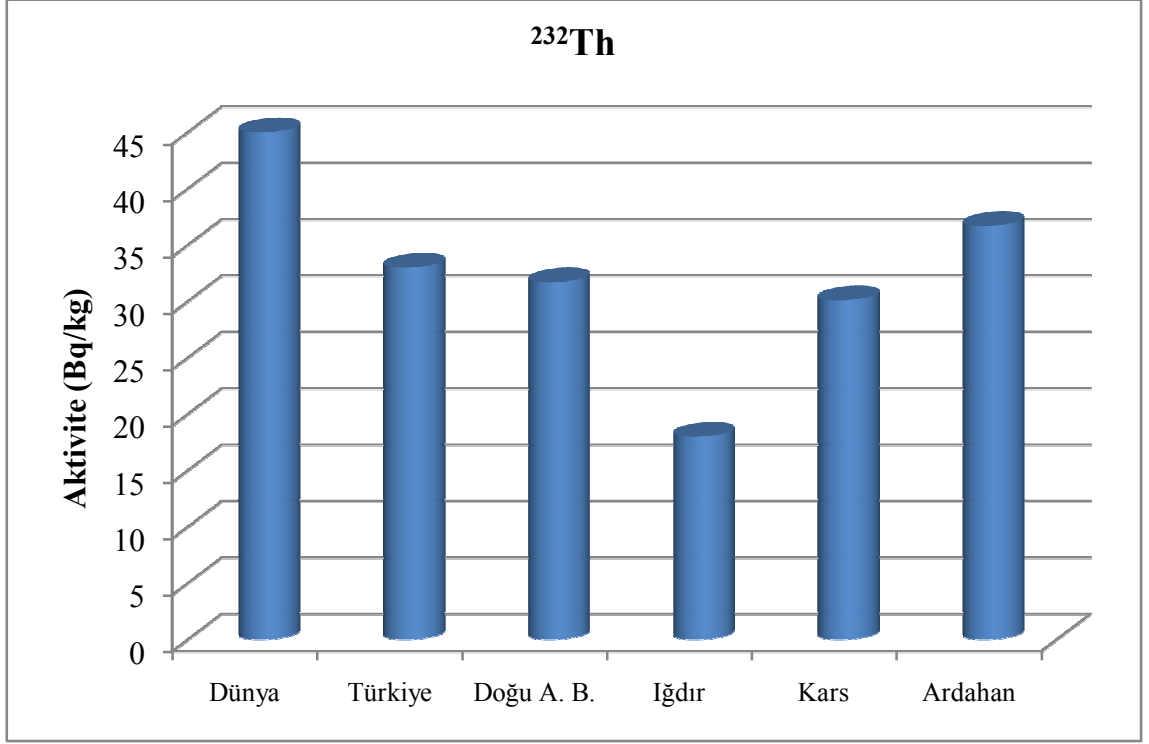


Şekil 4.30: ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonunun sırasıyla Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi ve Iğdır, Kars, Ardahan illerinin ortalaması [48-51].

Ölçümlerden elde ettiğimiz sonuçlarda ^{232}Th ortalama radyoaktivite konsantrasyonu; Ardahan merkez için $33,7 \pm 5,6$ Bq/kg, Çıldır için $44,8 \pm 7,7$ Bq/kg, Hanak için $38 \pm 8,3$ Bq/kg, Damal için $48,3 \pm 8,9$ Bq/kg, Posof için $21,9 \pm 8,3$ Bq/kg ve Göle için $42,1 \pm 7,5$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak, Ardahan il merkezi ve ilçelerinin için ise $36,7 \pm 7,4$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

^{232}Th ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun, Dünya ortalaması 45 Bq/kg, Türkiye ortalaması $33 \pm 0,7$ Bq/kg, DAB ortalaması $31,7 \pm 1,4$ Bq/kg, Iğdır ortalaması 18 Bq/kg ve Kars ortalaması 30,1 Bq/kg olarak verilmiştir [48-51].

Tespitlerimiz sonucunda ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonunun Şekil 4.31'den görüldüğü gibi; Ardahan ili ortalamasının, Dünya ortalamasının altında iken, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi, Iğdır ve Kars illerinin ortalamalarının ise üstünde olduğu belirlenmiştir.

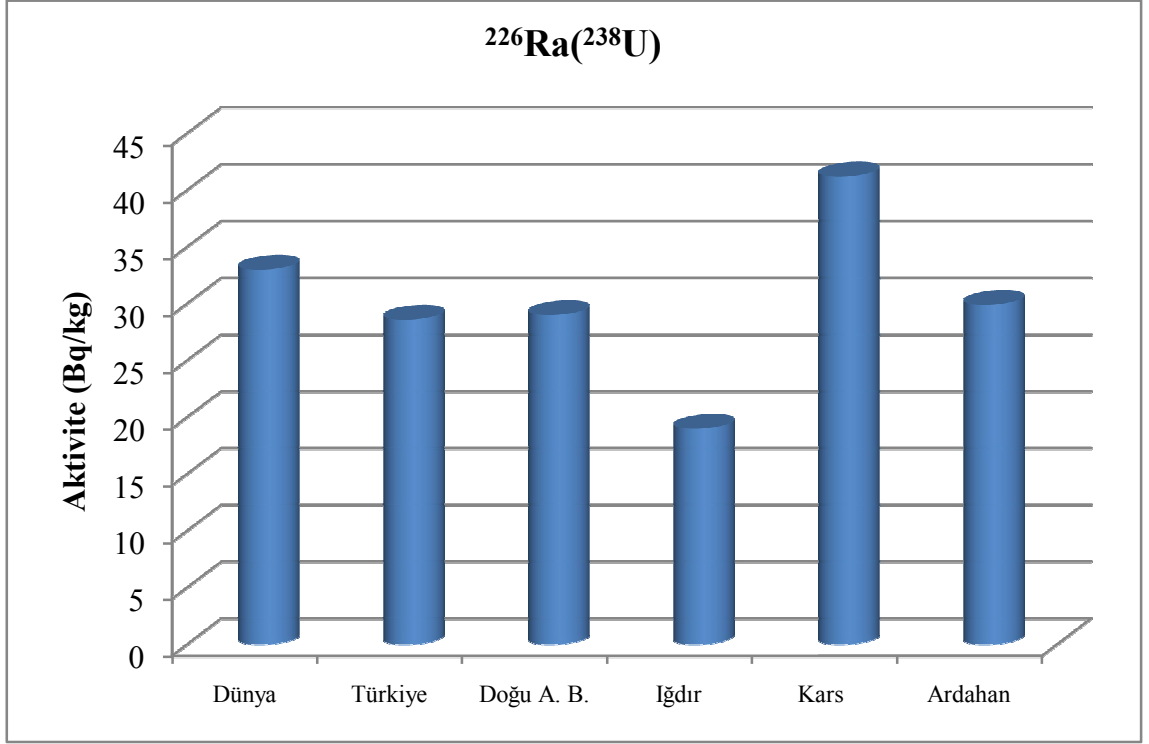


Şekil 4.31: ^{232}Th Radyoaktivite konsantrasyonununun sırasıyla Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi ve Iğdır, Kars, Ardahan İllerinin ortalaması[48-51].

^{226}Ra (^{238}U)'nun ortalama radyoaktivite konsantrasyonları, Ardahan merkez bölgesi için $32,6 \pm 6,4$ Bq/kg, Çıldır bölgesi için $27,6 \pm 6,2$ Bq/kg, Hanak bölgesi için $30,7 \pm 6,7$ Bq/kg, Damal bölgesi için $36,6 \pm 7,3$ Bq/kg, Posof bölgesi için $14,0 \pm 6,1$ ve Göle bölgesi için ise $23,9 \pm 6,2$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak Ardahan il merkezi ve ilçelerinin için $29,9 \pm 3,9$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

^{226}Ra (^{238}U) için Dünya ortalaması 32 Bq/kg, Türkiye için $28,6 \pm 0,7$ Bq/kg, Doğu Anadolu Bölgesi için $29,1 \pm 1,7$ Bq/kg, Iğdır ortalaması 19 Bq/kg ve Kars için ise 41,2 Bq/kg'dır[48-51].

Tespitlerimiz sonucunda ^{226}Ra (^{238}U) radyoaktivite konsantrasyonunun Şekil 4.32'den de görüldüğü gibi; Ardahan ili ortalaması Türkiye ve Doğu Anadolu Bölgesi ortalamalarıyla aynı seviyede olup, Kars ve Dünya ortalamasının altında ve Iğdır ortalamasının üstündedir.



Şekil 4.32: $^{226}\text{Ra}(^{238}\text{U})$ Radyoaktivite sırasıyla Dünya, Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi ve Iğdır, Kars Ardahan illerinin ortalaması[48-51].

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye radyasyon haritasını belirlemedeki eksiklikleri gidermek için TAEK'in çevresel radyasyon izleme programı kapsamında Kafkas Üniversitesiyle yapmış olduğu protokol kapsamında yapılmıştır. Bu çalışmada Ardahan; Merkez, Çıldır, Hanak, Damal, Posof ve Çıldır ilçelerinin topraklarında doğal radyoaktivite seviyeleri tespit edilmiştir. Doğal radyoaktivite düzeylerinin çok yüksek olmadığı ve Dünya ortalamasına yakın olduğu gözlenmiştir.

Radyasyon yaşadığımız çevrede her zaman var olan bir olgudur. Önemli olan doğal yollarla alınan radyasyon dozlarını en aza indirmektir. Bölgemiz sınırları içinde yeni yapılaşmalar(şehirselleşmeler ve inşaatlar) ve Metsamor Nükleer santralının faaliyette olması nedeniyle, süreklilik arzeden bir radyoaktivite taranması yapılmasının ve bölgesel olarak daha detaylı incelemeler yapılmasının; bölgedeki radyoaktif değişimleri tespit etmek ve radyasyonun oluşturabileceği tehlikelere karşı tedbir geliştirilmesinde yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Agbalagba E.O., Avwiri G.O., Chad-Umeroh Y.E., 2012 “ γ -spektroskopi measurement of natural radioactivity and assessment of radiation hazard indices in soil samples from oil environment of Delta State, Nigeria” Journal of Environmental Radioactivity Vol. 109; 64- 70
- [2] Sroor A., El-Ahi S.M., Ahmed F., Abdel-Haleem A.S. 2001. “Natural radioactivity and radon exhalation rate soil in southern Egypt” Applied Radiation and Isotopes vol. 55;873-879
- [3] Singh, S.; Sing, B.; Kumar; A., 2003 “Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, humachal Pradesh, India,” Radiation Measurements, Vol 36; 547-549.
- [4] Yeboah, J.; Boadu,M.;Darko,E.O.,2001” Natural radioactivity in soils and rocks within the greather accra region of Ghana”, Journal Of Radionalytical And nuclear Chemistry, Vol 249; 629-630.
- [5] Saravanan, S.; Jodha, A.S.; Gopalani,D.; Bhatti,S.S.; Kumar,S., 2003” Preliminary measurements of natural radioactivity at madurai district of Timilnadu”, India, Radiation Measurements, Vol,36; 389-397.
- [6]Malczewski, D.; Teper , L.; Dorda,J., 2004,” Assesment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environs of Swieradow Zdroj and studetes , Poland, by in situ gamma-ray spectrometry”. Journal of Environmental Radioactivity, Vol 73, Issue3, 2004; 233-245
- [7] Sujo L.C., Cabrera M.E.M., Villalba L.,Villalobas M.R., Moya E.T., Leon M.G., Garcia-Tenorio R., Garcia F. M., Peraza E.F.H., Aroche D.S.(2004).” ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th indoor and drinking water concentrations and doseassessment in the city of Aldama , Chihuahua ,Mexico” . Journal of Environmental Radioactivity77;205-219.
- [8] S.Pac. J., (2002), “Distribution of ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th Soils of Southern and Western Coasts of Viti Levu, Fiji.Sitaram Garimella and Umawatti Prasad”Nat. Sci Vol. 20 ; 9-14.

- [9] Ajayi,O.S.,2000, "Distribution of natural radioactivity in rocks from ikogosi-ekiti, southwestern nigeria and its radiological implications", Health Phys., Vol 79, Pages 192-195.
- [10] Selvasekarapandian,S.; Sivakumar,R.; Manikandan,N.M.; Meenakshisundaram, V.;Raghunath,V.M.; Gajendran,V., 2000, "Natural radionuclide distribution in soils of Gudalore", India, Applied Radiation And Isotopes, Vol 52, Pages 299-306.
- [11] Tzortzis,M.; Tsertos,H.; Christofides,S.; Christodoulides, G., 2003, "Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks", Radiation Measurements, Vol 37, Pages 221-229.
- [12] Ebaid,Y.Y.;El-Tahawy,M.S.;El-Lakany,A.A.;Garcia,S.R.;Brooks,G.H., 2000, Environmental radioactivity measurements of Egyptian soils, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 243, Pages 543-550.
- [13] Ravisankar R., Chandrasekaran A., Vijayagopal P., Venkatraman B., Senthilkumar G., Eswaran P., Rajalakshmi A., 2012. "Natural radioactivity in soil samples of Yelagiri Hills, Timilnadu, India and the associated radiation hazards ". Radiation Physics and Chemistry Vol. 81;1789-1795
- [14] Fasasi M.K., Oyawale A.A., Mokobia C.E., Tchokossa P., Ajayi T.R., Balogun F.A., 2003. "Natural radioactivity of the tar-sand deposits of Ondo State, Southwestern Nigeria". Nuclear instruments & Methods in Physics Research Vol.505; 449-453.
- [15] Al-Jundia J., Al-Batainab B.A., Abu-Rukahc Y., Shehadeha H.M.,2003. "Natural radioactivity concentrations in soil samples along the Amman Aqaba Highway, Jordan" Radiation Measurements, Vol.36; 555 – 560
- [16] Santawamaitre T., Malain D., Al-Sulaiti H.A., Matthews M. , Bradley D.A., Regan P.H., 2011. "Study of natural radioactivity in riverbank soils along the Chao Phraya river basin in Thailand". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A Vol.652; 920-924.
- [17] Morsy Z. , Abd El-Wahab M., El-Faramawy N., 2012. "Determination of natural radioactive elements in Abo Zaabal, Egypt by means of gamma spectroscopy". Annals of Nuclear Energy vol. 44; 8-11

- [18] Hamideen Jordan M.S., Sharaf J., 2012. "Natural radioactivity investigations in soil samples obtained from phosphate hills in the Russaifa region". *Radiation Physics and Chemistry* Vol. 81; 1559-1562
- [19] Almayahi B.A., Tajuddin A.A., Jaafar M.S., 2012. "Radiation hazard indices of soil and water samples in Northern Malaysian Peninsula". *Applied Radiation and Isotopes* Vol.70; 2652-2660.
- [20] Karahan, G. ve Bayulken, A., 2000. "Assessment of Gamma Dose Rates Around İstanbul". *Journal of Environmental Radioactivity* Vol.47; 213-221
- [21] Karakelle B., Öztürk N.; Köse,A., Varnlıoğlu A., Erkol A.Y., Yılmaz F., 2002. "Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* Vol.254; 649-651.
- [22] Erees, F.S., Aközcan, S., Parlak, Y., Çam, S., 2006. "Assessment of dose rates around Manisa (Turkey)". *Radiation Measurements* 41, 598–601.
- [23] Değerliel, M., Karahan, G., Özger, G., 2008. "Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey". *Journal of Environmental Radioactivity* 99 (7), 1018–1025
- [24] Bozkurt A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., Osmanlıoğlu, A.E., 2007. "Assessment of environmental radioactivity for Şanlıurfa region of Southeastern Turkey". *Radiation Measurements* 42, 1387–1391.
- [25] Kam E., Bozkurt, A., 2007. "Environmental radioactivity measurements in Kastamonu Region of northern Turkey". *Applied Radiation and Isotopes* 65, 440–444
- [26] Çelik, N., Çevik, U., Çelik, A., Küçükömeroğlu, B., 2008. "Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey". *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1349–1354.
- [27] Taskin H., Karavus M, Ay P., Topuzoğlu A., Hidiroglu S., Karahan G.,2009 "Radionuclide concentrations in soil and life time cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey". *Journal of Environmental Radioactivity* Vol. 100; 49-53

- [28] Çelik, N., Çevik, U., Çelik, A., Koz, B., 2009. “Natural and artificial radioactivity measurements in Eastern Black Sea region of Turkey”. *Journal of Hazardous Materials* 162, 146–153.
- [29] Çelik, N., Damla, N., Çevik, U., 2010. “Gamma ray concentrations in soil and building materials in Ordu, Turkey”. *Radiation Effects and Defects in Solids* 165 (1), 1–10.
- [30] Kurnaz A., Küçükömeroğlu B., Damla N., Çevik U., 2011. “Radiological maps for Trabzon, Turkey”. *Journal of Environmental Radioactivity* Vol. 102; 393-399
- [31] Y.Özkan YEŞİLBAĞ , U., 2008.” Natural radioactivity measurements in Ardahan, Turkey” *Journal of Indoor Radon Concentrations in Dwellings and Radioactivity Levels in Surrounding Soils of the Artvin and Ardahan Provinces* Vol. 102;60-70
- [32] Yaren H., Karayıllanoğlu T, “Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri” TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni., 2005: 4 (4).
- [33] <http://www.taek.gov.tr>., (Erişim Tarihi: 11 09 2014)
- [34] Değerlier M. “Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2007.
- [35] TAEK, Radyasyon insan ve çevre, iyonlaştırıcı radyasyon, etkileri ve kullanım alanları, güvenli kullanımı için uygulamada olan tedbirler, 2009 P:12
- [36] *Bilim ve Teknik Dergisi*, İyonlayıcı Radyasyon, Sayı: Nisan 2006 P: (8-10)
- [37] Gören E., “Adana İçme Sularında Tritiyum Aktivitesinin Belirlenmesi”., Çukurova Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı., Yüksek Lisans Tezi., 2011.
- [38] Beck, H.L., 1982. *The natural Radiation Environment II*. USERDA Conf.-20805- P2, *The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields*, s 101-104.
- [39] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/52/Photomultipliertube.svg/400px.Photomultipliertube.svg.png> (Erişim tarihi: Eylül 2014).

- [40] Krane,K.S., “Nükleer Fizik”, Palme Yayıncılık,; şarer,B., Ankara, 2.cilt, 2006. P:207.
- [41] Reşitoğlu S., “Kars-İl Merkezi Topraklarında Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi”., Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı., Yüksek Lisans Tezi, 2011
- [42] Görpe, A., Cantez, S., 1972. Pratik Nükleer Tıp, İstanbul Tıp Fakültesi, 29.
- [43] Rosseland, S., Z. Physik, 14, p.173, (1923).
- [44] Arya, A.P. “Çekirdek Fiziğinin Esasları” (1989) Çeviri Editörü; Şahin, Y. Aktif yayıncılık, Erzurum
- [45] Gordon R. Gilmore, John Wiley & Sons “Practical Gamma-ray Spectrometry” 2nd Edition Ltd. ISBN: 978-0-470-86196-7 (2008).
- [46] Çağlar İ. “ Kars il merkez ve ilçelerindeki Toprakların Doğal Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi” Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014
- [47] Tsoulfanidis N, “Measurement and Dedection of Radiation”, Second edition,University of Missouri-Rolla, 1995.
- [48] Turhan Ş., Köse A., Varinlioğlu A., Şahin N.K., Arıkan İ., Oğuz F., Yücel B., Özdemir T. 2012 “Distribution of terrestrial and anthropogenic radionuclides in Turkish surface soil samples” Geoderma P: (187–188, 117–124).
- [49] UNSCEAR (United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation) Annex B: Exposures from natural radition sources (page116)(1999)
- [50] Göksu V, “Kars-Iğdır Yöresinde Toprak ve Sudaki Radtoaktivitenin incelenmesi”, Kafkas üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi 2005.
- [51] Cengiz G.B, Reşitoğlu S,2014 “Determination of natural radioactivity levels in Kars city center, Turkey” Journal of Nucleer Sciences, Vol.1 no:2 P(32-37).

[52] Tutar Hüseyin vd. Ardahan'ın Sosyo-Ekonomik Durumu ve Uygun Yatırım Alanları T.C. Serhat Kalkınma Ajansı Ardahan Yatırım Destek Ofisi Şubat 2013 ISBN 978-605-63661-4-7

[53] T.c. Ardahan Valiliği Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü Brifing Dosyası, Ağustos 2012, s. 14-20

[54] http://www.csb.gov.tr/turkce/dosya/ced/icdr2011/ardahan_icdr2011.pdf

EKLER

EK: 1: Radyasyon Birimleri

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) radyasyon çalışmalarında kullanılan kavramlar olan aktivite, ışınlama dozu, soğurulma dozu ve doz eşdeğeri için özel birimler tanımlamıştır. Bunlar sırasıyla; Curie (Ci), Röntgen (R), rad ve rem'dir. Bu özel birimler, terk edilmeye başlanmış ve yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile M.K.S. sistemini esas alan "Uluslararası Birimler Sistemi (SI)" kullanılmaktadır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg, Gray (Gy), ve Sievert (Sv) olarak seçilmiştir. Aşağıdaki tabloda dönüşüm birimleri ve dönüşüm faktörleri verilmiştir[33]

Aktivite Birimi :Radyasyon bir numunenin aktifliği, birim zamanda bir numunedeki bozunma sayısı olarak tanımlanır. Aktifliğin birimi olan 1Curie(Ci)= $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma /saniye ile verilir. Aktivitenin SI birim sistemindeki birimi becere(Bq)'dir ve saniyede bir parçalanmaya karşılık gelir.

Işınlanma Birimi : Radyasyon demetinin hava içinden geçmesiyle oluşan iyonlaşma ölçüsüdür.

Soğurulmuş doz Birimi : Maddenin birim kütlesi başına iyonlaştırıcı radyasyon tarafından depo edilen enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanır.

Eş Değer Doz Birimi : Radyasyonların biyolojik maddelerle etkileşmeleri sonucunda soğurulmuş doz miktarı olarak tanımlanır.

Radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri[33]

Büyüklik	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler ve sembolü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	Becquerel(Bq)	Curie (Ci)	$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$
Işınlama	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	$1\text{C/kg} = 3876\text{R}$
Soğurulmuş Doz	Gray (Gy) (j/kg)	Rad (rad)	$1\text{Gy}=100\text{rad}$
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	$1\text{Sv}=100\text{rem}$

EK: 2: Ardahan İli Coğrafi Konumu ve Toprak özellikleri

Deniz seviyesinden 1829 metreyükseklikte bulunan Ardahan İli 41°36'13" kuzey, 40°45'24" güney enlemleri ve 42°25'43" batı, 43°29'17" doğu boylamları arasında olup, 5.576 km² yüzölçümüne sahiptir. Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey doğusundaki Ardahan İlinin, doğusunda ve kuzeyinde Gürcistan, güneyinde Kars, güneybatısında Erzurum ve batısında Artvin yer almaktadır[52].

Ardahan İli topraklarının görünümü çoğunlukla sıra dağlarla bölünmüş, bunların arasında yüksek düzlükler, ovalar ve vadiler şeklinde olup, toprak yapısı ise arazinin çevresel özelliklerine göre iki alt bölgeye ayrılmıştır. Birinci alt bölge olan Ardahan Merkez İlçe, Göle, Hanak, Damal ve Çıldır alt bölgesi ortalama 1800-2000 m rakımlıdır. Bu alt bölgelerin topraklarının % 73,9'luk kısmını, azonal topraklardan olan alüvyal, hidromorfik alüvyal, kolüvyal topraklar ve litosoller kaplar. Buna karşılık, az yer tutmakla birlikte zonal topraklardan olan çernezyomlar ve kestane rengi step topraklarının oranı % 7,4'dür. İntrazonal topraklar ise % 18,7 oranında olup kahverengi orman toprakları ve yüksek dağ çayır topraklarından oluşur[53,54].

İkinci alt bölge olan Posof alt bölgesi ilçe merkezi ve daha aşağılarda kalan köyleri ortalama 900 m, diğer kısımları 1583-1700 m rakımlıdır. İkinci alt bölge olan Posof Havzasında zonal toprak grubundan çernezyom ve kestane rengi step topraklarına rastlanmakla birlikte azonal toprak grubundan Litosoller bölgede geniş alan kaplamaktadır[53,54].

EK:3:Ardahan Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları

NUMUNE ADI	ENLEM	BOYLAM	RAKIM
A1 Kars yolu askeriye	41 ⁰ 07'18,7''K	042 44'3,2'' D	1877m
A2 TRT istasyonu	41 ⁰ 07'39,6''K	042 ⁰ 44'27,4'' D	1842m
A3 Yılmaz petrol	41 ⁰ 06'28,7'' K	042 ⁰ 44'07,3'' D	1850m
A4 Yeni meydan	41 ⁰ 06'01,1'' K	042 ⁰ 43'11,3'' D	1844m
A5 Gürcübey yolu	41 ⁰ 05'20,8'' K	042 ⁰ 43'37,8'' D	1925m
A6 Gürçayır yolu	41 ⁰ 05'42,5'' K	042 ⁰ 41'227,9'' D	1834m
A7 Devlet hastanesi	41 ⁰ 05'31,4'' K	042 ⁰ 40'08,4'' D	1737m
A8 Yeni toki	41 ⁰ 05'32,0''K	042 ⁰ 39'32,8'' D	1739m
A9 Tev istasyonu	41 ⁰ 07'23,9''K	042 ⁰ 39'45,3'' D	1789m
A10 Artvin yolu	41 ⁰ 08'00,2'' K	042 ⁰ 40'31,8'' D	1793m
A11 Halil efendi Petrol girişi	41 ⁰ 07'39,7'' K	042 ⁰ 41'40,8'' D	1781m
A12 Ardahan et karşısı	41 ⁰ 08'14,3'' K	042 ⁰ 42'41,0'' D	1827m
A13 Ardahan et trt arası	41 ⁰ 08'33,2'' K	042 ⁰ 43'32,0'' D	1848m
A14 Halil efendi mah bitimi	41 ⁰ 07'42,7'' K	042 ⁰ '19,8''D	1797m
A15 Üniversite	41 ⁰ 07'24,7''K	042 ⁰ 42'48,4'' D	1816m
A16 Kyk – askeriye	41 ⁰ 07'19,1'' K	042 ⁰ 43'07,7''D	1789m

EK:4:Çıldır Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları

NUMUNE ADI	ENLEM	BOYLAM	RAKIM
Ç1şenlik Talebe Yurdu Yanı	41 ⁰ 07'27,0''K	043 ⁰ 07'46,4'' D	1918 m
Ç2 Büyük Zavotlar Arkası	41 ⁰ 05'50,3''K	043 ⁰ 08'10,9'' D	1916 m
Ç3 Kurt Kale Yolu	41 ⁰ 07'58,7''K	043 ⁰ 09'23,7'' D	1963 m
Ç4 Askeri Lojmanlar	41 ⁰ 07'50,6''K	043 ⁰ 07'52,7'' D	1926 m

EK:5: Hanak Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları

NUMUNE ADI	ENLEM	BOYLAM	RAKIM
H1 Giriş	41 ⁰ 12'54,0" K	042 ⁰ 50'51,8" D	1809 m
H2 Köy Yolları Sağlık Ocağı Arkası	41 ⁰ 14'40,8" K	042 ⁰ 49'56,3" D	1830 m
H3 Ortakent Yol Çıkışı	41 ⁰ 14'14,3" K	042 ⁰ 51'01,5" D	1830 m
H4 Hanak Üst Çıkış Yolu	41 ⁰ 14'44,0" K	042 ⁰ 50'52,8" D	1862 m

EK:6: Damal Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları

NUMUNE ADI	ENLEM	BOYLAM	RAKIM
D1 Giriş	41 ⁰ 19'57,0 K	042 ⁰ 51'10,6" D	2072 m
D2 Mezarlık Altı	41 ⁰ 20'30,9" K	042 ⁰ 51'30,0" D	2097 m
D3 Yılmaz Petrol	41 ⁰ 19'50,5" K	042 ⁰ 50'11,7" D	2030 m
D4 Damal Çıkış Posof Yolu Üstü	41 ⁰ 20'34,2" K	042 ⁰ 49'58,1" D	2042 m

EK:7: Posof Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları

NUMUNE ADI	ENLEM	BOYLAM	RAKIM
P1 Giriş Botaş Plakaları	41 ⁰ 29'03,7" K	042 ⁰ 42'30,9" D	1621 m
P2 Özel İdare Altı	41 ⁰ 30'09,7" K	042 ⁰ 43'39,7" D	1467 m
P3 Bayrak Dağı	41 ⁰ 30'23,7" K	042 ⁰ 43'06,8" D	1591 m
P4 Yeni Meydan	41 ⁰ 06'01,1" K	042 ⁰ 43'11,3" D	1844m

EK:8: Göle Bölgesinden Toprak Örneği Alınan İstasyonlarının Koordinatları

NUMUNE ADI	ENLEM	BOYLAM	RAKIM
G1 Giriş Halı Saha	40 ⁰ 48'11,2" K	042 ⁰ 36'59,5" D	2006 m
G2 Toki	40 ⁰ 46'50,6" K	042 ⁰ 36'11,8" D	2045 m
G3 Kars Yolu Petrol Karşısı	40 ⁰ 47'17,1" K	042 ⁰ 37'55,3" D	2054 m

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şakir BALCI

Doğum Yeri :ARDAHAN

Doğum Tarihi :04.11.1984

Medeni Hali :BEKAR

Yabancı Dili :İNGİLİZCE

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lisans :ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ (2006)

Yüksek Lisans :KAFKAS ÜNİVERSİTESİ (2015)