

**T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİLİS İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs
RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ
BELİRLENMESİ**

Serkan BAKKAL

FİZİK ANA BİLİM DALI

**Yrd. Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU
(1. Danışman)**

**Yrd. Doç. Dr. Fatma Aysun UĞUR
(2. Danışman)**

**KİLİS
2012**

**T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİLİS İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs
RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ
BELİRLENMESİ**

Serkan BAKKAL

FİZİK ANA BİLİM DALI

**Yrd. Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU
(1. Danışman)**

**Yrd. Doç. Dr. Fatma Aysun UĞUR
(2. Danışman)**

**KİLİS
2012**

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Yrd. Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Fatma Aysun UĞUR danışmalığında, Serkan BAKKAL tarafından hazırlanan “**Kilis İli Toprak Örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi**” adlı tez çalışması/...../201.. Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy..... ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	Prof.Dr. Eyüp TEL (Osmaniye Korkut Ata Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	
Üye	Doç.Dr. Abdurrahman ÇETİN (Kilis 7 Aralık Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	
Üye (Danışman)	Yrd.Doç.Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	
Üye (2.Danışman)	Yrd.Doç.Dr. Fatma Aysun UĞUR (Osmaniye Korkut Ata Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	
Üye	Yrd.Doç.Dr. Murat ODUNCUOĞLU (Kilis 7 Aralık Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../201.. tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:.....

Bu tez çalışması Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Birimi tarafından 2010/05 nolu proje ile desteklemiştir.

Prof. Dr. Ahmet ÇAKIR
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİLİS İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Serkan BAKKAL

Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışmanlar: Yrd. Doç. Dr. Cumhuri CANBAZOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Fatma Aysun UĞUR

Yıl: 2012 Sayfa: 56

Bu çalışmada Kilis ili toprak örneklerinin radyonüklit konsantrasyonları (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs) gama spektrometrik yöntem ile belirlenmiştir. Radyonüklit aktivite konsantrasyonları kullanılarak; havadaki soğurulan doz hızı (D), radyum eşdeğeri (R_{eq}), dış tehlike endeksi (H_{ex}), yıllık gonadal doz eşdeğeri (YGDE), yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) ve artan yaşam boyu kanser riski (AYKR) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile Kilis ili ve yöresi için dağılım haritaları ve histogram grafikleri çizilmiştir. Sonuçlar, Türkiye'nin diğer illeri için elde edilen bulgular ve dünya ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kilis, Toprak, Çevresel Radyoaktivite, Radyasyon haritası.

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K AND ^{137}Cs RADIOACTIVITY CONCENTRATIONS IN KİLİS SOIL SAMPLES

Serkan BAKKAL

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisors: Asist.Prof.Dr. Cumhur CANBAZOĞLU

Asist.Prof.Dr. Fatma Aysun UĞUR

Year: 2012 Page: 56

In this study, ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K and ^{137}Cs radionuclide concentrations of Kilis soil samples were determined using gamma spectroscopic method. Absorbed dose rate (D) in air, radium equivalent activity (Ra_{eq}), external hazard index (H_{ex}), annual gonadal dose equivalent (AGDE), annual effective dose equivalent (AEDE) and excess lifetime risks of cancer (ELCR) values was calculated. Distribution maps and histogram graphics for Kilis and its district were drawn from the results obtained and compared with world average values and data from other provinces of Turkey.

Key Words: Kilis, Soil, Environmental Radioactivity, Radiation Map.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında ve sonuçlandırılmasında bana yardımcı olan Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi ve danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Cumhur CANBAZOĞLU'na öncelikle teşekkür ederim.

Çukurova Üniversitesi Gülten Günel Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda örnek analizleri için imkân sağlayan, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Öğretim Üyesi ve ikinci danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fatma Aysun UĞUR'a, örnek istasyonlarının belirlenmesinde ve sonuçların haritalandırılmasında desteğini esirgemeyen, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Coğrafya Bölüm Başkanı Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin SÖNMEZ'e, ve örnek analizleri esnasındaki yardımlarından dolayı Elif Gören'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde 2010/05 nolu proje ile finansal destek sağlayan Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler (BAP) Birimine teşekkür ederiz.

Son olarak her türlü desteğini yaşamım boyunca benden esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Serkan BAKKAL

Kilis, 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
1.1 . Doğal Radyasyon Kaynakları	2
1.1.1 . Kozmik Radyasyon	4
1.1.2 . Karasal Radyasyon.....	5
1.1.2.1 . Toprak, Kaya ve Kayaçlardaki Doğal Radyoaktivite	5
1.2 . Radyasyon Çeşitleri	7
1.2.1 . Alfa Parçacığı.....	7
1.2.2 . Beta Parçacığı.....	7
1.2.3 . X-İşinleri	8
1.2.4 . Gama İşinleri	8
1.2.5 . Gama İşinlerinin Madde ile Etkileşmesi	9
1.2.5.1 . Fotoelektrik olay	11
1.2.5.2 . Compton saçılması	12
1.2.5.3 . Çift oluşumu.....	12
1.3 . Radyasyon Ölçüm Metotları ve Radyasyon Sayaçları.....	13
1.3.1 . Geiger Sayacı	13
1.3.2 . Yarı iletken Diyot Detektörü.....	14
1.3.3 . Sintilasyon Sayacı	14
1.3.4 . Detektör Seçimi.....	15
1.3.5 . Enerji Ölçümleri.....	16

1.4 . Önceki Çalışmalar	17
2 . MATERYAL VE METOD.....	22
2.1 . Bölgenin Tanıtılması.....	22
2.2 . Materyal	22
2.2.1 . Yüksek Safılıkta Germanyum Yarı İletken Detektörler.....	23
2.2.2 . Ön yükselteç.....	24
2.2.3 . Yükselteç.....	25
2.2.4 . Çok Kanallı Analizör	25
2.2.5 . Analog Sayısal Dönüştürücü.....	26
2.2.6 . Gama Spektrometrik Analizlerde Kullanılan Detektör Sistemi.....	27
2.3 .Yöntem.....	29
2.3.1 .Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması.....	29
2.3.2 .Ölçme İşlemi	30
2.3.3 .Spektrum İçin Pik Alanı Hesaplanması	31
2.3.4 .Havadaki Absorplanmış Doz Hızı (D).....	33
2.3.5 . Radyum Eşdeğer Aktivitesi (Ra_{eq}) ve Dış Tehlike Endeksi (H_{ex})	33
2.3.6 .Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (YGDE)	34
2.3.7 .Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE).....	34
2.3.8 .Yaşam Boyu Kanser Riski (AYKR)	34
3 . BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
3.1 . Toprak Örneklerine İlişkin Deney Sonuçları	35
4 . SONUÇLAR	51
5 . KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ.....	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler:

Bq:	Becquerel, Radyoaktivite Birimi
D:	Havadaki Soğrulan Doz Hızı
Gy:	Gray, Absorblanmış Doz Birimi
H_{ex}:	Dış Tehlike Endeksi
I:	Gama Işının Şiddeti
n:	Nano, alt birim (10 ⁻⁹)
Ra_{eq}:	Radyum Eşdeğer Aktivitesi
Sv:	Sievert, Eşdeğer Doz Birimi
μ:	Mikro, alt birim (10 ⁻⁶)

Kısaltmalar:

ADC:	Analog Sayısal Dönüştürücü
AYKR:	Artan Yaşam Boyu Kanser Riski
HPGe:	Yüksek Saflıkta Germanyum
HV:	Yüksek Voltaj Filtresine Sahip Güç Kaynağı
IAEA:	International Atomic Energy Agency
ICRP:	International Commission on Radiological Protection
MA:	Yükseltici
MCA:	Çok Kanallı Analizör
MDA:	Minimum Dedekte Edilebilir Aktivite.
NCRP:	National Council on Radiation Protection and Measurements Radiation
PA:	Ön Yükseltici
TAEK:	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR:	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations
WHO:	World Health Organization
YEDE:	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
YGDE:	Yıllık Ganodal Doz Eşdeğeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları	2
Şekil 1.2. Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık ortalama doz değerleri (IAEA, 1996)	4
Şekil 1.3. Gama bozunum şeması	9
Şekil 1.4. Fotoelektrik olay, compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler (Krane, 2001)	10
Şekil 1.5. Foto elektrik olayın şematik gösterimi	11
Şekil 1.6. Compton saçılmasının şematik gösterimi	12
Şekil 1.7. Çift oluşumunun şematik diyagramı	13
Şekil 1.8. Gazlı sayaç geometrisi	14
Şekil 1.9. Yarı iletken diyot detektörünün şekli	15
Şekil 1.10. NaI sintilatör ve sayım sisteminin şematik diyagramı	15
Şekil 1.11. Detektöre giren gama ışınının etkileşme yolları	17
Şekil 2.1. Yüksek saflıktaki germanyum detektörlü gama spektrometresi (Solmaz, 2008)	23
Şekil 2.2. Yüke hassas ön yükseltecin şematik görünümü (Solmaz, 2008)	24
Şekil 2.3. Çok kanallı analizörde kanal numarası ve puls yüksekliği arasındaki ilişki (Solmaz, 2008)	25
Şekil 2.4. Analog sayısal dönüştürücünün şematik görünümü (Solmaz, 2008)	26
Şekil 2.5. Saf germanyum detektörlü gama spektrometrik cihazı	28
Şekil 2.6. Çalışma sahası ve toprak örnekleme noktaları	29
Şekil 2.7. Kurumaya bırakılan toprak örnekleri	30
Şekil 2.8. Ölçüm işlemi için detektöre yerleştirilmiş toprak örneği	31
Şekil 2.9. Pik alanı hesabı (Solmaz, 2008)	32
Şekil 3.1. Toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonları	39
Şekil 3.2. Toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonları	40
Şekil 3.3. Kilis ili toprak örneklerindeki ^{238}U radyonüklit konsantrasyonu dağılışı haritası	43
Şekil 3.4. ^{238}U radyonüklit konsantrasyonu Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı	43

Şekil 3.5. Kilis ili toprak örneklerindeki ^{40}K radyonüklit konsantrasyonu dağılışı haritası	44
Şekil 3.6. ^{40}K radyonüklit konsantrasyonu Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı	44
Şekil 3.7. Soğurulan doz hızı dağılışı haritası	45
Şekil 3.8. Yıllık etkin doz eşdeğeri dağılışı haritası.....	45
Şekil 3.9. Kanseri riski dağılışı haritası.....	46
Şekil 3.10. Soğurulan doz hızının Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı	46
Şekil 3.11. Yıllık etkin doz eşdeğeri Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı	47
Şekil 3.12. Kanseri riski Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı	47
Şekil 3.13. Radyum eşdeğeri dağılışı haritası	48
Şekil 3.14. Dış tehlike endeksi dağılışı haritası	48
Şekil 3.15. Yıllık gonadal doz eşdeğeri dağılışı haritası	49
Şekil 3.16. Radyum eşdeğeri Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı.....	49
Şekil 3.17. Dış tehlike endeksi Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı	50
Şekil 3.18. Yıllık gonadal doz eşdeğeri Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı	50

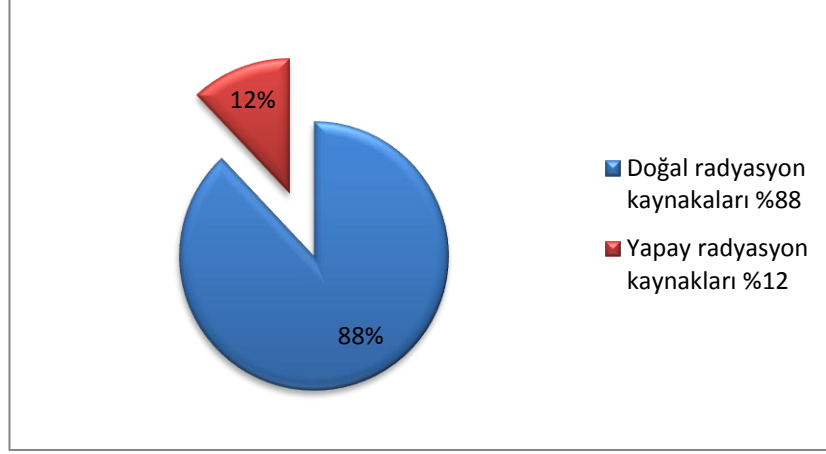
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı (TAEK)	2
Çizelge 1.2. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (TAEK).....	3
Çizelge 1.3. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu (Köksal ve Çelebi, 2003; Değerlier, 2007).....	6
Çizelge 1.4. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K yarı ömürleri, özgün aktivite değerleri ve bozunum başına yayınladıkları foton sayısı (Theodorsson, 1996; Özger, 2005)	7
Çizelge 1.5. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ortalama aktivite kütle konsantrasyonları ve havadaki soğurulan doz şiddetleri (UNSCEAR, 1988; Özger, 2005).....	7
Çizelge 2.1. Yüksek saflıkta germanyum detektörün özellikleri (Canberra Handbook, 1998).....	28
Çizelge 3.1. ^{238}U ve ^{232}Th serilerine ait radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları ..	36
Çizelge 3.2. Toprak Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları ..	38
Çizelge 3.3. Hesaplanan Soğurulan doz hızı, Radyum eşdeğeri, Dış tehlike endeksi, Yıllık gonodal doz eşdeğeri, Yıllık etkin doz eşdeğeri ve Yaşam boyu kanser riski değerleri	41

1. GİRİŞ

Canlılar yaşamları boyunca doğal ve yapay radyasyon kaynaklarına maruz kalırlar. Maruz kalınan bu radyasyona en büyük katkıyı doğal kaynaklar sağladığı için, doğal radyasyon seviyesinin belirlenmesi önemlidir. Maruz kalınan doğal radyasyon düzeylerinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon düzeylerinin büyüklüğünü belirler. İnsanlar; yaşamları boyunca uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yerküredeki toprak, kaya ve su kaynaklarından ışınlanmaktadır. Bunların yanı sıra enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanılan kaynaklar nedeni ile de bir doza maruz kalmaktadırlar (Değerlier, 2007).

Çevre için belirlenen radyonüklit dağılımı ve radyasyon seviyeleri, karasal ve kozmolojik kaynakların her ikisinin de, maruz kalınan radyasyona etkilerini değerlendirmek için önemlidir. Karasal radyasyona katkı sağlayan radyoaktif nüklitlerin, toprak, yapı malzemeleri, su ve atmosferdeki miktarı değişir. Bazı radyonüklitler insanlar arasında besin zinciri ya da nefes alma ile aktarılırken, kozmolojik radyasyon uzaydan gelen birincil kozmik ışınlardan meydana gelir. Dünyadaki herkes iyonlayıcı radyasyonun background seviyelerine maruz kalır. Dış radyasyonlara maruz kalma ışınlamanın bir sonucu olarak meydana gelirken, iç maruz kalma nefes alma ve yeme yoluyla meydana gelir (Singh et al., 2009). Dış radyasyonun iki önemli kaynağı, kozmik ışınlar ve özellikle doğal radyoaktif maddelerden türemiş karasal gama ışınlarıdır. Topraktaki bu doğal radyoaktif maddeler background radyasyonuna en az %85 katkı sağlarlar. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları ise Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı Çizelge 1.1'deki gibidir. Doğal kaynakların yanı sıra birçok araştırma ve teknolojik aktiviteler çevresel radyasyon seviyesine katkıda bulunur. Doğal radyoaktif maddeler, petrol ve gaz üretimi ya da işleme sürecinde artar (Aletise et al., 2008).



Şekil 1.1. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları

Çizelge 1.1. Radyasyon dozunun radyasyon kaynaklarına göre dağılımı (TAEK)

Radyasyon Kaynakları	Radyasyon Dozu (mSv)
Kozmik	0.390
Gama Işınları	0.460
İç	0.230
Radon	1.300
Tıbbi	0.300
Serpinti	0.007
Mesleki	0.002
Atıklar	0.001
Toplam	2,690

1.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

İnsanlar solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, bitki ve hayvansal gıdalardan aldıkları radyonüklitlerin zamanla vücutta birikmesi sonucu iç ışınlanmaya maruz kalırlar. Bununla birlikte kozmik ışınlar ve yeryüzünde bulunan doğal radyonüklitlerce de dış ışınlanmaya maruz kalırlar. Doğal radyasyondan kaynaklanan ortalama radyasyon dozu değerleri Çizelge 1.2'de ve oransal değerleri Şekil 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri (TAEK)

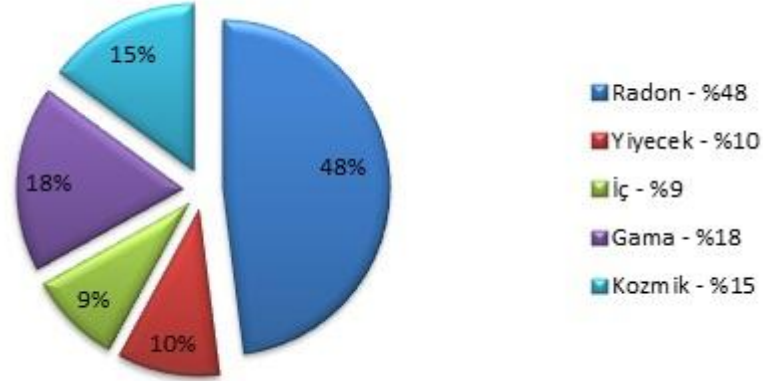
Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)	
	Ortalama	Değişim aralığı
Kozmik Radyasyon		
• Foton bileşeni	0,28	
• Nötron bileşeni	0,10	
• Kozmojenik Radyoizotoplar	0,01	
Toplam	0,39	0,3 – 1,0 ^(a)
Yeryüzü Kaynaklı Dış Işınlanma		
• Bina Dışı	0,07	
• Bina İçi	0,41	
Toplam	0,48	0,3 – 0,6 ^(b)
Solunum Yolu İle Işınlanma		
• Uranyum ve Toryum serileri	0,006	
• Radon (Rn -222)	1,15	
• Toron (Rn -220)	0,10	
Toplam	1,26	0,2 – 10 ^(c)
Beslenme Yolu İle Işınlanma		
• K-40	0,17	
• Uranyum ve Toryum serileri	0,12	
Toplam	0,29	0,2 – 0,8 ^(d)
GENEL TOPLAM	2,4	1 – 10

(a) Deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı

(b) Toprak ve yapı malzemelerinin karışımlarına bağlı

(c) Radon gazı konsantrasyonuna bağlı

(d) Yiyecek ve içme sularındaki radyoizotopların konsantrasyonlarına bağlı



Şekil 1.2. Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık ortalama doz değerleri (IAEA, 1996)

1.1.1. Kozmik Radyasyon

Doğal radyasyonun bir kısmına kozmik ışınlar neden olmaktadır. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinde soğurularak tutulur ve küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşır. Atmosfere nüfuz eden bu ışınlar, çeşitli reaksiyonlara uğrarlar ve atmosfer tarafından azar azar soğurulurlar. Bu nedenle; yükseklik azaldıkça, doz miktarı da azalır. Atmosfere giren kozmik ışınların miktarı yeryüzünün manyetik alanından da etkilenir. Kutup yakınlarına ekvatora oranla daha fazla kozmik ışın gelir.

Atmosfere giren temel kozmik ışınlar genellikle proton ve alfa parçacıkları veya elektron ve az miktarda ağır çekirdeklerden oluşur. Yüksek enerjili bu ışınlar atmosferdeki atom ve moleküllerle çarpıştıklarında proton, elektron, nötron, pozitron ve çok daha fazla ikincil parçacıklar meydana gelebilir. Bu ikincil parçacıkların çoğunun enerji düzeyleri dünya yüzeyine ulaşabilecek kadardır. Deniz seviyesinde kozmik ışınlar tarafından oluşturulan iyon çiftlerinin sayısının cm^3 başına saniyede 2 olduğu görülmüştür. Bundan faydalanarak kozmik ışın kaynaklı havadaki doz hızının 32 nGy/saat olduğu hesaplanabilir. Kozmik ışınlardan dolayı maruz kalınan dozun yıllık dünya ortalaması yaklaşık 0.4 mSv'dir (Özger, 2005; Değerlier, 2007).

1.1.2. Karasal Radyasyon

Doğal background radyasyonun, karasal bileşenleri doğal radyonüklit içeren toprak ve kayalara bağlıdır. Topraktaki radyoaktivite, doğal radyasyon backgroundundaki değişimin anlaşılmasında temel olan şeydir. Toprak küçük miktarlarda ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünlerini içerir. Bu radyonüklitler, kaya ve toprak katmanları boyunca düşük konsantrasyonlarda dağılmıştır. Toprak ve sedimentlerdeki doğal radyoaktivite; toprak ve sedimentlerin oluşum ve taşınma süreçlerine, uranyum-toryum ve bozunma ürünlerinin kimyasal ve biyolojik etkileşmelerine bağlıdır (Kurnaz et al., 2007).

1.1.2.1. Toprak, Kaya ve Kayaçlardaki Doğal Radyoaktivite

Toprakta bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyasyon kaynakları çok uzun yarı ömürlü olup, milyarlarca yıldır yeryüzünde bulunmakta ve toprağın radyoaktif olmasına neden olmaktadır (El-Shershaby, 2002; Özger, 2005). Özellikle 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakasının gama radyasyonuna önemli bir katkıda bulunduğu bilinmektedir. Radyonüklitlerin aktivite düzeyleri, içeriğindeki mineral oluşumu ve yoğunluğuna bağlı olarak toprak cinsine göre değişiklik gösterir. Kaya ve toprak katmanları arasında düşük konsantrasyonlarda dağılan ^{238}U , birçok elementin bozunma zincirinin kaynağı olup, kararlı ^{206}Pb oluncaya kadar bozunur. Yeryüzünde benzer yoğunlukta bulunan ^{232}Th 'de başka bir radyoaktif serinin başlangıç kaynağıdır. Toprak içeriğindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyonüklitlerin miktarı, toprak kökenini oluşturan kaya çeşidine bağlıdır. Volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek radyasyon seviyeleri görülürken, tortul kayalarda daha düşük radyasyon seviyeleri görülmektedir. Çizelge 1.3'de çeşitli kayalardaki uranyum konsantrasyonları gösterilmiştir (Özger, 2005; Değerlier, 2007).

Granit kayalar önemli miktarlarda toryum içermektedir. Yüksek konsantrasyonlu bu kayalar, iklim ve doğa şartlarına bağlı bir süreçle ve toprakta bulunan bir çeşit asit olan Hümic asit ile parçalanmaktadır. Parçalanarak, yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışan bu kayalar, toprağın background radyoaktivitesinin artmasına neden olurlar (Özger, 2005; Değerlier, 2007).

Çizelge 1.3. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu (Köksal ve Çelebi, 2003; Değerlier, 2007)

Kaya tipleri	Uranyum konsantrasyonu (ppm)
Volkanik kayalar	3.0
Fosfat kayalar (florida)	120.0
Fosfat kayalar (kuzey afrika)	20-30
Granit	4.0
Kireç taşı	1.3
Tortul kayalar	1.2

Ayrıca, insanlar tarafından tarımdaki verimi arttırmak için kullanılan suni gübreler, radyoaktif ^{32}P içermekte olduğundan, bölgesel olarak topraktaki yüzey aktivitesini arttırmaktadır (Özger, 2005; Değerlier, 2007).

Çevremizde bulunan potasyumun yalnızca % 0.0118'i radyoaktif ve sadece % 11'inde gama ışını salınımı görülür. ^{40}K , kayalarda ve toprakta, uranyum ve toryuma göre ağırlıkça 10000 kat daha fazla bulunmaktadır. Doğada bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K yarı ömürleri, özgün aktivite değerleri ve bozunum başına yayınladıkları foton sayısı Çizelge 1.4'de verilmiştir (Theodorsson, 1996; Özger, 2005).

Toprakta ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ortalama aktivite kütle konsantrasyonları ve yeryüzünden 1m yukarıda karşılık gelen soğurulan doz şiddetleri Çizelge 1.5'de verilmektedir (UNSCEAR,1988; Özger, 2005). Her üç radyonüklitin ortalama konsantrasyonlarda toprakta bulunması durumunda, yeryüzünden 1m yukarıda topraktaki γ radyasyonundan dolayı soğurulan doz şiddeti 44 nGy/saat olmaktadır (Myrick et al., 1983; Özger, 2005).

Toprakta bulunan organik maddelerin ayrışması, toprağın alt tabakalarında meydana gelen oksidasyonla başlamaktadır. Toprak yapısında var olan uranyum, bu süreç içerisinde azalmaktadır. Toprakta demir oksitlerin ve diğer elementlerin oluşmasıyla devam etmektedir. Bazı topraklarda oluşan asit, ortamda bulunan kalsiyum karbonat vasıtasıyla radyonüklitlerin tutulmasını engellemekte, dolayısıyla kayalardaki radyonüklit yoğunluğunu ve sonuç olarak dış radyasyon seviyesini azaltmaktadır (NCRP, 1975; Özger, 2005).

Çizelge 1.4. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K yarı ömürleri, özgün aktivite değerleri ve bozunum başına yayınladıkları foton sayısı (Theodorsson, 1996; Özger, 2005)

Radyoknüklit	Yarı Ömür (Yıl)	Spesifik Aktivite (Bq/kg)	Foton/Bozunum ($>50\text{keV}$)
^{40}K	1.25×10^9	2.8×10^4	0.11
^{232}Th	14.0×10^9	4.02×10^6	2.08*
^{238}U	4.5×10^9	12.3×10^6	1.80*

* ^{238}U ve ^{232}Th serileri seküler (kalıcı) dengededir

Çizelge 1.5. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ortalama aktivite kütle konsantrasyonları ve havadaki soğurulan doz şiddetleri (UNSCEAR, 1988; Özger, 2005)

Radyonüklit	Ortalama Aktivite Kütle Konsantrasyonu (Bq/kg)	Havadaki soğurulan doz oranı (nGy/saat)
^{40}K	370 (100-700)	16 (4-30)
^{232}Th	25 (10-50)	11 (4-21)
^{238}U	25 (7-50)	17 (5-33)

Parantez içinde verilen değerler pik oranlarıdır

1.2. Radyasyon Çeşitleri

1.2.1. Alfa Parçacığı

Alfa parçacığı, iki proton ve iki nötrondan oluşmuş pozitif yüklü bir helyum çekirdeğidir. Çekirdeğin, alfa parçacığı salması olayına atom numarası büyük izotoplarda ve genellikle doğal radyoaktif atomlarda rastlanır. Alfa parçacıklarını sahip oldukları nispeten büyük elektrik yükleri dolayısıyla çok küçük kalınlıklardaki maddelerle durdurmak mümkündür. Bu yüzden de normal olarak dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak, yeme, solunum ve yaralar vasıtasıyla vücuda girdiklerinde tehlikeli olabilirler (Togay, 2002; Büyüksulu, 2007).

1.2.2. Beta Parçacığı

Beta parçacıkları, belli bir yük ve kütleyle sahip olduklarından, madde içerisinden geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Ancak bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Beta parçacıklarının katılar içindeki erişme uzaklıkları çok fazla olmamakla birlikte hava içerisinde oldukça uzun mesafelere kadar yayılabilirler. Bu nedenle sırf beta parçacıkları yayınlayan

radyoizotoplar dahi insanlar için bir dış radyasyon tehlikesi yaratabilirler (Togay, 2002; Büyüksü, 2007).

1.2.3. X-Işınları

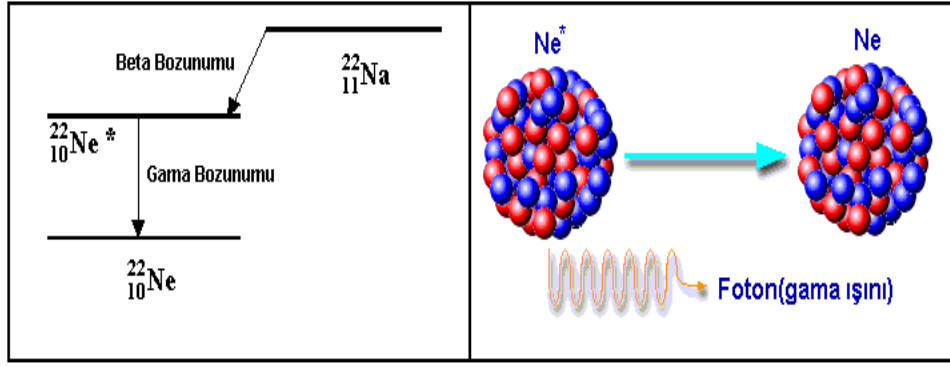
Röntgen ışınları da denilen X-ışınları, elektromanyetik dalga şeklindedir. Bir atomdaki uyarılmış elektronların temel seviyeye dönerken ortaya çıkan enerji fazlalığı, X-ışını şeklinde dışarı salınır. Bir tüp içerisinde katottan yayılan elektronlar, binlerce voltluk potansiyel altında hızlandırılarak hedef de bulunan anot'a çarptırılır. Bu çarpışma sonucu durdurulan elektronların kaybettiği enerji, X-ışınları olarak yayınlanır (Togay, 2002; Büyüksü, 2007).

1.2.4. Gama Işınları

Gama ışınları atom çekirdeği kaynaklı ışınlardır. Çekirdek bir alfa veya bir beta bozunumuna uğradıktan sonra genellikle kararlı bir duruma geçemez. Çekirdeğin fazla kalan enerjisi bir elektromanyetik dalga şeklinde salınır. Gama ışınlarının enerji aralığı 0,1 - 10 MeV olup çekirdek durumları arasındaki enerji farkı mertebesinde ve bu 100 ile 10^4 fm dalga boyu aralığına karşılık gelir.

Gama ışınları nükleer radyoaktif bozunmaya uğrayan çekirdeklerde ve reaksiyonlar sonucu oluşan uyarılmış durumda bulunan çekirdeklerin taban enerji durumlarına geçmesi sırasında, çift oluşumu ile meydana gelen pozitronun bir elektronla birleşip yok olması sonucunda, yüklü parçacıkların (e^-) ani hızlandırılması veya durdurulması sonucunda oluşabilmektedir.

Gama ve X-ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır. Ancak, birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla ve sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Madde içerisinden geçerken üstel bir fonksiyon şeklinde bir şiddet azalmasına uğrarlar. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler (Togay, 2002; Büyüksü, 2007).



Şekil 1.3. Gama bozunum şeması

Şekil 1.3'de Na'nın, beta bozunumu sonucu Ne (neon)'nin uyarılmış haline dönüşmesi ve uyarılmış halde bulunan Ne çekirdeğinin gama bozunumu ile temel enerji seviyesine düşerken yayınladığı gama ışınının şematik diyagramları gösterilmiştir.

1.2.5. Gama Işınlının Madde ile Etkileşmesi

Madde içerisinde ilerleyen gama ışının şiddeti Denklem 1.1'de gösterildiği gibi eksponansiyel bir dağılım göstererek değişmektedir.

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot t} \quad (1.1)$$

Burada I_0 kaynaktan çıkan gama ışının şiddeti, I ise etkileşme sonrasındaki gama ışının şiddeti, μ değeri lineer azaltma katsayısı olarak adlandırılır ve Denklem 1.2'deki gibi verilir.

$$\mu = \sigma \times n \quad (1.2)$$

Burada σ gama ışını için tesir kesiti, n ise birim hacimdeki atom sayısını göstermektedir.

Gama ışını için tesir kesiti, gama ışınının maddeyle farklı şekillerde etkileşme olasılıklarının toplamı cinsinden verilebilir (Denklem 1.3).

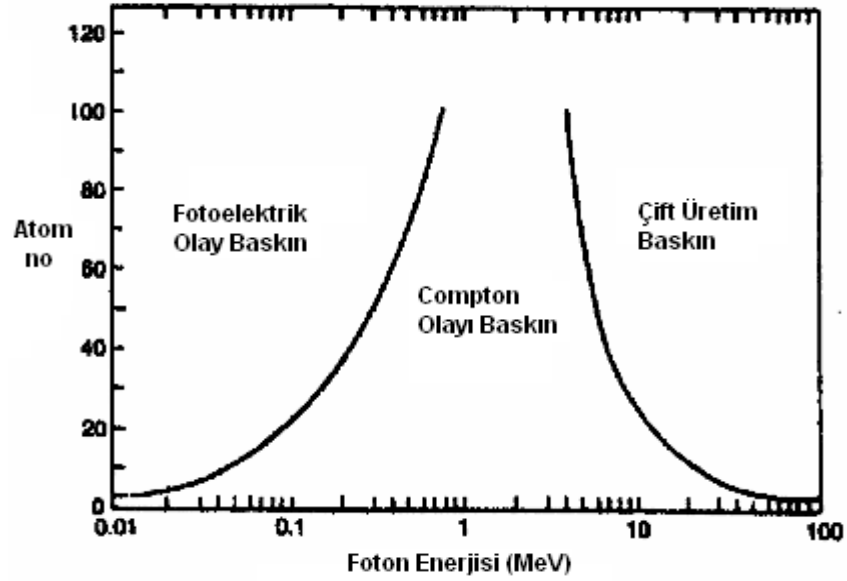
$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (1.3)$$

Burada τ , σ , κ sırasıyla fotoelektrik, Compton saçılması ve çift oluşumu olma olasılıklarını göstermektedir. Gama ışınlarının madde ile yaptığı etkileşmeleri üç farklı olay biçiminde özetlemek mümkündür.

Bu etkileşmeler:

1. Fotoelektrik Olay
2. Compton ve Thomson Saçılması
3. Çift Oluşumu

Tüm bu etkileşimleri Şekil 1.4’de görülen bir grafikte ele alacak olursak; düşük enerjiye sahip fotonlarda ve büyük Z'ye sahip atomlarda fotoelektrik olay baskındır. Artan enerji miktarıyla birlikte, fotonun soğurulma olasılığı azalacağından, çarptığı atom tarafından enerjisinin tamamı soğurulamayacak, bu nedenle foton Compton saçılmasına uğrayacaktır. 5 MeV’in üzerindeki enerjilerde ise çift oluşumu baskın hale gelecektir.



Şekil 1.4. Fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumunun baskın olduğu bölgeler (Krane, 2001)

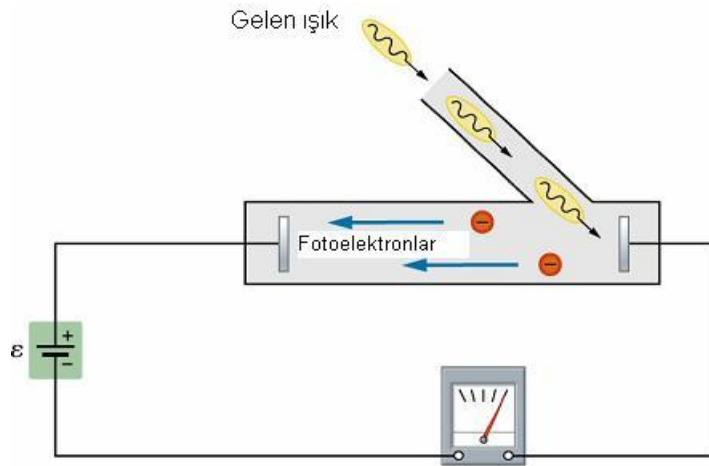
1.2.5.1. Fotoelektrik olay

Detektör üzerine düşen gama ışınları ilk olarak detektörün yüzey elektronlarıyla etkileşir ve gama ışınları tüm enerjisini tüketir. Ancak gama ışınlarının bu enerjilerinin tamamı, elektronlara kinetik enerji olarak yansmaz ve bir kısmı elektronları serbest hale getirir. Serbest halde bulunan bu elektronlar fotoelektronlar olarak isimlendirilir. Gelen gama ışınının enerjisi (E_γ) ve elektronu koparmak için gerekli olan enerji (E_b) olmak üzere bir foto elektronun kinetik enerjisi Denklem 1.4'deki gibi gösterilir. Foto elektrik olayın şematik diyagramı Şekil 1.5'de gösterilmiştir.

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (1.4)$$

Burada T_e fotoelektronun kinetik enerjisi, E_b ise elektronun bağlanma enerjisidir.

Fotoelektrik olay sonucu serbest hale geçen fotoelektrondan boşalan yerleri başka elektronların doldurması ile birlikte karakteristik x-ışınları açığa çıkar. Açığa çıkan bu x-ışınlarının ikincil elektronlar tarafından soğrularak kinetik enerjiye dönüşmeleri, bir anlamda kayıp enerjiyi engellemek olacaktır. Ayrıca serbest bir elektrondan enerji ve momentum korunumu gereği foton soğurulamaz. Fotoelektrik soğurma olasılığı, soğurucu atomun Z sayısı ile hızla artar (Z^4) ve artan foton enerjisi ile hızla azalır (kabaca E_γ^{-3}).



Şekil 1.5. Foto elektrik olayın şematik gösterimi

1.2.5.2. Compton saçılması

Compton saçılmasında foton, detektör materyalindeki bir atomun elektronu tarafından saçılır. Compton saçılmasına uğrayan E_γ enerjisine sahip gama ışını, enerjisinin düşüşüyle beraber E'_γ enerjisine sahip olarak, yeni bir açıyla saçılabilir. Saçılan fotonun enerjisi Denklem 1.5 ile verilir. Compton saçılmasının şematik diyagramı Şekil 1.6'da gösterilmiştir.

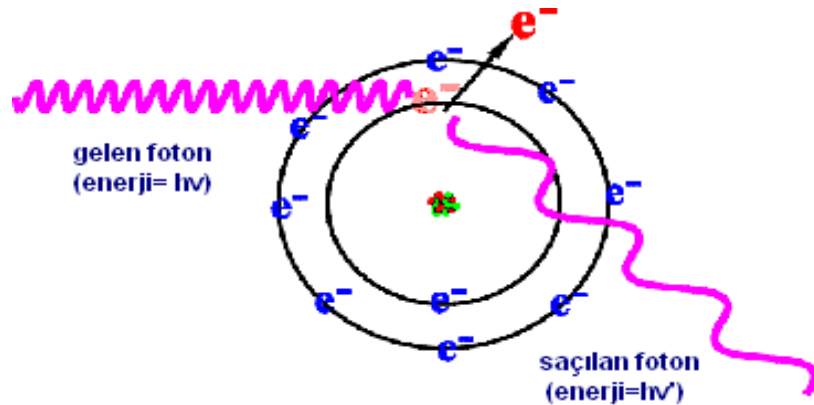
$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \left(\frac{E_\gamma}{mc^2}\right)(1 - \cos\theta)} \quad (1.5)$$

Saçılma sonrasında gama ışınının enerjisi daha az olmasına rağmen tekrar kristal atomlarıyla, bir ya da daha fazla Compton saçılmasına uğrayabilir. Gama ışınlarındaki enerji kaybıyla birlikte fotoelektrik soğurulmanın oluşması olasılığı da artar.

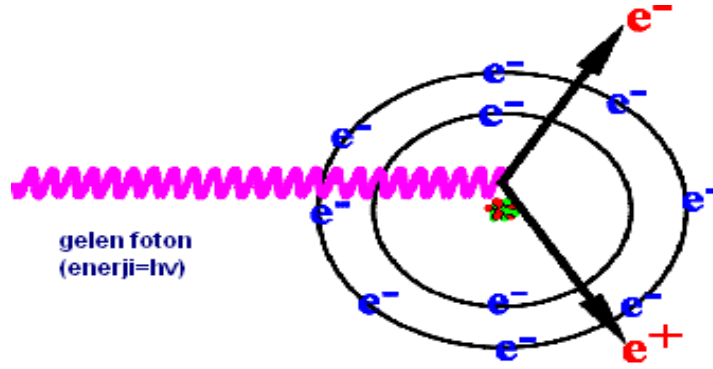
1.2.5.3. Çift oluşumu

Çift oluşumu, dışarıdan gelen gama ışınının çekirdek etrafında elektron-pozitron çifti üreterek yok olması olayıdır (Şekil 1.7). Elektron ve pozitronun durgun kütlesi 0.51 MeV olması nedeni ile çift oluşumunun gerçekleşebilmesi için 1.02 MeV enerjili bir foton gereklidir. Bu boyuttaki bir enerjiye, 1000 fm dalga boyuna sahip gama ışınları karşılık gelir. Gelen gama ışınının, elektron-pozitron çifti oluşuktan sonra kalan enerjisi, Denklem 1.6'da gösterildiği gibi elektron ve pozitronun kinetik enerjisine dönüşür.

$$E_\gamma = 2m_0c^2 + T_C \quad (1.6)$$



Şekil 1.6. Compton saçılmasının şematik gösterimi



Şekil 1.7. Çift oluşumunun şematik diyagramı

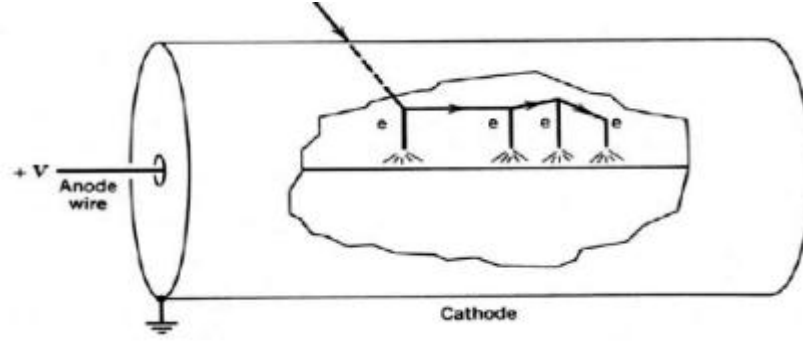
1.3. Radyasyon Ölçüm Metotları ve Radyasyon Sayaçları

Gama ışınlarının tespit edilmesi herhangi bir duyu organı ile mümkün olmadığından dolayı, algılanması ve ölçümleri detektörler ile sağlanır. Bu ışınların tespiti için, bu güne kadar birçok detektör sistemi geliştirilmiştir.

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

1.3.1. Geiger Sayacı

Geiger sayacı radyasyonu belirlemekte kullanılan en yaygın cihazdır. Sayaç, az yoğunlukta bir gaz ile doldurulmuş silindirik bir metal tüp ve tüp eksenini boyunca uzanan pozitif biyazlanmış bir tel içerir (Şekil 1.8). Tüpün içine giren radyasyon gaz halindeki atomların bazılarını iyonlaştırarak iyon çiftleri oluşturur. Oluşan negatif iyonlar ve elektronlar, pozitif biyazlanmış tele doğru çekilir, aynı zamanda çekilen bu elektronlar karşılaştıkları diğer atomları da iyonize ederler. Bu iyon çiftleri ve elektronlarda, tüpün çıkışında akım pulsu çıkmasıyla sonuçlanır.



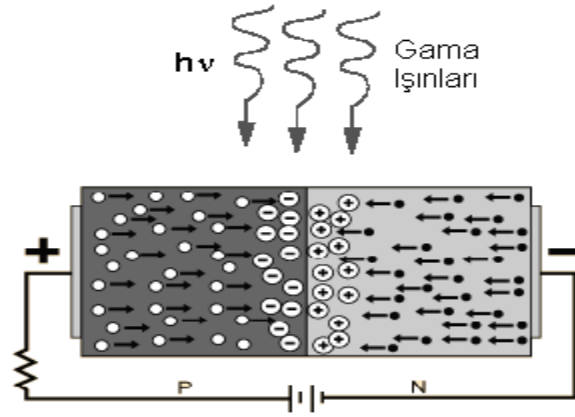
Şekil 1.8. Gazlı sayaç geometrisi

1.3.2. Yarı iletken Diyot Detektörü

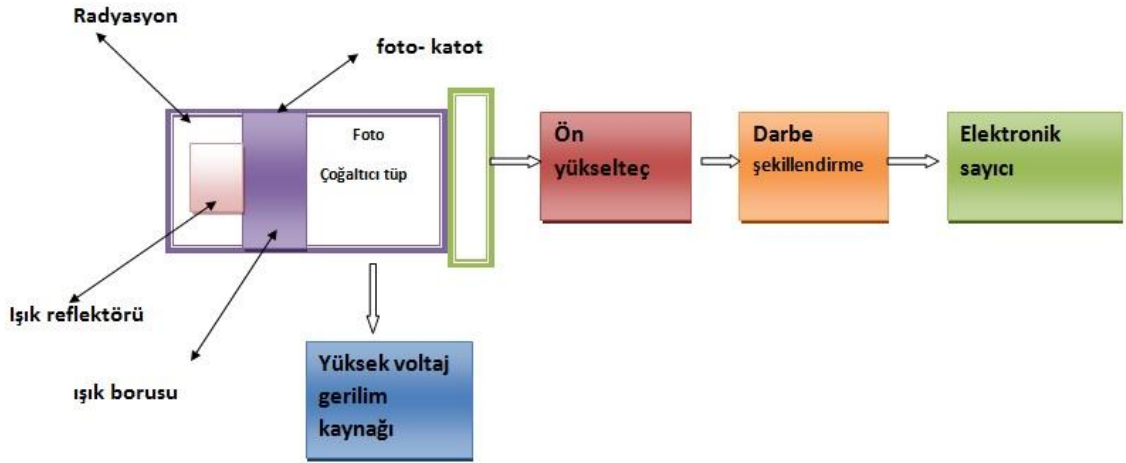
Esas olarak basit bir geri beslemeli $p-n$ eklemidir. $p-n$ eklemi, ileri besleme durumunda hemen akım geçiren, geri besleme şartları altında ise akım geçirmeyen bir diyottur. Ters besleme altındaki bir $p-n$ eklemli diyotta elektron ve deşikten arınmış hassas bir bölge oluşur. $p-n$ eklemi içinden geçen bir gama ışını, valans bandındaki bir elektronu uyararak iletim bandına yükseltir ve bir elektron-deşik çifti oluşmasına neden olur. Elektrik alan elektronları eklemin pozitif, boşlukları da negatif tarafına doğru sürükler. Bu da elektronik bir sayıcı ile sayılabilen bir puls meydana getirir. Şekil 1.9'da yarı iletken detektörlerin basit şematik gösterimi görülmektedir.

1.3.3. Sintilasyon Sayacı

Sintilasyon sayaçları, sintilatör, bir fotokatot ve dinotdan oluşan bir düzendir (Şekil 1.10). Gelen radyasyon enerjisi ile iletim bandına uyarılan elektron, çok kısa bir sürede değerlik bandına geri döner ve bu esnada bir foton yayınlar. Sintilatörden yayınlanan bu foton, fotokatot üzerine düşer ve fotoelektrik olay sonucu fotokatottan bir elektron söker. Bu elektronlar aralarında yüksek potansiyel fark bulunan ve kolay elektron koparılabilen malzemedan yapılmış dinotlar aracılığıyla çoğaltılarak oluşan çıkış pulsü daha belirgin hale getirilir.



Şekil 1.9. Yarı iletken diyot detektörünün şekli



Şekil 1.10. NaI sintilatör ve sayım sisteminin şematik diyagramı

1.3.4. Detektör Seçimi

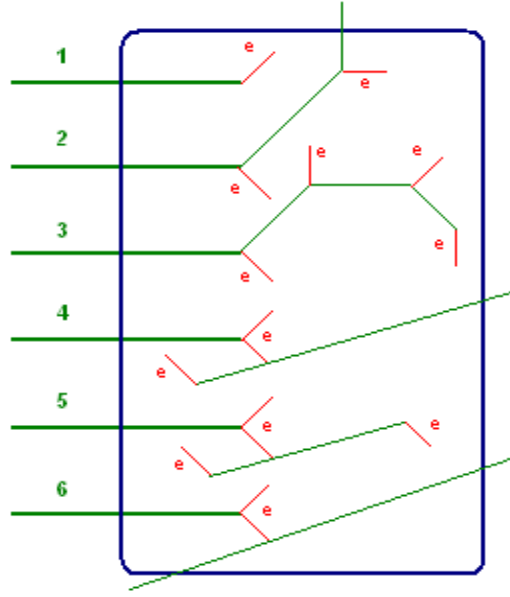
Gama ışınları yüksüz olmaları nedeni ile iyonizasyona neden olmazlar. Madde ile etkileşmeye girmeden uzun mesafeler gidebilirler. Gama ışınlarının tespit edilebilmesi için enerjilerinin bir kısmını veya tamamını elektronlara aktarmaları gerekir. Gama ışını tespitinde kullanılacak detektörün seçiminde, yapılmak istenen ölçümün tipine, detektörün verimine, enerji ve zaman çözme gücü gibi özelliklerine dikkat edilir.

Gama spektroskopisinde çok yaygın olarak kullanılan sintilasyon detektörleri (NaI) ve yarıiletken detektörler (Ge) karşılaştırılacak olursa, sintilasyon detektörleri daha yüksek verimlilikte, maliyeti daha az ve çalışma şekli daha basittir. Örneğin NaI detektörleri için soğutma gerekli değildir. Sintilasyon detektörleri yarı iletken detektörlerden daha yüksek kütle numarasına sahip oldukları için foton soğurulma olasılığı bu detektörde daha yüksektir. Bununla birlikte Germanyum detektörler sintilasyon detektörlerine göre daha yüksek çözme gücüne sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı çevresel örneklerin radyoaktivite dağılımlarının tespitinde tercih edilirler.

1.3.5. Enerji Ölçümleri

Gama radyasyonunun detektörle etkileşiminde meydana gelebilecek olaylar Şekil 1,11'deki gibidir:

1. Fotoelektrik soğurma yoluyla enerjisini direk detektöre aktarabilir.
2. Birkaç kez Compton saçılması yapar ve enerjisinin tamamını kaybetmeden detektörü terk edebilir.
3. Birkaç Compton saçılmasından sonra fotoelektrik soğurma yapar ve enerjisinin tümünü kaybedebilir.
4. Çift oluşumu ile bir elektron pozitron çifti üretir, daha sonra oluşan pozitron bir elektron ile çift yok olur ve iki foton üretilir. Bu fotonlardan biri detektörü terk edebilir.
5. Çift oluşumu yoluyla oluşan iki foton da, enerjilerini fotoelektrik soğurum ile detektöre aktarabilir
6. Çift oluşumu ile meydana gelen iki foton da detektörü terk edebilir.



Şekil 1.11. Detektöre giren gama ışınının etkileşme yolları

Eğer foton, fotoelektrik soğurmaya maruz kalıyor ise, foton enerjisinin tamamını detektör kristaline aktarır ve gelen gama ışını enerjisinde bir pik elde ederiz.

Detektör içerisinde gerçekleşen Compton saçılması tüm açılarda olacağından saçılan elektronun enerji aralığını hesaplamak için $\theta = 0^\circ$ ile $\theta = 180^\circ$ değerleri kullanılır. Burada soğurulan elektronların tamamı enerji spektrumunun Compton bölgesine katkıda bulunur.

Bir pozitron-elektron çifti, $E_\gamma = 2m c^2$ 'lik kinetik enerji ile oluşur ve bu enerji detektörde foto pik oluşmasına neden olur. Pozitron, atomdaki elektronla birleşerek yok olur ve sonuçta iki tane 511 keV'lik foton üretilir.

1.4. Önceki Çalışmalar

Bu bölümde toprak örneklerindeki radyoaktivite ile ilgili çeşitli ülkelerde yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

O.O. Alatis, I.A. Babalola ve J.A. Olowofela (2008) tarafından yapılan çalışmada Nijerya'nın kıyı alanlarındaki topraklarda bazı doğal radyoaktif materyallerin, radyasyon seviyesi belirlenmiş ve radyonüklit dağılımı yapılmıştır. Toprak

örneklerindeki doğal radyonüklitlerin radyoaktivite konsantrasyonu, yüksek çözünürlüklü, düşük backgroundlu yüksek saflıkla koaksiyel gama ışını detektörü ile analiz edilmiştir. ^{40}K 'nin aktivitesi 111.9 ve 444.7 kBq/kg aralığında ve ortalama değeri 283.28 kBq/kg; ^{226}Ra 'nın aktivitesi 23.24 ile 43.66 kBq/kg aralığında ve ortalama değeri 34.54 kBq/kg, ^{232}Th 'nin aktivitesi 6.48 ile 12.79 kBq/kg aralığında ve ortalama değeri 9.17 kBq/kg olarak elde edilmiştir. NORM nedeniyle havadaki ortalama soğrulan doz hızı 33.665 ± 3.409 nGy/saat olarak bulunmuştur. Korelasyon analizlerinde, beş kıyı eyaletinin tamamında her üç radyonüklit arasında pozitif bir ilişki olduğu gösterilmiştir.

A. Kurnaz, B. Küçükömeroğlu, R. Keser, N.T. Okumusoglu, F. Korkmaz, G. Karahan, U. Çevik (2007) ise Fırtına vadisinin toprak ve sediment örneklerinin, doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemiştir. Toplanan örneklerin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının analizi için HPGe detektör kullanılmıştır. Aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{228}Ac , ^{40}K ve ^{137}Cs için Bq/kg olarak belirlenmiştir. Sonuçlar farklı ülkelerin, toprak ve sediment radyoaktivite ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), soğrulan doz hızı (D), dış tehlike endeksi (H_{ex}), yıllık ganodal doz eşdeğeri (YGDE) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) hesaplanmış ve uluslararası değerlerle karşılaştırılmıştır.

S. Yalcin, O. Gurler (2006) Türkiye'nin güney Marmara bölgesindeki çeşitli bölgelerden toplanan toprak, kömür ve su örneklerinde radyoaktivite seviyelerini belirlemiştir. Örnek aktiviteleri TENNELEC LB 1000-PW detektörü kullanılarak belirlenmiştir. Mutlak beta aktivitesi toprak örnekleri için Bq/kg biriminde 0.83 ± 0.06 ile 0.50 ± 0.05 aralığında, kömür örnekleri için Bq/kg biriminde 1.284 ± 0.02 ile 0.079 ± 0.002 aralığında ve su örnekleri için Bq/kg biriminde 0.74 ± 0.05 ile 0.06 ± 0.02 aralığında gözlenmiştir. Ayrıca beta aktivitesi yüksek olan toprak ve kömür örneklerinin gama spektrumu HPGe detektör kullanılarak ölçülmüştür. Toprak örneklerinde ^{235}U , ^{214}Pb , ^{134}Cs , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivitesi, kömür örneklerinde ise ^{235}U , ^{214}Pb , ^{134}Cs ve ^{214}Bi aktivitesi belirlenmiştir. Su örneklerindeki radyoaktivite seviyeleri WHO ve ITS'nin tavsiye edilen değerleri ile karşılaştırılmıştır.

J.A. Oyedele, S. Shimboyo, S. Sitoko ve F. Gaoseb (2010) Batı Namibiadaki Aradisin komşu şehirlerinde ve Rössing uranyum madeninden alınan toprak örneklerinde ^{238}U ,

^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitlerinin konsantrasyonlarını HPGe detektör ile belirlemişlerdir. Örneklerdeki konsantrasyonlar ^{238}U için 45.9 ± 3.0 ile 1752.1 ± 17.5 Bq/kg aralığında, ^{232}Th için 70.4 ± 4.8 ile 1865.5 ± 56.0 Bq/kg aralığında, ^{40}K için 376.57 ± 18.1 ile 1300.7 ± 50.7 Bq/kg aralığında değişmektedir. Bu konsantrasyonlar, şehir ve madende havadaki doz hızı ve yıllık eşdeğer doz hızının hesaplanmasında kullanılmıştır. Yıllık eşdeğer doz hızı 0.12 ± 0.01 ile 1.60 ± 0.04 mSv/y aralığında değişir ve ortalama değeri 0.30 ± 0.21 mSv/yıl olarak elde edilmiştir.

N. Akhtar, M. Tufail, M. Ashraf ve M.M. Iqbal (2005) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise Pakistan'ın Lahore kenti toprak örneklerinde çevresel radyoaktivite ölçümleri gama spektrometrik yöntem kullanılarak yapılmıştır. Radyonüklit aktivite konsantrasyonları sırayla ^{40}K için 524.84-601.62 Bq/kg, ^{226}Ra için 24.73- 28.17 Bq/kg ve ^{232}Th için 45.46 - 52.61 Bq/kg olarak ölçülmüştür. ^{137}Cs ise limit değerlerinden daha düşük olduğu için ölçülememiştir.

N. Khalifa Ahmed (2005) tarafından yapılan çalışmada Mısır'ın Qena şehrinde yaygın olarak kullanılan tuğla, çimento, alçı, seramik, mermer, kalker ve granit gibi inşaat malzemeleri rastgele toplanmıştır. Örneklerin radyoaktivite içerikleri gama spektrometrik ölçümler kullanılarak test edilmiştir. En yüksek ^{226}Ra ve ^{40}K aktivite değerleri sırası ile 205 ± 83 Bq/kg ve $8.7 \pm 3.9 \times 10^2$ Bq/kg olarak mermerde, ^{232}Th aktivite değeri ise 118 ± 14 Bq/kg ile granitte ölçülmüştür. Farklı inşaat malzemelerindeki üç radyonüklitin ortalama konsantrasyonu ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 116 ± 54 , 64 ± 34 ve $(4.8 \pm 2.2) \times 10^2$ Bq/kg dir. Radyum eşdeğer aktivitesi ve çeşitli tehlike endeksleri radyasyon tehlikesini değerlendirmek için hesaplanmıştır. Radyum eşdeğer aktivitesinin maksimum değeri mermerde 436 ± 199 Bq/kg'dır. Bu materyallerin en yüksek radyoaktivite seviyeleri ve havadaki doz hızları mermerde hesaplanmıştır.

J. Al-Jundi, B.A. Al-Bataina, Y. Abu-Rukah, H.M. Shehadech (2003) çalışmasında ise Amman Akabe ulusal otoyolu boyunca sekiz noktadan elde edilen topraklarda, doğal olarak meydana gelen karasal (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) radyonüklitlerin, spesifik aktivitesi ve soğrulan doz hızı, HPGe gama ışını spektrometrisi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak aktivitesi ^{238}U için 22 ile 104 Bq/kg, ^{232}Th için 21 ile 103 Bq/kg ve ^{40}K için 138 ile 601 Bq/kg aralığındadır. ^{238}U 'nun en yüksek değeri Al-hassa fosfat madeninden alınan

örneklerde bulunmuştur. Bu çalışmada yıllık etkin doz eşdeğeri 40-151 μSv olarak verilmiştir. Ortalama değer UNSCEAR-2000 yayınında verilen bina içi radyasyon dozunun küresel değer aralığı içindedir.

G. Dugalic, D. Krstic, M. Jelic, D. Nikezic, B. Milenkovic, M. Pucarevic, T. Zeremski-Skoric (2010) tarafından yapılan çalışmada batı sırbistan toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin ortalama radyoaktivitesi sırasıyla 60.4 ± 26.2 , 33.2 ± 13.4 , 49.1 ± 18.5 , 379 ± 108 ve 36.4 ± 23.3 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Toprakta radyoaktivite artışı bulunmuştur. Çalışma bölgesi için daha önceki raporlara benzer şekilde yerden 1 metre yükseklikte havadaki toplam soğrulan doz hızı 73.4 nGy/saat ve yıllık etkin doz 90 μSv olarak bulunmuştur.

J. Singh, H. Singh, S. Singh, B.S. Bajwa, R.G. Sonkawade (2009) tarafından yapılan çalışmada topraktaki doğal radyonüklit (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) içeriği yüksek çözünürlüklü gama ışını spektrometrik analizi kullanılarak Hindistan'ın Siwaliks ve Punjab bölgelerinde belirlenmiştir. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklit konsantrasyonlarının sırasıyla 28.3 ± 0.5 ile 81.0 ± 1.7 Bq/kg, 61.2 ± 1.3 ile 140.3 ± 2.6 Bq/kg ve 363.4 ± 4.9 ile 1002.2 ± 11.2 Bq/kg arasında değiştiği gözlemlendi. Toplam soğrulan doz hızı 71.1 ile 162 nGy/saat aralığında hesaplandı. Topraktaki doğal radyonüklitlerden kaynaklanan radyum eşdeğeri ve dış tehlike endeksi sırasıyla $149.4 - 351.8$ Bq/kg ve $0.40 - 0.95$ değerleri arasında hesaplandı.

S. Kuan Lee, H. Wagiran, A.T. Ramli, N.H. Apriantroro, A.K. Wood (2009) tarafından yapılan çalışmada Malezya Perak'ın Kinta semtinde 2003 ile 2005 yılları arasında, doğal background radyasyonu ve radyoaktivite konsantrasyonu araştırılmıştır. Harici gama doz hızları 39 ile 1039 nGy/saat aralığında ölçülmüş ve ortalaması 222 ± 191 nGy/saat olarak bulunmuştur. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları yüksek çözünürlüklü koaksiyel HPGe detektör sistemi kullanılarak analiz edilmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 12 ile 426 Bq/kg, 19 ile 1377 Bq/kg ve 19 ile 2204 Bq/kg aralığında gözlemlenmiştir. Radyonüklitlerin belirlenen aktivite konsantrasyonundan, soğrulan gama doz hızları hesaplanmıştır. Hesaplanan doz hızları ve ölçülen doz hızları iyi birer korelasyon katsayısına sahiptir ($R=0.94$). Doğal radyoaktivitenin radyolojik tehlikesini değerlendirmek için, radyum eşdeğer aktivitesi,

soğrulan gama doz hızı ve ortalama kirlilik ağırlıklı doz hızı hesaplanmıştır. Kinta mahallesi için bir izodoz haritası oluşturulmuştur.

H. Taskin, M. Karavus, P. Ay, A. Topuzoglu, S. Hidiroglu, G. Karahan (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Türkiye, Kırklareli için topraktaki radyonüklit aktivite yoğunluğu haritalandırılmış ve çevresel gama doz hızları değerlendirilmiştir. Artan yaşam boyu kanser riski hesaplanmıştır. Dış gama doz hızı, 230 örnekleme istasyonunda belirlenmiş ve toprak örnekleri 177 bölgeden alınmıştır. Bu kaynakların koordinatları, küresel koordinatlandırma sistemi (GPS) ile tespit edilmiştir. Dış gama doz hızları, eberline marka taşınabilir radyasyon ölçer (ESP-2) ile belirlenmiş ve ortalama dış gama doz hızı 118 ± 34 nGy/saat olarak elde edilmiştir. Kırklareli'nin yıllık etkin gama dozu $144 \mu\text{Sv}$ ve yaşam boyu kanser riski 5.0×10^{-4} olarak hesaplanmıştır. Toprak örnekleri gama spektroskopisi ile analiz edilmiştir. ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktivitesi sırasıyla 37 ± 18 Bq/kg, 28 ± 13 Bq/kg, 40 ± 18 Bq/kg, 8 ± 5 Bq/kg ve 667 ± 281 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Kırklareli'nin ortalama radyonüklit yoğunluğu bazı aşırı değerlere rağmen dünya ortalamasındadır. Yıllık etkin gama dozu ve kanser riski dünya ortalamasından daha yüksek bulunmuştur.

M. Degerlier, G. Karahan ve G. Ozger (2008) ise çalışmalarında Adana çevresinde toprak yüzeyindeki doğal radyonüklitlerin konsantrasyonlarını, gama ışını spektrometrik yöntemi kullanarak HPGe detektör ile belirlemişlerdir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 17.6, 21.1 ve 297.5 Bq/kg olarak bulunmuştur. Örnekleme noktalarında, yerden 1 metre yukarıda harici gama dozu ölçümleri, taşınabilir gama sintilasyon detektörü kullanılarak yapılmış, ortalaması 67 nGy/saat olarak belirlenmiş ve yıllık etkin doz $82 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Bölgenin Tanıtılması

Kilis ili Güneydoğu Anadolu bölgesinde, Hatay – Kahramanmaraş oluğu ile Fırat ırmağı arasında uzanan Gaziantep Platosu'nun güneybatı kısmında Türkiye – Suriye sınırı boylarında, 36⁰ K enlemi ve 32⁰ D boylamı değerleri arasındadır. Bu konumuyla saha Akdeniz ve Güneydoğu bölgeleri arasındaki geçiş kuşağı üzerinde bulunur.

Bölgenin toprak yapısı, yaş bakımından olgun (zonal) ve genç (azonal) özellikler içermektedir. Kilis, Akdeniz kıvıll toprakları (kırmızı ve kahverengi topraklar), kalkersiz kahverengi orman toprakları, bazaltik topraklar ve kolivüyal topraklardan oluşan 4 tip toprak çeşidine sahiptir. Akdeniz kıvıll orman toprakları, kireç kayaları ve kireççe zengin tortul kütleler üzerinde oluşurlar. Fiziki yapısı tınlı ve killi olan bu toprak çeşidi, organik madde miktarı ve silis asidince fakir, seskioksit, demir oksit, kalsiyum oksit ve alüminyum oksitçe zengindir. Bazaltik toprak ve kalkersiz orman toprakları, bazaltlar ve sepatinler üzerinde gelişirler. Silis asidi ve demir oksit oranı nispeten yüksek, alüminyum oksit ve organik madde miktarları düşüktür. Kolüvyal topraklar, dik eğimlerin eteklerinde yerçekimi, toprak kayması, yüzey akışı veya yan dereler ile kısa mesafelerden taşınarak birikmiş topraklardır. Kalsiyum karbonat ve kalsiyum oksit oranları yüksek, silis asit, alüminyum oksit ve organik madde miktarı düşüktür (Kesici, 1994).

2.2. Materyal

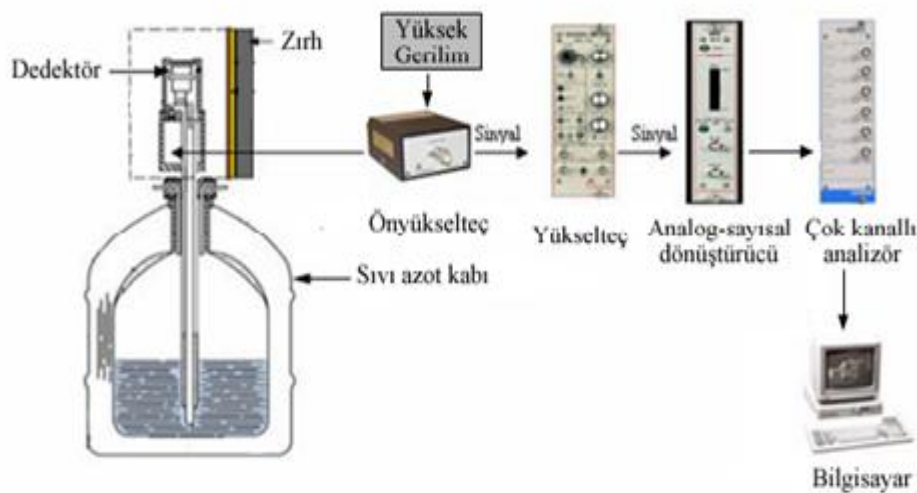
Nükleer analiz yöntemleri içerisinde çevremizdeki maddelerin hangilerinin radyoaktif olup hangilerinin radyoaktif olmadığını tespit edilmesinde, tespit edilen radyoaktif maddelerin ise bu aktivitelerinin hangi izotoplardan kaynaklandığını, aktivite yoğunluğunun ne kadar olduğunu anlamada ve çekirdeğin yapısının araştırılmasında gama spektroskopisi önemli bir yer teşkil etmektedir. Gama spektroskopik yöntemle tek bir numune ile farklı radyoaktif çekirdeklerin tespitinin tek tek ve aynı anda gerçekleştirilebilmesi ve kimyasal ayırma işlemlerinde olduğu gibi malzeme, emek ve zaman kaybına neden olmadığından, örnek hazırlanması kolay ve hızlıdır. Gama spektroskopik ölçümlerdeki yüksek kararlılık ve analiz edilen bilgilerin güvenilirlik

düzeylerinin yüksek olması ve ayrıca düşük ölçüm sınırı nedeniyle özellikle çevresel örneklerin analizinde kullanılırlar.

Genel olarak gama spektrometri sistemi NaI(Tl) gibi sintilasyon veya Ge(Li) ve HPGe gibi yarı iletken bir detektör (D), bir ön yükseltici (PA), bir adet yüksek voltaj filtresine sahip güç kaynağı (HV), yükseltici (MA), analog sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar (PC) yazıcıdan oluşur. Yüksek saflıkta germanyum detektörlü gama spektrometresi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

2.2.1. Yüksek Saflıkta Germanyum Yarı İletken Detektörler

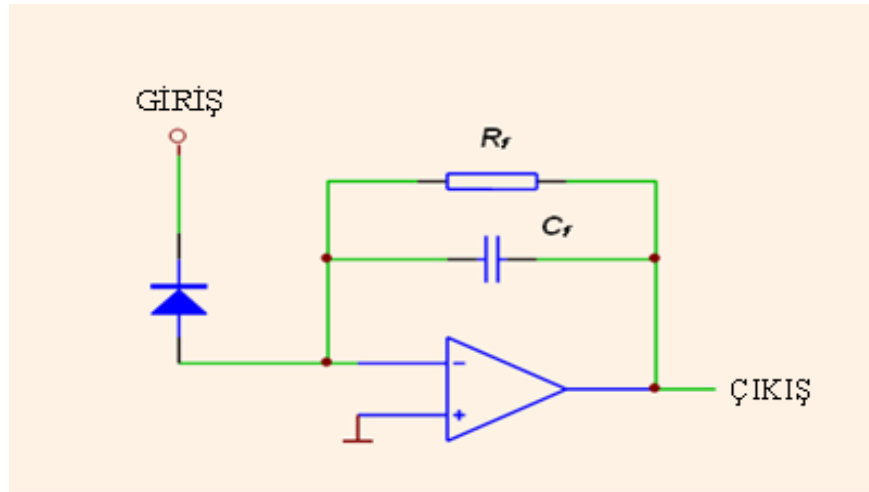
X ışınları ve gama ışınlarına duyarlı P-i-N yapısındaki yarı iletken diyotlardır. Germanyum kristali ile etkileşen gama ışınlarının oluşturduğu elektron-deşik çiftleri bir elektrik alan uygulanmasıyla p ve n bölgelerine doğru hareket ederek gelen fotonun enerjisiyle orantılı sinyal oluştururlar. Germanyum kristalinde bir elektron deşik çifti oluşturabilmek için sıvı azot sıcaklığında (77 K^0) $2,96\text{ eV}$ 'lik enerjiye ihtiyaç duyulur. Yapısal kusurların en az olduğu bant aralığı elektron deşik çiftleri için $0,67\text{ eV}$ 'dur. Detektör LN2 kriostata yerleştirilen veya bağlanan vakum odasına, monte edilmiştir. Böylece hassas detektör yüzeyleri nem ve diğer bulaşmalardan korunur.



Şekil 2.1. Yüksek saflıktaki germanyum detektörlü gama spektrometresi (Solmaz, 2008)

2.2.2. Ön yükselteç

Ön yükselteç, detektör ile etkileşen gama ışınlarının oluşturduğu yüklerin toplanma noktasıdır. Detektör ve yükselteç arasındaki empedans uyumunu sağlamak amacıyla detektöre yüksek empedans verir. Ön yükselteçlerin tasarımı akıma, gerilime ya da yüke hassas olacak şekilde yapılır. Çoğunlukla kazancın detektör kapasitansından bağımsız olmasından dolayı, yüke hassas ön yükselteçler, yüksek çözünürlüklü gama spektrometresinde kullanılır (Şekil 2.2) (Gilmore, 2000). C_f kapasitörü belirli bir zaman aralığı boyunca detektöre ulaşan yükü toplar. Zamanla toplanan yük miktarı arttıkça, kapasitörün gerilim miktarı da artar. Ön yükselteç girişini bir sonraki pulsa hazırlamak için R_f geri besleme direnci kapasitöre paralel olarak bağlanır. Bu şekilde yapılan ön yükselteçler direnç geri beslemeli ön yükselteç olarak adlandırılır. Çıkış pulsunun 100 – 700 ns civarındaki doğma zamanı oldukça hızlı ve detektörün yük toplama özelliklerine göre çıkış pulsunun, azalım zamanı uzundur. Geri besleme devresindeki azılım $R_f C_f$ çarpımı ile verilen zaman sabiti ile belirlenir. Bu tür geri beslemeli ön yükselteçlerin iki temel problemi vardır. İlk olarak uzun zaman azalımından dolayı art arda gelen çıkış pulslarının üst üste binmesi, bir diğeri ise R_f geri besleme direncinden kaynaklanan gürültüdür. Bu gürültüyü en aza indirmek için direnç değeri büyük seçilir.



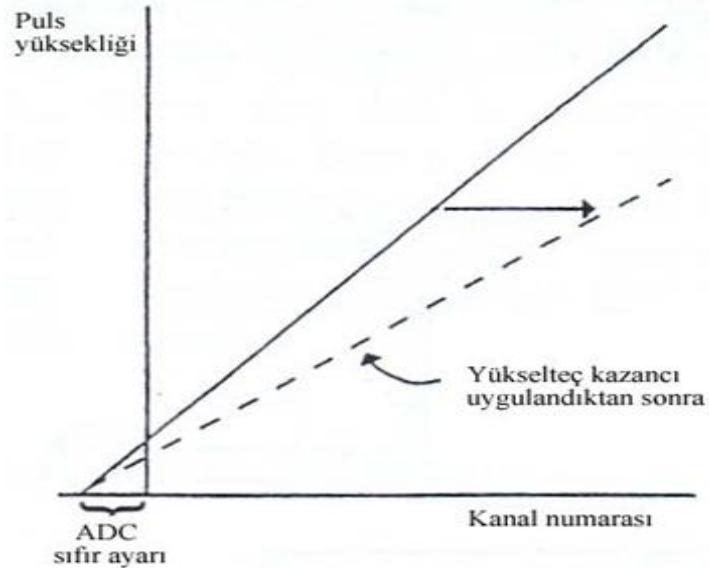
Şekil 2.2. Yüke hassas ön yükseltecin şematik görünümü (Solmaz, 2008)

2.2.3. Yükselteç

Ön yükselteçten çıkan ve puls yüksekliği ölçümü için uygun olmayan kuyruklu pulslar, yükselteç tarafından büyütülerek yükselme zamanı daha kısa ve çok daha hızlı azalım zamanı olan pulslara dönüştürülürler (Knoll, 2000). Bu puls dönüşümlerindeki istenmeyen etkileri düzeltmek için, yüksek çözünürlüklü gama spektroskopisinde kullanılan yükselteçlerde sıfır-kutup düzeltmesi ve taban seviye düzeltmesi sağlanır.

2.2.4. Çok Kanallı Analizör

Yükselteçten gama ışını enerjisiyle orantılı yüksekliklere sahip olarak çıkan pulslar, çok kanallı analizörde yüksekliklerine göre sıralanırlar. İlke olarak yükselteçten çok kanallı analizöre gelen pulsun yüksekliği ve bu puls yüksekliğine karşılık gelen kanal numarası arasındaki ilişki doğrusal olmalıdır (Şekil 2.3). Küçük genlikli gürültü pulslarının engellenmesi için, analog-sayısal dönüştürücü sıfır ayarı yapılmasına olanak tanır. Çok kanallı analizörde, puls yüksekliği ve kanal numarası arasındaki doğrusallıktan sapmanın ölçüsü olan integral ve kanal genişliklerinin kararlılığını gösteren diferansiyel, olmak üzere iki farklı doğrusallık tanımlanır. İntegral doğrusallık diferansiyel doğrusallığa göre daha hassastır.

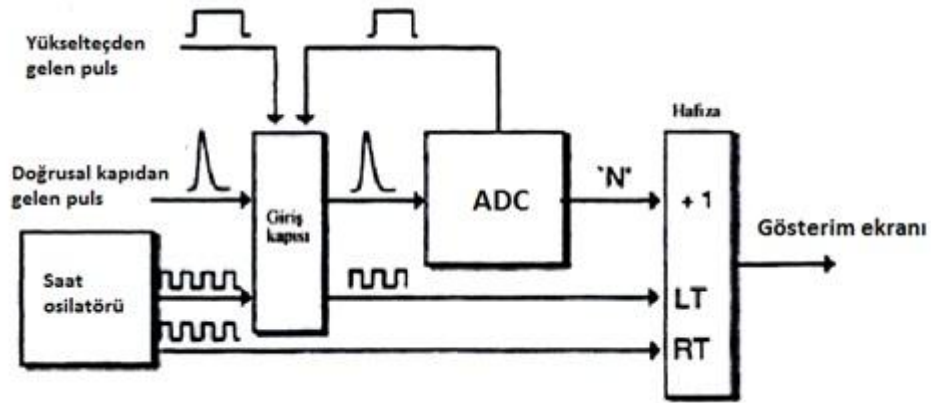


Şekil 2.3. Çok kanallı analizörde kanal numarası ve puls yüksekliği arasındaki ilişki (Solmaz, 2008)

Spektrum kaydetme hafızası olarak da nitelenen çok kanallı analizörün kanal sayısı 16K'ya kadar çıkmaktadır. Bu hafıza aynı anda veya bölünerek kullanılabilir. Spektrumun elde edilmesinde kullanılacak kanal sayısı detektörün ayırma gücüne ve ilgilenilen enerji aralığına bağlı olarak seçilir. Genellikle germanyum detektörlerde yarı yükseklikteki tam genişliğin, YYTG=4 kanala eşit olduğu durum uygun kabul edilir. Germanyum detektörlerde 1000 keV–1500 keV enerji aralığında YYTG=2 keV olduğundan kanal başına 0,5 keV enerjiye karşı gelmektedir. Bu nedenle ilgilenilen enerji aralığı 2000 keV'den daha yüksek ise pratikte 4096 veya 8192 kanal seçilmesi gerekmektedir. Bu kanal sayısı, [ilgilenilen enerji aralığı (keV) / YYTG (keV)] × YYTG (kanal) ifadesinden belirlenir (Knoll, 2000).

2.2.5. Analog Sayısal Dönüştürücü

Enerji spektroskopisinde yükselteçten gelen çıkış pulsu (analog sinyal) ADC'de eşdeğer bir sayıya dönüştürülür. Her puls yüksekliklerine göre sıralanır ve uygun bir kanala gönderilir (Şekil 2.4). ADC tarafından kontrol edilen bir giriş kapısı bir önceki pulsun sayısallaştırılması sırasında ADC'ye puls gelmesini engeller. ADC, meşgul olmadığı süre boyunca giriş kapısını açık tutacak mantık pulsu sağlar. Giriş kapısının açık olduğu süre, bu kapiya yönlendirilen saat osilatörü pulsları ile ölçülür. Bu pulsların sayısı sistemin aktif kaldığı sürenin (live time, LT) ölçüsüdür. Giriş kapısına gönderilmeyen saat osilatörü pulslarının sayısı ise geçen gerçek süreyi (real time, RT) belirler. Şekil 2.4'deki sistemin puls işlemediği süreye ise ölü zaman (DT) denilir ve $DT = RT - LT$ ifadesinden hesaplanır (Knoll, 2000).



Şekil 2.4. Analog sayısal dönüştürücünün şematik görünümü (Solmaz, 2008)

ADC Ayırma Gücü:

Kullanılabilecek toplam kanal sayısıdır. Genelde m-bit ADC, 2^m tane kanalı ifade eder. Örneğin 13 bit ADC, 8192 kanalı kaplayacak şekilde bir dönüşüm yapar. Germanyum detektörlerle kullanılan sistemlerde genellikle 16384 (6K), 8192 (8K) veya 4096 (4K) kanal bulunur. Ayırma gücü, [İlgilenilen enerji aralığı (keV) / ADC kanal sayısı] ifadesinden hesaplanır.

ADC Dönüşüm Kazancı:

Herhangi bir spektrumun elde edilmesinde kullanılan kanal sayısıdır. Sistemin ayırma gücü 16384 kanal olmasına rağmen, sadece 4096 kanal spektrumda kullanılabilir, bu durumda dönüşüm kazancı 4096 olacaktır ve 0-10V aralığındaki pulslar 1-4096 arasındaki kanallarda kaydedilecektir. Spektroskopi uygulamalarında üç tip ADC kullanılır. Bunlar 1) Wilkinson tipi ADC, 2) Sabit dönüştürme zamanlı ADC ve 3) Ayraçları paralel bağlı (flash tipi) ADC'dir. Nükleer spektroskopi uygulamalarında yaygın olarak ilk iki tip ADC tercih edilir.

2.2.6. Gama Spektrometrik Analizlerde Kullanılan Detektör Sistemi

Toprak örneklerinin aktivite ölçümleri özellikleri Çizelge 2.1'de verilen Canberra GX5020 modeli kuyu tipi bir HPGe detektör ile yapılmıştır (Şekil 2.5). Ortamın background radyasyonunun etkisini en aza indirmek için detektörü, 9,5 mm kalınlığındaki çelik iskelet içinde 100 mm kalınlığında kurşundan oluşan Canberra Model 747 zırhı ile zırhlanmıştır. Ayrıca kurşundan kaynaklanan 72–88 keV enerji aralığındaki X-ışınlarını önlemek amacıyla zırhın iç kısmı 1 mm kalınlığında kadmiyum (Cd) ile ve kadmiyumdan kaynaklanan X-ışınlarını (24–28 keV) önlemek için 1,6 mm kalınlığında bakır (Cu) ile kaplanmıştır. Zırhın taban kısmında, dikey geometrili kriyostat ve detektör kablolarının geçtiği 11,4 cm çapında bir boşluk bulunmaktadır ve bu boşluk halka şeklinde bir kurşunla kapatılmıştır. Zırh içindeki saçılan radyasyonu en aza indirmek için detektör zırhın merkezine yerleştirilmiştir. Azot soğutması için 50 L hacminde, çift duvarlı (vakumlu) bir sıvı azot kabı kullanılmıştır (Canberre Handbook, 1998).



Şekil 2.5. Saf germanyum detektörlü gama spektrometrik cihazı

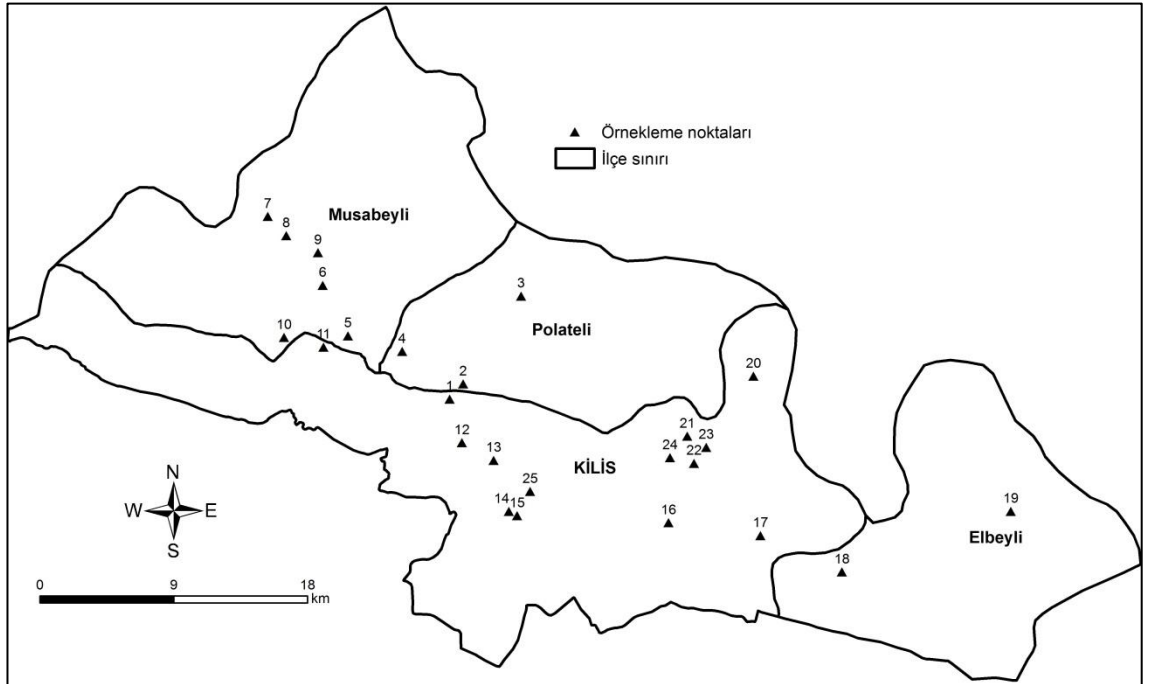
Çizelge 2.1. Yüksek saflıkta germanyum detektörün özellikleri (Canberra Handbook, 1998)

Detektör modeli	Canberra HPGe Detector
Bağıl verim	%50
Enerji ayırma gücü ve pik/Compton oranı	1,94 keV ve 69.8:1
⁶⁰Co'nun 1332,5 keV enerjideki yarı maksimumdaki tam genişliği	
Detektör geometrisi ve kristal tipi	Kapalı uçlu, eş eksenli ve p-tipi Ge
Çapı ve yüksekliği	65.5 mm ve 62.5 mm
Pencere malzemesi, kalınlığı	Al, 1 mm ve 15,9 cm ²
Pencereden uzaklık	5 mm
Kriyostat ve azot kabı	Dikey geometrili

2.3.Yöntem

2.3.1.Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması

Toprak örnekleri için ölçüm noktaları belirlenirken çalışma alanının homojen bir dağılım göstermesine ve ayrıca yerleşim alanlarına yakın, ekim yapılmamış, otsuz, açık ve düz alanlar olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra belirlenmiş olan bu ölçüm noktalarından (yüzeyden 20 cm kadar bir derinlikten) içerisinde taş, ot, odun parçaları, ağaç kabukları gibi yabancı cisimler ayıklanarak her biri yaklaşık 1 kg olan 25 adet toprak örneği alınıp plastik saklama kaplarına konulmuştur (Şekil 2.6). Aktivite ölçümleri yapılmak amacıyla Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Gülten Günel Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarına getirilen 25 adet toprak örneği yaklaşık 24 saat oda sıcaklığında kurutulduktan sonra 0.3 mm lik elek ile elendi. Şekil 2.7'de kurumaya bırakılan toprak örnekleri görülmektedir. Elekten geçirilen örnekler hassas terazide darası alınmış 5x6 cm geometriye sahip numune kaplarına konuldu. Hazırlanan örneklerin ağızları siğil edildi. Bu şekilde kapların sızdırmazlığı sağlanarak ^{226}Ra ve onun ürün çekirdeği olan ^{222}Rn arasındaki kalıcı dengeyi oluşturmak için 4 hafta bekletilmeye bırakıldı ve böylece numuneler radyoaktivite ölçme işlemine hazır hâle getirilmiş oldu.



Şekil 2.6. Çalışma sahası ve toprak örnekleme noktaları

2.3.2.Ölçme İşlemi

Denge durumuna ulaşan her bir örneğin aktivitesi, 86.000 saniye sayım süresinde, gama spektrometrik sistem kullanılarak analiz edildi (Şekil 2.8). Daha sonra sayım sonuçları çok kanallı analizöre aktarılarak, ilgili radyonüklitler için pikler tespit edildi. Tespit edilen bu pikler için, seçilmiş spektrum verileri bilgisayar ortamına aktarılarak radyonüklitlerin aktiviteleri hesaplandı.

Toprak örneklerinin analizinde ^{226}Ra aktivitesi için; $185,7(^{235}\text{U})+186,2(^{226}\text{Ra})$ keV'lik fotopiki, ^{214}Pb 'nin 295,2 keV'lik fotopiki, ^{214}Pb 'nin 351,9 keV'lik fotopiki, ^{214}Bi 'nin 609,3 keV'lik fotopiki ve ^{214}Bi 'nin 1764,5 keV'lik fotopiki kullanılmıştır. ^{232}Th aktivitesi için; ^{208}Tl 'in 583,2 keV'lik fotopiki ve ^{228}Ac 'nin 911,2 keV'lik fotopiki kullanılmıştır. ^{40}K aktivitesi için ise 1460,8 keV'lik fotopik kullanılmıştır.



Şekil 2.7. Kurumaya bırakılan toprak örnekleri



Şekil 2.8. Ölçüm işlemi için detektöre yerleştirilmiş toprak örneği

2.3.3. Spektrum İçin Pik Alanı Hesaplanması

Tek pikin net alanı;

$$S = G - B \quad (2.1.)$$

ile elde edilir.

Burada;

S: Net pik alanı,

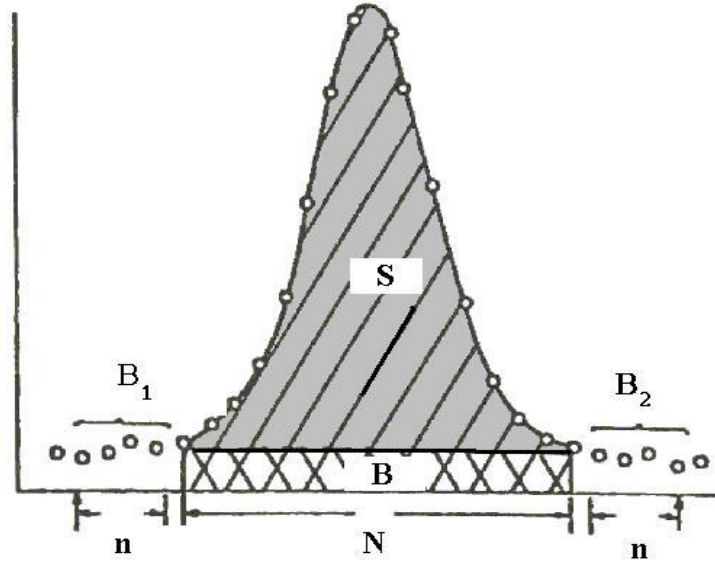
G: İlgili bölgedeki toplam sayım sayısı,

B: Doğal fondur.

Şekil 2.9'da gösterilen pikte B alanı,

$$B = \left(\frac{N}{2n}\right) (B_1 + B_2) \quad (2.2.)$$

eşitliğinden elde edilir.



Şekil 2.9. Pik alanı hesabı (Solmaz, 2008)

Burada ;

N: İlgili pikteki kanalların sayısı,

n: Pikin sağındaki ve solundaki doğal pik kanal sayısı

$$B_1 = \left(\sum_{a=x_1}^{x_1+n-1} x_a \right) / n \quad \text{fotopikin sol tarafındaki doğal fon sayımının ortalaması,}$$

$$B_2 = \left(\sum_{a=x_2-n+1}^{x_2} x_a \right) / n \quad \text{fotopikin sağ tarafındaki doğal fon sayımının ortalaması,}$$

Net pik alanındaki belirsizlik Şekil 2.9'da gösterilen bir fotopik için aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma = \sqrt{G + \left(\frac{N}{2} \right)^2 \frac{(B_1 + B_2)}{n}} \quad (2.3.)$$

σ : Standart sapma

G: Pikteki toplam alan (sayım)

N: İlgilenilen pikteki toplam kanal sayısı

n: Seçilen uç kanal sayısı (4 veya 2)

B_1 ve B_2 daha önce tanımlanmıştı. Hesaplanan pik alanındaki sayım istatistiğini yeterli derecede vurgulamak için, “yüzde hatası” aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\% \text{Hata} = m \sigma / N_p \quad (2.4.)$$

N_p : Pik alanı

σ : Standart sapma

m: Güven katsayısı

2.3.4. Havadaki Absorplanmış Doz Hızı (D)

Havadaki soğurulan doz hızına doğal radyonüklitlerin katkısı, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin doğal spesifik aktivite konsantrasyonuna bağlıdır. Gama radyasyonuna en büyük katkı, karasal radyonüklitlerden gelir. Karasal gama radyasyonu ve radyonüklit konsantrasyonu arasında doğrudan bir bağlantı vardır. Eğer radyonüklit aktivitesi bilinirse, Beck (1972) ve UNSCEAR (1988) tarafından önerilen formül kullanılarak, yerden 1 metre yukarıda maruz kalınan havadaki doz hızı hesaplanabilir (Denklem 2.5).

$$D(\text{nGy/saat}) = 0,427 A_U + 0,662 A_{Th} + 0,0432 A_K \quad (2.5)$$

Burada, D yerden 1 metre yukarıda soğurulan doz hızı, A_U , A_{Th} ve A_K sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonlarıdır. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin dönüşüm faktörleri her Bq/kg için sırasıyla 0,427, 0,662 ve 0,042 nGy/saat'dir (Beck, 1972; Kurnaz et al., 2007).

2.3.5. Radyum Eşdeğer Aktivitesi (R_{eq}) ve Dış Tehlike Endeksi (H_{ex})

Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), risk indeksinde geniş bir şekilde kullanılır. Beretka ve Mathew (1985) tarafından verilen bağıntı aracılığıyla hesaplanır (Denklem 2.6). ^{226}Ra 'nın 370 Bq/kg'lık aktivitesi, ^{232}Th 'nin 259 Bq/kg'lık aktivitesi ve ^{40}K 'nin 4810 Bq/kg'lık aktivitesinin aynı gama doz hızını ürettiği farz edilir (Kurnaz et al., 2007).

$$R_{eq} = A_{Ra} + 1,43 A_{Th} + 0,077 A_K \quad (2.6)$$

Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_K sırasıyla, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin Bq/kg biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır.

Dış tehlike endeksi (H_{ex}), Krieger (1981) tarafından önerilen model kullanılarak hesaplanır (Denklem 2.7) (Kurnaz et al., 2007).

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (2.7)$$

Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_K sırasıyla, ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin Bq/kg biriminde aktivite konsantrasyonlarıdır.

2.3.6.Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (YGDE)

Kemik iliği ve kemik yüzey hücreleri aktiviteleri, UNSCEAR (1988) tarafından ilgilenilen organlar olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin spesifik aktivitelerinden dolayı YGDE, Denklem 2.8 kullanılarak hesaplanır (Mamont-Ciesla et al., 1982; Kurnaz et al., 2007).

$$YGDE (\mu Sv/yıl) = 3,09 A_{Ra} + 4,18 A_{Th} + 0,314 A_K \quad (2.8)$$

2.3.7.Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (YEDE)

Yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanması için, havadaki absorplanan dozun etkin doza dönüşüm katsayısı ve bina dışı meşguliyet faktörü dikkate alınır. UNSCEAR (2000) raporlarında, yetişkinler için havadaki absorplanan dozun, etkin doza dönüşüm katsayısı olarak 0,7 Sv/Gy değeri ve bina içi meşguliyet faktörü olarak 0,2 değeri kullanılır. Yıllık etkin doz eşdeğeri Denklem 2.9 ile hesaplanır (Kurnaz et al., 2007).

$$YEDE (\mu Sv/yıl) = D(nGy/h) \times 8760(\text{saat/yıl}) \times 0,2 \times 0,7(Sv/Gy) \times 10^{-3} \quad (2.9)$$

2.3.8.Yaşam Boyu Kanser Riski (AYKR)

Yaşam boyu kanser riski Denklem 2.10 kullanılarak hesaplanır.

$$AYKR = YEDE \times DL \times RF \quad (2.10)$$

Burada, DL yaşam süresi (70 yıl) ve RF risk faktörüdür (Sv^{-1}). Sievert başına ölümcül kanser riskini ifade eder. Stokastik etkiler için RF değeri 0,05 olarak alınır (ICRP, 1990; Kurnaz et al., 2007).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Toprak Örneklerine İlişkin Deney Sonuçları

Bu çalışmada, Kilis ili toprak örneklerinin içeriğinde bulunan doğal radyonüklit konsantrasyonları belirlenmiştir. İl genelinden homojen olarak alınan 25 adet toprak örneği gama spektrometrik yöntem kullanılarak sayılmıştır. ^{238}U ve ^{232}Th serileri için tespit edilen her bir radyonüklitin aktivitesi Çizelge 3.1'de verilmiş ve elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

^{226}Ra , ^{238}U 'nun bozunum serisinde bulunup, 186 keV'lik (% 4 bollukta) bir enerji pikine sahiptir. ^{226}Ra 'nın 186 keV'deki bu piki ^{235}U 'nun 185,7 keV'deki piki ile iç içe geçmesi nedeni ile hesaplamalarla bulunabilmektedir (Karahan 1997; Özger, 2005). Yapılan ölçümlerde ^{226}Ra 'nın aktivite konsantrasyonunun tüm toprak örnekleri için, minimum dedekte edilebilir aktivite (MDA) değerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

^{214}Pb , ^{238}U 'nun bozunum ürünlerinden birisidir. ^{214}Pb çeşitli bolluklarda pek çok enerji pikine sahip olup, ölçümlerde bolluk oranı en yüksek olan (%37 bollukta) 351,9 keV'lik pik kullanılmıştır (Karahan 1997; Özger, 2005). 7 toprak örneğinde ^{214}Pb aktivitesi tespit edilmiştir. Diğer örnekler için ^{214}Pb aktivitesi MDA değerinin altındadır. ^{214}Pb 'nin en yüksek aktivite konsantrasyon değeri ($26,4 \pm 2,66$ Bq/kg) Afrin çayı üzerinden alınan örnekte ölçülmüştür. En düşük aktivite konsantrasyon değeri ($6,1 \pm 1,01$ Bq/kg) ise Elbeyli kuzey bölgesinde ölçülmüştür. Ölçüm yapılabilen 7 örnek için ortalama ^{214}Pb aktivite konsantrasyonu 16,61 Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

^{214}Bi , ^{238}U 'nun bir diğer bozunum ürünüdür. ^{214}Bi 'nin bolluk oranı en yüksek olan 609,3 keV'deki enerji piki (%46 bollukta) ve 1764,5 keV'deki enerji piki (%16 bollukta) ^{214}Bi 'nin aktivite tespitinde kullanılmıştır (Karahan 1997; Özger, 2005). Kilis genelinde alınan 25 toprak örneğinden 4 tanesinde ^{214}Bi aktivitesi ölçülebilmıştır. En yüksek ^{214}Bi aktivite konsantrasyonu ($59,3 \pm 5,81$ Bq/kg) Kırıkhan yolu üzerinden alınan örnekte, en düşük aktivite konsantrasyonu ($3,1 \pm 0,77$ Bq/kg) ise Afrin çayı üzerinden alınan örnekte ölçülmüştür. Aktivite değeri tespit edilen 4 örnek için ortalama ^{214}Bi konsantrasyonu, 30,25 Bq/kg olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. ²³⁸U ve ²³²Th serilerine ait radyonüklitlerinin aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Yer Adı	U-238 (Bq/kg)			Th-232 (Bq/kg)	
		Ra-226 (Bq/kg) (186keV)	Pb-214 (Bq/kg) (351,9keV)	Bi-214(Bq/kg) (609 ve 1764keV)	Ac-228 (Bq/kg) (911keV)	Tl-208 (Bq/kg) (583keV)
1	POLATELİ YOLU 10. km	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
2	POLATELİ YOLU 12. km	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
3	POLATELİ YOLU 18. km	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
4	MUSABEYLİ YOLU	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
5	AFRİN ÇAYI ÜSTÜ	< MDA	26,4 ± 2,66	3,1 ± 0,77	< MDA	< MDA
6	DELİÇAY DERESİ	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
7	MUSABEYLİ MERKEZ	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
8	MUSABEYLİ GİRİŞİ	< MDA	15,3 ± 1,86	< MDA	< MDA	< MDA
9	KARBELAZ KÖYÜ	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
10	KIRIKHAN YOLU	< MDA	20,5 ± 2,05	59,3 ± 5,81	< MDA	< MDA
11	MUSABEYLİ KAVŞAĞI	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
12	KİLİS BATI ÇIKIŞI	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
13	TOKİ	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
14	DEVLET HAS.	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
15	KİLİS GÜNEY	< MDA	6,8 ± 1,41	13,5 ± 2,14	< MDA	< MDA
16	SABUNSUYU ÜSTÜ	< MDA	19,8 ± 2,15	< MDA	< MDA	< MDA
17	ELBEYLİ SINIRI	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
18	ELBEYLİ 10. KM	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
19	ELBEYLİ KUZAY	< MDA	6,1 ± 1,01	45,1 ± 6,04	< MDA	< MDA
20	KİLİS ANTEP SINIRI	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
21	SEVE BARAJ GÖLÜ KUZAY	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
22	SEVE BARAJ GÖLÜ GÜNEY	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
23	SEVE BARAJ GÖLÜ DOĞU	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
24	SEVE BARAJ GÖLÜ BATI	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA	< MDA
25	KİLİS ŞEHİRİ KUZAY	< MDA	21,42 ± 2,11	< MDA	< MDA	< MDA

^{228}Ac , ^{232}Th 'nin bozunum ürünlerinden biridir. Pek çok farklı enerji pikine sahip ^{228}Ac 'nin aktivite konsantrasyonu belirlenirken, en yüksek bolluk oranına sahip 911 keV'deki (%29 bolluk) enerji pikine bakılmıştır (Karahan 1997; Özger, 2005). Toprak örneklerinin tamamı için ^{228}Ac aktivite konsantrasyon değerinin, MDA değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

^{208}Tl , ^{232}Th 'nin bozunum ürünü olup, 278 keV, 583 keV, 860 keV ve 2615 keV'lik enerjilerde piklere sahiptir. Toprak örneklerinin ^{208}Tl aktivite değerleri belirlenirken, bolluğu yüksek olan 583 keV'deki (%30 bollukta) enerji piki kullanılmıştır (Özger, 2005). Toprak örneklerinin hepsi için ^{208}Tl aktivite konsantrasyonu MDA değerinin altındadır.

^{238}U ve ^{232}Th 'nin aktivite tayini yapılırken bozunum ürünlerinin aktivite değerlerinden faydalanılır. Aktivite hesabı için iki yöntem kullanılır, ya bozunum ürünlerinin ortalama aktiviteleri ya da en yüksek bolluğa sahip bozunum ürününün aktivitesi, ^{238}U ve ^{232}Th 'nin aktivitesi olarak alınır (Karahan 1997; Özger, 2005). Bu çalışmada ^{238}U ve ^{232}Th 'nin aktivite konsantrasyonları hesaplanırken bozunum ürünlerinin aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları alınmıştır. Toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

^{238}U 'nun aktivitesi, bozunum ürünleri olan ^{214}Pb ve ^{214}Bi radyonüklitlerinin aktivitelerine bağlı olarak 7 toprak örneği için elde edilmiştir. ^{238}U için en yüksek aktivite konsantrasyonu ($39,9 \pm 5,6$ Bq/kg) Kırıkhan yolu üzerinde ve en düşük aktivite konsantrasyonu ($10,1 \pm 2,7$ Bq/kg) Kilis güneyde ölçülmüştür. Aktivite tespit edilen 7 örnek için ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonu 20,97 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Toprak örneklerinde tespit edilen ^{238}U aktivite konsantrasyonları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

^{232}Th aktivitesine, ^{228}Ac ve ^{208}Tl bozunum ürünlerinin gama enerjileri dikkate alınarak bakılmıştır. Bütün toprak örnekleri için ^{232}Th aktivite konsantrasyon değeri, MDA değerinin altındadır.

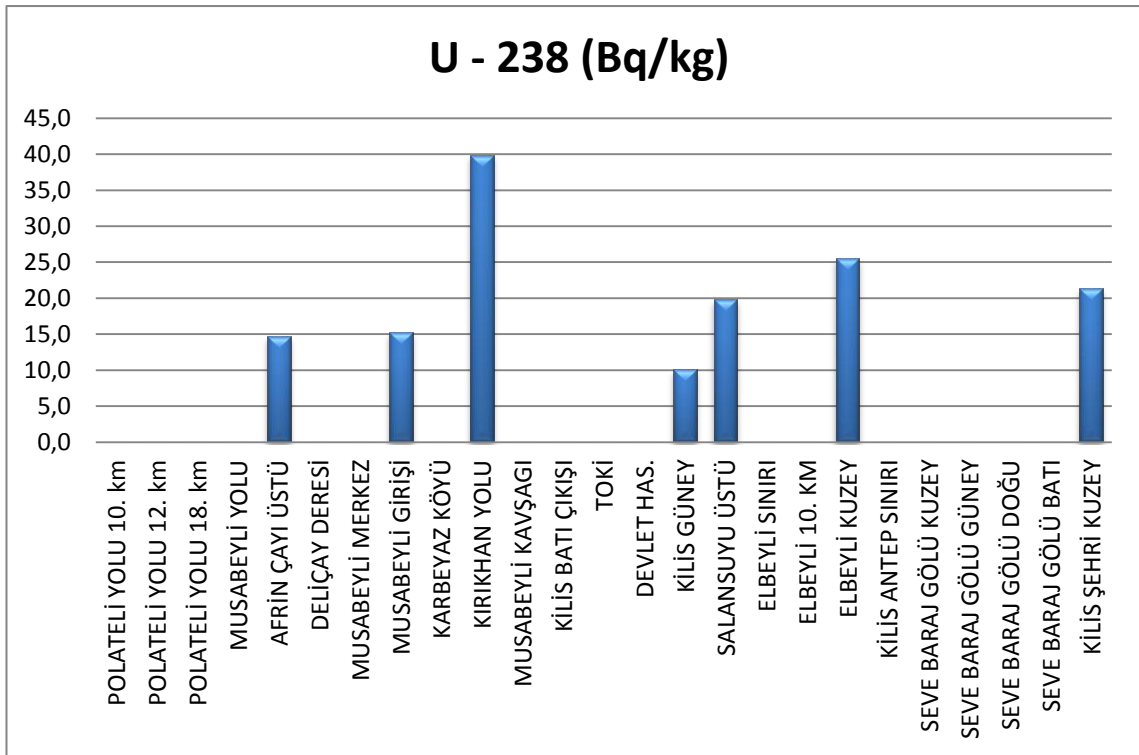
Çizelge 3.2. Toprak Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Yer Adı	Aktivite Konsantrasyonları (Bq/kg)			
		U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg) (1460keV)	Cs-137 (Bq/kg) (662keV)
1	POLATELİ YOLU 10. km	< MDA	< MDA	88,3 ± 7,4	< MDA
2	POLATELİ YOLU 12. km	< MDA	< MDA	96,9 ± 8,6	< MDA
3	POLATELİ YOLU 18. km	< MDA	< MDA	164,5 ± 13,1	< MDA
4	MUSABEYLİ YOLU	< MDA	< MDA	187,2 ± 11,5	< MDA
5	AFRİN ÇAYI ÜSTÜ	14,7 ± 4,1	< MDA	219,4 ± 12,1	< MDA
6	DELİÇAY DERESİ	< MDA	< MDA	260,7 ± 14,5	< MDA
7	MUSABEYLİ MERKEZ	< MDA	< MDA	117,1 ± 7,8	< MDA
8	MUSABEYLİ GİRİŞİ	15,3 ± 1,9	< MDA	340,1 ± 10,8	< MDA
9	KARBELAZ KÖYÜ	< MDA	< MDA	87,0 ± 8,2	< MDA
10	KIRIKHAN YOLU	39,9 ± 5,6	< MDA	306,7 ± 11,7	< MDA
11	MUSABEYLİ KAVŞAĞI	< MDA	< MDA	117,3 ± 9,1	< MDA
12	KİLİS BATI ÇIKIŞI	< MDA	< MDA	207,7 ± 15,3	< MDA
13	TOKİ	< MDA	< MDA	135,1 ± 10,5	< MDA
14	DEVLET HAS.	< MDA	< MDA	331,3 ± 19,6	< MDA
15	KİLİS GÜNEY	10,1 ± 2,7	< MDA	199,3 ± 9,3	< MDA
16	SABUNSUYU ÜSTÜ	19,8 ± 2,2	< MDA	300,3 ± 14,1	< MDA
17	ELBEYLİ SINIRI	< MDA	< MDA	313,7 ± 20,2	< MDA
18	ELBEYLİ 10. KM	< MDA	< MDA	314,3 ± 12,4	< MDA
19	ELBEYLİ KUZAY	25,6 ± 5,4	< MDA	312,0 ± 13,0	< MDA
20	KİLİS ANTEP SINIRI	< MDA	< MDA	223,1 ± 15,1	< MDA
21	SEVE BARAJ GÖLÜ KUZAY	< MDA	< MDA	144,1 ± 11,0	< MDA
22	SEVE BARAJ GÖLÜ GÜNEY	< MDA	< MDA	122,9 ± 8,5	< MDA
23	SEVE BARAJ GÖLÜ DOĞU	< MDA	< MDA	166,7 ± 12,5	< MDA
24	SEVE BARAJ GÖLÜ BATI	< MDA	< MDA	118,5 ± 7,9	< MDA
25	KİLİS ŞEHİRİ KUZAY	21,4 ± 2,1	< MDA	254,4 ± 11,0	< MDA

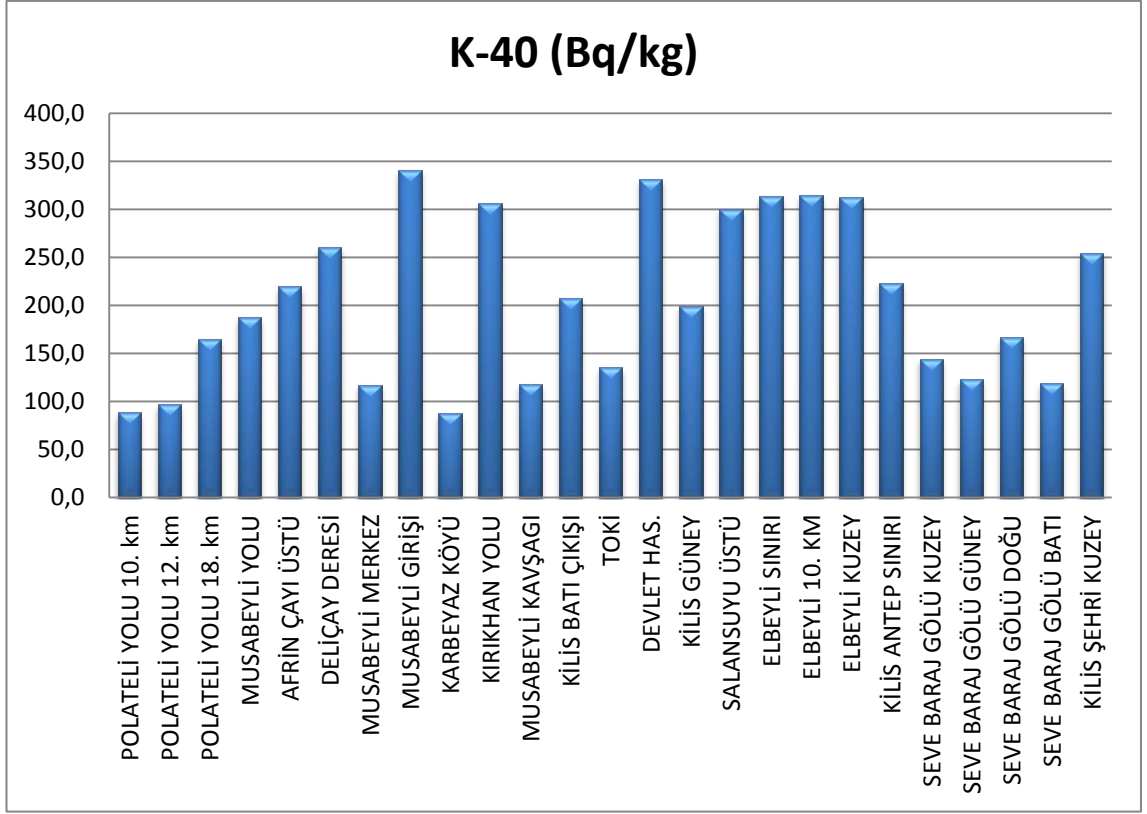
Not: MDA, Minimum dedekte edilebilir aktivite.

^{40}K herhangi bir bozunum serisine ait olmayıp, 1460 keV'de %11 bollukta bir enerji pikine sahiptir. Çalışma bölgesindeki tüm toprak örnekleri için ^{40}K aktivitesi tespit edilmiştir. ^{40}K 'nın en yüksek aktivite konsantrasyon değeri ($340,1 \pm 10,8$ Bq/kg) Musabeyli ilçesi girişinde ve en düşük aktivite konsantrasyon değeri ($87,0 \pm 8,2$ Bq/kg) Karbeyaz köyünde ölçülmüştür. Ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonu 205,14 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.2'de toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonları verilmektedir.

^{137}Cs , doğal olarak bulunmayıp fisyon olayı sonucunda üretilir. 662 keV'de %85 bollukta bir enerji pikine sahiptir. Tüm toprak örnekleri için ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu, MDA değerinin altındadır.



Şekil 3.1. Toprak örneklerinin ^{238}U aktivite konsantrasyonları



Şekil 3.2. Toprak örneklerinin ^{40}K aktivite konsantrasyonları

Denklem (2.5) kullanılarak hesaplanan havadaki soğrulan doz hızı değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Toprak örnekleri için havadaki soğrulan doz hızı (D) 3,75 ile 30,29 nGy/saat arasında değişmektedir. Ortalama doz hızı ise 11,37 nGy/saattir. Yapılan çalışmalarda D değerleri Kırklareli (Taskin et al, 2009), Manisa (Erees et al., 2006), İstanbul (Karahana ve Bayulken, 2000), Kastamonu (Kam ve Bozkurt, 2007), Adana (Degerlier et al., 2008), Şanlıurfa (Bozkurt et al., 2007) ve Rize (Kurnaz et al., 2007) illeri için sırası ile 71, 54, 49, 53, 54, 38 ve 77 nGy/saat olarak hesaplanmıştır. Kilis için hesaplanan ortalama doz değeri (11,37 nGy/saat), Türkiye’nin diğer illeri için hesaplanan doz değerlerinden ve dünya ortalaması olan 60 nGy/saat’den küçüktür (UNSCEAR, 2000).

Radyum eşdeğer aktivitesi (R_{eq}), bütün örnekler için Denklem (2.6) kullanılarak hesaplandı ve Çizelge 3.3’de verildi. R_{eq} değerleri 6,70 ile 26,19 Bq/kg arasında değişir ve ortalama R_{eq} değeri 15,80 Bq/kg’dır. Bu çalışmada R_{eq} ’nin hesaplanan ortalama

değeri tavsiye edilen maksimum değer olan 370 Bq/kg'dan daha düşüktür (Kurnaz et al., 2007).

Dış tehlike endeksi (H_{ex}) Denklem (2.7) ile hesaplandı ve sonuçlar Çizelge 3.3'de verildi. H_{ex} değerleri 0,018 ile 0,07 aralığında ve ortalama değeri 0,042 olarak bulundu. Bütün H_{ex} değerleri 1'den küçük olarak hesaplandı.

Çizelge 3.3. Hesaplanan Soğurulan doz hızı, Radyum eşdeğeri, Dış tehlike endeksi, Yıllık gonodal doz eşdeğeri, Yıllık etkin doz eşdeğeri ve Yaşam boyu kanser riski değerleri

Örnek No	D (nGy/h)	Ra _{eq} (Bq/kg)	H _{ex}	YGDE (μSv/yıl)	YEDE (μSv/yıl)	AYKR
1	3,82	6,80	0,018	27,73	4,68	1,64 × 10 ⁻⁵
2	4,18	7,46	0,020	30,41	5,13	1,80 × 10 ⁻⁵
3	7,10	12,66	0,034	51,64	8,71	3,05 × 10 ⁻⁵
4	8,09	14,41	0,039	58,77	9,92	3,47 × 10 ⁻⁵
5	15,77	16,90	0,046	68,90	19,34	6,77 × 10 ⁻⁵
6	11,26	20,07	0,054	81,86	13,81	4,83 × 10 ⁻⁵
7	5,06	9,019	0,024	36,78	6,21	2,17 × 10 ⁻⁵
8	21,22	26,19	0,071	106,80	26,03	9,11 × 10 ⁻⁵
9	3,76	6,70	0,018	27,32	4,61	1,61 × 10 ⁻⁵
10	30,30	23,62	0,064	96,31	37,16	13,0 × 10 ⁻⁵
11	5,07	9,03	0,024	36,83	6,21	2,18 × 10 ⁻⁵
12	8,97	15,99	0,043	65,22	11,00	3,85 × 10 ⁻⁵
13	5,84	10,41	0,028	42,43	7,16	2,51 × 10 ⁻⁵
14	14,31	25,51	0,069	104,04	17,55	6,14 × 10 ⁻⁵
15	12,94	15,35	0,041	62,58	15,87	5,55 × 10 ⁻⁵
16	21,44	23,12	0,062	94,28	26,29	9,20 × 10 ⁻⁵
17	13,55	24,16	0,065	98,51	16,62	5,82 × 10 ⁻⁵
18	13,58	24,20	0,065	98,70	16,65	5,83 × 10 ⁻⁵
19	24,39	24,02	0,065	97,95	29,91	10,47 × 10 ⁻⁵
20	9,64	17,18	0,046	70,05	11,82	4,14 × 10 ⁻⁵
21	6,23	11,10	0,030	45,25	7,63	2,67 × 10 ⁻⁵
22	5,31	9,46	0,026	38,58	6,51	2,28 × 10 ⁻⁵
23	7,20	12,84	0,035	52,35	8,83	3,09 × 10 ⁻⁵
24	5,12	9,12	0,025	37,20	6,28	2,19 × 10 ⁻⁵
25	20,12	19,59	0,053	79,87	24,68	8,64 × 10 ⁻⁵

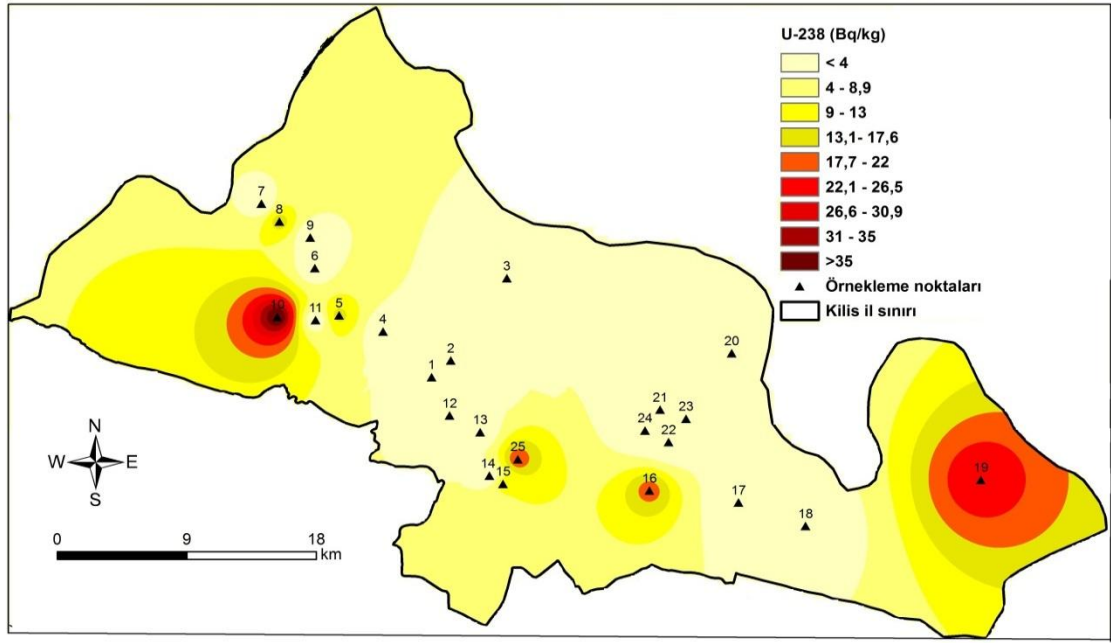
Çizelge 3.3’de verilen ve Denklem (2.8) kullanılarak hesaplanan Yıllık Gonadal Doz Eşdeğeri (YGDE) değerleri 27,32 ile 106,8 $\mu\text{Sv/yıl}$ aralığında değişmektedir ve ortalama değeri 64,41 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak bulunmuştur.

Denklem (2.9) ile hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin (YEDE) sonuçları yine Çizelge 3.3’de verilmiştir. YEDE değerleri 4,61 ile 37,16 $\mu\text{Sv/yıl}$ arasında değişmektedir ve ortalama değeri 13,94 $\mu\text{Sv/yıl}$ ’dır. Açık alan karasal gama radyasyonu için yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması 70 $\mu\text{Sv/yıl}$ ’dır (UNSCEAR, 1988; Kurnaz et al., 2007). Dolayısıyla belirlenen değerler, dünya ortalama değerlerinden daha düşüktür. Türkiye’nin değişik illeri için yapılan çalışmalarda YEDE değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Kırklareli (Taskin et al., 2009), Manisa (Erees et al., 2006), İstanbul (Karahana ve Bayulken, 2005), Kastamonu (Kam ve Bozkurt, 2007), Adana (Degerlier et al., 2008) ve Şanlıurfa (Bozkurt et al., 2007) için sırası ile 87, 66, 65, 65, 67 ve 61 $\mu\text{Sv/yıl}$ ’dır. Bu çalışma için hesaplanan YEDE değeri, Türkiye’nin diğer illeri için hesaplanan değerlerden çok daha düşüktür. Bunlara ek olarak artan yaşam boyu kanser riski de (AYKR) Denklem (2.10) ile hesaplanarak Çizelge 3.3 de verilmiştir. AYKR değerleri $1,61 \times 10^{-5}$ ile $13,0 \times 10^{-5}$ aralığında değişmekte ve ortalama değeri $4,88 \times 10^{-5}$ olarak bulunmuştur.

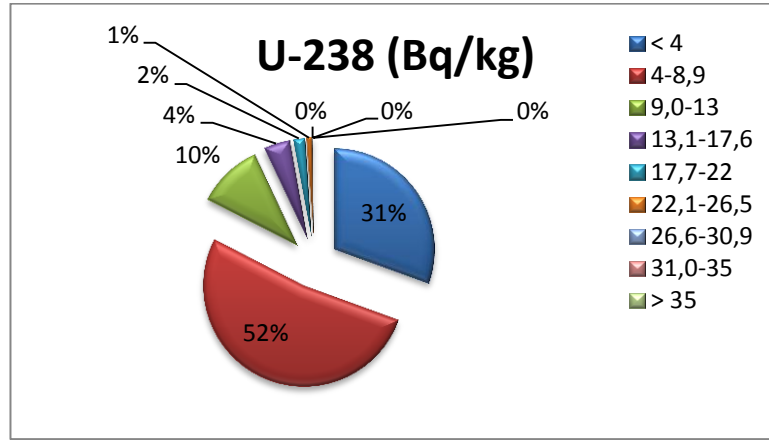
Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’deki veriler ArcGis 9.3 programı kullanılarak haritalandırılmış ve aşağıda ayrı ayrı değerlendirilmiştir:

Kilis ili toprak örnekleri için ^{238}U radyonüklit konsantrasyon dağılışı Şekil 3.3’de verilmiştir. Şekil 3.3 irdelendiğinde, en yüksek uranyum konsantrasyonlarının bazaltik ve terra rossa topraklarında olduğu dikkati çeker. Alüvyol ve kolüvyal gibi taşınmış topraklar ile MARN üzerine iyi gelişmemiş topraklarda ise uranyum konsantrasyonu en düşük değerlerdedir. Kahverengi ve kırmızı kahverengi orman topraklarında ise uranyum konsantrasyonu orta seviyenin biraz altında (13.1-17.6 Bq/kg) bulunmuştur.

Şekil 3.4’de uranyum konsantrasyonlarının Kilis ili yüzölçümüne göre %’lik dağılımı verilmiştir. Kilis topraklarının %52’si 4-8.9 Bq/kg arasında, %31’i 4 Bq/kg’dan küçük, %10’u ise 35 Bq/kg’dan büyük uranyum konsantrasyonuna sahiptir. Kilis ili topraklarının %90’ı 35 Bq/kg olan dünya ortalama değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000).



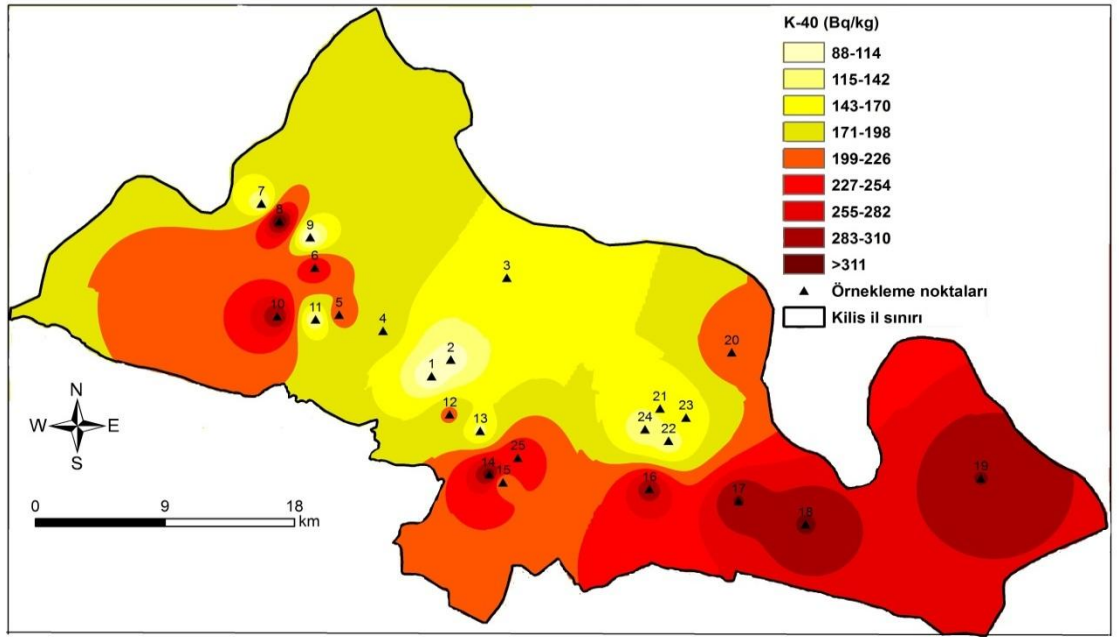
Şekil 3.3. Kilis ili toprak örneklerindeki ^{238}U radyonüklit konsantrasyonu dağılışı haritası



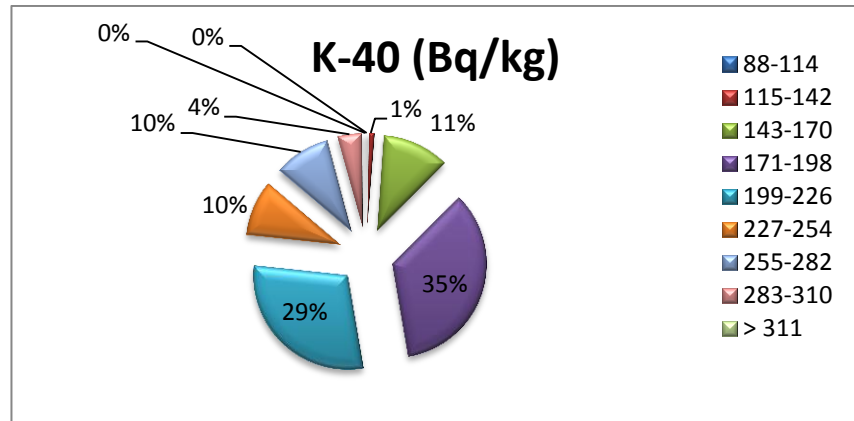
Şekil 3.4. ^{238}U radyonüklit konsantrasyonu Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı

Kilis ili topraklarındaki ^{40}K konsantrasyon dağılışı Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Şekil 3.5 toprak yapısı ve radyonüklit konsantrasyonu açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre; az gelişmiş MARN'lı topraklarda potasyum en düşük konsantrasyonlarda iken, taşınmış alüvyal ve kolivyal topraklarda bu değer biraz daha yükselmektedir. Potasyum, kahverengi ve kırmızı kahverengi orman topraklarında orta seviye (199-226 Bq/kg arasında) ve biraz üstünde, iyi gelişmiş bazaltik topraklarda ise en üst seviyede değerlere sahiptir.

Toprak örneklerindeki ^{40}K radyonüklit konsantrasyonlarının Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı Şekil 3.6'da verilmiştir. Kilis topraklarının %35'i 171-198 Bq/kg arasında, %29'u 199-226 Bq/kg arasında, %11'i 311 Bq/kg'dan büyük, %10'u 227-254 Bq/kg arasında ve yine %10'u 88-114 Bq/kg arasında potasyum konsantrasyonuna sahiptir. Toprak örnekleri için elde edilen bütün potasyum değerleri, dünya ortalaması olan 400 Bq/kg'dan küçüktür (UNSCEAR, 2000).

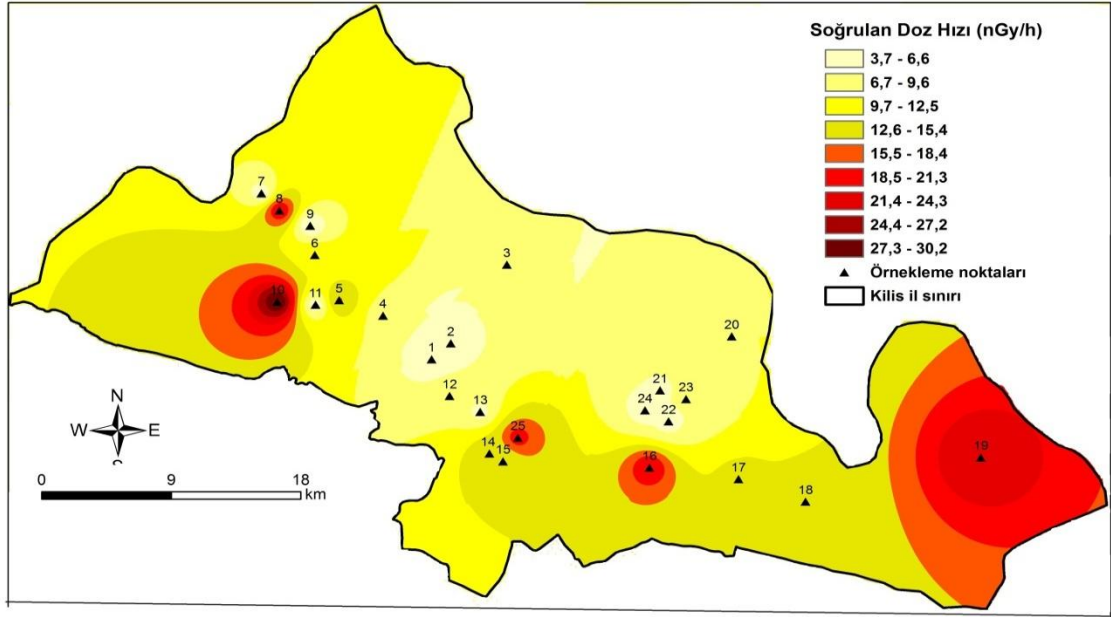


Şekil 3.5. Kilis ili toprak örneklerindeki ^{40}K radyonüklit konsantrasyonu dağılım haritası

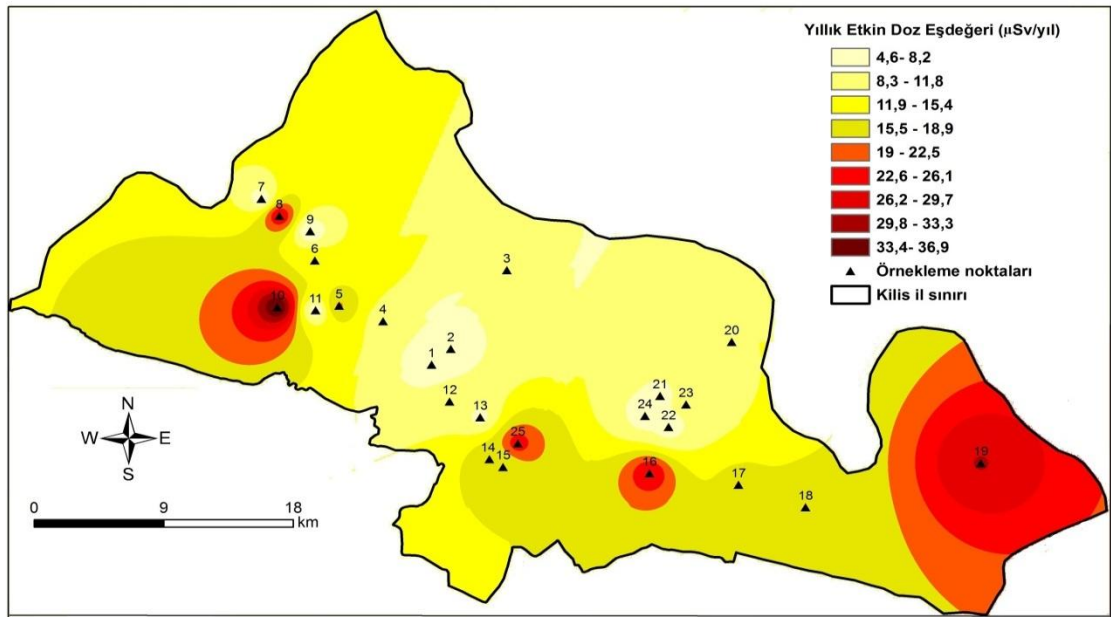


Şekil 3.6. ^{40}K radyonüklit konsantrasyonu Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı

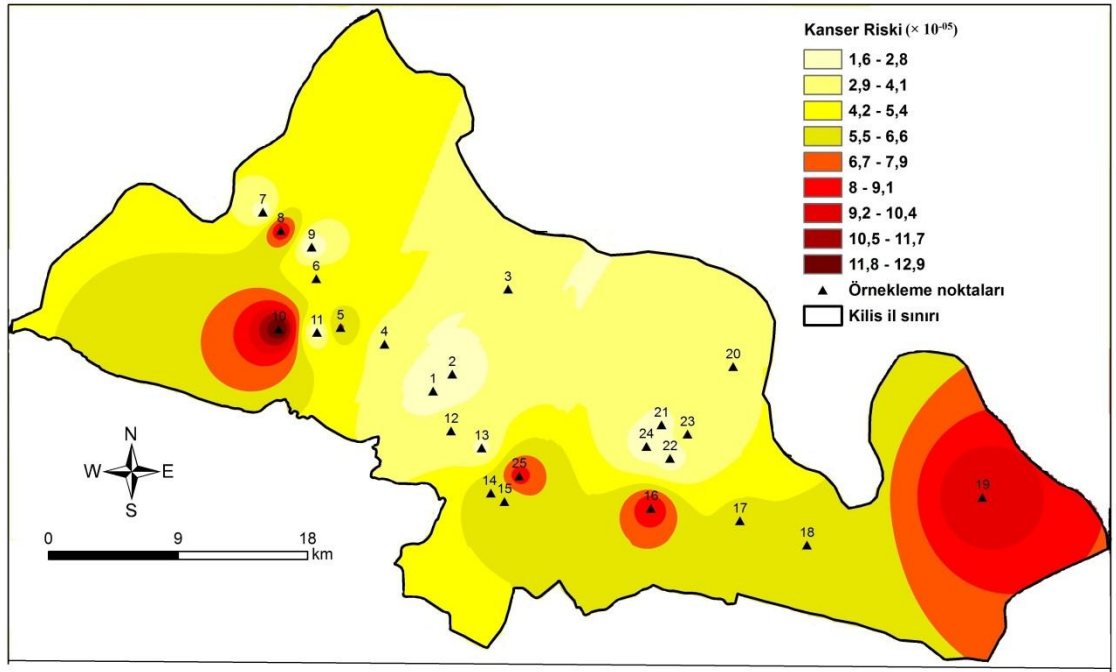
Kilis ili için havada soğurulan doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) ve artan yaşam boyu kanser riski (AYKR) dağılım haritaları sırası ile Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir. Haritalar irdelendiğinde D, YEDE ve AYKR değerlerinin Elbeyli ilçesi ve civarında, Musabeyli ilçesi ve güneyinde, Kilis şehir merkezinin kuzeyinde ve Kilis merkez ile Elbeyli ilçesi arasındaki Sabun suyu bölgesinde yüksek değerlerde olduğu görülür. Diğer alanlarda ise orta seviyenin altındadır.



Şekil 3.7. Soğurulan doz hızı dağılım haritası

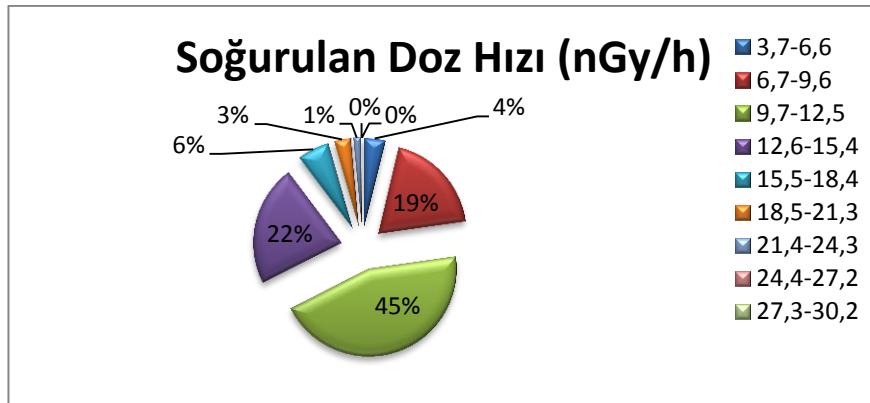


Şekil 3.8. Yıllık etkin doz eşdeğeri dağılım haritası

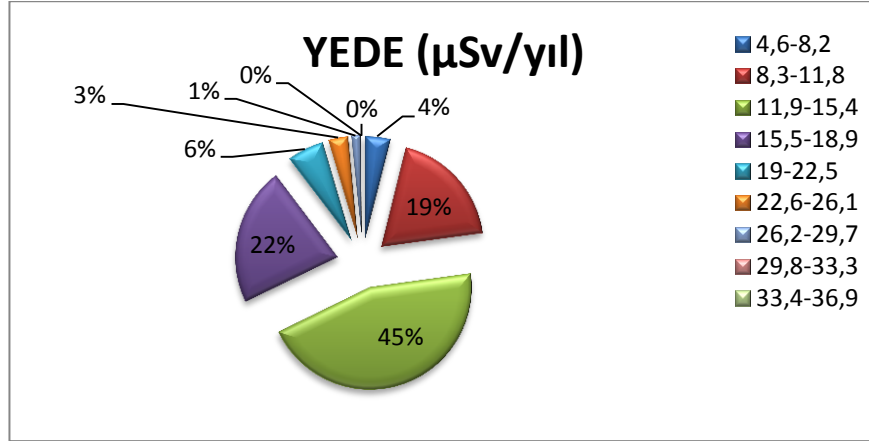


Şekil 3.9. Kanser riski dağılışı haritası

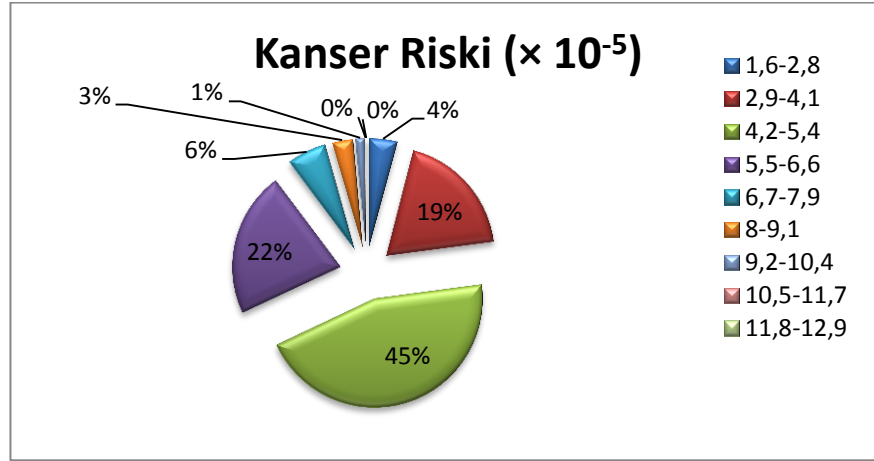
Soğurulan doz hızı (D), yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) ve artan yaşam boyu kanser riskinin (AYKR) Kilis ili yüz ölçümüne göre yüzdelik dağılımı sırası ile Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiştir. D değerleri %45 9.7-12.5 nGy/saat aralığında, %22 12.6-15.4 nGy/saat aralığında, %19 6.7-9.6 nGy/saat aralığında ve %6 15.5-18.4 nGy/saat aralığında değişim göstermektedir. YEDE değerleri ise %45 11.9-15.4 μ Sv/yıl aralığında, %22 15.5-18.9 μ Sv/yıl aralığında, %19 8.3-11.8 μ Sv/yıl aralığında ve %6 19-22.5 μ Sv/yıl aralığında değişir. AYKR değerleri %45, %22, %19 ve %6 oranları için sırası ile $4.2-5.4 \times 10^{-5}$, $5.5-6.6 \times 10^{-5}$, $2.9-4.1 \times 10^{-5}$ ve $6.7-7.9 \times 10^{-5}$ aralığında değişir.



Şekil 3.10. Soğurulan doz hızının Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı

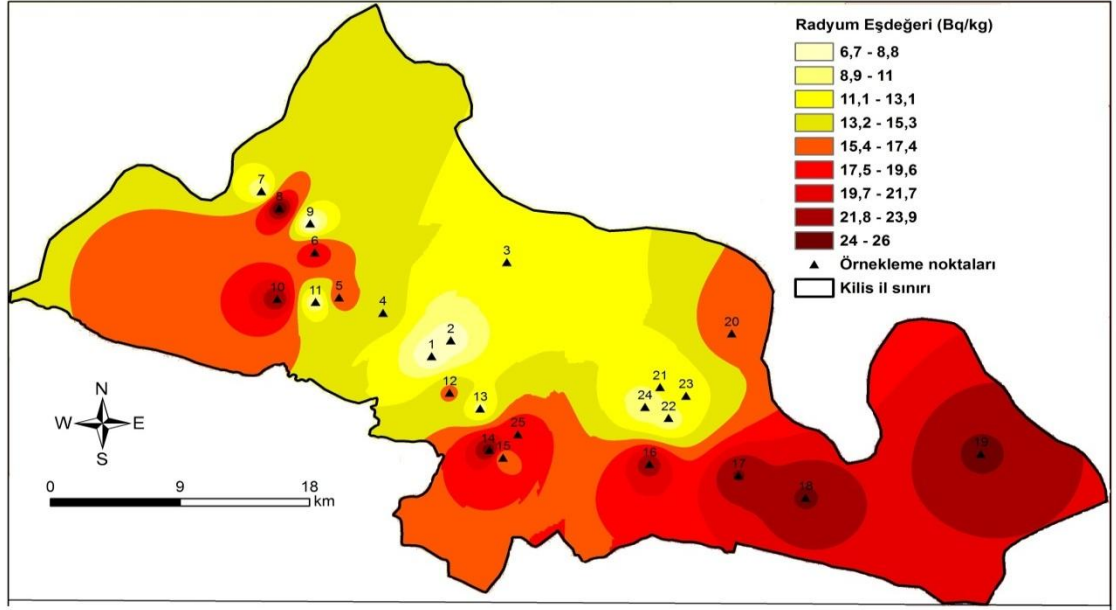


Şekil 3.11. Yıllık etkin doz eşdeğeri Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı

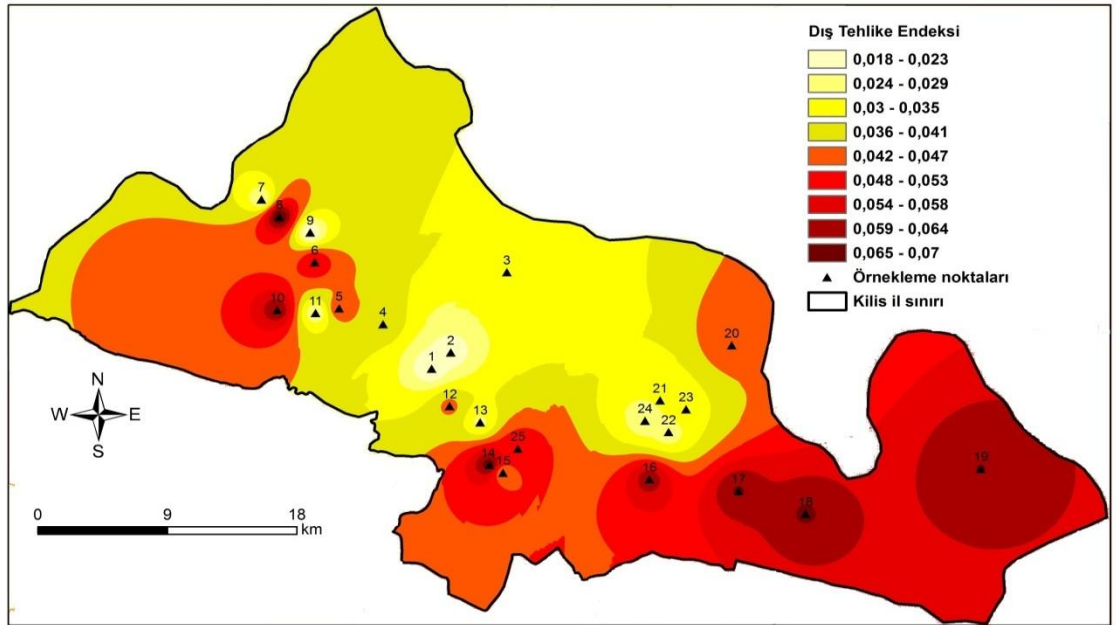


Şekil 3.12. Kanser riski Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı

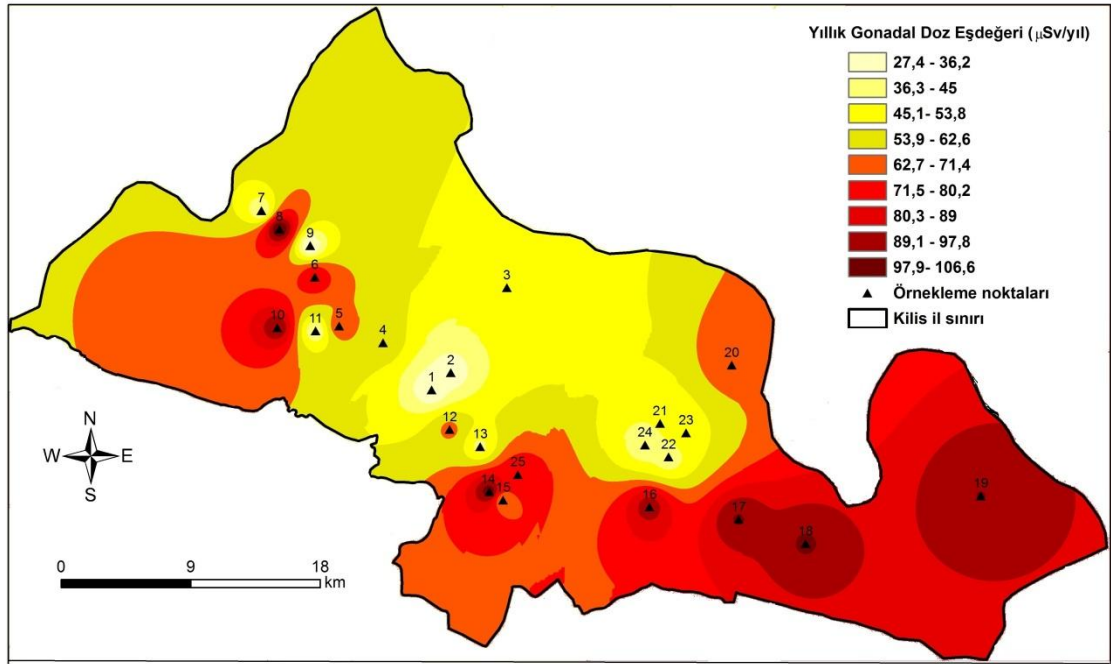
Kilis ili toprakları için radyum eşdeğeri (R_{eq}), dış tehlike endeksi (H_{ex}) ve yıllık gonadal doz eşdeğeri (YGDE) dağılım haritaları sırası ile Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'de verilmiştir. Haritalar incelendiğinde R_{eq} , H_{ex} ve YGDE değerlerinin Elbeyli ilçesi ve civarında, Kilis şehir merkezi ve civarında, Musabeyli ilçesi güneyinde ve Kilis-Elbeyli hattı arasındaki bölgede yüksek seviyede olduğu görülür. Diğer alanlarda ise orta seviyenin altındadır.



Şekil 3.13. Radyum eşdeğeri dağılışı haritası

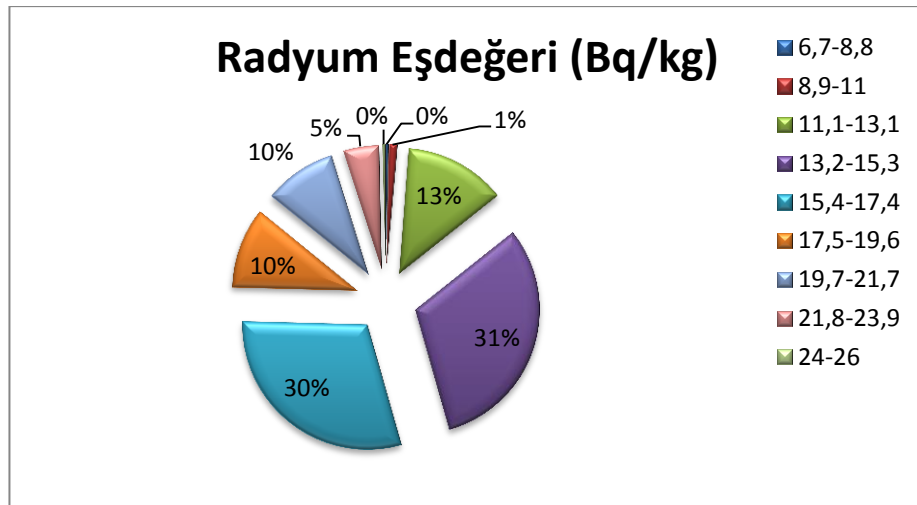


Şekil 3.14. Dış tehlike endeksi dağılışı haritası

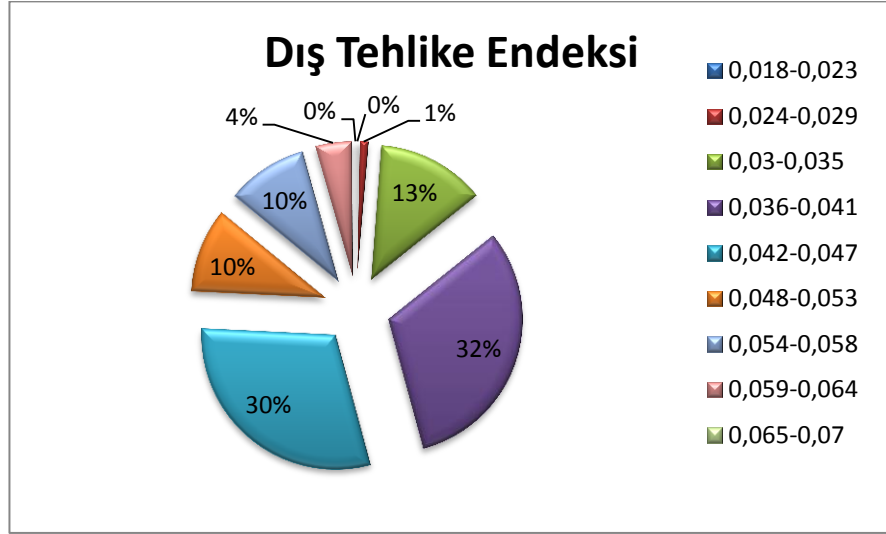


Şekil 3.15. Yıllık gonadal doz eşdeğeri dağılım haritası

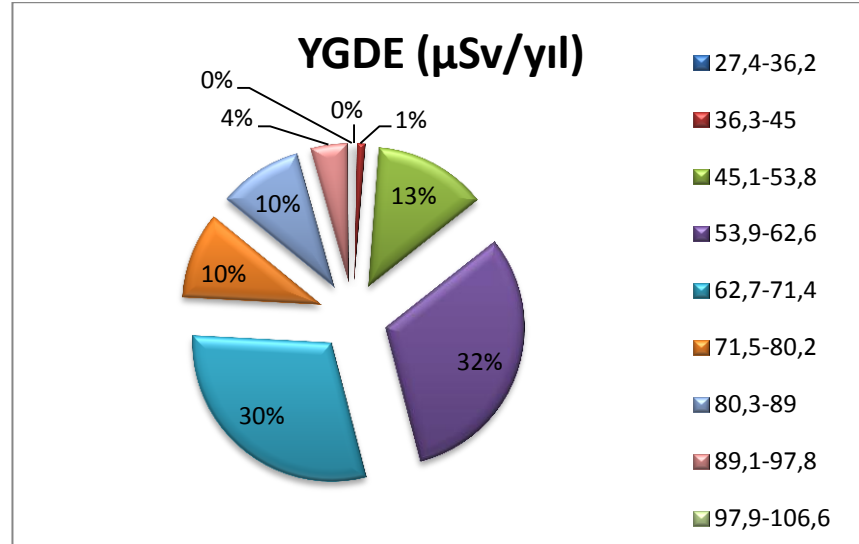
Radyum eşdeğeri (Ra_{eq}), dış tehlike endeksi (H_{ex}) ve yıllık gonadal doz eşdeğerinin (YGDE) Kilis ili yüz ölçümüne göre yüzdelik dağılımı sırası ile Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de verilmiştir. Ra_{eq} değerleri, %31 13.2-15.3 Bq/kg aralığında, %30 15.4-17.4 Bq/kg aralığında ve %13 11.1-13.1 Bq/kg aralığında değişim göstermektedir. H_{ex} değerleri ise %32 0.036-0.041 aralığında, %30 0.042-0.047 aralığında ve %13 0.03-0.035 aralığında değişir. YGDE değerleri %32, %30 ve %13 oranları için sırası ile 53.9-62.6, 62.7-71.4 ve 45.1-53.8 µSv/yıl aralığında değişir.



Şekil 3.16. Radyum eşdeğeri Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı



Şekil 3.17. Dış tehlike endeksi Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı



Şekil 3.18. Yıllık gonadal doz eşdeğeri Kilis ili yüz ölçümüne göre %'lik dağılımı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Kilis ili toprak örneklerinin (25 adet) radyonüklit konsantrasyonları (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs) gama spektrometrik yöntem ile belirlenmiştir. Radyonüklit aktivite konsantrasyonları kullanılarak; havadaki soğurulan doz hızı (D), radyum eşdeğeri (Ra_{eq}), dış tehlike endeksi (H_{ex}), yıllık gonadal doz eşdeğeri (YGDE), yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) ve artan yaşam boyu kanser riski (AYKR) değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile Kilis ili ve yöresi için dağılım haritaları ve histogram grafikleri çizilmiştir. Sonuçlar, Türkiye'nin diğer illeri için elde edilen bulgular ve dünya ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır.

^{238}U konsantrasyonu sadece 7 adet toprak örneğinde ölçülebilmektedir. En yüksek uranyum konsantrasyonu $39,9 \pm 5,6$ Bq/kg olarak Kırıkhan yolu üzerinde, en düşük uranyum konsantrasyonu ise $10,1 \pm 2,7$ Bq/kg olarak Kilis güneyde hesaplanmıştır. Kilis için ortalama uranyum konsantrasyonu $20,97$ Bq/kg'dır. Kilis topraklarının %90'ının uranyum konsantrasyonu 35 Bq/kg olan dünya ortalama değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000).

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonları tüm toprak örnekleri için, minimum detekte edilebilir aktivite (MDA) değerinin altındadır.

Radyonüklit analizi yapılan tüm toprak örnekleri için ^{40}K aktivitesi tespit edilmiştir. ^{40}K 'nin en yüksek aktivite konsantrasyon değeri ($340,1 \pm 10,8$ Bq/kg) Musabeyli ilçesi girişinde ve en düşük aktivite konsantrasyon değeri ($87,0 \pm 8,2$ Bq/kg) Karbeyaz köyünde ölçülmüştür. Ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonu $205,14$ Bq/kg olarak hesaplanmıştır. Toprak örnekleri için elde edilen bütün potasyum değerleri, dünya ortalaması olan 400 Bq/kg'dan küçüktür (UNSCEAR, 2000).

Kilis ili için havadaki soğurulan doz hızı (D) değerleri $3,75$ ile $30,29$ nGy/saat arasında değişmektedir. Ortalama doz hızı ise $11,37$ nGy/saat olarak hesaplanmıştır. Bu değer, dünya ortalaması olan 60 nGy/saat'den küçüktür (UNSCEAR, 2000).

Hesaplanan Radyum eşdeğer aktivitesi (Ra_{eq}), $6,70$ ile $26,19$ Bq/kg arasında değişir ve ortalama değeri $15,80$ Bq/kg'dır. Ra_{eq} 'nin ortalama değeri tavsiye edilen maksimum değer olan 370 Bq/kg'dan oldukça düşüktür (Kurnaz et al., 2007). Bunun yanı sıra; dış

tehlike endeksi (H_{ex}) değerleri 0,018 ile 0,07 aralığında ve ortalama değeri 0,042 olarak bulunmuştur. Bütün H_{ex} değerleri 1'den küçüktür. Yıllık gonadal doz eşdeğeri (YGDE) ise 27,32 ile 106,8 $\mu\text{Sv/yıl}$ aralığında değişir ve ortalama değeri 64,41 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'dır.

Kilis ili için karasal gama radyasyonundan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) 4.61 ile 37.16 $\mu\text{Sv/yıl}$ arasında değişmektedir ve ortalama değeri 13.94 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bütün YEDE değerleri, dünya ortalaması olan 70 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'dan küçüktür (UNSCEAR, 1988). Bunlara ek olarak artan yaşam boyu kanser riski (AYKR) değerleri $1,61 \times 10^{-5}$ ile $13,0 \times 10^{-5}$ aralığında değişmektedir ve ortalama değeri $4,88 \times 10^{-5}$ olarak bulunmuştur.

5. KAYNAKLAR

- Ahmed, N.K., 2005. Measurement of natural radioactivity in building materials in Qena city, Upper Egypt. *Journal of Environmental Radioactivity* 83, 91-99.
- Akhtar, N., Tufail, M., Ashraf, M., Iqbal, M.M., 2005. Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan. *Radiation Measurements* 39, 11 – 14.
- Alatise, O.O., Babalola, I.A., Olowofela, J.A., 2008. Distribution of some natural gamma-emitting radionuclides in the soils of the coastal areas of Nigeria. *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1746–1749.
- Al-Jundi, J., Al-Bataina, B.A., Abu-Rukah, Y., Shehadeh 2003. Natural radioactivity concentrations in soil samples along the Amman Aqaba Highway, Jordan. *Radiation Measurements* 36, 555-560.
- Beck, H.L., 1972. The physics of environmental radiation fields. Natural radiation environment II, CONF-720805 P2. Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., Osmanlioglu, A.E., 2007. Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. *Radiat. Meas.* 42, 1387–1391.
- Büyükuslu, H., "Isparta'nın Yalvaç İlçesi ve Çevresinin Doğal fon (Background) Radyasyon Düzeylerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- Degerlier, M., Karahan, G., Ozger, G., 2008. Radioactivity concentration and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1018-1025.
- Değerlier, M., "Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- Dugalic, G., Krstic, D., Jelic, M., Nikezic, D., Milenkovic, B., Pucarevic, M., Zeremski-Skoric, T., 2010. Heavy metals, organics and radioactivity in soil of western Serbia. *Journal of Hazardous Materials* 177, 697–702.

- El-shershaby, A., 2002. Study of Radioactivity Levels of Gable Gattar II in the North Eastern desert of Egypt, *Applied Radiation and Isotopes*, 57, s 131-135.
- Erees, F.S., Akozcan, S., Parlak, Y., Cam, S., 2006. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). *Radiat. Meas.* 41, 598–601.
- ICRP, 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, vol. 21 No. 1–3, publication 60.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), 1996. Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.
- Kam, E., Bozkurt, A., 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Appl. Radiat. Isot.* 65, 440–444.
- Karahan G., “İstanbul’un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Nükleer Enerji Enstitüsü, 1997.
- Karahan, G., Bayulken, A., 2000. Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey). *J. Environ. Radioact.* 47, 213–221.
- Kesici, Ö., 1994. Toprak Özellikleri, Kilis Yöresinin Coğrafyası, Kilis Kültür Derneği Genel Yayın 12, 46-47.
- Knoll, F.G. 2000. *Radiation Detection and Measurement Third Edition*. Wiley, 816, New York.
- Köksal, M.E., Çelebi, N., 2003. Radon ve Türkiye Evlerinde Radon Ölçümleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.
- Krane, K.S. 2001. *Nükleer Fizik 1. Cilt*, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Krieger, R., 1981. Radioactivity of construction materials. *Betonwerk. Fertigteil-Tech.* 47, 468.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G., Çevik, U., 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes* 65, 1281–1289.
- Lee, S.K., Husin, W., Ramli, A.T., Apriantoro, N.H., Wood, A.K., 2009. Radiological monitoring: terrestrial natural radionuclides in kinta District, Perak, Malaysia. *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 368-374.

- Mamont-Ciesla, K., Gwiazdowski, B., Biernacka, M., Zak, A., 1982. Radioactivity of building materials in Poland. In: Vohra, G., Pillai, K.C., Sadavisan, S. (Eds.), Natural Radiation Environment. Halsted Press, New York, p. 551.
- Myrick, T.E., Berven, B.A. ve Hywood, F. F.,1983. Determination of Concentration of Selected Radionuclides in Surface Soil in The U.S., Health Physics Vol. 45.
- NCRP 45, 1975. National Council on Radiation Protection and Measurements No.45, Natural Background Radiation in the U.S., Soil Radioactivity, s 54.
- Oyedele, J.A., Shimboyo, S., Sitoka, S., Gaoseb, F., 2010. Assessment of natural radioactivity in the soils of Rössing Uranium Mine and its satellite town in western Namibia, southern Africa. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 619, 467 - 469.
- Özger, A.G., "Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- Singh J., Singh H., Singh S., Bajwa B.S., Sonkawade R.G. 2009. Comparative study of natural radioactivity levels in soil samples from the Upper Siwaliks and Punjab, India using gamma-ray spectrometry. Journal of Environmental Radioactivity 100, 94–98.
- Solmaz, N.A., 2008. Düşük Seviyeli Radyoaktivite Ölçümü için Kuyu-Tipi Ge Dedektörlü Bir Gama Spektrometresinin 40–2000 keV Enerji Aralığında Verim Kalibrasyonunun Yapılması, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Ankara.
- Taskin, H., Karavus, M., Ay P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., Karahan, G. 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. Journal of Environmental Radioactivity 100, 49–53.
- Theodorsson, P., 1997, Measurements of Weak Radioactivity, World Scientific Pub. Co.
- Togay, Y.E., 2002. Radyasyon ve Biz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, 37s. Ankara.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR): Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation. United Nations sales publication No. E. 88.IX.7. New York.

UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, 2000. Sources, effects and risk of ionizing radiation, United Nations, New York.

Yalcin, S., Gurler, O., 2007. The radioactivity measurements in soil, coal and water in south Marmara region of Turkey. Radiation Measurements 42, 281 – 285.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Serkan BAKKAL

Doğum Yeri: MELİKGAZİ/KAYSERİ

Doğum Tarihi: 09.05.1986

E Posta: sbakkal38@hotmail.com

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Durumu (Okul, mezuniyet yılı, Şehir)

Orta Öğretim: Aydınlık Evler Lisesi, 2003, Kayseri

Lisans: Erciyes Üniversitesi, 2008, Kayseri

Yüksek Lisans: Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis