

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADİYAMAN İLİ DOĞAL ZEMİN RADYASYON DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Halil VURUŞ

FİZİK ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2013**

Prof.Dr. Ahmet BOZKURT danışmanlığında, Halil VURUŞ'un hazırladığı "Adıyaman İli Doğal Zemin Radyasyon Düzeyinin Belirlenmesi" konulu bu çalışma 07/06/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet BOZKURT

Üye: Yrd. Doç. Dr. Devrim TARHAN

Üye: Doç. Dr. İrfan YEŞİLNACAR

Bu Tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Seyit TEMİR
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirimlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Radyasyonun Tanımı ve Türleri	2
1.1.1. Alfa bozunumu	3
1.1.2. Beta bozunumu	4
1.1.3. Gama bozunumu	7
1.1.4. Nötronlar	7
1.1.5. X ışınları	8
1.1.6. Radyasyonun girciliği	8
1.2. Radyoaktif Bozunum Yasası	8
1.3. Radyasyon Ölçüm Nicelikleri	11
1.3.1. Aktivite	11
1.3.2. Işınlanma (pozlanma)	11
1.3.3. Soğurulan doz	12
1.3.4. Eşdeğer doz	12
1.4. Radyonüklitler	14
1.4.1. Başlangıçta mevcut olan radyonüklitler	14
1.4.2. Kozmik ışın etkileşimleri sonucunda oluşan radyonüklitler	15
1.4.3. İnsan üretimi radyonüklitler	15
1.5. Radyasyon Kaynakları	16
1.5.1. Doğal fon (background) radyasyonu	16
1.5.2. Doğal radyasyon kaynakları	18
1.5.3. Topraktaki radyoaktivite	19
1.5.4. Sudaki doğal radyoaktivite	22
1.5.5. Yeryüzüne yakın atmosferdeki doğal radyoaktivite	23
1.5.6. İnsan vücudundaki doğal radyoaktivite	24
1.5.7. Yiyeceklerdeki doğal radyoaktivite	25
1.5.8. Yapı malzemelerindeki doğal radyoaktivite	25
1.5.9. Radon	26
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM	37
3.1. Dedeksiyon ve Dedektörler	37
3.2. Radyasyon Dedektör Çeşitleri	38
3.2.1. Gaz dolgulu dedektörler	38
3.2.2. Sintilasyon dedektörleri	41
3.2.3. Yarı iletken dedektörler	42
3.3. Sayım Sistemleri	44
3.4. Gama Spektrometresi Analiz Sistemi	44
3.5. Alfa beta Sayım Sistemleri	45
3.6. Mikrobilgisayarlı, Portatif Gama Sintilasyon Dedektörü	46
3.7. Zemin Radyasyon Düzeyinin Ölçülmesi	47
3.7.1. Havada radyasyon dozu ölçümü	47
3.7.2. Suda alfa ve beta toplam konsantrasyon ölçümü	48
3.7.3. Toprakta aktivite konsantrasyonu ölçümü	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1. Çevresel Doğal Gama Işınlanma Hızlarının Belirlenmesi	51
4.2. Su Örneklerinde Belirlenen Radyoaktivite Konsantrasyonları	58
4.3. Toprak Örneklerinde Belirlenen Radyoaktivite	64
4.4. Ölçüm Sonuçları Arasındaki İlişkilerin Değerlendirilmesi	71

4.5. Adıyaman İli Zemin Radyasyon Düzeyi	71
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	81
ÖZET	82
SUMMARY	84

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

ADİYAMAN İLİ DOĞAL ZEMİN RADYASYON DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Halil VURUŞ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet BOZKURT

Yıl: 2013, Sayfa: 85

Çevresel radyoaktivite ölçümleri, bir bölgenin doğal fon radyasyon düzeyinin belirlenmesinde önemli yer tutar. Dünya genelinde yapılan nükleer silah denemeleri ile Çernobil ve Fukuşima gibi nükleer kazalar doğal fon düzeyini sürekli olarak değiştirebileceğinden, doğal zemin radyasyonunun belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça önemli görülmektedir. Bu tez çalışmasında, turistik ve doğal güzellikler açısından Türkiye'nin önemli bir ili olan Adıyaman'ın il merkezi, ilçe ve köylerini kapsayan bir alan seçilmiştir ve 52 örnekleme noktası için deneysel olarak ev dışı gama ışınlama hızları ile su ve toprak örneklerindeki radyonüklit konsantrasyonları belirlenmiştir. Dış gama ışınlanma hızları 6.17 $\mu\text{R/h}$ ile 47.1 $\mu\text{R/h}$ değerleri arasında ölçülmüş ve ortalama değer 17.42 $\mu\text{R/h}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer yıllık 185.89 μSv değerinde etkin doz ortalamasına karşılık gelmektedir. Sudaki toplam alfa aktivitesi 0.015 Bq/L ile 0.244 arasında değişirken ortalama toplam alfa aktivitesi 0.052 Bq/L olarak elde edilmiştir. Sudaki toplam beta aktivitesi ise 0.026 Bq/L ile 0.328 Bq/L değerleri arasında olup ortalama toplam beta aktivitesi 0.085 Bq/L olarak bulunmuştur. Sudaki toplam alfa ve beta aktivitelerine karşılık gelen yıllık etkin doz 53.55 μSv olarak belirlenmiştir. İl genelinde toplanan toprak örneklerinin ortalama radyonüklit aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 17.2 Bq/kg, 18.5 Bq/kg ve 298.33 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Filyon ürünü olan ^{137}Cs için ise ortalama aktivite konsantrasyonu 7.04 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri için toplam yıllık etkin doz 38.71 μSv olarak belirlenmiştir. Türkiye'de daha önce yapılan çalışmalar ve dünya ortalamaları dikkate alındığında Adıyaman genelinde hava doz hızı ortalaması yüksek çıkmış, su ve toprak radyoaktiviteleri ise ortalama değerlere yakın bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Doğal radyoaktivite, radyasyon, doğal fon düzeyi, Adıyaman

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINATION OF NATURAL BACKGROUND RADIATION LEVEL FOR ADIYAMAN PROVINCE

Halil VURUŞ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet BOZKURT

Year: 2013, Pages: 85

Environmental radioactivity measurements are important in determining the natural background radiation level of a region. Since worldwide nuclear weapon tests and nuclear accidents like Chernobyl and Fukushima can continuously increase the natural background level, studies related to determining natural background radiation are considered to be significant. In this thesis study, a region covering the provincial center, townships and villages of Adiyaman, which is a city known for its natural beauties as well as touristic attractions, was selected and for 52 sampling locations outdoor gamma exposure rates and radionuclide concentrations in water and soil samples were experimentally obtained. Outdoor gamma exposure rates were measured in the range 6.17 $\mu\text{R/h}$ and 47.1 $\mu\text{R/h}$ and the average was calculated as 17.42 $\mu\text{R/h}$. This value corresponds to an annual effective dose of 185.89 μSv . Gross alpha activity in water varied between 0.015 Bq/L and 0.244, the average being 0.052 Bq/L. Gross beta activity in water ranged between 0.026 Bq/L and 0.328 Bq/L and their average was found as 0.085 Bq/L. The annual effective dose corresponding to total alpha and beta activity in water was found to be 53.55 μSv . Average radionuclide activity concentrations in the soil samples collected were determined as 17.2 Bq/kg, 18.5 Bq/kg and 298.33 Bq/kg for ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K , respectively. For the fission product ^{137}Cs the average activity concentration was found as 7.04 Bq/kg. For ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides, the total annual effective dose was determined as 38.71 μSv . In comparison with previous studies done in Turkey and the world averages, outdoor gamma exposure rates were found to be higher and water and soil radioactivities were observed to be about the averages.

KEYWORDS: Natural radioactivity, radiation, natural background level, Adiyaman

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında gece gündüz demeden yardım ve desteklerini esirgemeyen sayın danışmanım ve büyüğüm Prof. Dr. Ahmet BOZKURT'a canı gönülden teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında görüş ve yönlendirmelerinden faydalandığım Doç. Dr. Erol KAM (ÇNAEM, TAEK) ve Arş. Gör. Nuri YORULMAZ'a (Harran Üniversitesi) teşekkürlerimi bir borç bilirim. Tez çalışmama başlarken hayatta olan ve dualarını benden esirgemeyen rahmetli annem Zeynep VURUŞ'a, manevi desteklerinden dolayı başta sevgili eşim Fadima'ya ve babam Yusuf VURUŞ'a, son olarak canımdan bir parça olan çocuklarım Semih ve Melih'e şükranlarımı sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. β^- bozunumunda yayımlanan elektronların enerji spektrumlarına bir örnek (^{210}Bi)	7
Şekil 1.2. İyonize edici radyasyonların çeşitli maddelerdeki giricilikleri	9
Şekil 1.3. Üstel bozunum yasası	10
Şekil 1.4. Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık ortalama doz değerleri	17
Şekil 3.1. Dedeksiyon işleminin aşamaları	37
Şekil 3.2. Gazlı dedektörlerin temel çalışma prensibi	39
Şekil 3.3. Gaz dolgululu dedektörlerin voltaja bağlı çalışma bölgeleri	41
Şekil 3.4. Sintilasyon dedektörü cihaz blok şeması	42
Şekil 3.5. Yarı iletken dedektör	44
Şekil 3.6. Saf germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği	45
Şekil 3.7. Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzeneç	46
Şekil 3.8. Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzeneğin şematik gösterimi	46
Şekil 3.9. Sintilasyon uçlu gama dedektörü	47
Şekil 3.10. Mikrobilgisayarlı kaydedici cihaz ESP2	47
Şekil 3.11. Tipik bir gama ışın spektrumu	50
Şekil 4.1. Adıyaman il geneli çevresel gama yıllık etkin doz histogramı	56
Şekil 4.2. Adıyaman il geneli çevresel gama yıllık etkin doz haritası	57
Şekil 4.3. Adıyaman il geneli su için alfa-beta toplam yıllık etkin doz histogramı	62
Şekil 4.4. Adıyaman il geneli su örnekleri için alfa-beta toplam yıllık etkin doz haritası ...	63
Şekil 4.5. Adıyaman il geneli topraktaki radyoizotoplar için toplam yıllık etkin doz histogramı	69
Şekil 4.6. Adıyaman il geneli topraktaki radyoizotoplar için toplam yıllık etkin doz haritası	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Radyasyonun niteliklerine göre sınıflandırılması	9
Çizelge 1.2. Radyasyon ağırlık faktörleri	13
Çizelge 1.3. Organ ağırlık faktörleri	14
Çizelge 1.4. Başlangıç (primordial) radyonüklitleri	15
Çizelge 1.5. Kozmojenik radyonüklitler	15
Çizelge 1.6. İnsan üretimi olan radyonüklitler (antropojenik)	16
Çizelge 1.7. Türkiye ve dünyada bazı bölgelerdeki doğal radyasyon fon düzeyleri	17
Çizelge 1.8. Doğada tek başına bulunabilen radyonüklitler	18
Çizelge 1.9. ²³⁸ U (Uranyum) serisi	20
Çizelge 1.10. ²³² Th (Toryum) Serisi	20
Çizelge 1.11. ²³⁵ U (Aktinyum) Serisi	20
Çizelge 1.12. Toprakta bulunan ortalama radyonüklit konsantrasyonları	21
Çizelge 1.13. İçme suları için ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları	23
Çizelge 1.14. İnsan vücudundaki doğal radyoaktivite	24
Çizelge 1.15. Bazı yiyecek ve içeceklerdeki ⁴⁰ K ve ²²⁶ Ra oranları	25
Çizelge 1.16. Yapı materyallerindeki ²³⁸ U, ²³² Th ve ⁴⁰ K radyoizotoplarının tahmin edilen konsantrasyonları	26
Çizelge 1.17. Rn-222 ve bozunma ürünlerinin karakteristik özellikleri	26
Çizelge 1.18. Dünya genelinde radon konsantrasyonu için limit değerler	27
Çizelge 3.1. Radyasyon dedektör çeşitlerinin bazı karşılaştırmalı bilgileri	39
Çizelge 4.1. Adıyaman ilinde yapılan dış gama radyasyonu ölçüm sayılarının ilçelere göre dağılımı	51
Çizelge 4.2. Adıyaman ilinde yapılan dış gama radyasyonu ölçüm sonuçları	52
Çizelge 4.3. Adıyaman ili dış gama radyasyonu soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz	54
Çizelge 4.4. Adıyaman ili dış gama radyasyonu verileri özet istatistikleri	55
Çizelge 4.5. Adıyaman ili su örnekleri toplam alfa ve beta aktiviteleri ölçüm sonuçları	58
Çizelge 4.6. Adıyaman ili su örnekleri aktivite ve yıllık etkin doz	60
Çizelge 4.7. Adıyaman ili su örneklerinin özet istatistikleri	61
Çizelge 4.8. Adıyaman ili toprak örneklerindeki radyoizotoplar ve aktiviteleri	64
Çizelge 4.9. Adıyaman ili toprak örneklerindeki radyoizotoplar için soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz	66
Çizelge 4.10. Adıyaman ili toprak örneklerinin özet istatistikleri	67
Çizelge 4.11. Tüm ölçüm sonuçları için istatistiki veri analizi	71
Çizelge 5.1. Adıyaman ili dış gama radyasyonu ölçüm verileri ve literatürdeki verilerin karşılaştırılması	73
Çizelge 5.2. Adıyaman ili suda toplam alfa beta aktivite konsantrasyonu ölçüm verileri ve literatürdeki verilerin karşılaştırılması	74
Çizelge 5.3. Adıyaman ili toprak örneklerindeki radyoizotop aktivite konsantrasyonu ölçüm verileri ve literatürdeki verilerin karşılaştırılması	75

SİMGELER DİZİNİ

Bq	Becquerel, aktivite birimi
R	Röntgen, ışınlanma birimi
Gy	Gray, soğurulan doz birimi
Sv	Sievert, eşdeğer doz birimi
H_T	Eşdeğer doz
E	Etkin doz
$D_{T,R}$	Soğurulan doz miktarı
\mathcal{E}	Soğurulan radyasyon enerjisi
w_R	Radyasyon ağırlık faktörü
w_T	Organ ağırlık faktörü
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışınması
x	X-ışını
eV	Elektronvolt
keV	Kilo elektronvolt
MeV	Mega elektronvolt
N	Nötron sayısı
Z	Atom numarası
A	Kütle numarası
λ	Bozunum sabiti
$N(t)$	t anında kaynaktaki çekirdek sayısı
N_0	Başlangıçta kaynaktaki çekirdek sayısı
HpGe	Yüksek saflıkta germanyum içeren detektör
$t_{1/2}$	Yarılanma süresi, yarı ömür

1. GİRİŞ

İnsanların yaşadıkları çevrede maruz kaldıkları doğal ya da yapay radyasyon, *fon* veya *artalan* denilen doğal zemin radyasyon düzeyini oluşturur. Dünya üzerinde var olan her madde az bir miktar dahi olsa radyoaktif atomlar içermektedir. Zemin radyasyonuna doğal katkı yer kabuğu, solunan hava, içilen ve kullanılan su ve gıdalardaki eser miktarlarda var olan radyoaktif maddeler ile uzay kaynaklı kozmik radyasyondan gelir. Bunun yanında tıpta ve endüstride kullanılan yapay radyoaktif maddeler, nükleer silah denemeleri, nükleer santrallerdeki sızıntı ve kazalar da zemin radyasyon düzeyinin artışına sebep olmaktadır.

Bir yerin fon radyasyon düzeyi, coğrafi ve jeolojik yapı, deniz seviyesinden yükseklik, toprak ve kayaların mineral yapıları gibi etmenlere bağlı olarak farklılıklar gösterir. Normal bir bölgede doğal yollardan alınan yıllık doz, kişi başına yaklaşık 2.4 mSv civarındadır (IAEA, 1996). Bu değerlerin %82'sinin sebebi doğal radyasyon kaynaklarıdır. O halde bir bölgenin veya yerin zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesi için öncelikle o yerin toprağında, suyunda ve havasında bulunan radyoaktivite miktarının ölçülmesi gerekmektedir (UNSCEAR, 1982).

1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer kazasından sonra, ülkemizin öncelikle bu kazadan etkilenen bölgelerinde doğal zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır (TAEK, 1998, 2006). Bunun yanı sıra, son yıllarda diğer bazı illerimizde de benzer çalışmaların yapıldığı görülmektedir (Karahan, 1997; Merdanoğlu, 2004; Akkurt ve ark., 2004; Taşkın, 2006; Kam ve Bozkurt, 2006; Değerlier, 2007; Bozkurt ve ark., 2007; Osmanlıoğlu ve ark., 2007; Kam ve ark., 2010; Kurnaz ve ark., 2011; Kapdan ve ark., 2011; Yalçın ve ark., 2012). Dünya genelinde yapılan nükleer silah denemeleri ile Japonya'nın Fukuşima santralinde 2011 yılında meydana gelen nükleer kazalar gibi etmenler Türkiye'deki doğal fon düzeyinin sürekli olarak değiştirebileceğini

gösterdiğinden, doğal zemin radyasyonunun belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında, gerek turistik, gerekse doğal güzellikler açısından Türkiye'nin önemli bir ili olan Adıyaman'ın doğal zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Adıyaman Valiliği, 2006).

1.1. Radyasyonun Tanımı ve Türleri

Doğada bulunan bazı elementlerin atomlarındaki çekirdekler kararlı iken bazı elementlerin atomları da kararsız çekirdeklere sahiptirler. Bir çekirdeğin kararlılığını nötron sayısı N ve proton sayısı Z olmak üzere N/Z oranı belirler. Bu oran hafif kararlı izotoplar için bir civarında iken, daha ağır çekirdeklere doğru gidildikçe artar. Bilinen en ağır kararlı çekirdek ^{209}Bi izotopudur. Daha ağır çekirdekler ise kararsızdırlar. Kararlı çekirdeklerde birden büyük N/Z oranından dolayı çekirdek içi denge bozulmuş olduğundan, çekirdek kararsız bir yapıya sahip olacak ve bozunma eğilimi gösterecektir.

Kararsız bir çekirdek, nükleon başına düşen bağlanma enerjisini arttırarak daha kararlı hale geçmek ister. Bu olay bir iç dönüşüm geçirerek kendiliğinden gerçekleşir. Çekirdek bu esnada parçacık veya elektromanyetik dalga formunda uzay ve madde içerisinde yayılabilen enerji salınımı yapar. Bu olaya *radyoaktivite* veya *radyoaktif parçalanma* denir. Yayımlanan bu fazla enerji *radyasyon* olarak tanımlanırken, bu çekirdekler de *radyoaktif çekirdek (radyonüklit)* veya *radyoizotop* olarak adlandırılır.

Radyasyon, temel olarak kaynağı, taşınma yolu ve enerjisi ile nitelenebilir. Radyasyonun parçacık veya elektromanyetik dalga formunda olması ortamdaki enerjinin taşınma yoluyla ilgilidir. Eğer radyasyon nötron, proton, alfa ve elektron gibi bir parçacık tarafından çekirdekten uzaklaştırılıyorsa, *parçacık kökenli*; foton adı verilen yüksüz ve kütesiz enerji paketleri tarafından dalga yoluyla uzaklaştırılıyorsa *elektromanyetik kökenli* olarak nitelenir.

Atomdan yayımlanan radyasyon, çekirdekteki değişimler sonrasında oluşmuşsa *nükleer radyasyon*, atomun orbitalleri arasında meydana gelen geçişler sonrasında oluşmuşsa *yörüngesel radyasyon* olarak adlandırılır. α , β ve γ ışınları nükleer radyasyon, x-ışınları ise yörüngesel radyasyon olarak bilinir.

Radyasyon uzayda yayılabildiği gibi madde içerisinde de ilerleyebilir. Ortamın atom ve molekülleri ile etkileşip bir veya birkaç elektronunu serbest bırakabiliyorsa *iyonize radyasyon* olarak adlandırılır. Bu etkileşim sonrasında yüklü parçacıklar yani bir iyon çifti oluşur. Eğer radyasyonun enerjisi atomdan elektron koparmaya yetmiyor ise, bu radyasyona *iyonize olmayan (noniyonize) radyasyon* adı verilir. Genellikle α , β , γ ve x-ışınları iyonize radyasyonlar olarak bilinirler.

1.1.1. Alfa bozunumu

Alfa bozunumu, kararsız çekirdeğin bir alfa parçacığını dışarıya atarak bozunması olayıdır. α işaretiyle sembolize edilen alfa parçacığı, iki proton ve iki nötrondan oluşan bir helyum (${}_2\text{He}^4$) çekirdeğinden ibaret olup +2 yüklüdür. Çekirdeğin, alfa parçacığı çıkararak bozunması olayı genellikle ağır izotoplarda görülür ve sıklıkla doğal radyoaktif atomlarda gözlenir. Örneğin Radium-226'nın alfa bozunumunda ana çekirdek bir helyum çekirdeğini dışarıya atarak Radon-222'e dönüşür (Denklem 1.1).



Bu bozunumda ana çekirdeğin atom numarası 2 azalırken kütle numarası dört azalırken (Denklem 1.2), proton ve nötron sayıları korunur. Ayrıca toplam enerji de korunacağından, kütle bir kısmı alfa parçacığı tarafından dışarıya enerji olarak taşınır (Denklem 1.3).



$$Q = \Delta mc^2 = [m(X) - m(Y) - m({}_2^4He)] \cdot c^2 \quad (1.3)$$

Sahip oldukları bu elektrik yükü, alfa parçacıklarının herhangi bir madde içerisinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirmelerine ve bu yüzden de enerjilerini çabucak kaybetmelerine yol açar. Böylece α ışınması ince bir materyal tabakası ile dahi durdurulabilir. Enerjilerini bu şekilde çabucak kaybeden alfa parçacıklarının menzil uzaklıkları da dolayısıyla çok kısadır. Bu yüzden de normal olarak dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak, sindirim, solunum ve yaralar vasıtasıyla vücuda girdiklerinde iç radyasyon hasarı açısından tehlikeli olabilirler.

1.1.2. Beta bozunumu

Çekirdekteki enerji fazlalığı çekirdek civarında, $E=mc^2$ eşitliğiyle açıklanabilen bir kütle oluşturur. Bu kütle, çekirdekteki fazla yükü alır ve dışarıya bir beta ışını olarak çıkar. Bunlar pozitif veya negatif yüklü olabilirler. Pozitif yüklü olanlar β^+ ile (*pozitron*), negatif yüklü iyonlar ise β^- işaretiyle (*elektron*) sembolize edilirler. Bu bozunumda kütle numarası değişmediği için *izobarik bozunma* adı verilmiştir. Beta bozunumunun üç farklı türü vardır.

1) Eğer bir radyonüklidin kararsızlığına çekirdeğindeki nötron fazlalığı sebep oluyorsa, nötronlarından birini proton ve elektrona dönüştürür. Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır (Denklem 1.4). Çok yüksek hıza sahip bu elektrona beta parçacığı veya *negatron* adı verilir. Bu ışına β^- bozunumu olarak ifade edilir. Örneğin K-40'ın β^- bozunumunda ana çekirdek bir elektronu dışarı atarak Ca-40'a dönüşür (Denklem 1.5).



Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarası bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür (Denklem 1.6). Bozunumda toplam enerji korunacağından taşınan enerji denklemi Denklem 1.7'deki gibi bulunur.



$$Q = [m({}^A_Z X) - m({}^A_{Z+1} Y)] \cdot c^2 \quad (1.7)$$

2) Bir atomdaki kararsızlık proton fazlalığından veya nötron azlığından kaynaklanıyorsa, protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitrona) dönüşür. Nötron çekirdekte kalırken, pozitron dışarı fırlatılır. Bu beta ışınması ise β^+ bozunumu olarak ifade edilir (Denklem 1.8). Örneğin F-18'in β^+ bozunumunda ana çekirdek bir pozitronu dışarı atarak O-18'e dönüşür (Denklem 1.9).



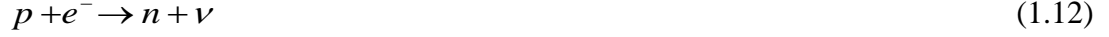
Pozitron yayımlayan radyonüklidin proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin (izobar) atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmez (Denklem 1.10). Dışarı taşınan enerji Denklem 1.11'de verilmiştir.



$$Q = [m({}^A_Z X) - m({}^A_{Z-1} Y) - 2m_e] \cdot c^2 \quad (1.11)$$

3) Çekirdeğin kararsızlığı proton fazlalığından kaynaklanıyorsa bazı durumlarda *elektron yakalama olayı* olarak ifade edilen bozunum gerçekleşir. Atomun çekirdeğe yakın (K, L gibi) yörüngelerindeki elektronlarından biri çekirdek

tarafından yakalanır. Elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür (Denklem 1.12).



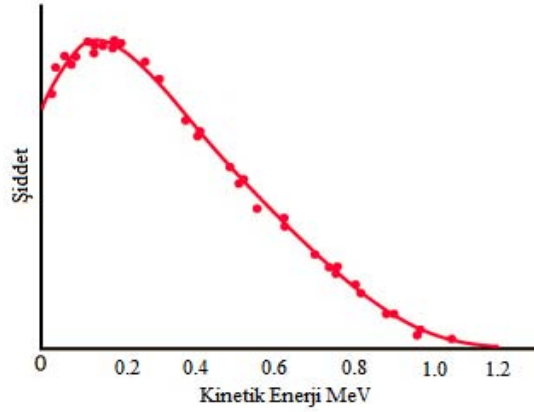
Bu bozunum sırasında çekirdekten parçacık yayılımı olmaz. Ancak β^{+} bozunumunda olduğu gibi proton sayısı bir eksilir ve bozunuma uğrayan ana çekirdeğin kütle numarası değişmez (Denklem 1.13). Örneğin Cu-64 elektron yakalama olayı sonucunda Ni-64'e dönüşürken kütle numarası aynı kalır (Denklem 1.14). Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve bunun sonucunda *karakteristik radyasyon* adı verilen x- ışınları yayınlanır. Dışarı taşınan enerji Denklem 1.15'te verilmiştir.



$$Q = [m({}^A_Z X) - m({}^A_{Z-1} Y)] \cdot c^2 \quad (1.15)$$

Her üç beta bozunumunda da proton ve nötron sayıları bir birim değişmesine rağmen kütle numarası sabit kalır. Ayrıca her üç bozunumda momentumun korunumu gereği *nötrino* ve *antinötrino* denilen yüksüz ve kütesiz parçacıkların yayımlandığı görülmektedir. Beta bozunumunda yayımlanan elektronların enerjileri sürekli bir spektruma sahiptir (Şekil 1.1).

Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleyle sahip olduklarından madde içerisinden geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Ancak bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Çünkü bu parçacıklar alfa parçacıklarına göre daha hafif olduklarından daha hızlıdır. Yine de bunlardan korunmak için çoğu zaman ince levhadan yapılmış bir zırh malzemesi (plastik veya alüminyum gibi) çoğunlukla yeterlidir.



Şekil 1.1. β^- bozunumunda yayımlanan elektronların enerji spektrumlarına bir örnek (^{210}Bi)

1.1.3. Gama bozunumu

Gama ışınları, atom çekirdeğinde gerçekleşen bozunumlar sonrasında çekirdeğin enerji seviyeleri arasındaki geçişler sırasında yayımlanır. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı çıkarttıktan sonra genellikle taban durumda kalmaz. Artık çekirdek enerjisi sonradan bir elektromanyetik radyasyon halinde yayımlanır. Gama ışınları γ sembolü ile ifade edilir.

Gama ve x ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içerisindeki giricilikleri çok daha fazla olduğu halde, iyonlaşmaya katkıları çok daha azdır. Birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun bloklarla sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Şiddetleri madde içerisinde geçerken üstel bir fonksiyon şeklinde azalır. Herhangi bir elektrik yükü taşımadıkları için hareketleri boyunca elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmezler.

1.1.4. Nötronlar

Nötronlar da gama ışınları gibi yüksüz olduklarından, herhangi bir madde içerisindeki giricilikleri çok iyidir. Madde içerisinde doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmamalarına rağmen, nötronların atomlarla etkileşmelerinden iyonize radyasyonlar olan alfa, beta, gama veya x-ışınları ortaya çıkarabilir. Nötronların durdurulmasında, gama ışınlarının aksine su ve hidrojen ağırlıklı diğer bazı hafif elementler daha etkilidir.

1.1.5. X ışınları

X-ışınlarına, *Röntgen ışınları* da denir. Görünür ışık dalgaları ve mor ötesi ışınları gibi dalga formunda bir radyasyon çeşididir. Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili radyasyon o atomun ilk halkalarından elektron koparabilir. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek seviyelerden (üst halkalardan) elektronlar yerleşerek kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı *karakteristik x-ışını* şeklinde dışarı salınır. Çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi de hareketi esnasında atomun ilk halkalarındaki bir elektronu yakalar ve nötr hale gelir. Yakalanan bu elektronun halkasındaki boşalan yere diğer bir halkadan bir elektron atlamasıyla yine x-ışını meydana gelebilir.

Bunun yanı sıra x-ışınları yapay olarak, röntgen tüplerinde elde edilir. Bir tüp içerisinde ısıtılmış katottan yayılan elektronlar kullanılan amaca göre 20 kV ila 300 kV arası bir gerilimle hızlandırılarak karşıdaki hedef anoda çarptırılır. Bu çarpışma sonucu elektronlar durdurulurken elektronların kaybettiği enerji x-ışınları olarak yayınlanır. Bu olaya *bremmstrahlung (frenleme ışını) olayı*, çıkan x-ışınlarının oluşturduğu sürekli spektruma da *bremmstrahlung spektrumu* adı verilir.

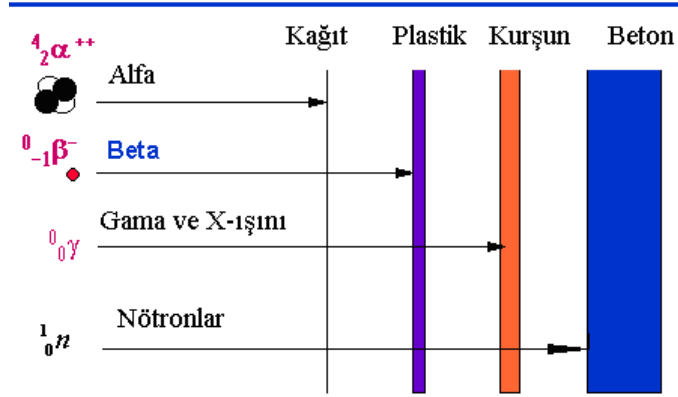
1.1.6. Radyasyonun giriciliği

Şekil 1.2’de çeşitli radyasyonların madde içerisindeki giricilik özellikleri şematik olarak topluca gösterilmektedir. Genel olarak taşınma yolu, kaynağı ve enerjisi ile sınıflandırdığımız radyasyon çeşitlerinin sınıflandırılması Çizelge 1.1’de özetlenmiştir.

1.2. Radyoaktif Bozunum Yasası

Radyoaktif bir çekirdekte birim zamanda bozunan çekirdek sayısını ifade eden aktivite A sembolü ile gösterilir. Bir radyoaktif kaynağın başlangıçtaki aktivitesi Denklem 1.16’daki ifade ile belirlenir. Bu ifadedeki N_0 radyoaktif kaynağın en başta

Radyasyon çeşitlerinin giriciliği



Şekil 1.2. İyonize edici radyasyonların çeşitli maddelerdeki giricilikleri

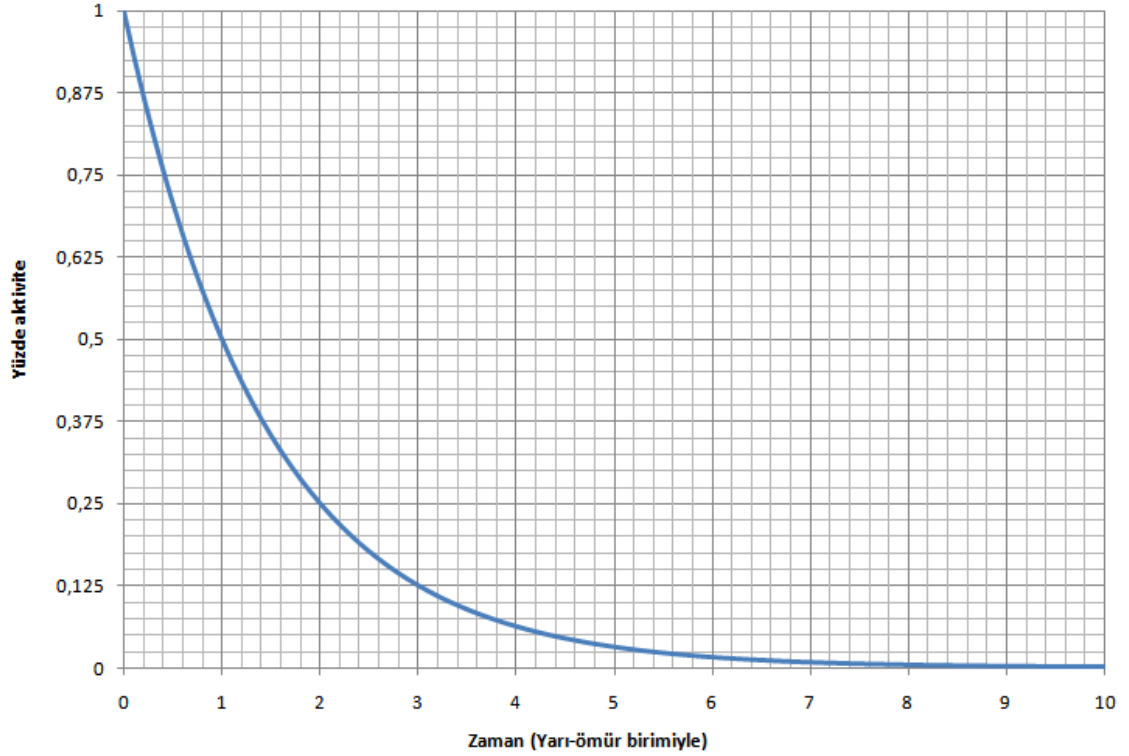
Çizelge 1.1. Radyasyonun niteliklerine göre sınıflandırılması

R A D Y A S Y O N		Yayımlandığı Yere Göre		Taşındığı Enerjiye Göre	
Taşıyan Parçacığa Göre					
Parçacık Radyasyonu	Elektromanyetik Radyasyon	Nükleer Radyasyon	Atomik Radyasyon	İyonize Edici Radyasyon	İyonize Olmayan Radyasyon
alfa	gama	gama	x-ışını	x-ışını	mikro dalga
beta	x-ışını	alfa	mor ötesi	alfa	kızıl ötesi
nötron	mor ötesi	beta	kızıl ötesi	beta	radio dalgası
kozmetik ışınlar	kızıl ötesi	nötron	radio dalgası	gama	görünür ışık
	görünür ışık			nötron	
				mor ötesi	
				kozmetik ışınlar	

sahip olduğu çekirdek sayısını, λ ise bu radyoaktif kaynaktaki çekirdek türünün birim zamanda bozunabilme ihtimalini ifade eder. Radyoaktif kaynağın herhangi bir t anındaki aktivitesi ise Denklem 1.17'deki gibidir. Radyoaktif kaynağın aktivitesi zaman içerisinde üstel bir şekilde azalır. Bu denklem *Üstel Bozunum Yasası* olarak bilinir. Şekil 1.3'te aktivitenin zamana göre değişim grafiği verilmiştir

$$A_0 = \lambda \cdot N_0 \quad (1.16)$$

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1.17)$$



Şekil 1.3. Üstel bozunum yasası

Bir atomun birim zamanda bozunabilme ihtimalini λ (*bozunma* veya *parçalanma sabiti*) ifade eder. Bir atomun ya da çekirdeğin ne zaman bozunacağını kestirebilmek mümkün olmadığından, sadece bir sürü atomun ortalama davranışı tahmin edilebilir. Radyoaktif izotopları içeren bir kaynağın, başlangıçta mevcut atom sayısının yarıya inmesi için geçen zamana *yarı ömür* ya da *yarılanma süresi* denir; $t_{1/2}$ ile gösterilir. Her bir yarı ömürlük süre geçtikçe ortamda o an için var olan atomların yarısı bozunmuş olacaktır. Ortamdaki atomların tamamı bozunana kadar bu süreç devam edecektir. Yarı ömür $t_{1/2}$ ile bozunma sabiti λ arasındaki ilişki Denklem 1.18'deki gibidir.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (1.18)$$

Bozunum sabiti büyük olan çekirdekler daha hızlı bozunacaklarından bozunma sabiti ne kadar büyükse yarı ömür o kadar kısadır. Doğal halde rastlanan radyoizotopların yarı ömürleri bir kaç mikro saniyeden birkaç bin yıla kadar olabilir.

Her radyoaktif çekirdek türü için yarı ömür farklı olduğundan, $t_{1/2}$ çekirdekler için özgün bir parametredir. Örneğin İyot elementinin radyoaktif iki izotopuna ait yarı ömürlerine bakıldığında birbirinden farklı olduğu görülmektedir. I-131 için yarı ömür 8.04 gün; I-125 izotopu için ise yarı ömür 60 gündür.

1.3. Radyasyon Ölçüm Nicelikleri

1.3.1. Aktivite

Bir radyoaktif kaynakta birim zamanda gerçekleşen bozunum sayısına *aktivite* denir. Birimi *Becquerel* olup, Bq olarak gösterilir ve saniye başına bozunum sayısı anlamına gelir. Bazı ülkelerde halen kullanılan eski aktivite birimi ise *Curie* 'dir; Ci sembolü ile gösterilir. 1 gram Ra-226'nun aktivitesine eşdeğer olup, $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ Bq değerindedir.

Birim kütle ya da hacim başına düşen aktiviteye ise *özümlü aktivite* denir. Katı maddelerde birim kütle başına düşen radyoaktivite Bq/kg ile ölçülür. Sıvılarda birim hacim başına düşen radyoaktivite Bq/L, gazlarda birim hacim başına düşen radyoaktivite de Bq/m³ olarak ifade edilir.

1.3.2. Işınlanma (pozlanma)

Radyasyonun içinden geçtiği ortamda yol açacağı etki, geçtiği ortamda oluşturacağı iyonlaşma miktarı ile ilgilidir. İyonlaşmanın olması radyasyonun ortamdaki atom ve moleküller tarafından soğurulması ile mümkündür. Radyasyonun etkilerinden bahsetmek için madde içerisindeki soğurulmasını ölçmek gereklidir. Bunun için kullanılan terim ise *Pozlanma* olarak adlandırılır. Pozlanma, iyonize edici radyasyonun havanın birim kütlesinde (Δm) oluşturduğu elektrik yükü (ΔQ) miktarını temsil eder (Denklem 1.19); X ile gösterilir.

$$X = \Delta Q / \Delta m \quad (1.19)$$

Pozlanmanın eski birimi *Röntgen*'dir. $1 R=2.58 \times 10^{-4} C/kg$ değerindedir. Yani, havanın 1 kilogramında 2.58×10^{-4} coulomb değerinde iyon çifti oluşturan radyasyon miktarı 1 röntgenlik pozlanmadır. Pozlanma, sadece hava içerisindeki ve sadece x ve gama ışınlarının etkinliğini ölçer. Dolayısıyla farklı bir radyasyon türü ve hava dışındaki bir ortam için kullanılmaz.

1.3.3. Soğurulan doz

İyonize edici bir radyasyon madde içerisinde geçerken oluşan etkileşimlerden dolayı enerjisi soğurulacaktır. Soğurulan enerji miktarı iyonize edici radyasyon ve soğuran maddenin türüne göre farklılıklar gösterecektir. Radyasyon enerjisinin maddenin birim kütlesine bıraktığı enerji miktarına *soğurulan doz* denir (Denklem 1.20). D ile gösterilir. Birimi *Gray*'dir; Gy ile gösterilir. Işınlanan maddenin 1 kilogramında 1 Joule değerinde enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Soğurulan dozun eski kullanılan birimi *rad*, 0.01 *Gray*'dir.

$$D = \Delta \varepsilon / \Delta m \quad (1.20)$$

1.3.4. Eşdeğer doz

Farklı iyonize edici radyasyonların oluşturduğu biyolojik etkiler birbirinden farklıdır. Aynı miktarda enerji soğurulması veren farklı tipteki radyasyonlar, aynı biyolojik etkiye yol açmayabilir. Radyasyonun biyolojik etkisi, biyolojik etki birimi olan LET'e bağlıdır. Bu değer *Lineer Enerji Transferidir*. LET soğurulan enerjinin madde içindeki dağılımını ifade eder. Örneğin x ve gama fotonlarının etkileşimleri aynı madde için alfa parçacıklarının etkileşimlerine göre daha dağınıktır. Bu duruma göre alfa parçacıkları yüksek LET'li, X ve gama ışınları ise düşük LET'li radyasyonlardır. LET arttıkça radyasyonun oluşturacağı biyolojik etki de artar.

Bazı biyolojik etkiler için, soğurulan radyasyonun enerjisi ne kadar küçük bir bölge içindeyse o kadar etkilidir. Bu durum *radyasyon ağırlık faktörü* w_R yoluyla

ifade edilir. w_R değerleri belirlenirken, yüksek enerjili x veya gama ışınları referans alınır. w_R , radyasyonun biyolojik etkiyi gerçekleştirmedeki bağıl etkinliği ile ilgilidir. Foton cinsi radyasyonlar için $w_R = 1$ alınırken; alfa, nötron ve diğer parçacıklar için $w_R > 1$ 'dir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Radyasyon ağırlık faktörleri (ICRP, 1991)

Radyasyonun türü ve enerji aralığı	Radyasyon ağırlık faktörü w_R
Fotonlar (tüm enerjiler için)	1
Elektron ve muonlar (tüm enerjiler için)	1
Nötronlar	
< 10 keV	5
> 10 keV-100 keV	10
> 100 keV-2 MeV	20
> 2 MeV -20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonlar (geri tepen protonlar hariç, $E > 2$ MeV)	5
Alfa parçacıkları, fisyon ürünleri, ağır çekirdekler	20

Soğurulan dozun (D), ağırlık faktörü (w_R) ile çarpımı sonucu elde edilen bağıntıya eşdeğer doz denir. H ile gösterilir (Denklem 1.21). Birimi Sievert'tir, Sv ile gösterilir. Kısaca 1 Gy'lik x ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. $Sv = (Gy) (w_R)$. Eski birimi *rem*'dir (1 Sv =100 rem).

$$H_T = w_R \cdot D_{T,R} \quad (1.21)$$

Farklı radyasyon çeşitlerinin geç dönem etkilerine karşı riskini etkin doz kavramıyla kıyaslanır. Örnek olarak radon ve radonun bozunum ürünleri vücutta genellikle akciğerleri etkiler. Radyasyonun geç dönem etkileri açısından organların duyarlılığı farklıdır. Bu risk *etkin doz* kavramı ile açıklanır (Denklem 1.22). E ile gösterilir. Denklem 1.22'deki w_T organ ağırlık faktörü, H_T ise eşdeğer dozdur. Organ ağırlık faktörleri Çizelge 1.3'te verilmiştir.

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad (1.22)$$

Çizelge 1.3. Organ ağırlık faktörleri (ICRP, 1991)

Organ	Organ ağırlık faktörü, w_T
Yumurtalıklar	0.20
Kemik iliği	0.12
Kalın bağırsak	0.12
Akciğer	0.12
Mide	0.12
Mesane	0.05
Meme	0.05
Karaciğer	0.05
Yemek borusu	0.05
Tiroid bezi	0.05
Arta kalan organlar (adrenal, beyin, üst kalın bağırsak, yükselen bağırsak, çapraz bağırsak, ince bağırsaklar, böbrek, pankreas, dalak, timus, rahim)	0.05
Kemik yüzeyi	0.01
Deri	0.01
Toplam	1.00

1.4. Radyonüklitler

Radyoaktif elementler, sıklıkla radyoaktif izotoplar veya radyonüklitler olarak adlandırılır. Radyasyonun kaynağı radyonüklitlerin bozunmasıdır. Dolayısıyla radyasyon, yeryüzünün yapısında bulunan radyoaktif çekirdeklerden, güneş sistemi veya uzaydan gelen ışınlardan ya da insanların ürettiği yapay radyonüklitlerden kaynaklanmaktadır. Doğada bir çok farklı radyoaktif nüklit (>1500) vardır. Bu radyonüklitler; başlangıçta yani dünyanın oluşumundan önce mevcut olan *primordial*, kozmik ışın etkileşimleri sonucunda oluşan *kozmojenik*, ve insan üretimi veya insan aktiviteleri nedeni ile oluşan *yapay radyonüklitler* olmak üzere üç genel grupta toplanabilirler.

1.4.1. Başlangıçta mevcut olan radyonüklitler

Başlangıçtaki radyonüklitler, dünya ve evren yaratıldığı zamanlardan kalmışlardır. Bunların yarı ömürleri çok uzundur. ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th serilerine ait radyonüklitleri ve zemin radyasyonunun önemli bir miktarını oluşturan ^{40}K gibi

diğer bazı nüklitleri içerir. Çizelge 1.4'te başlıca *promordial* (başlangıç) radyonüklitler verilmiştir.

Çizelge 1.4. Başlangıç (primordial) radyonüklitleri (NCRP, 1987)

İzotop	Yarı ömür	Doğal Aktivite
²³⁸ U	4.47 x 10 ⁹ yıl	Tüm doğal uranyumun % 99.3'ü
²³² Th	1.41 x 10 ¹⁰ yıl	10.7 ppm kabuk ortalamalı yaygın kaya çeşitlerinde 1.6 ile 20 ppm
²³⁵ U	7.04 x 10 ⁸ yıl	Tüm doğal uranyumun 0.72 % si
²²⁶ Ra	1.60 x 10 ³ yıl	Kireçtaşında 16 Bq/kg ve volkanik kayalarda 48 Bq/kg
²²² Rn	3.82 gün	Asal gazlar; 0.6 Bq/m ³ ile 28 Bq/m ³ arasında değişir.
⁴⁰ K	1.28 x 10 ⁹ yıl	Toprak; 0.037 ile 1.1 Bq/g arasında değişir.

1.4.2. Kozmik ışın etkileşimleri sonucunda oluşan radyonüklitler

Kozmik radyasyon uzaydan gelen 10⁸-10²⁰ eV aralığında bir enerji spektrumuna sahip yüksek enerjili ağır parçacıklar ile yüksek enerjili foton ve müonlara kadar olan çeşitli parçacıklardan meydana gelir. Daha alt atmosfer, kozmik radyasyonla etkileşir ve radyoaktif nüklitler üretilir. Bunlar uzun yarı ömürlüdür fakat başlangıç nüklitlerine kıyasla ömürleri daha kısadır. Çizelge 1.5'te önemli bazı *kozmojenik* nüklitler verilmiştir.

Çizelge 1.5. Kozmojenik radyonüklitler (NCRP, 1987)

İzotop	Yarı ömür	Kaynak
¹⁴ C	5 730 yıl	¹⁴ N(n,p) ¹⁴ C reaksiyonundaki kozmik ışın etkileşimleri
³ H	12.3 yıl	N ve O arasındaki kozmik ışın etkileşimleri; ⁶ Li(n,alfa) ³ H, kozmik ışınlardan parçalanma
⁷ Be	53.28 gün	N ve O arasındaki kozmik ışın etkileşimleri

1.4.3. İnsan üretimi radyonüklitler

İnsanların yapay olarak ürettiği radyo nüklitler de mevcuttur. Savaş silahları, endüstriyel ve tıbbi sebeplerle doğadaki kararlı halde var olan bazı izotoplar, laboratuvar ortamlarında, bir elektromanyetik alanda, hızlandırıcılarda ya da nükleer reaktörler yardımıyla radyoaktif hale getirilebilmektedirler. Miktarları doğal miktarlara göre küçüktür ve nüklitlerin çoğu kısa yarı ömürlüdür. Çizelge 1.6'da insan üretimi (antropojenik) olan bazı radyonüklitler verilmiştir.

Çizelge 1.6. İnsan üretimi olan radyonüklitler (antropojenik) (NCRP, 1987)

İzotop	Yarı Ömür	Kaynak
³ H	12.3 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde
¹³¹ I	8.04 gün	Savaş silahı test materyali, fisyon reaktörleri, tiroid hastalıklarının teşhis ve tedavisinde kullanılmaktadır.
¹²⁹ I	1.57 x 10 ⁷ yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde
¹³⁷ Cs	30.17 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde
⁹⁰ Sr	28.78 yıl	Savaş silahı, fisyon reaktörlerinde
⁹⁹ Tc	2.11 x 10 ⁵ yıl	Medikal teşhislerde önemli bir radyoaktif materyaldir.
²³⁹ Pu	2.41 x 10 ⁴ yıl	²³⁸ U'in nötron bombardımanında

1.5. Radyasyon Kaynakları

1.5.1. Doğal fon (background) radyasyonu

Bireylerin maruz kaldığı radyasyon dozu değerlendirmelerinde doğal kaynaklar oldukça önemli yer tutarlar. Çünkü, doğal radyasyon kaynaklarına maruziyet ömür boyu söz konusu iken, yapay kaynaklara maruziyet genellikle sadece uygulama esnasında gerçekleşir. Normal bir bölgede doğal yollardan alınan bu doz kişi başına yaklaşık 2.4 mSv'lik doza eşdeğerdir (IAEA, 1996). Bunun yanı sıra nükleer enerji, tıp, endüstriyel uygulamalar ve tüketim ürünleri gibi yapay radyasyon kaynaklarından yılda ortalama olarak ortalama 0.6 mSv'lik doz almaktadır (Thorne, 2003).

İnsanların aldığı yıllık ortalama doz, bölgeden bölgeye değişirken, yakın mevkilerde bile farklılıklar gösterebilir. Etkilenilen doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok faktör vardır. Yaşanılan mevki, bu mevkideki toprak yapısı, yaşanılan binalarda kullanılan inşaat malzemeleri, coğrafi konum, mevsimler ve hava şartları (yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr) gibi etkenler doğal fon radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler. Çizelge 1.7'de Türkiye ve dünyada bazı bölgeler için radyasyon doz düzeyleri verilmiştir (Taşkın, 2006).

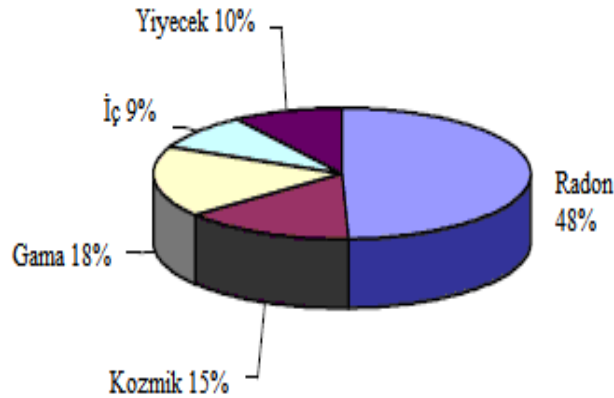
İnsanlar doğal kaynaklardan radyasyon dozuna dış ve iç ışınlanmalar şeklinde başlıca iki yolla maruz kalmaktadırlar. Yeryüzündeki radyoizotopların yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücudumuz dış kaynaklı radyasyona maruz kalır. Dış ışınlanmalarda alfa ve beta parçacıklarına göre menzili ve girciliği daha fazla olan

gama ışınları ön plana çıkmaktadır. Özellikle granit gibi volkanik kayalarda, fosfat kayalarda, tortularda yüksek radyoaktivite içeriği bulunabilmektedir. Yapı malzemeleri de radyoaktivite içerebildiğinden, insanlar bina dışında olduğu gibi, bina içinde de belli bir miktar dış ışınlanmaya maruz kalırlar. İç ışınlanmalar, radyoizotopların insan vücuduna alınması ile oluşur ve bu tür ışınlanmalar için kısa mesafelerde etkili olan alfa ışınları daha önemlidir. Radyoizotopların insan vücuduna sindirim, solunum veya cilt ile temas yoluyla alınabilir.

Çizelge 1.7. Türkiye ve dünyada bazı bölgelerdeki doğal radyasyon fon düzeyleri (Taşkın, 2006)

Yer	Yıllık doz (mSv)
Mersin (Akkuyu)	0.53
Ankara	0.44
Iğdır (Alican)	0.881
Çanakkale	1.23
Kars (Digor)	1.58
Hindistan (Kerela)	15.80
İran (Ramsar)	148.92
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788.40

Yerkabuğunda, çok uzun yarı ömürlü ^{238}U , ^{232}Th radyonüklitleri ve bunların bozunma ürünleri, toprak, kaya, yapı malzemeleri, gıda maddeleri, su ve hava gibi çevresel ortamlardaki varlığı düzgün bir dağılım göstermez. Bu kaynaklardan iç ve dış ışınlanmalar sonucu alınan dozlar, insan faaliyet ve alışkanlıklarına bağlı olarak da değişiklikler göstermektedir. Şekil 1.4'te doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık ortalama doz değerleri verilmiştir (IAEA, 1996).



Şekil 1.4. Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık ortalama doz değerleri (IAEA, 1996)

1.5.2. Doğal radyasyon kaynakları

Zemin radyasyonuna katkısı bulunan radyoaktif elementler genel olarak karasal (terrestrial) ve olarak uzay kökenli (kozmetik) olmak üzere iki ana grupta toplanır. Karasal radyasyon yer kabuğunun içinde mevcut bulunan doğal radyoaktif serilere ait radyo izotoplardan kaynaklanır. Evrenin henüz yeni oluşmaya başladığı zamanlarda birçok izotopun radyoaktif olduğu tahmin edilmektedir. Bu durumun birkaç milyon yıl sürdüğü ve kısa yarı ömre sahip olan radyonüklitlerin bu süre içinde ömürlerini tamamladıkları için tükendikleri kabul edilmektedir. Halen mevcut olan radyonüklitlerin yarı ömürlerinin de evrenin ömrüyle mukayese edilecek kadar uzun olduğu (en az 10^{10} yıl) için bozunmalar devam etmektedir (Alpher ve ark, 1953). Karasal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyoaktif elementler, doğal radyoaktif bozunum serisi içinde yer alanlar ve doğada tek başına bulunanlar olmak üzere iki grupta toplanabilir (Eisenbud, 1987). Çizelge 1.8’de tabiatta tek başına bulunan bazı radyoaktif elementler verilmiştir.

Çizelge 1.8. Doğada tek başına bulunabilen radyonüklitler (Lapp and Andrews, 1972)

İzotop	Z	N	A	Yüzde Bolluk	Yarı ömür Yıl	Yayınlanan Radyasyon
H-3	1	2	3	–	12.3	β^-
C-14	6	8	14	–	5 730	β^-
K-40	19	21	40	0.0117	1.3×10^9	β^- , EY, γ
V-50	23	27	50	0.25	1.4×10^{17}	β^- , EY, γ
Rb-87	37	50	87	27.8	5×10^{10}	β^-
In-115	49	66	115	95.7	4×10^{14}	β^-
Te-130	52	78	130	34.5	3×10^{21}	β^- , β^+
La-138	57	81	138	0.09	1×10^{11}	β^- , β^+
Ce-142	58	84	142	11.1	$>5 \times 10^{16}$	β^- , β^+
Nd-144	60	84	144	23.8	2.4×10^{15}	α
Sm-147	62	85	147	15.0	1×10^{11}	α
Lu-176	71	105	176	2.6	4×10^{10}	β^- , γ
Re-187	75	112	187	62.6	4×10^{10}	β^-

Kozmik radyasyon farklı enerji ve yüklere sahip çeşitli parçacıklardan ve elektromanyetik ışıklardan oluşur ve dünya yüzeyini sürekli olarak ışınlar. Bu ışınlar, *tuzaklanmış (trapped) parçacık radyasyonları*, *galaktik radyasyonlar* ve *solar radyasyonlar* olarak sınıflandırılır (NCRP, 1989). Tuzaklanmış parçacık

radasyonları, elektronlar ve protonlardan oluşur ve dünyanın etrafında bulunan radyasyon kuşaklarında yer alır. Bu kuşaklar, dünya atmosferini üst üste sarmış görünümündedir ve enerjileri birkaç yüz MeV mertebesindedir. Galaktik kozmik radyasyon, güneş sistemi dışındaki yıldızlararası ortamlardan, süper novalardan, pulsarlardan veya galaktik çekirdeklerden gelir. Galaktik radyasyonların %87'sini protonlar, %11'ini alfa parçacıkları, %1'ini bazı ağır çekirdekler ve %1'ini de yaklaşık 10^{20} eV'luk enerjiye sahip elektronlar oluşturur. Solar radyasyonlar ise güneş kökenli olup enerjileri birkaç keV ile birkaç MeV arasında değişen düşük enerjili parçacıklardır. Kozmik radyasyon parçacık enerjileri, güneş sistemi içindeki manyetik alanların değişiminden etkilenir. Bu enerji değerleri çoğunlukla 10^2 ve 10^5 MeV arasında olmasına karşın daha yüksek enerjilere sahip olan kozmik parçacıklar da vardır. Radyasyon doz değerlendirmelerinde çok önemli bir katkısı olan kozmik ışınları *birincil (primer)* ve *ikincil (sekonder)* radyasyonlar olarak sınıflandırmak da mümkündür. Zemin radyasyon dozuna kozmik ışın katkısının dünya ortalaması 0.39 mSv/yıl'dır. Kozmik ışın yoğunluğu atmosferin üst tabakasından deniz seviyesine doğru inildikçe azaldığından canlıların kozmik ışınlardan aldığı radyasyon dozu yüksekliğe göre değişim gösterir. Deniz seviyesinde alınan radyasyon dozu 0.03 μ Sv/saat değerinde iken, deniz seviyesinden yukarılara doğru gidildikçe bu değer artar. Örneğin Himalayalar'da alınan radyasyon dozu 1 μ Sv/saat, 15 km yükseklikte uçan bir uçakta ise 10 μ Sv/saat değerine kadar çıkar (IAEA, 1990).

1.5.3. Topraktaki radyoaktivite

Toprakta bulunan radyasyon kaynaklarının büyük kısmı çok uzun yarı ömürlü olup yeryüzünün oluşumundan beri bulunmaktadır. Genellikle ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}U serilerine ait radyonüklitler ile ^{40}K gibi radyoaktif çekirdekler toprakta bir radyoaktiviteye neden olmaktadır. Bilinen üç doğal radyoaktif seri vardır (Henriksen ve Maillie, 2003). Bunlar, ^{238}U kaynaklı Uranyum serisi, ^{232}Th kaynaklı Toryum serisi ve ^{235}U kaynaklı Aktinyum serisidir. Her üç radyoaktif ailede ortak olarak çok uzun yarı ömürlü bir üye ile bir gaz üye bulunmakta ve her üç aile de bir kararlı kurşun izotopu ile sona ermektedir (Valkovic, 2000). Bu serilere ait radyonüklitler Çizelge 1.9, 1.10 ve 1.11'de verilmiştir.

Çizelge 1.9. ^{238}U (Uranyum) serisi (Lapp and Andrews, 1972)

Simge	Yarı-ömür	Enerji (MeV)			Gama yayınlanma sıklığı
		Alfa	Beta	Gama	
^{238}U	4.5×10^9 yıl	4.2	–	0.048	23
^{234}Th	24.1 gün	–	0.19	0.09	4
^{234}Pa	1.17 dak.	–	2.29	1.0	0.6
^{234}U	2.5×10^5 yıl	4.8	–	0.05	28
^{230}Th	7.5×10^4 yıl	4.8	–	0.068	24
^{226}Ra	1600 yıl	4.8	–	1.186	4
^{222}Rn	3.82 gün	5.49	–	0.5	0.07
^{218}Po	3.05 dak.	6.00	–	–	–
^{214}Pb	26.8 dak.	–	0.65	0.24	4
^{214}Bi	19.9 dak	5.5	1.5	0.61	47
^{214}Po	164 μs	7.7	–	0.8	0.014
^{210}Pb	22.3 yıl	–	0.016	0.046	81
^{210}Bi	5.0 gün	–	1.16	–	–
^{210}Po	138 gün	5.30	–	0.80	0.001
^{206}Pb	Kararlı	–	–	–	–

Çizelge 1.10. ^{232}Th (Toryum) serisi (Lapp and Andrews, 1972)

Simge	Yarı-ömür	Enerji (MeV)			Gama yayınlanma sıklığı
		Alfa	Beta	Gama	
^{232}Th	1.4×10^{10} yıl	4.00	–	0.06	23
^{228}Ra	5.8 yıl	–	0.054	–	–
^{228}Ac	6.13 saat	–	1.11	0.09	30
^{228}Th	1.91 yıl	5.43	–	0.08	28
^{224}Ra	3.7 gün	5.68	–	0.24	5
^{220}Rn	55.6 s	6.29	–	–	–
^{216}Po	145 ms	6.78	–	–	–
^{212}Pb	10.6 saat	–	0.36	0.238	81
^{212}Bi	60.6 dak.	6.05	2.20	0.04	17
^{212}Po	300 ns	8.78	–	–	–
^{208}Tl	3.1 dak.	–	1.79	2.62	100
^{208}Pb	Kararlı	–	–	–	–

Çizelge 1.11. ^{235}U (Aktinyum) Serisi (Lapp and Andrews, 1972)

Simge	Yarı-ömür	Enerji (MeV)			Gama yayınlanma sıklığı
		Alfa	Beta	Gama	
^{235}U	7.0×10^8 yıl	4.38	–	0.185	12
^{231}Th	25.5 saat	–	0.30	0.25	90
^{234}Pa	3.3×10^4 yıl	5.06	–	Çok	–
^{227}Ac	21.8 yıl	4.95	0.046	Çok	–
^{227}Th	18.7 gün	6.04	–	Çok	–
^{223}Ra	11.4 gün	5.86	–	Çok	–
^{219}Rn	4.0 s	6.82	–	0.27	11
^{215}Po	1.78 ms	7.38	–	–	–
^{211}Pb	31.6 dak.	–	1.36	0.83	20
^{211}Bi	2.15 dak.	6.62	0.59	0.35	–
^{207}Tl	4.79 dak.	–	1.44	0.90	0.16
^{207}Pb	Kararlı	–	–	–	–

Uranyum elementi parlak, gümüş renkli olup saf formunda doğal radyoaktif madde olarak doğada bulunabilen ağır bir metaldir. Neredeyse tüm kayalarda ve toprakta, yerkabuğunun doğal maddelerinden yapılan materyallerde bulunur. Doğal olarak oluşmuş üç izotopu vardır. Bunlar ^{238}U , ^{235}U ve ^{234}U izotoplarıdır. Doğadaki uranyumun %99.2745'ini ^{238}U , %0.7200'ini ^{235}U ve %0.0055'ini ^{234}U oluşturur. ^{238}U çok uzun bir yarı ömre (4.46×10^9 yıl) sahiptir. ^{238}U 'un özgül aktivitesi ise çok zayıftır. Yani bir birim kütlesindeki bozunum hızı çok düşüktür. Bu nedenle doğal olarak oluşan uranyum, gezegen üzerindeki kararsız izotoplar arasındaki en az radyoaktif olan maddelerden biridir.

1.41×10^{10} yıl yarı ömürlü ^{232}Th yaygın tüm kaya çeşitlerinde mevcut olduğundan topraktaki radyoaktiviteye katkısı vardır. Toryumun bozunum serisi, ^{238}U bozunum serisi ile güçlü benzerlikler gösterir. ^{232}Th bozunum serisi de ^{238}U serisi gibi radyum, radon, kurşun, bizmut, polonyum elementlerinin izotoplarını ve büyük oranda alfa yayılımı içerir. Uranyum serisinden farkı toryum bozunum serisinde çok uzun ömürlü tek radyonüklidin ^{232}Th olmasıdır.

İnsan vücudu için yaşamsal bir öneme sahip olan potasyum temel bir elementtir. Doğada bulunan potasyumun üç izotopu vardır. Bu üç izotoptan sadece ^{40}K radyoaktif özelliktedir. 1.27×10^9 yıl yarı ömre sahip olan ^{40}K , doğadaki potasyumun %0.01'ini oluşturmaktadır (Valkovic, 2000). Yerkabuğunda ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonu genelde, ^{238}U ve ^{232}Th 'den daha büyüktür. UNSCEAR 2000 raporunda yayınlanan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin dünya genelindeki ortalama radyonüklit konsantrasyonları Çizelge 1.12'de verilmiştir.

Çizelge 1.12. Toprakta bulunan ortalama radyonüklit konsantrasyonları (UNSCEAR, 2000)

Radyonüklit	Ortalama aktivite konsantrasyonu (Bq/kg)
^{40}K	420
^{238}U	33
^{232}Th	45

Doğal radyonüklitler daha çok volkanik, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek oranlarda bulunmaktadır. Bu kayalar doğa şartlarına bağlı olarak zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı sularıyla toprağa karışır

topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına neden olurlar. Hatta tarımda topraktaki verimi arttırmak için kullanılan suni tohumlama ve gübreleme (suni gübreler radyoaktif ^{32}P içermektedir) gibi bazı insan aktiviteleri de lokal olarak topraktaki yüzey radyoaktivitesini arttırmaktadır (NCRP, 1987). Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülür. Bu kaya yataklarının da karasal radyoaktiviteye sebep olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinlikteki yüzey tabakadan kaynaklandığı bilinmektedir (Çelebi, 1995). Ayrıca, Fukuşima 2011 ve Çernobil 1986 gibi reaktör kazaları sonucu ve bazı nükleer denemeler neticesinde ^{137}Cs radyoizotopu ortaya çıkarak hava, su ve toprağa karışır.

1.5.4. Sudaki doğal radyoaktivite

Yaşamın temelini oluşturan su, içerisinde canlıların biyolojik fonksiyonları için gerekli olan çeşitli mineralleri, anyon ve katyonları barındırdığı gibi radyonüklitleri de içermektedir. İnsan vücudunun dörtte üçü kadar büyük bir bölümünü oluşturduğundan sudaki radyoaktivite miktarı çok önemli yer tutar. Özellikle içme suyundaki radyoaktif madde miktarının belirlenmesi sağlık açısından önemlidir. Güneş enerjisi sayesinde sürekli bir döngü içerisinde olan yer altı ve yer üstü suları temas ettikleri ortamlarda kimyasal, fiziksel ve radyoaktif kirlenmeye maruz kalırlar. Bu döngü içerisinde en temiz olan yağmur ve kar suları kimyasal ve radyoaktif kirlenmenin tespitinde önemli bir yer tutar (Gonzalez ve ark., 2001).

Sularda en fazla uranyum ailesi elemanlarından radyum ve radon bulunmaktadır. ^{226}Ra 'nın bozunma ürünü olan radyoaktif radon, bazı yeraltı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda çözülmüş radyum tuzları şeklinde bulunur. Yeraltı sularında aktinyum ailesi elemanlarını tespit etmek çok zordur. Toryum ailesinden ^{232}Th ve ^{228}Ra bazı sularda dedekte edilebilecek miktarlarda bulunmasına rağmen, bu aileden olan ^{220}Rn 'nin çok kısa yarı ömre sahip olması su ve kayalarda birikmesine olanak vermemektedir (Karahan, 1997). Su, aynı zamanda uranyum serisi çekirdeklerinin temel taşınım ortamı olarak görev yapar. Okyanus ve onun sedimentleri önemli bir su deposu ve bu çekirdekler için tekrar dağıtıcı bir sistem

gibi davranır (Scott, 1982). İçme suları potasyum barındırmasına rağmen potasyumun radyoaktif izotopu olan K-40'ın sulardaki beta aktivitesi düşük seviyededir.

Sulardaki doğal radyoaktivite çalışmaları başlangıçta kaplıca suları ile sınırlıydı. Daha sonra içme suları da incelenmiş ve bazı doğal radyonüklitlere rastlanmıştır. İçme sularındaki radyasyon konsantrasyonu yeraltı sularına kıyasla daha az miktardadır. Yapılan çalışmaların sonucu içme sularında tavsiye ve müsaade edilen azami alfa ve beta seviyeleri belirlenmiştir. Ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen seviyeler Çizelge 1.13'tedir (WHO, 2004; Resmi Gazete 2005).

Çizelge 1.13. İçme suları için ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirlenici konsantrasyonları (WHO, 2004; Resmi Gazete 2005)

	Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (2004)	TC Sağlık Bakanlığı (2005)
	Tavsiye Edilen Üst Limitler	Müsaade Edilen Üst Limitler
Kirlenici		
Toplam Alfa	0.5 Bq/L	0.1 Bq/L
Toplam Beta	1.0 Bq/L	1.0 Bq/L

Atmosferde yapılan nükleer denemeler, nükleer kazalar sonucu ortaya çıkan birçok radyonüklit stronsiyum (Sr-90, Sr-89), sezyum (Cs-137) vb. radyoaktif yağışlarla yeryüzüne inerek çevre ve sularda radyoaktif kirlenmeye sebep olur. Ayrıca nükleer atıkların denetimsiz olarak çevreye verilmesi de çevre kirliliğine neden olmakla beraber, içme suyu kaynakları da bu kirlilikten payını alır.

1.5.5. Yeryüzüne yakın atmosferdeki doğal radyoaktivite

Yüzeye yakın atmosferde, hem insan yapımı suni radyoaktif maddeler, hem de doğal kaynaklardan çıkan radyoaktif toz ve partiküller bulunmaktadır. İnsan aktiviteleri sonucu ortaya çıkan hava kirlilikleri, volkanik patlamalar, meteorlar, toz fırtınaları ve orman yangınlarıyla atmosfere bırakılan toz ve küller atmosferde bulunan toz ve partikül konsantrasyonlarını sürekli artırmaktadır. Atmosferde bulunan bu toz ve partiküller genellikle havada asılı kalmakta veya hava akımlarıyla sürekli dolanmaktadırlar. Genellikle yoğunlukları havanın yoğunluğundan ağır olanlar çekim etkisiyle yere inerler (Karahan, 1997).

Nükleer enerji alanında meydana gelen hızlı gelişmeler ve yapılan bazı nükleer denemeler atmosfere çok miktarda radyoaktif toz ve parçacıkların atılmasına neden olmaktadır. Bu denemeler özellikle atmosferde 30 km'den daha yüksek tabakalarda aşırı derecede radyoaktif kirlenmelere sahip olmuştur (Eisenbud ve ark., 1964). Nükleer denemelerle atmosfere atılan radyoaktif maddeler, atmosferde bulunan bu kozmojenik radyonüklit konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Kozmik ışınların dünya atmosferindeki atom çekirdekleriyle reaksiyona girmeleri sonucu üretilen nötronlar, elastik çarpışmalarla enerjilerini kaybederek yavaşlar ve C-14 ile N-14 atomları tarafından yakalanırlar. Muonlar ise yer seviyesine ulaşmadan bozunuma uğrar. Yarı ömürleri çok kısa olan muonlar yüzeye yakın atmosferdeki en önemli iyonizasyon kaynaklarını oluşturmaktadır.

1.5.6. İnsan vücudundaki doğal radyoaktivite

Çeşitli kimyasallardan oluşan insan vücudu, yaşamsal sebeplerle su veya yiyecekleri alırken aynı zamanda bunların içinde yer alan radyonüklitleri de alır. Böylece vücutta bulunan radyoaktif elementlerden dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalınır. Bu radyoaktif elementler içerisinde en önemlisi ^{40}K radyoaktif izotopudur. ^{40}K ve kozmik radyonüklitlerin vücuda alınması sonucu meydana gelen iç ışınlamalar doğal radyasyon sınıfına dâhildir. ICRP verileri esas alınarak 70 kg ağırlığındaki bir yetişkin için hesaplanmış radyonüklit konsantrasyonları Çizelge 1.14'te verilmiştir (ICRP, 1991).

Çizelge 1.14. İnsan vücudundaki doğal radyoaktivite (ICRP, 1991)

Nüklit	Vücuttaki toplam miktarı	Vücuttaki toplam nüklit aktivitesi
Uranyum	90 µg	1.1 Bq
Toryum	30 µg	0.11 Bq
Potasyum 40	17 mg	4.4 kBq
Radyum	31 pg	1.1 Bq
Karbon 14	95 µg	15 kBq
Trityum	0.06 pg	23 Bq
Polonyum	0.2 pg	37 Bq

1.5.7. Yiyeceklerdeki doğal radyoaktivite

Yiyeceklerde bulunan ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{238}U radyoizotopları sebebiyle her yiyecek doğal bir miktar radyoaktiviteye sahiptir. Kabuklu yiyeceklerdeki radyoaktif madde miktarı diğer yiyeceklere göre daha fazla olduğundan bu yiyecekleri fazla tüketen insanlar ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar. Yiyeceklerde ^{40}K ve ^{226}Ra , diğerlerine göre daha fazlaca mevcuttur. Çizelge 1.15'te ICRP verilerine göre bazı yiyeceklerdeki ^{40}K ve ^{226}Ra için konsantrasyonları verilmiştir.

Çizelge 1.15. Bazı yiyecek ve içeceklerdeki ^{40}K ve ^{226}Ra oranları (ICRP, 1991)

Yiyecek	Yiyeceklerdeki Doğal Radyasyon	
	^{40}K (mBq/kg)	^{226}Ra (mBq/kg)
Muz	130	37
Fındık	207	37-259
Havuç	126	22-74
Patates	126	37-92
Bira	443	–
Kırmızı et	111	19
Kuru fasulye	172	74-185
İçme suyu	–	0-6

1.5.8. Yapı malzemelerindeki doğal radyoaktivite

Yapılarda kullanılan inşaat malzemelerinin çoğunun kaynağı yer kabuğundaki topraktır. Bu malzemeler topraktaki gibi ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyonüklitlerini bulundurmaktadır. Bu radyoaktif izotoplar yapı malzemelerinin de doğal radyasyon kaynağı olmasına sebep olur. Yapı malzemeleri içerisinde bulunan radyoaktif materyallerden dolayı, bina içerisinde de bir miktar radyasyona maruz kalınır. Taş, tuğla ya da betondan yapılan büyük yapıdaki binaların dış duvarları gama ışınlarını etkili bir şekilde soğurur. Ev içi soğurulan doz oranı başlıca inşaat materyallerindeki doğal radyonüklitlerin aktivitesine bağlıdır. Yapı malzemelerinin ihtiva ettiği radyoaktivite bu malzemelerin üretildiği bölgenin radyoaktivitesine bağlı olarak değişir. Bu değişkenlikler dikkate alınarak yapı malzemelerindeki tahmini ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K değerleri Çizelge 1.16'da verilmiştir.

Çizelge 1.16. Yapı materyallerindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyoizotoplarının tahmin edilen konsantrasyonları (ICRP, 1991)

Materyal	Uranyum Toryum Potasyum		
	(mBq/g)	(mBq/g)	(mBq/g)
Granit	63	8	1184
Kumtaşı	6	7	414
Çimento	46	21	237
Kireçtaşı beton	31	8.5	89
Kumtaş beton	11	8.5	385
Kuru duvar kaplaması	14	12	89
Alçıtaşı kullanılarak üretilenlerden	186	66	5.9
Doğal Alçıtaşı	15	7.4	148
Ağaç	–	–	3330
Balçık tuğla	111	44	666

1.5.9. Radon

Atom numarası 86 olan radon renksiz, kokusuz, tatsız ve periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan bir gazdır. Kimyasal olarak aktif bir gaz olmamasına karşın radyoaktiftir. Uranyumun bozunma zincirindeki radyum radyoaktif bozunması sonucu radyoaktif radon gazına dönüşür. Radonun yarı ömrü 3.82 gündür. Radonun kısa yarı ömürlü bazı ürünlerinin bozunmasında alfa, bazılarında beta ve gama radyoaktivitesi rol oynar. Çizelge 1.17’de radon ve bozunma ürünlerinin karakteristik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.17. Rn-222 ve bozunma ürünlerinin karakteristik özellikleri (Köksal ve Çelebi, 2003)

İzotop	Radyasyon Tipi	Yarı ömrü
^{222}Rn	α	3.82 gün
^{218}Po	α	3.05 dak
^{214}Pb	β, γ	26.8 dak
^{214}Bi	β, γ	19.7 dak
^{214}Po	α	1.6×10^{-4} s
^{210}Pb	γ	22 yıl

ICRP tarafından yayınlanan 65 nolu raporda dünya genelinde radon konsantrasyonu için limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık dozun, 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu evler için 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında

bir değer tespit edilmesi önerilmiştir. Çizelge 1.18’de dünya genelinde radon konsantrasyonu için limit değerler verilmiştir (ICRP, 1993). Türkiye Atom Enerjisi Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğine göre Türkiye’de radon konsantrasyonu için limit değerler evler için 400 Bq/m^3 , iş yerlerinde ise 1000 Bq/m^3 ’tür (Resmi Gazete, 2000).

Çizelge 1.18. Dünya genelinde radon konsantrasyonu için limit değerler (ICRP, 1993)

	Alt limit	Üst limit
Etkin doz (mSv/yıl)	3	10
Ev içi radon konsantrasyonu (Bq/m^3)	200	600
İş Yerleri için Radon Konsantrasyonu (Bq/m^3)	500	1 500

Doğal radyasyon kaynakları içerisinde yıllık ortalama doza katkı yiyecekler için %10, iç ışınlanmalar için %9, gama için %18 ve kozmik etki için %15 civarında olmasına karşın %48’lik bir oranla en fazla katkıyı radon sağlamaktadır (IAEA, 1996).

Kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşan radon, tüm yüzey, kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır. Solunum yoluyla vücuda alınır. Radon bulunduğu akciğerlerde radyoaktif kalıntılar bırakır. Bunlar, toplam alınan radyoaktif doz içerisinde önemli bir bölüm oluşturur. Radonun binalara girişi, bina altındaki ve civarındaki kayalardan, doğal gazdan, su kaynaklarından, inşaatta kullanılan malzemelerdeki açıklıklardan, malzemelerin arasındaki havanın akışıyla oluşan basınçla veya binanın altındaki topraktan sızma yoluyla olmaktadır. Bina içine sızan radon gazı içeride birikir ve bina dışına çıkamazsa bina içindeki konsantrasyon artar. Bu nedenle çok kapalı ortamların havalandırılmasına dikkat gösterilmelidir. Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapılmamışsa havalandırma süresi uzatılmalıdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde birçok ülkede veya bazı bölgelerde yapılmış doğal zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesi çalışmaları vardır. 1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer kazasından sonra, ülkemizin öncelikle bu kazadan etkilenen bölgelerinde doğal zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (TAEK, 1998). Çernobil nükleer santral kazasının Türkiye üzerindeki etkileri, 29 Nisan 1986 tarihinde kaza duyurunun alınmasını takiben TAEK tarafından, 30 Nisan 1986 tarihinde Ankara, İstanbul ve Trakya Bölgesinde yapılan ölçümler sonucunda, çevresel gama radyasyon düzeylerinde yükselmelerin takip edilmesiyle anlaşılmıştır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) ile tesis edilen koordinasyon sonucu alınan bilgiler doğrultusunda TAEK tarafından radyasyon izleme programı başlatılmıştır. Radyoaktif bulutun ülkemizden geçişi sırasında yeryüzüne inen radyoaktivitenin belirlenmesi amacıyla Ankara ve İstanbul'da düzenli olarak alınan hava örnekleri, çeşitli yörelerden alınan su, toprak, ot gibi çevresel örnekler ve indikatör organizmalar ile gıda maddelerinin radyoaktivite analizleri, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM) Kimya ve Nükleer Fizik Bölümleri ile Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziği, Radyobiyojoloji ve Endüstriyel Uygulamalar Bölümleri tarafından yapılmıştır. Çernobil nükleer reaktör kazası sonrasında TAEK tarafından gerçekleştirilen radyasyon ve radyoaktivite ölçümleri arşiv kayıtları esas alınarak grafik ve çizelgeler halinde bir kitap serisi olarak yayımlanmıştır (TAEK, 2006).

Türkiye'de yapılan bir çalışmada İstanbul'un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini yapılmış ve yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır (Karahan, 1997). Bu çalışmada toprak, su, hava ve gıdalardaki doğal radyoaktivite değerleri seviyesi tespit edilmiştir. Topraktaki doğal radyoaktivitenin tespiti için İstanbul ve çevresinden 35 farklı yerden 105 toprak örneği özellikle ekilmemiş alanlardan 0-10 cm derinlikten alınmıştır. Toplanan toprak örnekleri yüksek çözünürlüklü gama ışını

spektrometresinde analiz edilmiş ve çeşitli radyonüklitlerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu toprak analizi sonucunda, ^{238}U ve ^{232}Th serisindeki radyonüklitlerin aktivitelerinin ortalamaları alınarak ^{238}U ve ^{232}Th aktiviteleri bulunmuştur. Ayrıca ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitlerinin aktiviteleri belirlenmiştir. Bu çalışmada ^{238}U ve ^{232}Th serilerinin ortalama aktiviteleri yaklaşık olarak sırasıyla 20 Bq/kg ve 33 Bq/kg bulunmuştur. ^{40}K 'ın aktivitesi ise, ortalama 342 Bq/kg olmakla birlikte 117 Bq/kg'dan 1204 Bq/kg'a değiştiği gözlenmiştir. Bazı toprak örneklerinde doğal bir radyoaktif izotop olmayan ^{137}Cs izotopuna rastlanmıştır. ^{137}Cs bulunmasının nedeni nükleer kazalar veya denemeler sonucu oluşan radyoaktif serpintilerdir. ^{137}Cs 'nin aktivitesi ise 1.5 Bq/kg'dan 81 Bq/kg'a değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca İstanbul yöresine ait 15 farklı içme suyu örneği alınmış ve gaz akışlı orantılı sayıcılarda toplam α ve toplam β aktiviteleri belirlenmiştir. İstanbul halkının içme suyu olarak kullandığı suların tamamında ölçülen toplam α ve toplam β radyoaktivite sonuçlarının, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 2004) içme suları için tavsiye ettiği alfa radyoaktivitesi üst limiti olan 0.5 Bq/L ve beta radyoaktivitesi üst limiti olan 1 Bq/L sınırlarını aşmadığı gözlenmiştir. Yine bu çalışmada İstanbul ve çevresindeki birçok noktada gama radyasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Reuter Stokes RS 111 modeli yüksek basınçlı iyon odası tipi portatif çevresel radyasyon monitörü kullanılmıştır. Ölçümler yer seviyesinden 1 metre yüksekte gerçekleştirilmiştir. Havada ölçülen absorblanmış doğal gama radyasyon dozu ortalama 69 nGy/saat olmakla birlikte 38 nGy/saat ile 105 nGy/saat arasında değiştiği gözlenmiştir.

Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada ise, Çanakkale'ye bağlı Ezine ilçesi civarındaki köylerden alınan su, toprak ve granit örneklerindeki radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi için toplam 7 tane su, 9 tane toprak örneği alınmıştır (Merdanoğlu, 2004). Alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta seviyeleri tayin edilmiştir. İçme suları genel olarak WHO'un tavsiye ettiği toplam alfa için 0.5 Bq/L ve toplam beta için 1 Bq/L değerlerinden daha düşük bulunmuştur (WHO, 2004). Alınan toprak örneklerinde bulunan ^{238}U ve ^{232}Th 'a ait radyoaktivite konsantrasyonları, bu radyonüklitlerin bozunma ürünleri olan doğal radyonüklitlerden bollukları yüksek olanların ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ^{238}U 'in aktivitesinin 78 Bq/kg ile 157 Bq/kg değerleri arasında değişmekle birlikte ortalama aktivitesi 107 Bq/kg olduğu gözlenmiştir. ^{232}Th 'nin aktivitesi ise 152 Bq/kg ile 276 Bq/kg değerleri arasında değişmekle birlikte ortalama aktivitesinin 192 Bq/kg olduğu gözlenmiştir. Çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerindeki ^{40}K 'in aktivitesi, 1015 Bq/kg ile 1484 Bq/kg arasında değişmekle birlikte ortalama aktivitesinin 1207 Bq/kg olduğu gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda toprak örneklerinde, fisyon ürünü olan ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmıştır. ^{137}Cs 'nin en yüksek aktivite değerinin ise 36 Bq/kg olduğu görülmüştür.

Yapılan bir başka çalışmada Isparta bölgesinde doğal gama radyasyon ölçümü gerçekleştirilmiştir (Akkurt ve ark., 2004). Ölçümler Eberline firması tarafından üretilen NaI(Tl) uçlu portatif radyasyon monitör cihazı (ESP2) kullanılarak yapılmıştır. Isparta Davraz ve Gölcük bölgelerindeki ölçüm sonuçları aylara ve yerden yüksekliğe bağlı olarak yapılmıştır. Ölçüm sonuçları en yüksek radyasyon dozu Gölcük bölgesinde 37.54 $\mu\text{R/saat}$ olarak bulunurken en düşük değer 2.43 $\mu\text{R/h}$ ile Davraz bölgesinde bulunmuştur.

Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada, Kırklareli iline ait toprak ve su örneklerinin radyoaktivite konsantrasyonları, gama ışınlama doz hızları ve ev içi radon konsantrasyonlarının tespit edilmesi amacıyla bölgedeki içme ve kaynak suları, topraklar, hava ve evlerdeki radyasyon seviyeleri ve radyoaktif kirleticilerin tayini gerçekleştirilmiştir (Taşkın, 2006). Araştırma sahası Kırklareli il sınırları içindeki 8 ilçe, 20 belde ve 177 köy olmak üzere tüm il genelini kapsamıştır. 220 su ve 177 adet toprak örneği alınmış, 315 evde radon ve 230 yerde direkt gama ölçümleri yapılmıştır. Ortalama alfa aktivitesi 0.0405 Bq/L olarak bulunmuştur. 220 örnekten 12 (%5.5) tanesinde alfa aktivitesi sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır. Ortalama beta aktivitesi ise 0.05 Bq/L olarak ölçülmüştür. İl geneli için gama ışınlama doz hızları ortalama 135.086 nGy/saat olarak ölçülmüştür. Toprak örneklerindeki radyoizotop aktivite konsantrasyonları sırayla ^{226}Ra 'da ortalama 36.504 Bq/kg, ^{238}U 'de ortalama 25.428 Bq/kg, ^{232}Th 'de ortalama 39.864 Bq/kg, ^{40}K 'da ortalama 666.98 Bq/kg ve ^{137}Cs 'de ortalama 7.954 Bq/kg olarak bulunmuştur. Her ne kadar il ve ilçe ortalamaları bazında sonuçlar WHO ve diğer

uluslararası kuruluşların belirlediği limit değerlerin altında çıkmış ise de, ölçüm ve analiz sonuçları tek tek değerlendirildiğinde bu limit değerlerin az da olsa aşıldığı görülmüştür.

Türkiye'nin kuzey-batı kesiminde yer alan Kastamonu ilindeki bir çalışmada ölçümler yoluyla bölgenin çevresel radyoaktivite düzeyleri belirlenmiştir (Kam ve Bozkurt, 2006). Hava, toprak ve içme suyundaki radyonüklit faaliyetleri ile bina içi radon konsantrasyonu ve iç/dış mekânda soğurulan gama ışını doz düzeyleri belirlenmiştir. Bina içi ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu 98.4 Bq/m^3 olarak ölçülmüş ve bu değer yıllık 2.48 mSv etkin doza eşdeğer olduğu hesaplanmıştır. Açık ve kapalı soğurulan gama ışını dozları sırasıyla 54.81 ve 48.03 nGy/saat olarak ölçülmüştür. Karasal ve kozmik kökenli toplam gama radyasyon seviyesi yıllık 0.33 mSv olarak belirlenmiştir. Çalışmada toplanan toprak örneklerinde doğal radyonüklitler için aktivite konsantrasyonları sırasıyla, ^{238}U için 32.93 Bq/kg , ^{232}Th için 27.17 Bq/kg ve ^{40}K için 431.43 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Doğal bir radyonüklit olmayan fisyon ürünü ^{137}Cs için 8.02 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Doğal radyoaktivite kaynaklarından kaynaklanan karasal gama etkin doz düzeyi, yıllık $60 \mu\text{Sv}$ olarak tespit edilmiştir. İncelenen su örneklerinde toplam alfa aktivitesi 0.0089 Bq/L ve toplam beta aktivitesi 0.271 Bq/L ölçülmüş olup bunun ortalama yıllık $1.83 \mu\text{Sv}$ etkin doza tekabül ettiği belirlenmiştir.

Doğu Karadeniz bölgesinin farklı noktalarından alınan 27 musluk suyu örneği için yapılan başka bir çalışmada ise çok kanallı düşük orantılı alfa beta sayacı (Berthold LB770) ile radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür (Damla ve ark., 2006). Ölçümler sonucunda toplam alfa aktivitesi 0.0065 Bq/L , toplam beta aktivitesi ise 0.1008 Bq/L olarak ölçülmüş ve bu değerler yıllık $51.02 \mu\text{Sv}$ etkin doza tekabül eder.

Adana ili için doğal zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır (Değerlier, 2007). Çalışmada hava, toprak ve su örnekleri toplanarak ölçümler yapılmış, ayrıca radon iz dedektörleri ile ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu ölçülmüştür. Adana ili şehir merkezindeki evlerde yapılan kış dönemi ölçümlerinde (Ocak- Şubat 2005), radon konsantrasyonu 15 Bq/m^3 ile 97 Bq/m^3 değerleri arasında

ölçülmüştür ve ortalama radon konsantrasyonu ise 49.3 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Yaz dönemi (Haziran – Temmuz 2005) ölçümlerinde ise radon konsantrasyonu 5 Bq/m^3 ile 64 Bq/m^3 değerleri arasındadır ve ortalama radon konsantrasyonu ise 26.8 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Yaz dönemi ve kış dönemi ^{222}Rn için aktivite konsantrasyonu ortalaması 38.06 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Yüzeiden itibaren 0-30 cm derinlikte tespit edilen doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için gama spektrometresi analiz yöntemi ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ortalama aktivite konsantrasyonu değerleri ^{238}U için 22.3 Bq/kg , ^{232}Th için 22.7 Bq/kg ve ^{40}K için 305.6 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca fisyon ürünü ^{137}Cs için 7 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Gaz akışlı orantılı sayıcılardan oluşan alfa beta sayım sistemleri ile içme sularındaki radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda içme suyu olarak kullanılan sularda toplam alfa aktivite konsantrasyonu 0.003 Bq/L ile 0.0229 Bq/L değerleri arasında, toplam beta aktivite konsantrasyonunun ise 0.0189 Bq/L ile 0.2907 Bq/L değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

Türkiye’de Güney Doğu Anadolu Bölgesinin önemli şehirlerinden Şanlıurfa ilinde yapılan başka bir çalışmada doğal zemin radyasyon düzeyi belirlenmiştir (Bozkurt ve ark., 2007). Çalışmada hava için dış gama ışınlanma doz hızı tespit edilmiştir. Ölçümler açık havada 112 noktada plastik sintilasyon dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Gama ışınlanma doz hızı ortalama olarak 60.9 nGy/saat ölçülmüştür. Bu değer yıllık $74.7 \text{ } \mu\text{Sv}$ etkin doza tekabül eder. 45 toprak örneği için gama ışını spektrometresi ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda radyonüklit aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 20.8 Bq/kg , 24.95 Bq/kg ve 298.6 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca fisyon ürünü ^{137}Cs için 9.08 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri $46.9 \text{ } \mu\text{Sv}$ olarak ölçülmüştür. Alfa beta sayım sistemleri ile 53 içme suyu örneği için radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda toplam alfa aktivitesi 0.038 Bq/L , toplam beta aktivitesi ise 0.1324 Bq/L olarak ölçülmüş olup bu veriler yıllık $7.76 \text{ } \mu\text{Sv}$ etkin doza eşdeğerdir.

Türkiye'nin ekonomik ve nüfus bakımından önemli, bir sanayi ve ticaret merkezi olan Gaziantep ilinde de doğal zemin radyasyon düzeyini belirlemek için bir çalışma yapılmıştır (Osmanlıoğlu ve ark., 2007). Çalışmada açık hava için dış gama ışınlanma doz hızı ortalama olarak 50.1 nGy/saat ölçülmüştür. Bu değer yıllık 61.5 µSv etkin doza tekabül eder. İl genelinde toplanan toprak örnekleri için gama ışını spektrometresi ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda radyonüklit aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 25.2 Bq/kg, 23.7 Bq/kg ve 289.2 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bir fisyon ürünü olan ^{137}Cs için ise aktivite konsantrasyonu ortalama değeri 8.02 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri 46.9 µSv olarak ölçülmüştür. Alfa beta sayım sistemleri ile içme suyu örnekleri için radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda toplam alfa aktivitesi 0.0493 Bq/L, toplam beta aktivitesi ise 0.1284 Bq/L olarak ölçülmüş ve bu değer yıllık 1.83 µSv etkin doza eşdeğer olduğu belirlenmiştir.

Türkiye'nin kuzey batısındaki Çanakkale ilinde daha önce yapılan çalışmalar dışında il genelindeki doğal zemin radyasyon düzeyini belirlemek için bir çalışma daha yapılmıştır (Kam ve ark., 2010). Yapılan çalışmada açık hava için dış gama ışınlanma doz hızı, taşınabilir plastik sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Toprak ve su örnekleri toplanmış, ayrıca CR-39 radon iz dedektörleri ile ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu ölçülmüştür. ^{222}Rn için ortalama aktivite konsantrasyonu 167 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Bu veri yıllık 4.2 mSv etkin doza eşdeğerdir. Yapılan ölçümler sonucunda gama ışınlanma doz hızı ortalama olarak 66.4 nGy/saat olarak belirlenmiştir. Bu değer yıllık 81.4 µSv etkin doza tekabül eder. İl genelinde toplanan toprak örnekleri için gama spektrometresi analiz yöntemi ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda radyonüklit aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 94.55 Bq/kg, 110.4 Bq/kg ve 1 273 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Fisyon ürünü olan ^{137}Cs için ise aktivite konsantrasyonu ortalama değeri 19.8 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri 184 µSv olarak belirlenmiştir. İçme suyu örnekleri için alfa beta sayım sistemleri ile radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Ölçümler

sonucunda toplam alfa aktivitesi 0.0599 Bq/L, toplam beta aktivitesi ise 0.0841 Bq/L olarak ölçülmüş ve bu değerler yıllık 12.25 µSv etkin doza tekabül eder.

Türkiye'nin kuzey batı kesimindeki Tekirdağ ili ve çevresinin doğal zemin radyasyon seviyeleri belirlenmiştir (Kam ve ark., 2010). Bu amaç doğrultusunda açık ve kapalı ortamlarda hava için dış gama ışınlanma doz hızı, taşınabilir plastik sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Toprak ve su örnekleri toplanmış, ayrıca CR-39 radon iz dedektörleri ile ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu ölçülmüştür. ^{222}Rn için ortalama aktivite konsantrasyonu 86 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Bu veri yıllık 2.2 mSv etkin doza eşdeğerdir. Yapılan ölçümler sonucunda iç ve dış gama ışınlanma doz hızı sırasıyla ortalama olarak 5.7 µR/saat ve 5 µR/saat olarak belirlenmiştir. Bu değerler yıllık 300 µSv etkin doza tekabül eder. İl genelinde toplanan toprak örnekleri için gama spektrometresi analiz yöntemi ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda radyonüklit aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 29 Bq/kg, 39 Bq/kg ve 580 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Fisyon ürünü olan ^{137}Cs için ise aktivite konsantrasyonu ortalama değeri 5.2 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri 75 µSv olarak belirlenmiştir. İçme suyu örnekleri için alfa beta sayım sistemleri ile radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda toplam alfa aktivitesi 0.044 Bq/L, toplam beta aktivitesi ise 0.1 Bq/L olarak ölçülmüş ve bu değerler yıllık 9 µSv etkin doza tekabül eder

Çankırı ili için doğal zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır (Kapdan ve ark., 2011). Çalışmada hava, toprak ve su örnekleri toplanarak ölçümler yapılmış, ayrıca radon iz dedektörleri ile ^{222}Rn aktivite konsantrasyonu ölçülmüştür. ^{222}Rn için aktivite konsantrasyonu 44 Bq/m³ (yıllık 1.1 mSv etkin doza eşdeğer) olarak belirlenmiştir. Taşınabilir plastik sintilasyon dedektörü kullanılarak yapılan gama ışınlanma doz hızı ortalama olarak 8 µR/saat ölçülmüş olup bu değer yıllık 87.7 µSv etkin doza tekabül eder. Toprak örnekleri için gama spektrometresi analiz yöntemi ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ortalama aktivite konsantrasyonu değerleri ^{238}U için 17.7 Bq/kg, ^{232}Th için 22.3 Bq/kg ve ^{40}K için 357 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca fisyon ürünü ^{137}Cs için 4.1

Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama yıllık etkin doz değeri 44.4 μSv olarak ölçülmüştür. Gaz akışlı orantılı sayıcılardan oluşan alfa beta sayım sistemleri ile içme sularındaki radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda toplam alfa aktivitesi 0.25 Bq/L, toplam beta aktivitesi ise 0.26 Bq/L olarak ölçülmüş ve bu değer yıllık 184 μSv etkin doza eşdeğer olduğu görülmüştür.

Türkiye’de Karadeniz bölgesinin en önemli şehri Trabzon’da da il genelindeki doğal zemin radyasyon düzeyini belirlemek için çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada İl merkezi ve 18 ilçede 222 Ölçüm noktası belirlenerek toprak örnekleri toplanmış, ayrıca aynı noktalarda açık hava için dış gama ışınlanma doz hızı, NaI dedektör kullanılarak ölçülmüştür (Kurnaz ve ark., 2011). Yapılan ölçümler sonucunda gama ışınlanma doz hızı ortalama olarak 59 nGy/saat olarak belirlenmiştir. Bu değer yıllık 66 μSv etkin doza tekabül eder. İl genelinde toplanan toprak örnekleri için HpGe yarıiletken dedektör ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda radyonüklit aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 41 Bq/kg, 35 Bq/kg ve 431 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Filyon ürünü olan ^{137}Cs için ise aktivite konsantrasyonu ortalama değeri 21 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri 72 μSv olarak belirlenmiştir.

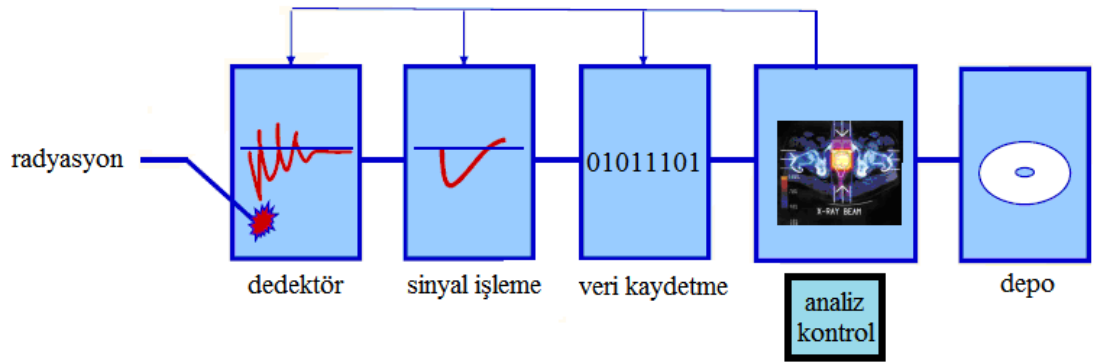
Türkiye’nin doğusunda kalan ve önemli yeraltı su kaynaklarına sahip Erzincan ilinde toprak ve su örnekleri için radyasyon düzeyini belirleme çalışmaları yapılmıştır (Yalçın ve ark., 2012). Çalışmada toprak ve su örnekleri toplanarak ölçümler yapılmış, ayrıca alfa beta sayım sistemleri ile toplanan içme suyu örnekleri için radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda radyonüklit aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 8.93 Bq/kg, 11.39 Bq/kg ve 281.94 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Ayrıca filyon ürünü ^{137}Cs için 9.52 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için toplam ortalama yıllık etkin doz değeri 27.9 μSv olarak ölçülmüştür. İçme suyu örnekleri için çok kanallı düşük orantılı alfa beta sayacı kullanılarak radyoaktivite seviyesi ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda toplam alfa aktivitesi 0.0477 Bq/L, toplam beta aktivitesi ise 0.104 Bq/L olarak ölçülmüş olup bu veriler yıllık 56.34 μSv etkin doza karşılık gelir.

Yapılan tüm çalışmalar uluslararası kuruluşların verileri ile karşılaştırılarak bir sonuca varılmıştır. Dünyadaki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin ortalama konsantrasyonlarının değerleri ^{40}K için 420 Bq/kg, ^{238}U için 33 Bq/kg ve ^{232}Th için 45 Bq/kg olarak belirlenmiştir (UNSCEAR, 2000). İçme sularındaki radyasyon konsantrasyonu yeraltı sularına kıyasla daha az miktardadır. Yapılan çalışmaların sonucu içme sularında tavsiye ve müsaade edilen azami alfa ve beta seviyeleri belirlenmiştir. Dünya sağlık örgütü tarafından içme sularında toplam beta konsantrasyonunu için müsaade edilen üst sınır 0.5 Bq/L, toplam beta konsantrasyonunu için müsaade edilen üst sınır ise 1 Bq/L'dir. (WHO, 2004). Türkiye için müsaade edilen toplam alfa konsantrasyonu üst sınırı 0.1 Bq/L iken, müsaade edilen beta konsantrasyonu üst sınır ise 1 Bq/L'dir (Resmi Gazete, 2005).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Dedeksiyon ve Dedektörler

Radyasyon ölçümü genellikle dedektörler ve sayım sistemleri yardımı ile yapılır. Dedeksiyon, bir ölçüm tekniğidir. Bir alıcıya iletilen elektriksel imlemin kiplendiği dalgadan ayrılması işlemidir. Radyoaktif dedeksiyonun temeli kısaca yüklü parçacıkların sayaçlarla algılanması işlemi olarak tanımlanabilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Dedeksiyon işleminin aşamaları

Farklı tipte parçacıklar farklı şekilde dedekte edilir. Radyasyonun dedeksiyonu, nükleer dedektörlerin geliştirilmesi ve tasarımı, radyasyondan korunma ilkelerinin belirlenmesi, yaşayan organizmalarda radyasyonun biyolojik etkilerinin incelenmesi gibi konulara temel oluşturur.

Nükleer fizikte, parçacık çarpışmalarının, bozunmaların araştırılması ve etkileşme ürünlerinin ölçülmesi dedektörlere bağlıdır. Atom altı parçacıklar, görsel araçlar kullanılarak ölçmek için çok küçüktür. Buna rağmen enerji depolanması için farklı mekanizmalar kullanılarak dedekte edilebilir. Dedektörler bu atom altı parçacıkları gözlemlememize olanak sağlar. Radyasyon, onun madde içinde etkileşimi ile dedekte edilir. Bu etkileşim dedektör materyalini ya iyonize etme ya da uyarma şeklindedir.

3.2. Radyasyon Dedektör Çeşitleri

Nükleer radyasyonu tespit etmek için kullanılan bütün dedektörlerin temel çalışma ilkeleri benzer özelliklere sahiptir: Radyasyon (ışınım) dedektöre girer, dedektör materyalinin atomları ile etkileşir (enerjisinin bir kısmını ya da tamamını kaybeder) ve atom yörüngelerinden nispeten düşük enerjili elektronların salınmasına neden olur. Bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere elektronik devre tarafından ya akım pulsu ya da voltaj şekline dönüştürülür.

Dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyon hakkındaki mevcut bilgiye bağlıdır. Radyasyonun enerjisini ölçmek için çıkış puls genliğinin radyasyon enerjisi ile orantılı olduğu dedektörler seçilmelidir; bu da, sökülecek elektronların sayısının fazla olacağı bir dedektör materyali seçmekle mümkün olur. Parçacığın tipini belirlemek için, parçacığın kütle ve yükü için farklı tepki veren bir materyal seçilmesi gerekir. Radyasyonun spin ve kutuplanmasını ölçmek için, farklı spin ve kutuplanma durumlarını ayırıp çözebilen dedektörlere gereksinim duyulur. Alışılmışın dışında yüksek sayma hızı bekleniyorsa arka arkaya gelen her radyasyonu tespit edebilecek bir dedektör seçilmelidir. Bu gereksinimlerin tümünü sağlayan tek bir dedektör tipi yoktur. Bir parçacık dedektörü seçilirken; dedektörün uygulama çözünürlüğü ve verimi, ilgili deneyi yapmaya uygunluğu ve amaca uygun olarak x veya gama ışınlarının enerji değerleri gibi noktalara dikkat edilmelidir. Nükleer radyasyonların ölçümünde yaygın olarak kullanılan dedektör türleri arasında, *gaz dolgulu*, *sintilasyon* ve *yarı-iletken* dedektörler sayılabilir. Çizelge 3.1'de yaygın olarak kullanılan radyasyon dedektörlerinin bazı özellikleri karşılaştırılmıştır.

3.2.1. Gaz dolgulu dedektörler

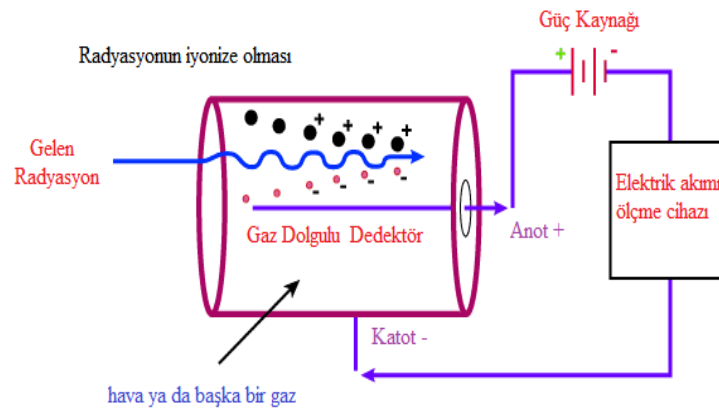
Düşük enerjili gama ışınları ve x-ışınları için kullanılan gaz dolgulu dedektörlerin genel yapısı, pozitif olarak yüklenmiş bir anot tel içeren ve gazla doldurulmuş iç yüzeyi metal, dış duvarları havaya eşdeğer olarak yapılmış bir odadan oluşur. Gazlı dedektörlerin çalışması parçacıkların gaz odalarında iyonlaşma

oluşturmaları prensibine dayanır (Şekil 3.2). Bu prensiple çalışan üç türlü dedektör vardır. Bunlar; *iyon odaları*, *orantılı sayaçlar* ve *Geiger-Mueller sayaçlarıdır*.

İyon odaları bir gaz içerisinde meydana gelen iyon çiftlerinin oluşum hızlarını ölçer. Hassasiyeti yüksektir. Radyasyonun enerjisinin ölçümünde bu tip dedektörler tercih edilir. Gazın içinden geçen bir foton, gaz molekülleri ile etkileşerek serbest elektronlar ve pozitif iyonlar üretir. Elektronlar anot tele doğru çekilirler ve bir elektrik pulsu oluşturmak için toplanırlar. Düşük anot voltajında, elektronlar iyonlarla yeniden birleşebilirler. Bunu engellemek için yeterli derecede yüksek bir voltaj uygulanması gereklidir. Yüksek voltaj değerinde, neredeyse tüm elektronlar toplanırlar. Bu nedenle merkezi elektrotta oluşan voltaj farkı elektrik pulsu oluşturur.

Çizelge 3.1. Radyasyon dedektör çeşitlerinin bazı karşılaştırmalı bilgileri.

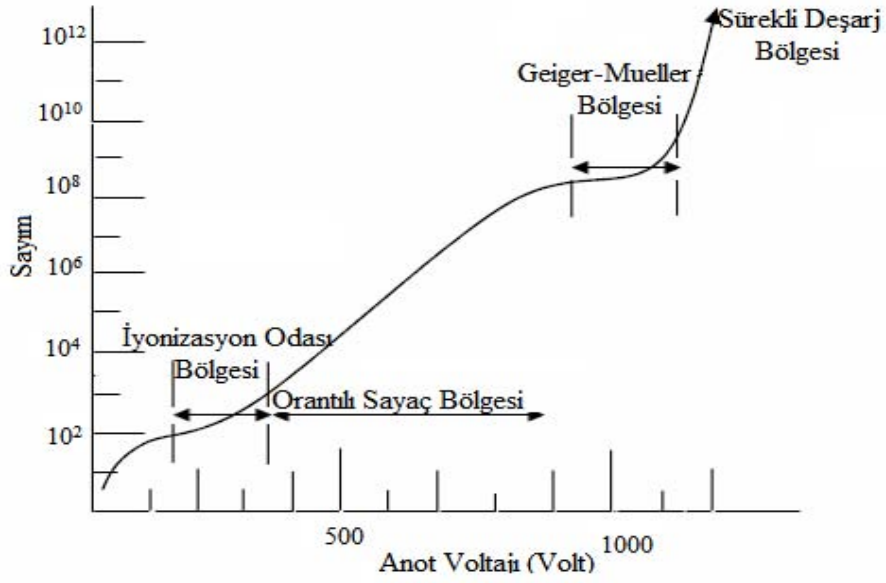
Tipi	Genlik (Akım. Voltaj)	Darbe süresi	Tipik iyonizasyon enerjisi	Çoklama
<u>Gaz Doldurulmuş Dedektörler</u>				
-İyonizasyon Odası	10-12-10-15A	Birkaç μ s	22-35 eV	102-104
-Orantılı Sayaç	10-100 μ V	0.3-3 μ s		104-108
-Geiger-Müller (GM)	5-50V	80-250 μ s		>108
<u>Sintilasyon Dedektörleri</u>				
-İnorganik	10-100mV	0.2-2 μ s	300 eV	104-107
-NaI. CsI				Foto çoklayıcı tüpte
-Organik		5-30ns		
-Sıvı. Plastik		2-10ns		
<u>Yarıiletken Dedektörler</u>				
- Si(Li)	1-10mV	0.5-200ns		
- Ge(Li)			3.62 eV	
- HpGe				Çoklama ve yükseltme yok
- Yüzey Engelli. PIPS			2.96eV	



Şekil 3.2. Gazlı dedektörlerin temel çalışma prensibi

Yüksek voltajın artması durumunda elektronlar anoda doğru diğer atomları iyonlaştırmak için yeterli yüksek enerjilerde hızlanırlar ve böylece daha fazla iyonlaşma oluşur. Anot etrafında biriken elektronların artması elektrik alanı artırır. Bu durum birincil iyonlaşma sonucu oluşan yük ile orantılıdır. Dolayısıyla çıkış sinyalinin genliği, gazla etkileşen parçacığın enerjisiyle orantılıdır. Bu tip dedektörler *orantılı sayaç* olarak isimlendirilir. Hassasiyeti iyon odalarından çok daha fazladır. Bu hassasiyeti sayesinde yüksek ve düşük iyonize radyasyonları ayırt edebilir. Bu tip dedektörlerle, zayıf kaynaklı α ve β parçacıkları veya az enerjili *x-ışınlarının* sayımı yapılabilir. *Radyokarbon* yaş ölçümlerinde ise *silindirik tip* orantılı sayaçlar kullanılır.

Yüksek voltaj daha da çok arttırıldığında, anoda doğru hızlanan elektronların sayısı ile birlikte iyonlaşma da artar. Bu iyonlaşma orantılı sayaçların aksine birincil iyonlaşmayla orantılı değildir. Birincil iyonlaşmadan bağımsız bir iyonlaşmanın olduğu gaz dolu dedektörler, *Geiger-Mueller* sayacı adını alır. Yüksek gerilim beslemesi ile Geiger-Mueller sayacı birçok ölçek birimini minimumda hatta hiç yükseltmeden tutabilir. Yüksek deşarj mekanizması çok hassastır. Bir tek iyonize parçacık bile iyonlaşmayı tetikleyebilir. Oluşan iyonlaşma birincil iyonlaşmadan bağımsız olduğu için tüm pulsları aynı büyüklükte üretir. Bu özellik iyonlaştırıcı parçacıkların enerjilerini ayırt edememelerine sebep olur. Dolayısıyla ortamdaki radyasyonun tipini ve enerjisini değil, varlığını belirleyen bir dedektör tipidir. Geiger-Mueller sayacının çıkış sinyali diğer dedektörlere göre çok fazla olduğundan dedektörün yapımında kullanılacak yardımcı malzemelerin maliyeti daha azdır ve diğer dedektörlere göre daha çok kullanılır. Daha fazla voltaj uygulanması durumunda, bir defa deşarj başlayınca, deşarj süreklilik kazanır. İki deşarj süresi arasında da iyonlaşma olur, fakat sayaç bu zaman aralığında sayım yapamaz. Bu zaman aralığına *ölü zaman aralığı* denir. Geiger-Mueller sayaçları ölü zaman aralığı dikkate alınarak üretilir. Gaz dolgululu dedektörlerde farklı voltaj bölgeleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Gaz dolgulu dedektörlerin voltaja bağlı çalışma bölgeleri

3.2.2. Sintilasyon dedektörleri

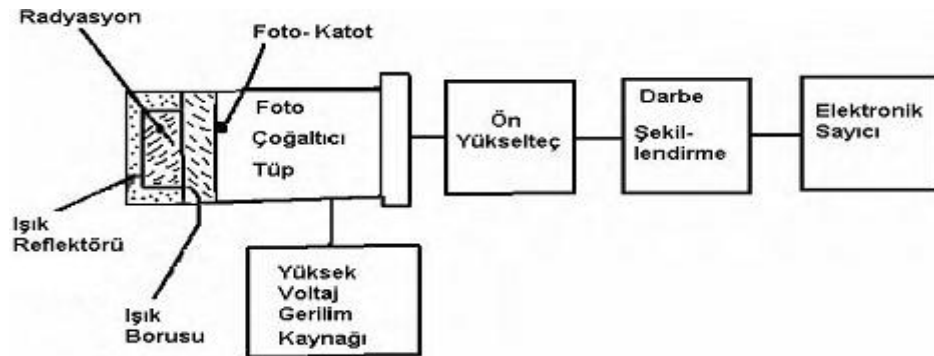
Bir elektrona verilen enerji elektronu iyonlaştırmaya yetmeyip sadece uyarırsa elektron tekrar eski yerine dönerken görünür ışık yayar. NaI veya CsI gibi bazı maddelerin üzerine yüklü bir parçacık ya da x veya γ -ışını çarptığı zaman, bir ışık pırlıtsı oluşur. Bu şekilde üzerlerine düşen radyasyon enerjisi sebebiyle ışık yayan maddelere sintilatör, bu olaya da sintilasyon adı verilir. Bu yayılan ışık foto çoğaltıcı tüplerle toplanarak voltaj pulsu haline getirilebilir. Bu pulsun büyüklüğü radyasyon enerjisiyle orantılı olarak değişir. Bu şekilde sintilatörler kullanılarak geliştirilmiş dedektörlere sintilasyon sayaçları denir. Sintilasyon sayaçları radyasyonun sayımı ve enerjisinin ayırımında kullanılır.

Bir sintilasyon dedektörü genel olarak foto çoğaltıcı tüp ve sintilatör şeklinde başlıca iki kısma ayrılabilir (Knoll, 1989). Foto çoğaltıcı tüp bir foto katot, bir elektron odaklayıcı ve 10 kadar dinottan meydana gelmiştir. Foto çoğaltıcı tüp içerisindeki dinotlara (ikincil yayım elektrotu) uygulanan gerilim ile elektronların dinotlara çarpması sağlanır ve bu şekilde elektronların sayılarının artması mümkün olur. Elektronlar foto katottan son dinoda kadar giderken, çoğalmanın veya toplam kazancın (yani foto katottan yayınlanan her bir elektrona karşılık son dinottan yayınlanan elektron sayısının) 10^6 ile 10^7 civarında olması mümkündür. Bu elektron

çoğalmasında elde edilen pulsun büyüklüğü, gelen foton veya parçacığın enerjisi ile orantılıdır. Anot ve dinotlar tüp tabanında bulunan fişlere yerleştirilmiş seri bağlı dirençler vasıtası ile kutuplanır. Şekil 3.4'te bir sintilasyon dedektörü cihazı şematik olarak gösterilmiştir. Uygun sintilasyon kristali kullanılarak parçacık kökenli radyasyonların da sayımı yapılabilmektedir. ZnS kristali alfa parçacıklarının sayımında, antrasen sintilatörü beta parçacıklarının sayımında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır.

3.2.3. Yarı iletken dedektörleri

Gazlı dedektörler birçok radyasyon türü için verimli değildir. Çünkü radyasyonun gaz içindeki menzili katılara göre çok fazladır. Radyasyonun iyi soğurulması için katı yapıda dedektörlere ihtiyaç vardır. Verimli bir dedektör için, yapımında kullanılan malzemenin iki önemli şartı sağlaması gerekir. Birinci şart: Yeterli elektron birikimi için yüksek elektrik alana dayanırken, radyasyon olmadığında da akım geçirmemesi gerekir. Bu şart malzemenin yalıtkan olmasını gerektirir. İkinci şart: Gönderilen radyasyon malzemenin atomlarından kolayca elektron sökebilmelidir. Bu şart ise malzemenin iletken olmasını gerektirir. Bu şartlarda kullanılacak en ideal malzeme bir yarı iletken olacaktır. En çok kullanılan yarı iletkenler germanyum ve silisyumdur. Yarı iletkenler normalde elektriği iletmeyen materyallerdir, çünkü bunların kristalleri akımı taşımak için serbest yüklenmiş tanecikleri yeterince içermezler. Fakat kristaldeki atomlar iyonlaştığı zaman iletkenlik kazanırlar (Knoll, 1989).

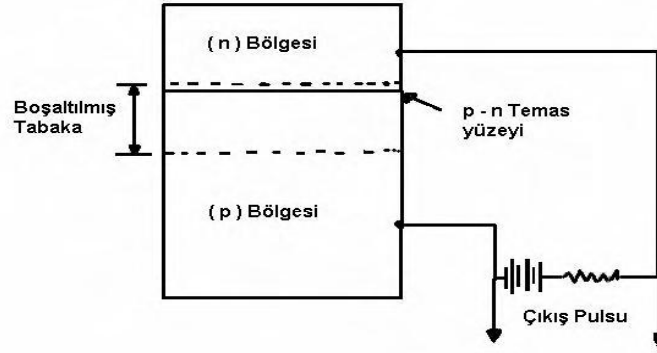


Şekil 3.4. Sintilasyon dedektörü cihaz blok şeması (TAEK, 1985)

Yarı iletkenler p ve n tipi yarı iletkenler olarak ikiye ayrılır. Trivalent (dört değerlikli) yapıdaki silikon kristaline pentavalent (beş değerlikli) yapıdaki fosfor eklenirse, fosfor atomu kristal örgü içerisindeki bir silikon atomunun yerini alacaktır. Bu safsızlık atomunun beş değerlikli olması sebebiyle, dört tanesi silikonla kovalent bağ yaparken bir tanesi boşta kalacaktır. Bu tip negatif yük taşıyıcılarının yani elektron fazlalığına sahip verici durumdaki yarı iletkenlere n-tipi yarı iletken denir. Eğer silikon atomuna üç değerlikli bir safsızlık atomu katılırsa bu durumda bir silikon atomunun bağı aynı valans bandındaki elektronun iletim bandına geçmesi sonucu oluşan deşik gibi bir boşluk oluşturacaktır. Bu tip alıcı durumdaki yarı iletkenlere p-tipi yarı iletken denir.

Yarı iletken dedektörlerinin çalışma prensibini sahip oldukları deşik ve elektron miktarları belirler. Germanyum veya silisyumdan yapılmış n ve p tipi iki yarı iletken birbirine temas ettirilirse hareket eden yükler temas yüzeyi civarında birleşip nötrleşecektir. Bu durumda temas yüzeyi civarında yüksüz bir katman oluşturacaktır. Katıhal dedektörlerinin hassas hacmini oluşturan bu katmana boşaltılmış katman denir. Bu katmandan geçen iyonize radyasyon elektron-deşik çiftleri oluşturacaktır. Uygulanan elektrik akımı sayesinde bu yükler süpürülerek dış devrede bir akım olacaktır. Bu da yük direnci üzerinde bir puls oluşturacaktır. Yarı iletkenlerin bu çalışma prensibi şematik olarak Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Yarı iletken dedektörler genellikle gama spektrometrelerinde radyo çekirdekleri ayırt etmek için kullanılır. Farklı radyasyon enerjilerini de çok iyi ayırt eder. Yarı iletken dedektörlerin avantajları şunlardır: Çok düşük ölü zamana sahip olmaları nedeniyle çok yüksek sayma hızına sahiptirler. Dedektör cevabı, iyonlaştırıcı parçacıkların boşaltılmış tabakada bıraktıkları enerji ile orantılıdır. Yüklü parçacıklar için çok iyi enerji ayırma kabiliyetine sahip olan yarı iletken dedektörler parçacık spektrometresi için uygundur. Yaklaşık 25 – 300 V gibi çok düşük voltajlarda çalışır (TAEK, 1985).



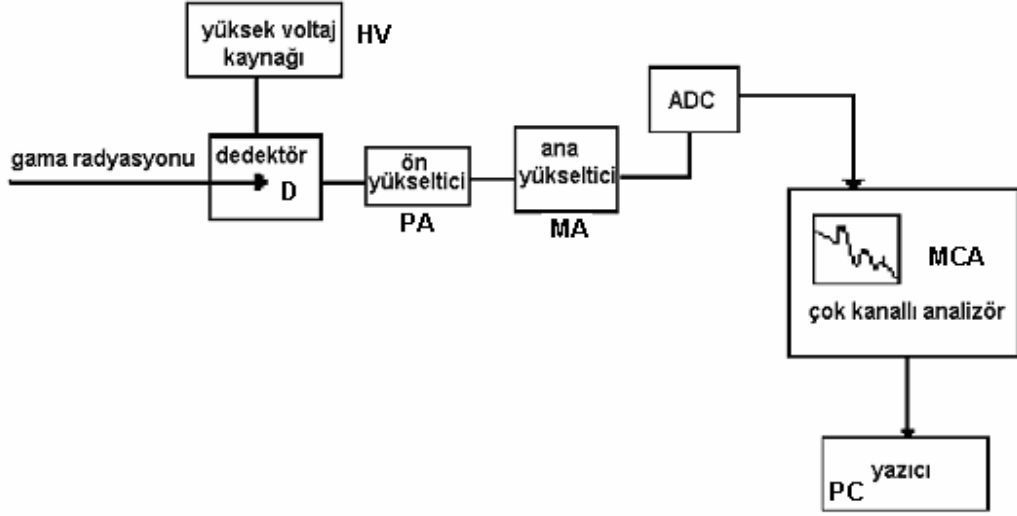
Şekil 3.5. Yarı iletken dedektör (TAEK, 1985)

3.3. Sayım Sistemleri

Dedektörler ve elektronik cihazlarla birlikte oluşturulan sayım sistemleri sayesinde toprak, su ve havadaki radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmektedir. Bu tez çalışmasının temelini oluşturan doğal zemin radyasyonunun belirlenmesi için yapılan ölçümlerde, toprak örnekleri için *gama spektrometresi analiz sistemi*, su örnekleri için *alfa beta sayım sistemleri*, hava gama doz hızı için de *mikrobilgisayarlı portatif gama sintilasyon dedektörü* kullanılmıştır.

3.4. Gama Spektrometresi Analiz Sistemi

Toprak örneklerinin dedeksiyonu için kullanılmıştır. Gama ışınlarının dedektör kristalinde algılanması sonucu ortaya çıkan pulslar dedektörün bağlı olduğu elektronik birimlerin uygun bir kombinasyonu yardımıyla analiz edilir ve gama ışınını yayan izotopların nitel ve nicel tanımlanması yapılır. Gama spektrometresi, çeşitli radyoaktif örneklerdeki radyoizotopların tanımlanmasında en çok kullanılan ayardır; çünkü gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir. Aynı örnekte farklı radyoaktif çekirdekleri aynı anda analiz edebilmesi, malzeme, emek ve zaman kaybına neden olan kimyasal ayırma işlemleri gerektirmemesi, kolay ve hızlı örnek hazırlaması ve çevre örnekleri analizinde hassas ölçüm yapabilmesi, gama spektrometresinin bazı üstünlükleridir (Tsoulfanidis, 1995). Saf germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 3.6'dadır.



Şekil 3.6. Saf germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihazının çalışma düzeneği (Değerlier, 2007)

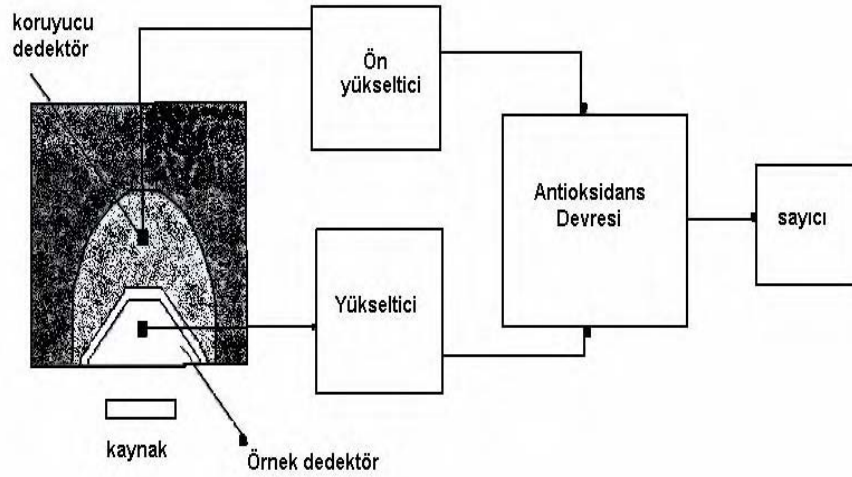
3.5. Alfa Beta Sayım Sistemleri

Daha çok sudaki radyoaktivitenin dedeksiyonu için kullanılır. Çevresel örneklerin düşük seviyeli toplam alfa-beta radyoaktivite değerlerinin tayini için, yüklü parçacıkların gaz içinde meydana getirdikleri iyonlaşmadan yararlanılarak, iyonları elektrik alan yardımıyla bir elektrot üzerinde toplamak suretiyle yüklü parçacığın dedeksiyonunu sağlamak en uygun yöntemdir. Bu tür dedeksiyon yapan sayaçlar gaz akışlı sayaçlardır (Şekil 3.7). Gaz akışlı orantılı sayaçlar doğal radyoaktivite seviyelerine ilişkin ölçümler için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni, spesifik radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında hayli düşük maliyetli olmaları, sonuca çabuk ulaşılması ve özgün radyoizotopların değerlendirilmesi için yeterli önbilgiyi sağlamalarıdır (NCRP, 1977).

Bu tip alfa ve beta sayıcıları, dedeksiyon ortamı ve elektronik devre olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelir (Şekil 3.8). Çevresel örneklerdeki doğal radyoaktivite çok düşük olduğundan bunların dedeksiyonunda, uzaydan gelebilecek kozmik ışınların oluşturacağı iyonlaşma dolayısıyla meydana gelecek sayımların ortadan kaldırılması ancak antikoincidans devresi kullanılmakla mümkündür (Merdanoglu, 2004).



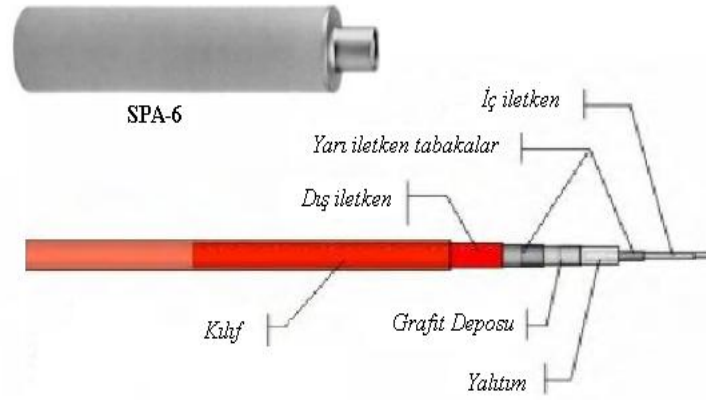
Şekil 3.7. Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzenek (Değerlier, 2007)



Şekil 3.8. Gaz akışlı orantılı bir sayıcıya ait düzeneğin şematik gösterimi (Karahana, 1997)

3.6. Mikrobilgisayarlı Portatif Gama Sintilyasyon Dedektörü

Dış gama radyasyon seviye ölçümlerinde kullanılan iki elemanlı bir sistemdir. Esas itibariyle bir sintilatör uç ve bunun bağlandığı mikrobilgisayarlı kaydedicili bir cihazdan oluşur. Sintilyasyon sayaçları özellikle gama sayımlarında kullanılır. Şekil 3.9'da dış gama radyasyon seviye ölçümlerinde kullanılan SPA-6 portatif gama sintilyasyon dedektörü görülmektedir. SPA-6 dedektörü, doğal dış gama radyasyonlarını ölçer. Ayrıca serpinti ile yere inen düşük aktiviteli radyonüklitlerden yayımlanan radyasyonların algılanmasında çok hassastır. Bu dedektör, kaydedici mikrobilgisayarlı bir cihaza bağlanarak kullanılır (Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Sintilasyon uçlu gama dedektörü (Değerlier, 2007)



Şekil 3.10. Mikrobilgisayarlı kaydedici cihaz ESP2

3.7. Zemin Radyasyon Düzeyinin Ölçülmesi

Bu tez çalışmasının temelini oluşturan doğal zemin radyasyonunun ölçüm yoluyla belirlenmesi için öncelikle Adıyaman il genelinden toprak ve su örnekleri toplanarak laboratuvar şartlarında spektrometrik ölçümleri yapılmıştır. Adıyaman il genelinde ölçümler için toplam 52 nokta belirlenmiştir. İlçelere göre ölçüm sayıları belirlenirken demografik dağılım ve ilçelerin yüzölçümlerinin ilin yüzölçümüne oranı dikkate alınmıştır. Ölçüm yapılan ve örnek alınan noktaların önce GPS cihazıyla koordinatları belirlenmiştir.

3.7.1. Havada radyasyon dozu ölçümü

Örneklerin alındığı noktalarda havada yapılan ölçümlerle dış gama ışınlanma doz hızı ölçülmüştür. Adıyaman il genelinde açık alanda yapılan dış gama ışınlanma

doz hızı $\mu\text{R/saat}$ birimi cinsinden mikrobilgisayarlı, plastik uçlu portatif *gama sintilasyon dedektörü* kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçüm sistemi iki parçadan oluşmuştur. Birinci parça plastik uçlu bir SPA-6 portatif gama sintilasyon dedektörüdür (Şekil 3.9). İkinci parça ise dedektörün verilerinin kaydedildiği mikrobilgisayarlı Eberline Smart Portable-ESP2 cihazıdır (Şekil 3.10). Ölçümler yerden bir metre yükseklikte bir dakika süreyle gerçekleştirilerek ortalama değerler alınmıştır.

3.7.2. Suda alfa ve beta toplam konsantrasyon ölçümü

Belirlenen noktalardan şebeke ve kaynak suyu örnekleri toplanmıştır. Sular 500 ml'lik pet şişelerde ağızları sıkı şekilde kapatılarak etiketlenilip muhafaza edilmiştir. Alfa beta sayım sistemleri en fazla 600 mg'a kadar rezidü miktarlarını ölçtüğünden 500 ml su yeterli rezidüyü sağlamıştır.

Radyoaktif maddeler su içinde süspansiyon halinde veya çözülmüş olarak bulunduğu su örneklerinin buharlaştırılarak rezidülerinin alınması sağlanmıştır. 500 ml su örnekleri önce 50-60 $^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklıkta 50 ml su kalıncaya kadar buharlaştırılmıştır. Kalan su örnekleri planşetlere aktarılmış ve 40 $^{\circ}\text{C}$ 'deki kuruluk seviyesinde rezidüler elde edilmiş ve *alfa beta sayım sistemleri* ile ölçümler yapılmıştır.

3.7.3. Toprakta aktivite konsantrasyonu ölçümü

Adıyaman il genelinde nüfus açısından yoğun köylerden, beldelerden ve ilçe merkezlerinden her biri yaklaşık 2 kg toprak alabilen naylon ambalajlar içinde toprak yüzeyinden 10-30 cm derinlikte toprak örnekleri alınmıştır. Daha sonra içlerinde bulunan taş, ot, odun parçaları, ağaç kabukları gibi yabancı cisimler ayıklanarak toprak iyice öğütülmüş ve yaklaşık olarak 10 gün süre ile oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kuruduktan sonra 1-2 mm gözenekli eleklerden geçirilerek ağırlıkları tartılıp her bir örnek etiketlenilerek kaydedilmiştir. Topraktaki radyoaktivite belirlenirken toplanan her örnekte *gama spektrometresi analiz yöntemi* ile dört farklı

radyoizotopun toplam radyoaktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir. Alınan toprak örneklerinde bulunan ^{238}U ve ^{232}Th 'a ait radyoaktivite konsantrasyonları, bu radyonüklitlerin bozunma ürünleri olan doğal radyonüklitler yardımıyla tayin edilmiştir. Çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerindeki ^{40}K 'ın aktivitesi ve fisyon ürünü olan ^{137}Cs radyoizotopunun radyoaktivitesi de aynı sistem ile belirlenmiştir.

Gama spektrometrik ölçümlerin iki aşaması vardır. Birinci aşamada *enerji kalibrasyonu* yapılmalıdır. Enerji kalibrasyonu yapılırken enerjileri bilinen piklere sahip standart bir kaynağın spektrumu elde edilir ve hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiği belirlenir. Sonra bu piklerin enerji değerleri bir fonksiyona fit edilerek kalibrasyon eğrisinin denklemi elde edilir. İkinci aşamada ise *verim kalibrasyonu* yapılmalıdır. Verim kalibrasyonunun amacı, kaynaktan yayılan gama ışınları sayısı ile spektrumda sayılan sayımların sayısı arasında ilişki kurmaktır. Gama spektrometre sisteminde, pikin altında kalan alan radyoaktivite miktarını temsil ettiğinden, radyoaktivite miktarını belirlemek için pik alanına ve verimine ihtiyaç vardır. Pik verimi belirlenirken aktivitesi kesin olarak bilinen standart kaynaklar kullanılır. Dedektörün enerji ve verim kalibrasyonu yapıldıktan sonra aktivite hesaplamalarında kullanılacak piklerin verim ve enerji değerleri elde edilir. Elde edilen değerler kullanılarak aktivite hesaplanır (Denklem 3.1).

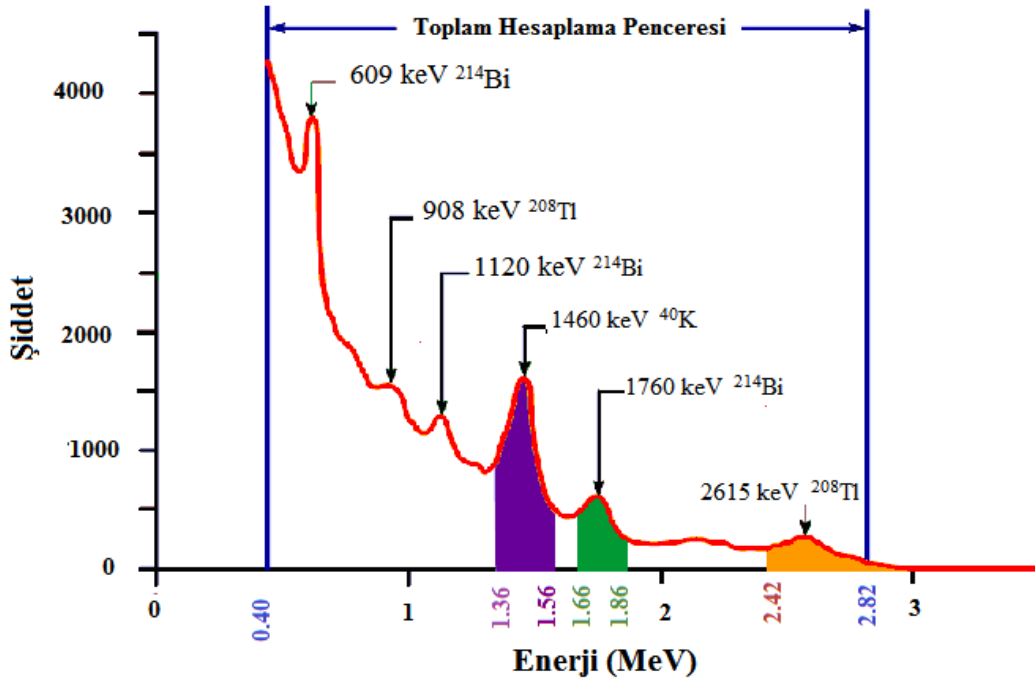
$$A = \frac{N_{net}}{\varepsilon_{\gamma} t I_{\gamma} m} \quad (3.1)$$

Burada, A , hesaplanan aktivite (Bq/kg), N_{net} , net pik alanı, ε_{γ} , ilgilenilen pik için dedektör verimi, t , sayım süresi, m , numunenin kütlesi (kg) ve I_{γ} , gama enerjisinin yayınlanma olasılığıdır.

Topraktaki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonu belirlenirken belli değerlerdeki gama pikleri esas alınır. ^{226}Ra , ^{238}U 'in bir bozunma ürünüdür. 186 keV'de %36 bollukta bir piki vardır (L'annunziata,1998). Bu pik ^{235}U 'in 185.7 keV'deki piki ile iç içe girdiği için spektrumda gözükmemektedir. Ancak

hesaplayarak bulmak mümkündür. Bu radyonüklit aktivite ölçümlerinde ^{238}U 'den ayrı olarak değerlendirilir (Karahan,1997). ^{214}Pb , ^{238}U 'in bozunma ürünüdür. %36 bollukta 351 keV enerji pikinde tespit edilir. ^{214}Bi , ^{238}U serisinin bir bozunma ürünüdür. %45 bollukta 609 keV'de görülür. ^{228}Ac , ^{232}Th serisinin bir bozunma ürünü olup örneğin 338 keV'de %12, 911 keV'de % 28, 964 keV'de %5 bolluğa sahip farklı enerjilerde birçok piki vardır (L'annunziata, 1998). Bu araştırma için yapılan çalışmada bolluğu en fazla olan 911 keV'deki enerji piki kullanılmıştır.

^{208}Tl , ^{232}Th serisinin bir bozunma ürünüdür ve farklı enerjilerde birçok piki olmasına rağmen bu çalışmada % 30.7 ile en yüksek bolluğa sahip 583 keV'deki piki kullanılmıştır. ^{40}K doğada tek başına bulunur. Herhangi bir bozunum serisi yoktur. Toprakta bol miktarda bulunduğu için doğal gama radyasyon dozuna en fazla katkıda bulunan doğal radyoaktif elementtir. İnsan vücudu için yaşamsal bir öneme sahiptir. 1460 keV enerji pikinde %11 bollukta bulunmaktadır. Tabiatta doğal olarak bulunmayan, bir fisyon ürünü olan ^{137}Cs , 661 keV'de %85 bollukta bir pike sahiptir (L'annunziata, 1998). Şekil 3.11'de ise tipik bir gama ışın spektrumu verilmiştir.



Şekil 3.11. Tipik bir gama ışın spektrumu (Değerlier, 2007)

4. ARASTIRMA BULGULARI ve TARTISMA

Bu tez çalışmasında, gerek turistik, gerekse doğal güzellikler açısından Türkiye'nin önemli bir ili olan Adıyaman'ın doğal zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ölçüm sahası olarak Adıyaman il merkezi, ilçe ve köylerini kapsayan bir alan seçilmiştir. Adıyaman ili Güneydoğu Anadolu Bölgesi kuzeybatı kesiminde, 38°11' ve 37°25' kuzey enlemleri ile 39°14' ve 37°31' doğu boylamları üzerinde yer alır. Kuzeyinde Anti-Toros dağları, güneyinde Fırat Nehri bulunmaktadır. Adıyaman il merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 669 metredir. Dokuz ilçesi bulunan Adıyaman ilinin sınırları içerisindeki alanın yüz ölçümü 7614 km²'dir (Adıyaman Valiliği, 2006). Adıyaman il geneli için çevresel radyoaktivite konsantrasyonları ölçüm yoluyla belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmalarda ev dışı gama ışınlama doz hızları ile su ve toprak örneklerindeki radyoaktif nüklid konsantrasyonları belirlenmiştir.

4.1. Çevresel Doğal Gama Işınlanma Hızlarının Belirlenmesi

Bu bölümdeki bilgi ve veriler, Adıyaman il genelinde gerçekleştirilen direkt havada gama ışınlanma hızı ölçüm sonuçlarını kapsamaktadır. Ölçümler toplam 52 noktada yapılmıştır. Çizelge 4.1'de ilçeler bazında yüz ölçümler ile ölçüm sayılarının oranları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Adıyaman ilinde yapılan dış gama radyasyonu ölçüm sayılarının ilçelere göre dağılımı

İlçeler	Yüzölçüm (km ²)	İl Yüzölçümüne		Toplam Ölçüm	
		Oranı (%)	Ölçüm Sayısı	Sayısına Oranı (%)	
Merkez	1 702	22.35	11	21.11	
Kahta	1 490	19.57	9	17.3	
Sincik	364	4.78	3	5.76	
Gerger	702	9.22	5	9.61	
Samsat	338	4.44	3	5.76	
Çelikhan	584	7.67	3	5.76	
Gölbaşı	784	10.3	7	13.46	
Besni	1 330	17.47	9	17.3	
Tut	320	4.2	2	3.84	
Toplam	7614	100	52	100	

İlçelere göre ölçüm sayıları belirlenirken mümkün merteye ilçelerin yüzölçümlerinin ilin yüzölçümüne oranı dikkate alınmıştır. Buna göre en fazla ölçüm Merkez ilçede, en az ölçüm ise Tut ilçesinde yapılmıştır. Ölçüm yapılan ve örnek alınan noktaların önce GPS cihazıyla koordinatları belirlenmiştir. Ölçümler ise, uç kısmına SPA-6 plastik sintilasyon algılayıcısı bağlanmış olan Eberline Smart Portable (ESP-2) model taşınabilir mikrobilgisayarlı cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10). Açık havada, toprak seviyesinden bir metre yükseklikte, bir dakika süreyle gerçekleştirilen ölçümlerde gama ışınlanma hızlarının sonuçları $\mu\text{R/h}$ olarak kaydedilmiştir. Adıyaman il geneli direkt gama ışınlanma hızı ölçüm sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Adıyaman ilinde yapılan dış gama radyasyonu ölçüm sonuçları

Sıra	İlçe	Ölçüm yeri	Koordinat		Rakım (m)	Işınlanma doz hızı ($\mu\text{R/h}$)
			Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)		
1	Merkez	Merkez	37.79	38.30	665	10.77
2	Merkez	Yarmakaya	37.71	38.17	633	11.40
3	Merkez	Atakent	37.60	38.21	621	11.05
4	Merkez	Dışbudak	37.68	38.35	552	13.28
5	Merkez	Bağpınar	37.59	38.32	555	13.52
6	Merkez	Hasancık	37.77	38.44	653	18.38
7	Merkez	Kuyucak	37.86	38.34	986	11.02
8	Merkez	Koçalı	37.92	38.26	1071	47.10
9	Merkez	Akçalı	37.85	38.20	898	20.10
10	Merkez	Yaylakonak	37.82	38.08	894	22.23
11	Merkez	Kuyulu	37.50	38.22	511	16.91
12	Kahta	Merkez	37.75	38.62	707	13.94
13	Kahta	Bölükayla	37.88	38.47	765	8.74
14	Kahta	Narince	37.88	38.76	824	11.63
15	Kahta	Damlacık	37.91	38.65	788	11.37
16	Kahta	Nemrut dağı (Gülveren)	37.94	38.77	1317	13.65
17	Kahta	Köprülü	37.76	38.72	591	18.09
18	Kahta	Eskitaş	37.69	38.77	631	16.09
19	Kahta	Akıncılar	37.77	38.87	676	9.97
20	Kahta	Köseler	37.69	38.63	703	18.74
21	Sincik	Merkez	38.03	38.62	1341	17.19
22	Sincik	İnlise	37.97	38.47	881	17.14
23	Sincik	Yarpuzlu	38.05	38.53	941	16.67
24	Gerger	Merkez	38.03	39.04	786	15.64
25	Gerger	Güzelyurt	37.95	38.88	752	10.09
26	Gerger	Gözpınarı	38.06	39.16	707	8.73
27	Gerger	Gölyurt (Tillo)	38.16	39.16	942	15.22
28	Gerger	Güzelsu	37.88	38.92	822	14.99
29	Samsat	Merkez	37.59	38.48	487	14.00
30	Samsat	Çiçekköy	37.66	38.54	642	20.99

Çizelge 4.2. (devamı)

31	Samsat	Kızılöz (Kumluca)	37.50	38.38	583	18.14
32	Çelikhan	Merkez	38.03	38.23	1377	22.81
33	Çelikhan	Taşdamlar	38.09	38.33	1400	27.25
34	Çelikhan	Balıkburnu	37.99	38.20	1273	27.20
35	Gölbaşı	Merkez	37.79	37.63	891	17.01
36	Gölbaşı	Karabahşılı	37.90	37.74	1246	45.60
37	Gölbaşı	Yaylacık	37.83	37.81	1133	6.17
38	Gölbaşı	Savran	37.80	37.54	875	17.19
39	Gölbaşı	Balkar	37.73	37.56	916	17.87
40	Gölbaşı	Haydarlı	37.61	37.49	988	14.12
41	Gölbaşı	Belören	37.64	37.58	1000	13.34
42	Besni	Merkez	37.69	37.88	862	12.55
43	Besni	Suvarlı	37.54	37.63	961	13.69
44	Besni	Sarıyaprak	37.59	37.74	802	20.32
45	Besni	Çaykaya	37.68	37.72	879	33.39
46	Besni	Üçgöz	37.64	37.96	667	18.33
47	Besni	Çakırhöyük	37.57	37.86	589	18.69
48	Besni	Akdoğanlar (Berete)	37.52	37.96	541	18.64
49	Besni	Beşyol	37.55	38.08	554	16.29
50	Besni	Şambayat	37.69	38.04	650	16.38
51	Tut	Merkez	37.80	37.91	1058	23.45
52	Tut	Yeşilyurt	37.75	38.02	982	18.93

Yapılan ölçümlerde $\mu\text{R/h}$ olarak elde edilen gama ışınlanma hızı sonuçları, Denklem 4.1 yardımıyla nGy/h cinsinden *soğurulan doz hızı* değerlerine dönüştürülmüştür.

$$1 \mu\text{R} = 8.7 \text{ nGy} \quad (4.1)$$

Soğurulan doz hızları ise Denklem 4.2 yardımıyla $\mu\text{Sv/yıl}$ cinsinden *yıllık etkin doz* değerine dönüştürülmüştür. Karasal toplam gama dış ışınlama dozlarının yıllık etkin doz UNSCEAR raporundaki Denklem 4.1 ve 4.2 ile ifade edilen formüllere göre hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000).

$$1 \mu\text{Sv/y} = \text{nGy/h} \times 8760 \text{ saat/yıl} \times 0.2 \times 0.7 \text{ Sv/Gy} \times 10^{-3} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'deki, 0.2 değeri açık alanda doza maruz kalma faktörünü ifade eder. 0.2 değerinin kullanılması zamanın %20'sinin açık alanda geçtiğini gösterir. Bu dönüşüm faktörü kapalı alan için %80'e karşılık gelen 0.8 değeri olarak kullanılır. 0.7 Sv/Gy dönüşüm katsayısıdır. 10^{-3} katsayısı n (nano) birimini, μ (mikro) birimine

çevirmek için ifadede yer alır. Çizelge 4.3’de tüm ölçüm sonuçlarının Denklem 4.1 ve 4.2 ile hesaplanan soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Adıyaman ili dış gama radyasyonu soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz

Sıra	İlçe	Ölçüm yeri	Işınlanma		Yıllık etkin doz ($\mu\text{Sv/y}$)
			hızı ($\mu\text{R/h}$)	doz hızı (nGy/h)	
1	Merkez	Merkez	10.77	93.70	114.91
2	Merkez	Yarmakaya	11.40	99.18	121.63
3	Merkez	Atakent	11.05	96.14	117.90
4	Merkez	Dışbudak	13.28	115.49	141.64
5	Merkez	Bağpınar	13.52	117.58	144.20
6	Merkez	Hasancık	18.38	159.91	196.11
7	Merkez	Kuyucak	11.02	95.83	117.53
8	Merkez	Koçalı	47.10	409.77	502.54
9	Merkez	Akçalı	20.10	174.87	214.46
10	Merkez	Yaylakonak	22.23	193.40	237.19
11	Merkez	Kuyulu	16.91	147.07	180.37
12	Kahta	Merkez	13.94	121.23	148.68
13	Kahta	Bölükayla	8.74	76.03	93.24
14	Kahta	Narince	11.63	101.14	124.04
15	Kahta	Damlacık	11.37	98.95	121.35
16	Kahta	Nemrut dağı (Gülveren)	13.65	118.76	145.64
17	Kahta	Köprülü	18.09	157.38	193.01
18	Kahta	Eskitaş	16.09	140.00	171.70
19	Kahta	Akıncılar	9.97	86.77	106.42
20	Kahta	Köseler	18.74	163.04	199.95
21	Sincik	Merkez	17.19	149.55	183.41
22	Sincik	İnlince	17.14	149.12	182.88
23	Sincik	Yarpuzlu	16.67	144.99	177.81
24	Gerger	Merkez	15.64	136.07	166.87
25	Gerger	Güzelyurt	10.09	87.78	107.66
26	Gerger	Gözpınarı	8.73	75.95	93.15
27	Gerger	Gölyurt (Tillo)	15.22	132.41	162.39
28	Gerger	Güzelsu	14.99	130.41	159.94
29	Samsat	Merkez	14.00	121.83	149.41
30	Samsat	Çiçekköy	20.99	182.57	223.90
31	Samsat	Kızılöz (Kumluca)	18.14	157.82	193.55
32	Çelikhan	Merkez	22.81	198.45	243.38
33	Çelikhan	Taşdamlar	27.25	237.08	290.75
34	Çelikhan	Balıkburnu	27.20	236.64	290.22
35	Gölbaşı	Merkez	17.01	147.99	181.49
36	Gölbaşı	Karabahşılı	45.60	396.72	486.54
37	Gölbaşı	Yaylacık	6.17	53.71	65.87
38	Gölbaşı	Savran	17.19	149.59	183.45
39	Gölbaşı	Balkar	17.87	155.47	190.67
40	Gölbaşı	Haydarlı	14.12	122.80	150.60
41	Gölbaşı	Belören	13.34	116.08	142.37
42	Besni	Merkez	12.55	109.19	133.90
43	Besni	Suvarlı	13.69	119.10	146.07
44	Besni	Sarıyaprak	20.32	176.75	216.77

Çizelge 4.3. (devamı)

45	Besni	Çaykaya	33.39	290.49	356.26
46	Besni	Üçgöz	18.33	159.47	195.58
47	Besni	Çakırhöyük	18.69	162.56	199.36
48	Besni	Akdoğanlar (Berete)	18.64	162.12	198.83
49	Besni	Beşyol	16.29	141.68	173.76
50	Besni	Şambayat	16.38	142.46	174.72
51	Tut	Merkez	23.45	203.97	250.15
52	Tut	Yeşilyurt	18.93	164.69	201.98

Ölçülen gama ışınlanma hızı ve hesaplanarak bulunan soğurulan doz hızı ile yıllık etkin dozun maksimum, minimum ve ortalama değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Çizelge 4.2 ve 4.4 incelendiğinde maksimum değer Merkez ilçenin Koçalı köyünde 47.10 $\mu\text{R/h}$, minimum değer ise Gölbaşı ilçesinin Yaylacık köyünde 6.17 $\mu\text{R/h}$ elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre Adıyaman ilinde 52 ölçüm noktasının dış gama ışınlanma hızlarının ortalama değeri 17.42 $\mu\text{R/h}$, dış gama soğurulan doz hızlarının ortalama değeri 151.57 nGy/h yıllık etkin doz ortalaması da 185.89 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.

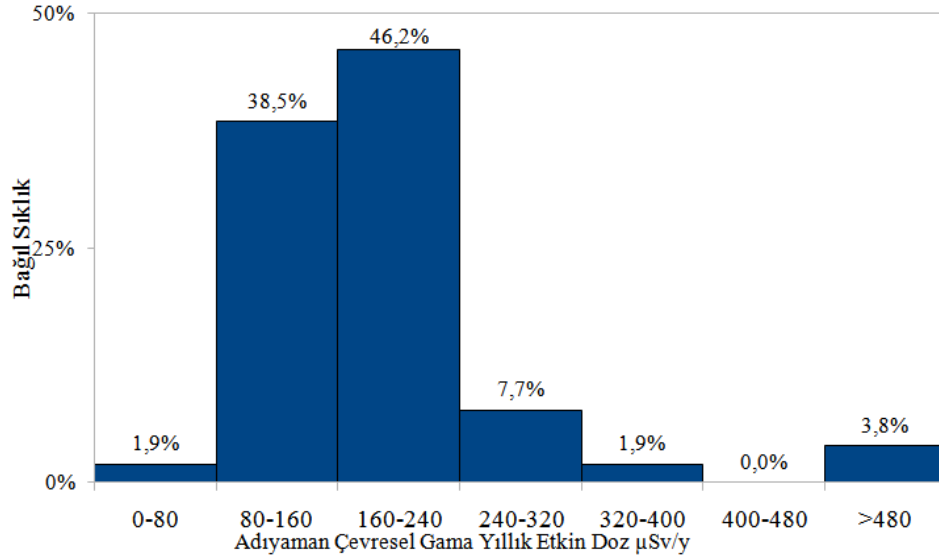
Çizelge 4.4. Adıyaman ili dış gama radyasyonu verileri özet istatistikleri (52 ölçüm için)

Veri	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Ortanca
Işınlanma hızı ($\mu\text{R/h}$)	6.17	47.10	17.42	7.70	16.52
Soğurulan doz hızı (nGy/h)	53.71	409.77	151.57	66.98	143.72
Yıllık etkin doz ($\mu\text{Sv/y}$)	65.87	502.54	185.89	82.14	176.26

Şekil 4.1'de Adıyaman il genelinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen çevresel gama yıllık etkin doz değerleri için bir histogram verilmiştir. Görüldüğü gibi ölçüm noktalarının yarısına yakını 160-240 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında yıllık etkin doza sahiptir.

Yıllık etkin doz değeri ICRP'nin ilgili raporundaki formül içinde kullanıldığında Denklem 4.3'ten Adıyaman ili çevresel gama radyasyonundan kaynaklanan yaşam boyu kanser riski hesaplanabilir.

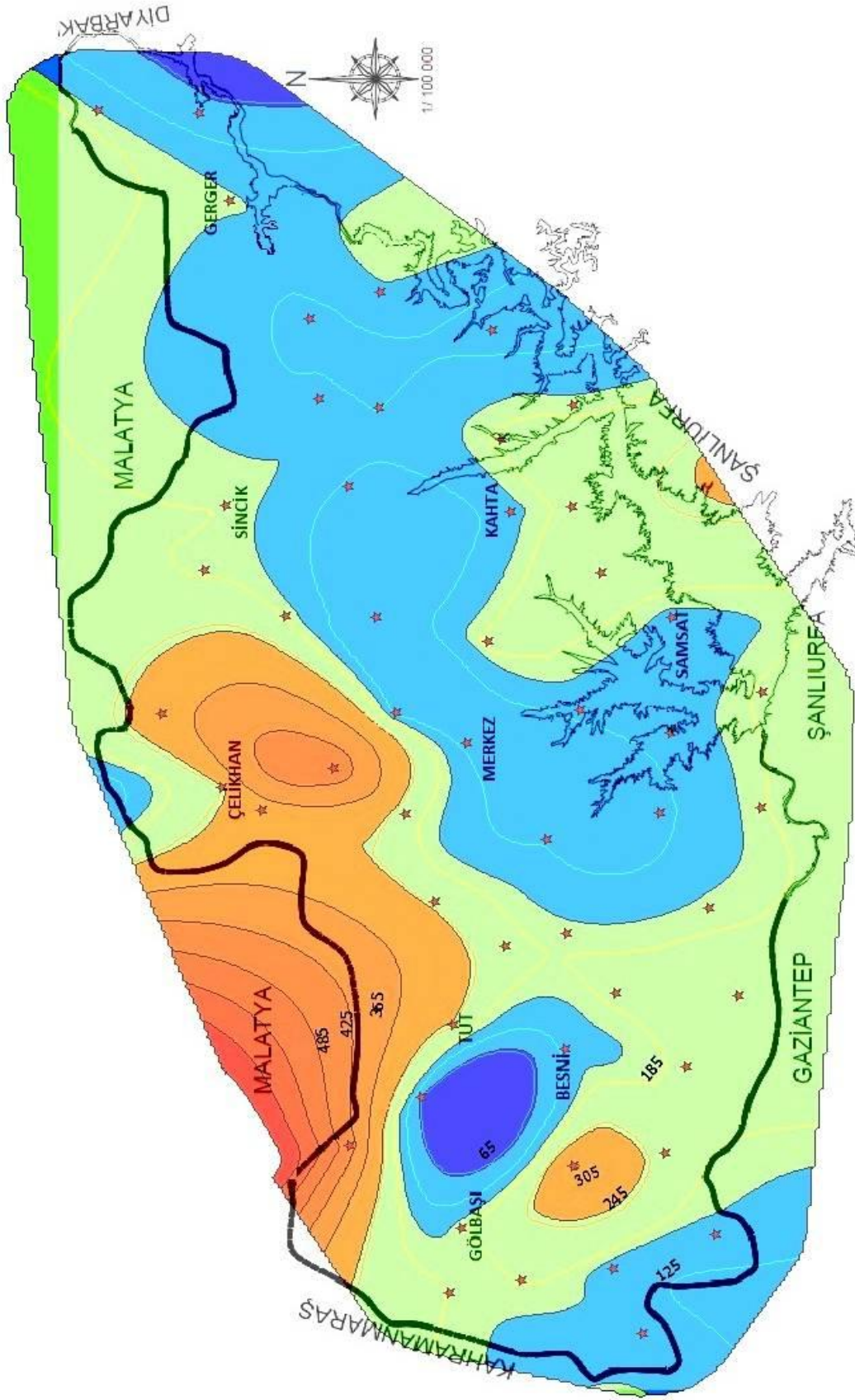
$$YBKR = YED \text{ (mSv/y)} \times YS \text{ (y)} \times R_f \text{ (Sv}^{-1}\text{)} \quad (4.3)$$



Şekil 4.1. Adiyaman il geneli çevresel gama yıllık etkin doz histogramı

Denklem 4.3'te YED yıllık etkin doz mSv/yıl , YS yaşam süresi (65 yıl) ve R_f ise Sievert başına ölümcül kanser riskini ifade eder ($1/\text{Sv}$). ICRP, radyasyonun stokastik etkileri için R_f değerinin 0.05 olarak alınmasını tavsiye etmektedir (ICRP, 1991). Çizelge 4.4'de verilen Adiyaman il geneli için ortalama yıllık etkin doz 0.18589 mSv/y alınır. Denklem 4.3'den Adiyaman ili çevresel gama radyasyonundan kaynaklanan yaşam boyu kanser riski $\%0.6041$ olarak hesaplanır.

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen yıllık etkin doz verileri MapInfo Professional 9.5 Software programında işlenerek Adiyaman ili için çevresel gama yıllık etkin doz haritası çizilmiştir. Şekil 4.2'de gösterilen gama doz hızının il genelindeki genel dağılımı izodoz haritası biçiminde görülmektedir. Kırmızı renkli çizgi ve bölgeler çevresel gama yıllık etkin doz değerlerinin yüksek olduğu alanları temsil etmektedir.



Şekil 4.2. Adiyaman il geneli çevresel gama yıllık etkin doz haritası ($\mu\text{Sv/yıl}$)

4.2. Su Örneklerinde Belirlenen Radyoaktivite Konsantrasyonları

Bu bölümdeki bilgi ve veriler, Adıyaman il genelinde bulunan 52 yerleşim birimindeki içme suyu ihtiyacını karşılayan şebeke ve kaynaklardan alınan su örneklerinin, toplam alfa-beta analizi sonucu elde edilen radyoaktivite konsantrasyonlarının ölçüm sonuçlarını kapsamaktadır. İlçeler bazında yüz ölçümler ile toplanan su örneklerinin sayı oranları Çizelge 4.1'deki gibidir.

Su örneklerindeki radyoaktivite tayininde doğal kaynaklardaki gama yayan radyoaktif elementlerin yarı ömürleri alfa ve beta radyoaktif elementlerine göre daha kısadır. Bu nedenle su örnekleri için gama radyoaktivite tayini pek tercih edilmez. İç radyasyon riski sebebiyle su örneklerinde alfa ve beta radyoaktivite tayini daha önemli görülür. İçme suyu kaynaklarındaki radyoaktivite kirliliğinin saptanması için alfa-beta aktivitelerinin ölçülmesi gerekir. Su örneklerindeki toplam alfa ve beta aktivitelerini belirlemek üzere Adıyaman il genelinde nüfus açısından yoğun köylerden, beldelerden ve ilçe merkezlerinden her biri 500 ml olan su örnekleri toplanmıştır. Su örneklerinden elde edilen rezidüel ÇNAEM laboratuvarındaki LB 770 – PC 10 kanallı gaz akışlı orantılı radyasyon sayıcısı ile analiz edilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde alfa ve beta aktiviteleri sonuçları Bq/L olarak elde edilmiştir. Adıyaman ili su örneklerindeki toplam alfa ve beta aktiviteleri ölçüm sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Adıyaman ili su örnekleri toplam alfa ve beta aktiviteleri ölçüm sonuçları

Sıra	İlçe	Ölçüm yeri	Koordinat		Aktivite (Bq/L)	
			Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Alfa	Beta
1	Merkez	Merkez	37.79	38.30	0.026	0.026
2	Merkez	Yarmakaya	37.71	38.17	0.030	0.178
3	Merkez	Atakent	37.60	38.21	0.015	0.059
4	Merkez	Dışbudak	37.68	38.35	0.059	0.073
5	Merkez	Bağpınar	37.59	38.32	0.050	0.328
6	Merkez	Hasancık	37.77	38.44	0.025	0.077
7	Merkez	Kuyucak	37.86	38.34	0.047	0.056
8	Merkez	Koçalı	37.92	38.26	0.016	0.043
9	Merkez	Akçalı	37.85	38.20	0.031	0.029
10	Merkez	Yaylakonak	37.82	38.08	0.019	0.030
11	Merkez	Kuyulu	37.50	38.22	0.113	0.066

Çizelge 4.5. (devamı)

12	Kahta	Merkez	37.75	38.62	0.034	0.093
13	Kahta	Bölükyayla	37.88	38.47	0.032	0.073
14	Kahta	Narince	37.88	38.76	0.032	0.045
15	Kahta	Damlacık	37.91	38.65	0.038	0.049
16	Kahta	Nemrut dağı (Gülveren)	37.94	38.77	0.019	0.041
17	Kahta	Köprülü	37.76	38.72	0.074	0.038
18	Kahta	Eskitaş	37.69	38.77	0.131	0.188
19	Kahta	Akıncılar	37.77	38.87	0.079	0.188
20	Kahta	Köseler	37.69	38.63	0.083	0.127
21	Sincik	Merkez	38.03	38.62	0.022	0.057
22	Sincik	İnlice	37.97	38.47	0.047	0.177
23	Sincik	Yarpuzlu	38.05	38.53	0.029	0.165
24	Gerger	Merkez	38.03	39.04	0.057	0.121
25	Gerger	Güzelyurt	37.95	38.88	0.110	0.048
26	Gerger	Gözpınarı	38.06	39.16	0.038	0.089
27	Gerger	Gölyurt (Tillo)	38.16	39.16	0.034	0.103
28	Gerger	Güzelsu	37.88	38.92	0.044	0.045
29	Samsat	Merkez	37.59	38.48	0.033	0.121
30	Samsat	Çiçekköy	37.66	38.54	0.043	0.122
31	Samsat	Kızıllöz (Kumluca)	37.50	38.38	0.058	0.125
32	Çelikhan	Merkez	38.03	38.23	0.026	0.030
33	Çelikhan	Taşdamlar	38.09	38.33	0.244	0.042
34	Çelikhan	Balıkburnu	37.99	38.20	0.032	0.166
35	Gölbaşı	Merkez	37.79	37.63	0.078	0.105
36	Gölbaşı	Karabahşılı	37.90	37.74	0.015	0.155
37	Gölbaşı	Yaylacık	37.83	37.81	0.038	0.047
38	Gölbaşı	Savran	37.80	37.54	0.058	0.038
39	Gölbaşı	Balkar	37.73	37.56	0.043	0.141
40	Gölbaşı	Haydarlı	37.61	37.49	0.032	0.070
41	Gölbaşı	Belören	37.64	37.58	0.049	0.045
42	Besni	Merkez	37.69	37.88	0.025	0.030
43	Besni	Suvarlı	37.54	37.63	0.021	0.058
44	Besni	Sarıyaprak	37.59	37.74	0.073	0.119
45	Besni	Çaykaya	37.68	37.72	0.077	0.030
46	Besni	Üçgöz	37.64	37.96	0.075	0.061
47	Besni	Çakırhöyük	37.57	37.86	0.039	0.095
48	Besni	Akdoğanlar (Berete)	37.52	37.96	0.157	0.076
49	Besni	Beşyol	37.55	38.08	0.023	0.048
50	Besni	Şambayat	37.69	38.04	0.027	0.039
51	Tut	Merkez	37.80	37.91	0.047	0.030
52	Tut	Yeşilyurt	37.75	38.02	0.046	0.030

Su örneklerindeki Bq/L cinsinden toplam alfa ve beta aktiviteleri ölçüm sonuçları Denklem 4.4 yardımıyla $\mu\text{Sv/yıl}$ birimindeki *yıllık etkin doz* değerine dönüştürülmüştür.

$$1\mu\text{Sv/y} = (\text{Bq/L}) \times 2 (\text{L/gün}) \times 365 (\text{gün}) \times Df (\text{mSv/Bq}) \times 10^3 (\mu\text{Sv/mSv}) \quad (4.4)$$

Bir kişinin günlük içeceği ortalama su miktarı 2 litre olarak kabul edilmiştir. Toplam alfa aktivitesinin yalnızca Ra-222, toplam beta aktivitesinin de sadece Ra-228 alımı ile oluştuğu varsayılarak, yıllık etkin doz ilgili WHO raporundaki formüle göre hesaplanmıştır (WHO, 2004). Denklem 4.4’de *Df* ilgili dönüşüm faktörüdür. Dönüşüm faktörü değeri, alfa aktivitesinde Ra-222 için 2.8×10^{-4} alınırken, beta aktivitesinde Ra-228 için 6.9×10^{-4} olarak alınır. Tüm ölçüm sonuçlarının Denklem 4.4 ile hesaplanan yıllık etkin doz değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Adıyaman ili su örnekleri aktivite ve yıllık etkin doz

Sıra	İlçe	Ölçüm yeri	Aktivite (Bq/L)		Yıllık etkin doz ($\mu\text{Sv/y}$)		
			Alfa	Beta	Alfa	Beta	Toplam
1	Merkez	Merkez	0.026	0.026	5.31	13.10	18.41
2	Merkez	Yarmakaya	0.030	0.178	6.13	89.66	95.79
3	Merkez	Atakent	0.015	0.059	3.07	29.72	32.78
4	Merkez	Dışbudak	0.059	0.073	12.06	36.77	48.83
5	Merkez	Bağpınar	0.050	0.328	10.22	165.21	175.43
6	Merkez	Hasancık	0.025	0.077	5.11	38.78	43.89
7	Merkez	Kuyucak	0.047	0.056	9.61	28.21	37.81
8	Merkez	Koçali	0.016	0.043	3.27	21.66	24.93
9	Merkez	Akçalı	0.031	0.029	6.34	14.61	20.94
10	Merkez	Yaylakonak	0.019	0.030	3.88	15.11	18.99
11	Merkez	Kuyulu	0.113	0.066	23.10	33.24	56.34
12	Kahta	Merkez	0.034	0.093	6.95	46.84	53.79
13	Kahta	Bölükyayla	0.032	0.073	6.54	36.77	43.31
14	Kahta	Narince	0.032	0.045	6.54	22.67	29.21
15	Kahta	Damlacık	0.038	0.049	7.77	24.68	32.45
16	Kahta	Nemrut dağı (Gülveren)	0.019	0.041	3.88	20.65	24.54
17	Kahta	Köprülü	0.074	0.038	15.13	19.14	34.27
18	Kahta	Eskitaş	0.131	0.188	26.78	94.70	121.47
19	Kahta	Akıncılar	0.079	0.188	16.15	94.70	110.84
20	Kahta	Köseler	0.083	0.127	16.97	63.97	80.94
21	Sincik	Merkez	0.022	0.057	4.50	28.71	33.21
22	Sincik	İnlise	0.047	0.177	9.61	89.15	98.76

Çizelge 4.6. (devamı)

23	Sincik	Yarpuzlu	0.029	0.165	5.93	83.11	89.04
24	Gerger	Merkez	0.057	0.121	11.65	60.95	72.60
25	Gerger	Güzelyurt	0.110	0.048	22.48	24.18	46.66
26	Gerger	Gözpınarı	0.038	0.089	7.77	44.83	52.60
27	Gerger	Gölyurt (Tillo)	0.034	0.103	6.95	51.88	58.83
28	Gerger	Güzelsu	0.044	0.045	8.99	22.67	31.66
29	Samsat	Merkez	0.033	0.121	6.75	60.95	67.69
30	Samsat	Çiçekköy	0.043	0.122	8.79	61.45	70.24
31	Samsat	Kızılöz (Kumluca)	0.058	0.125	11.86	62.96	74.82
32	Çelikhan	Merkez	0.026	0.030	5.31	15.11	20.43
33	Çelikhan	Taşdamlar	0.244	0.042	49.87	21.16	71.03
34	Çelikhan	Balıkburnu	0.032	0.166	6.54	83.61	90.16
35	Gölbaşı	Merkez	0.078	0.105	15.94	52.89	68.83
36	Gölbaşı	Karabahşılı	0.015	0.155	3.07	78.07	81.14
37	Gölbaşı	Yaylacık	0.038	0.047	7.77	23.67	31.44
38	Gölbaşı	Savran	0.058	0.038	11.86	19.14	31.00
39	Gölbaşı	Balkar	0.043	0.141	8.79	71.02	79.81
40	Gölbaşı	Haydarlı	0.032	0.070	6.54	35.26	41.80
41	Gölbaşı	Belören	0.049	0.045	10.02	22.67	32.68
42	Besni	Merkez	0.025	0.030	5.11	15.11	20.22
43	Besni	Suvarlı	0.021	0.058	4.29	29.21	33.51
44	Besni	Sarıyaprak	0.073	0.119	14.92	59.94	74.86
45	Besni	Çaykaya	0.077	0.030	15.74	15.11	30.85
46	Besni	Üçgöz	0.075	0.061	15.33	30.73	46.06
47	Besni	Çakırhöyük	0.039	0.095	7.97	47.85	55.82
48	Besni	Akdoğanlar (Berete)	0.157	0.076	32.09	38.28	70.37
49	Besni	Beşyol	0.023	0.048	4.70	24.18	28.88
50	Besni	Şambayat	0.027	0.039	5.52	19.64	25.16
51	Tut	Merkez	0.047	0.030	9.61	15.11	24.72
52	Tut	Yeşilyurt	0.046	0.030	9.40	15.11	24.51

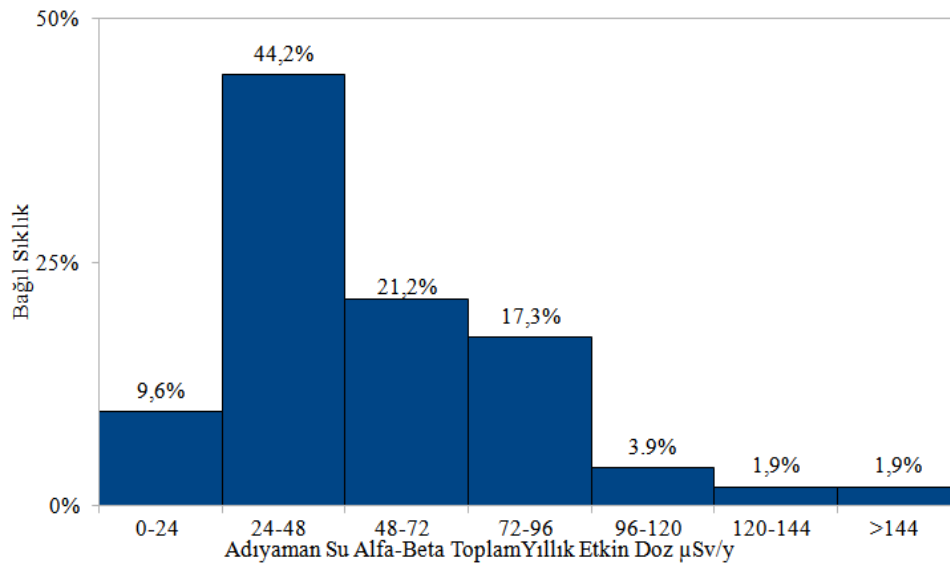
Su örneklerinin analizi sonucunda belirlenen toplam alfa ve beta aktiviteleri ile hesaplanarak elde edilen yıllık etkin doz değerlerinin özet istatistikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Adıyaman ili su örneklerinin özet istatistikleri (52 örnek için)

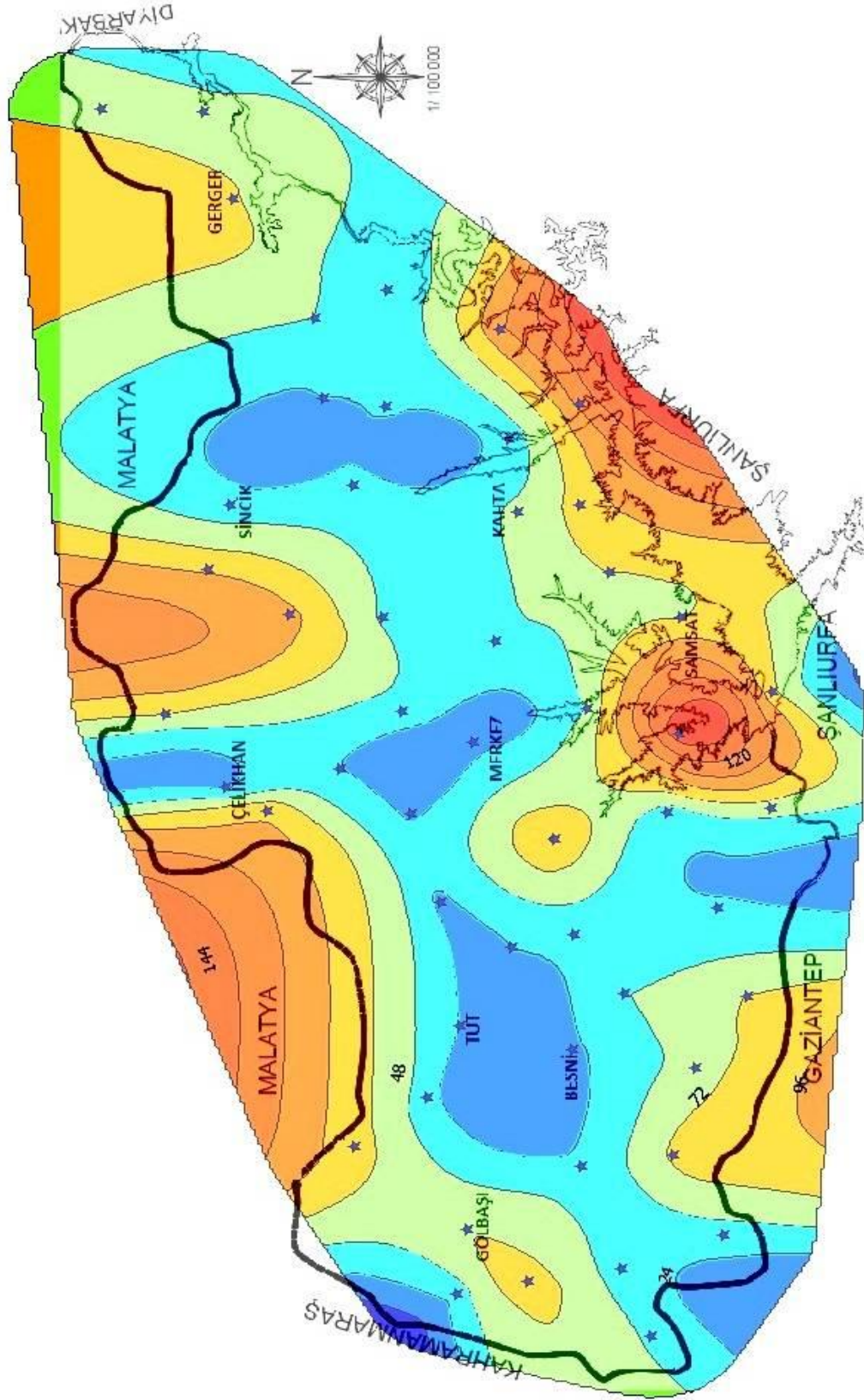
Veri	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Ortanca
Toplam alfa aktivitesi (Bq/L)	0.015	0.244	0.052	0.04	0.04
Toplam beta aktivitesi (Bq/L)	0.026	0.328	0.085	0.06	0.06
Alfa etkin doz (μ Sv/y)	3.07	49.87	10.59	8.26	7.87
Beta etkin doz (μ Sv/y)	13.10	165.21	42.96	29.88	31.98
Toplam etkin doz (μ Sv/y)	18.41	175.43	53.55	31.38	44.98

Çizelge 4.6 ve 4.7 incelendiğinde sudaki alfa aktivitesi için maksimum değer Çelikhan ilçesinin Taşdamlar köyünden alınan su örneğinde 0.244 Bq/L olarak ölçülmüştür. Alfa aktivitesi için minimum değer Merkez ilçenin Atakent beldesinden alınan su örneğinde 0.015 Bq/L olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre Adıyaman ilinde 52 ölçüm noktasından alınan su örneklerinin toplam alfa aktiviteilerinin ortalama değeri 0.052 Bq/L olarak elde edilmiştir. Sudaki beta aktivitesi için maksimum değer Merkez ilçenin Bağpınar köyünden alınan su örneğinde 0.328 Bq/L, minimum değer ise Yine Merkez ilçeden alınan su örneğinde 0.026 Bq/L olarak ölçülmüştür. Adıyaman ilinde toplanan tüm su örnekleri için ölçülen beta aktiviteileri ortalama değeri ise 0.085 Bq/L'dir. Adıyaman il geneli için ortalama yıllık etkin doz değeri 0.05355 mSv/y alınırsa Denklem 4.3'den (ICRP 1991) Adıyaman ili genelinde su kaynaklı yaşam boyu kanser riski % 0.1740 olarak hesaplanır.

Şekil 4.3'de Adıyaman il genelinde toplanan su örneklerinin analizi sonucunda elde edilen radyoaktivitenin yıllık doz değerleri için bir histogram verilmiştir. Görüldüğü gibi su örneklerinin yarısına yakını 24-48 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında yıllık etkin doza yol açmaktadır. Elde edilen veriler, MapInfo Professional 9.5 Software programında işlenerek Adıyaman ili su örnekleri için alfa-beta toplam yıllık etkin doz haritası çizilmiştir (Şekil 4.4). Haritadaki kırmızı renkli çizgi ve bölgeler su için alfa-beta toplam yıllık etkin dozun yüksek olduğu alanları temsil etmektedir.



Şekil 4.3. Adıyaman il geneli su için alfa-beta toplam yıllık etkin doz histogramı



Şekil 4.4. Adiyaman il geneli su örnekleri için alfa-beta toplam yıllık etkin doz haritası ($\mu\text{Sv/yr}$)

4.3. Toprak Örneklerinde Belirlenen Radyoaktivite

Bu bölümdeki bilgi ve veriler, Adıyaman il genelinde bulunan 52 yerleşim biriminden alınan toprak örneklerinin, gama spektrometresi analiz yöntemi ile yapılan radyoaktivite konsantrasyonlarının ölçüm sonuçlarını kapsamaktadır. İlçeler bazında yüz ölçümler ile alınan toprak örneklerinin sayı oranları Çizelge 4.1'deki gibidir.

Adıyaman il genelinde nüfus açısından yoğun köylerden, beldelerden ve ilçe merkezlerinden her biri yaklaşık 2 kg toprak alabilen naylon ambalajlar içinde toprak yüzeyinden 10-30 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Topraktaki radyoaktivite belirlenirken toplanan her örnekte gama spektrometresi analiz yöntemi ile dört farklı radyoizotopun toplam radyoaktivite konsantrasyonları tayin edilmiştir. Bu radyoizotoplar Uranyum (U-238), Toryum (Th-232), Potasyum (K-40) ve Sezyumdur (Cs-137). Toprak örneklerinin analizleri ÇNAEM laboratuvarındaki saf germanyum dedektörlü gama spektrometrik cihaz ile yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde gama aktiviteleri ölçüm sonuçları Bq/kg olarak elde edilmiştir. Adıyaman ili toprak örneklerindeki radyoizotopların toplam radyoaktivite ölçüm sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Adıyaman ili toprak örneklerindeki radyoizotoplar ve aktiviteleri

Sıra	İlçe	Ölçüm yeri	Koordinatlar		Aktivite (Bq/kg)			
			Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	U-238	Th-232	K-40	Cs-137
1	Merkez	Merkez	37.79	38.30	15,50	6.10	155.80	4.80
2	Merkez	Yarmakaya	37.71	38.17	18,30	26.10	295.40	7.60
3	Merkez	Atakent	37.60	38.21	6,80	2.70	36.80	<0.5
4	Merkez	Dışbudak	37.68	38.35	13,80	13.40	294.60	10.10
5	Merkez	Bağpınar	37.59	38.32	13,60	16.20	194.20	10.70
6	Merkez	Hasancık	37.77	38.44	14,60	21.80	198.80	2.40
7	Merkez	Kuyucak	37.86	38.34	19,40	7.90	168.30	7.50
8	Merkez	Koçali	37.92	38.26	44,20	31.20	321.50	5.30
9	Merkez	Akçalı	37.85	38.20	10,00	17.40	265.00	<0.4
10	Merkez	Yaylakonak	37.82	38.08	21,50	17.30	268.00	0.90
11	Merkez	Kuyulu	37.50	38.22	18,80	25.90	267.60	12.70
12	Kahta	Merkez	37.75	38.62	10,40	9.10	100.50	6.10
13	Kahta	Bölükyayla	37.88	38.47	15,90	15.10	217.10	7.20

Çizelge 4.8. (devamı)

14	Kahta	Narince	37.88	38.76	18,10	18.90	99.90	0.30
15	Kahta	Damlacık	37.91	38.65	23,10	27.10	370.50	1.40
16	Kahta	Nemrut dağı (Gülveren)	37.94	38.77	6,90	7.10	149.80	0.40
17	Kahta	Köprülü	37.76	38.72	5,40	14.10	808.60	<0.4
18	Kahta	Eskitaş	37.69	38.77	13,10	15.40	483.30	2.40
19	Kahta	Akıncılar	37.77	38.87	13,40	11.80	289.10	2.80
20	Kahta	Köseler	37.69	38.63	41,30	16.50	277.30	2.60
21	Sincik	Merkez	38.03	38.62	16,40	25.50	271.30	11.20
22	Sincik	İnlice	37.97	38.47	16,90	19.60	376.80	5.60
23	Sincik	Yarpuzlu	38.05	38.53	12,60	16.40	331.20	14.60
24	Gerger	Merkez	38.03	39.04	43,10	43.50	909.90	5.80
25	Gerger	Güzelyurt	37.95	38.88	35,70	37.90	468.50	23.70
26	Gerger	Gözpınarı	38.06	39.16	13,60	28.10	331.70	<0.5
27	Gerger	Gölyurt (Tillo)	38.16	39.16	13,10	11.40	203.40	6.80
28	Gerger	Güzelsu	37.88	38.92	11,80	15.80	281.90	10.00
29	Samsat	Merkez	37.59	38.48	14,80	27.70	287.30	4.90
30	Samsat	Çiçekköy	37.66	38.54	6,60	10.20	220.30	3.80
31	Samsat	Kızıloz (Kumluca)	37.50	38.38	25,10	8.00	77.30	0.90
32	Çelikhan	Merkez	38.03	38.23	5,20	8.00	176.50	1.70
33	Çelikhan	Taşdamlar	38.09	38.33	2,60	1.00	404.10	<0.4
34	Çelikhan	Balıkburnu	37.99	38.20	11,50	19.20	160.20	7.70
35	Gölbaşı	Merkez	37.79	37.63	30,40	16.70	328.50	16.80
36	Gölbaşı	Karabahşılı	37.90	37.74	16,30	26.00	420.10	5.20
37	Gölbaşı	Yaylacık	37.83	37.81	16,60	18.30	202.10	17.20
38	Gölbaşı	Savran	37.80	37.54	13,50	21.90	227.90	5.70
39	Gölbaşı	Balkar	37.73	37.56	14,90	13.90	520.70	10.40
40	Gölbaşı	Haydarlı	37.61	37.49	10,00	12.90	292.30	4.80
41	Gölbaşı	Belören	37.64	37.58	17,40	26.00	582.20	6.20
42	Besni	Merkez	37.69	37.88	15,80	14.80	259.90	<0,4
43	Besni	Suvarlı	37.54	37.63	42,20	50.50	466.50	12.90
44	Besni	Sarıyaprak	37.59	37.74	6,90	11.60	143.20	2.20
45	Besni	Çaykaya	37.68	37.72	12,80	15.80	415.90	3.10
46	Besni	Üçgöz	37.64	37.96	9,20	13.00	250.50	4.10
47	Besni	Çakırhöyük	37.57	37.86	13,40	16.40	386.00	10.40
48	Besni	Akdoğanlar (Berete)	37.52	37.96	13,50	16.40	197.90	5.80
49	Besni	Beşyol	37.55	38.08	35,20	45.80	347.90	17.90
50	Besni	Şambayat	37.69	38.04	16,10	20.90	370.20	12.40
51	Tut	Merkez	37.80	37.91	13,50	10.00	120.20	0.70
52	Tut	Yeşilyurt	37.75	38.02	23,70	17.80	218.70	6.10

Bq/kg olarak elde edilen Adıyaman il genelinde toplanan toprak örneklerindeki radyoizotopların aktivitelerinin ölçüm sonuçları dönüşüm katsayıları ile çarpılarak

nGy/h cinsinden *soğurulan doz hızı* değerlerine dönüştürülmüştür. Hesaplama dönüşüm katsayıları U-238 için 0.462 (nGy/h)/(Bq/kg), Th-232 için 0.604 (nGy/h)/(Bq/kg) ve K-40 için 0.0417 (nGy/h)/(Bq/kg) olarak alınmıştır. Soğurulan doz hızları ise Denklem 4.3 yardımıyla $\mu\text{Sv/yıl}$ cinsinden *yıllık etkin doz* değerine dönüştürülmüştür. Toprak örneklerindeki radyoizotoplar için maruz kalınan yıllık etkin doz ilgili UNSCEAR raporundaki formüle göre hesaplanmıştır (UNSCEAR, 2000). Çizelge 4.9'da tüm ölçüm sonuçlarının dönüşüm katsayıları ve Denklem 4.2 ile hesaplanan soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. Adıyaman ili toprak örneklerindeki radyoizotoplar için soğurulan doz hızları ve yıllık etkin doz

Sıra	İlçe	Ölçüm yeri	Soğurulan doz hızı (nGy/h)				Yıllık etkin doz ($\mu\text{Sv/y}$)
			U-238	Th-232	K-40	Toplam	Toplam
1	Merkez	Merkez	7.16	3.68	6.50	17.34	21.27
2	Merkez	Yarmakaya	8.45	15.76	12.32	36.54	44.81
3	Merkez	Atakent	3.14	1.63	1.53	6.31	7.73
4	Merkez	Dışbudak	6.38	8.09	12.28	26.75	32.81
5	Merkez	Bağpınar	6.28	9.78	8.10	24.17	29.64
6	Merkez	Hasancık	6.75	13.17	8.29	28.20	34.59
7	Merkez	Kuyucak	8.96	4.77	7.02	20.75	25.45
8	Merkez	Koçali	20.42	18.84	13.41	52.67	64.60
9	Merkez	Akçalı	4.62	10.51	11.05	26.18	32.11
10	Merkez	Yaylakonak	9.93	10.45	11.18	31.56	38.70
11	Merkez	Kuyulu	8.69	15.64	11.16	35.49	43.52
12	Kahta	Merkez	4.80	5.50	4.19	14.49	17.77
13	Kahta	Bölükyaıyla	7.35	9.12	9.05	25.52	31.30
14	Kahta	Narince	8.36	11.42	4.17	23.94	29.36
15	Kahta	Damlacık	10.67	16.37	15.45	42.49	52.11
16	Kahta	Nemrut dağı (Gülveren)	3.19	4.29	6.25	13.72	16.83
17	Kahta	Köprülü	2.49	8.52	33.72	44.73	54.86
18	Kahta	Eskitaş	6.05	9.30	20.15	35.51	43.55
19	Kahta	Akincılar	6.19	7.13	12.06	25.37	31.12
20	Kahta	Köseler	19.08	9.97	11.56	40.61	49.80
21	Sincik	Merkez	7.58	15.40	11.31	34.29	42.06
22	Sincik	İnlise	7.81	11.84	15.71	35.36	43.36
23	Sincik	Yarpuzlu	5.82	9.91	13.81	29.54	36.23
24	Gerger	Merkez	19.91	26.27	37.94	84.13	103.18
25	Gerger	Güzelyurt	16.49	22.89	19.54	58.92	72.26
26	Gerger	Gözpınarı	6.28	16.97	13.83	37.09	45.48
27	Gerger	Gölyurt (Tillo)	6.05	6.89	8.48	21.42	26.27
28	Gerger	Güzelsu	5.45	9.54	11.76	26.75	32.81

Çizelge 4.9. (devamı)

29	Samsat	Merkez	6.84	16.73	11.98	35.55	43.60
30	Samsat	Çiçekköy	3.05	6.16	9.19	18.40	22.56
31	Samsat	Kızılöz (Kumluca)	11.60	4.83	3.22	19.65	24.10
32	Çelikhan	Merkez	2.40	4.83	7.36	14.59	17.90
33	Çelikhan	Taşdamlar	1.20	0.60	16.85	18.66	22.88
34	Çelikhan	Balıkburnu	5.31	11.60	6.68	23.59	28.93
35	Gölbaşı	Merkez	14.04	10.09	13.70	37.83	46.39
36	Gölbaşı	Karabahşılı	7.53	15.70	17.52	40.75	49.98
37	Gölbaşı	Yaylacık	7.67	11.05	8.43	27.15	33.30
38	Gölbaşı	Savran	6.24	13.23	9.50	28.97	35.53
39	Gölbaşı	Balkar	6.88	8.40	21.71	36.99	45.37
40	Gölbaşı	Haydarlı	4.62	7.79	12.19	24.60	30.17
41	Gölbaşı	Belören	8.04	15.70	24.28	48.02	58.89
42	Besni	Merkez	7.30	8.94	10.84	27.08	33.21
43	Besni	Suvarlı	19.50	30.50	19.45	69.45	85.18
44	Besni	Sarıyaprak	3.19	7.01	5.97	16.17	19.83
45	Besni	Çaykaya	5.91	9.54	17.34	32.80	40.23
46	Besni	Üçgöz	4.25	7.85	10.45	22.55	27.65
47	Besni	Çakırhöyük	6.19	9.91	16.10	32.19	39.48
48	Besni	Akdoğanlar (Berete)	6.24	9.91	8.25	24.40	29.92
49	Besni	Beşyol	16.26	27.66	14.51	58.43	71.66
50	Besni	Şambayat	7.44	12.62	15.44	35.50	43.54
51	Tut	Merkez	6.24	6.04	5.01	17.29	21.20
52	Tut	Yeşilyurt	10.95	10.75	9.12	30.82	37.80

Adıyaman il genelinde toplanan toprak örneklerinin analizi sonucunda ölçülen radyoizotopların radyoaktiviteleri ile hesaplanarak elde edilen toplam soğurulan doz hızı ve toplam yıllık etkin dozun maksimum, minimum ve ortalama değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Adıyaman ili toprak örneklerinin özet istatistikleri (52 adet veri için)

Veri	Standart				
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Sapma	Ortanca
U-238 aktivitesi (Bq/kg)	2.60	44.20	17.20	9.93	14.70
Th-232 aktivitesi (Bq/kg)	1.00	50.50	18.50	10.13	16.40
K-40 aktivitesi (Bq/kg)	36.80	909.90	298.33	162.84	274.30
Cs-137 aktivitesi (Bq/kg)	0.30	23.70	7.04	5.28	5.80
Toplam soğurulan doz hızı (nGy/h)	6.31	84.13	31.56	14.35	28.59
Toplam yıllık etkin doz (µSv/y)	7.73	103.18	38.71	17.60	35.06

Çizelge 4.8 ve 4.10 incelendiğinde toprakta U-238 radyoizotopunun aktivitesi için maksimum değer Merkez ilçenin Koçali köyünden alınan toprak örneğinde 44.20 Bq/kg olarak ölçülmüştür. U-238 radyoizotopunun aktivitesi için minimum değer Çelikhhan ilçesinin Taşdamlar köyünden alınan toprak örneğinde 2.60 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre Adıyaman ilinde 52 noktadan alınan toprak örneklerinin U-238 radyoizotopunun aktivitelerinin ortalama değeri 17.20 Bq/kg olarak elde edilmiştir.

Toprakta Th-232 radyoizotopunun aktivitesi için maksimum değer Besni ilçesinin Suvarlı beldesinden alınan toprak örneğinde 50.50 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Th-232 radyoizotopunun aktivitesi için minimum değer Çelikhhan ilçesinin Taşdamlar köyünden alınan toprak örneğinde 1.00 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre Adıyaman ilinde 52 noktadan alınan toprak örneklerinin Th-232 radyoizotopunun aktivitelerinin ortalama değeri 18.50 Bq/kg olarak elde edilmiştir.

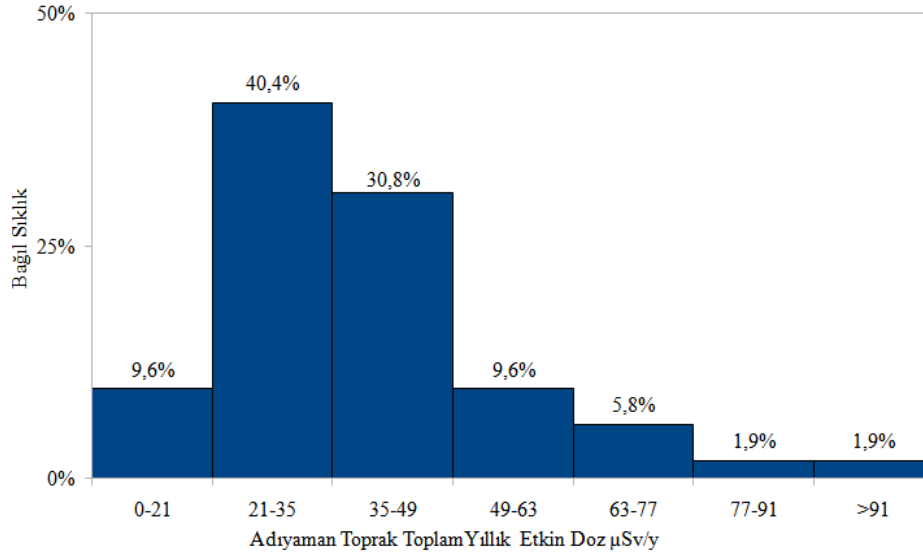
Toprakta K-40 radyoizotopunun aktivitesi için maksimum değer Gerger ilçe merkezinden alınan toprak örneğinde 909.90 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Toprakta K-40 radyoizotopunun aktivitesi için minimum değer Merkez ilçenin Atakent beldesinden alınan toprak örneğinde 36.80 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre Adıyaman ilinde 52 noktadan alınan toprak örneklerinin K-40 radyoizotopunun aktivitelerinin ortalama değeri 298.33 Bq/kg olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada Adıyaman il genelinde toplanan toprak örneklerinde doğal bir radyoaktif izotop olmayan Cs-137 izotopuna da rastlanmıştır. Adıyaman ili toprak örneklerinin Cs-137 aktivitesi ise 0.30 Bq/kg'dan 23.70 Bq/kg'a değiştiği gözlenmiştir. Cs-137 için ortalama değer ise 7.04 Bq/kg olarak elde edilmiştir.

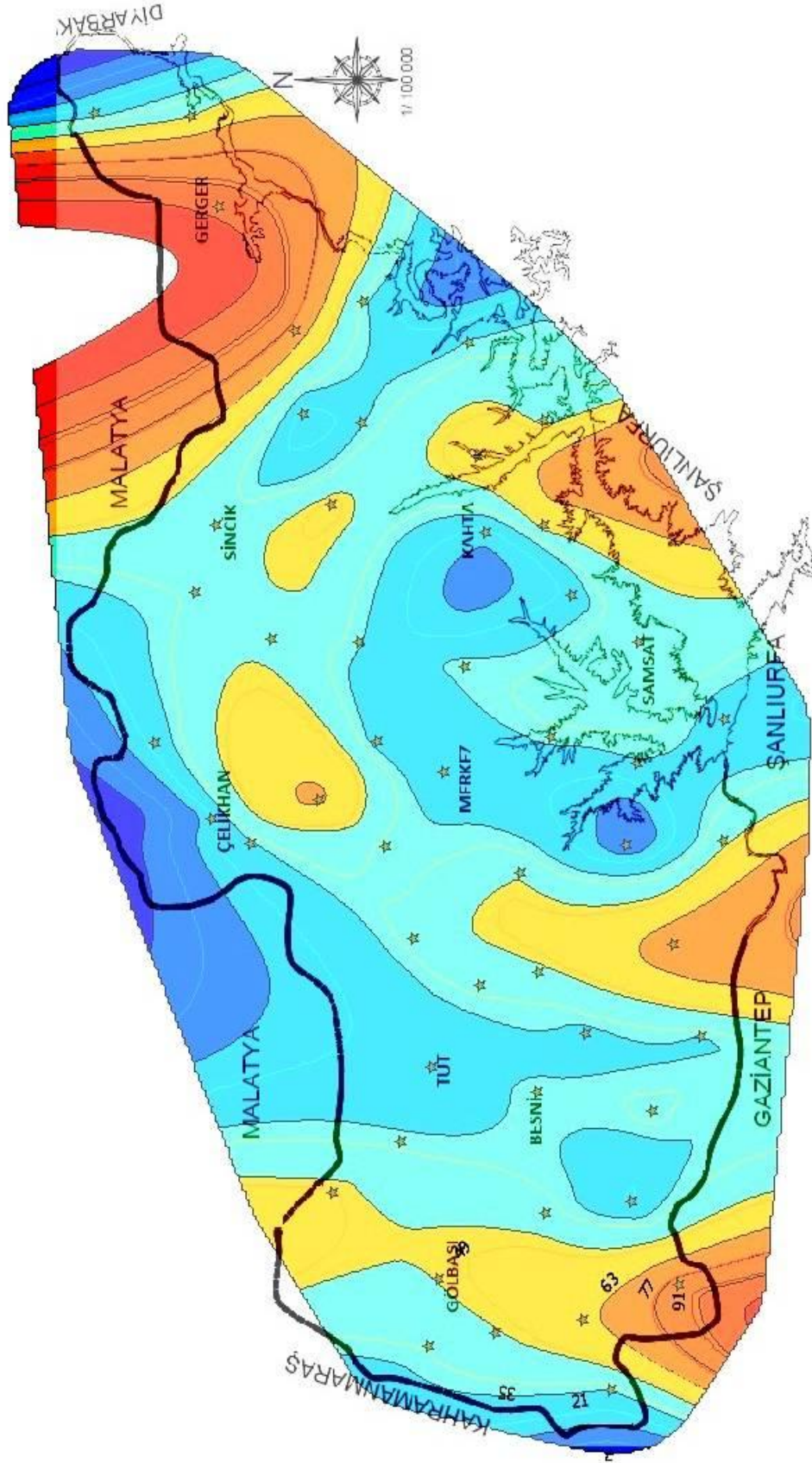
Çizelge 4.10 incelendiğinde dönüşüm katsayıları ve Denklem 4.2 ile elde edilen topraktaki radyoizotopların toplam yıllık etkin doz değerlerinin ortalaması da 38.71 μ Sv/y olarak hesaplanmıştır. Adıyaman il geneli için ortalama yıllık etkin doz 0.03871 mSv/y alınırsa Denklem 4.3'den (ICRP, 1991) Adıyaman ili genelinde topraktaki radyoizotoplardan kaynaklı yaşam boyu kanser riski %0,1258 olarak hesaplanır.

Şekil 4.5’de Adıyaman il genelinde toplanan toprak örneklerinin analizi sonucunda elde edilen radyoaktivitenin yıllık etkin doz değerleri için bir histogram verilmiştir. Görüldüğü gibi örneklerin çoğunluğu 20-50 $\mu\text{Sv/y}$ aralığında yıllık etkin doza yol açmaktadır.

Yapılan analizler sonucu elde edilen veriler, MapInfo Professional 9.5 Software programında işlenerek Adıyaman il geneli topraktaki radyoizotoplar için toplam yıllık doz haritası çizilmiştir (Şekil 4.6). Haritadaki kırmızı renkli çizgi ve bölgeler toprak için toplam yıllık etkin dozun yüksek olduğu alanları temsil etmektedir.



Şekil 4.5. Adıyaman il geneli topraktaki radyoizotoplar için toplam yıllık etkin doz histogramı



Şekil 4.6. Adiyaman il geneli topraktaki radyoizotoplar için toplam yıllık etkin doz haritası ($\mu\text{Sv}/\text{yıl}$)

4.4. Ölçüm Sonuçları Arasındaki İlişkilerin Değerlendirilmesi

Tüm sonuçlarla ilgili korelasyon analiz sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelge 4.11’deki korelasyon yüzdeleri farklı radyasyon ölçüm sonuçları ile ilgili doğrusal ilişkiyi belirlemek için fikir vermektedir. Neden sonuç ilişkisine bağlı olmadan farklı değerlerin doğrusal ilişkisini vermektedir. Pozitif korelasyon, bir değişken artarken diğerinin de arttığını, negatif korelasyon değeri ise bir değişken artarken diğerinin azaldığını ifade eder. Çizelge 4.11’deki veriler analiz edildiğinde, havadaki radyasyon değeri ile rakım değerleri doğrusal olarak diğer verilere göre daha güçlü artmaktadır. Bu güçlü korelasyon kozmik katkının yükseltiyle doğru orantılı değişmesini doğrulamaktadır. Çizelge 4.11’deki korelasyon yüzde sonuçları U-238 ve Th-232 arasındaki doğrusal ilişkinin güçlü olduğunu ifade eder. U-238 ve Th-232 arasındaki güçlü korelasyon her iki radyoaktif serinin mineral kökenli olmasından kaynaklanır. Sudaki alfa ile K-40 arasında pozitif, Th-232 ile negatif korelasyonun güçlü olduğunu ifade eder. Suda beta aktivasyonu ile diğer veriler arasında anlamlı bir korelasyona rastlanmamıştır.

Çizelge 4.11. Tüm ölçüm sonuçları için istatistiki veri analizi

Kıyaslanan veriler	Korelasyon (%)
Hava - Toprak ²³⁸ U	8.4
Hava - Toprak ²³² Th	2.6
Hava - Toprak ⁴⁰ K	10.0
Hava - Rakım	38.2
Toprak ²³⁸ U - Toprak ²³² Th	71.6
Toprak ²³⁸ U - Toprak ⁴⁰ K	31.4
Toprak ²³² Th - Toprak ⁴⁰ K	50.0
Su Alfa - Hava	5.8
Su Alfa - Toprak ²³⁸ U	-10.9
Su Alfa - Toprak ²³² Th	-18.8
Su Alfa - Toprak ⁴⁰ K	20.6
Su Beta - Hava	-1.8
Su Beta - Toprak ²³⁸ U	-2.5
Su Beta - Toprak ²³² Th	-0.3
Su Beta - Toprak ⁴⁰ K	4.3

4.5. Adıyaman İli Zemin Radyasyon Düzeyi

Adıyaman ili zemin radyasyon düzeyi hava, su ve topraktaki ortalama yıllık etkin doz değerlerinin toplamı sonucu 278.15 µSv/y olarak belirlenirken, bu değer doğal zemin radyasyonuna maruziyetten dolayı kanser riskinin %0.9039 olduğunu

göstermektedir. Ancak bu değerlerin havadaki radon aktivitesi kaynaklı maruziyeti içermediği unutulmamalıdır. Bu radyoizotop normal Őartlar altında zemin radyasyon düzeyinin yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Bu sebeple ileriki bir çalışma olarak Adıyaman genelinde havadaki radon-222 aktivitelerinin uygun dedektörlerle ölçülmesi zemin radyasyon düzeyinin tam olarak bilinmesi açısından oldukça önemlidir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Adıyaman ilinin doğal zemin radyasyonunun belirlenmesi amacıyla yapılan bu tez çalışmasında Adıyaman il genelinde ev dışı gama ışınlama doz hızları ile su ve toprak örneklerindeki radyoaktif nüklid konsantrasyonları belirlenmiştir.

Elde edilen verilere göre Adıyaman ilinde 52 ölçüm noktasının dış gama ışınlama doz hızları 6.17 $\mu\text{R/h}$ ile 47.10 $\mu\text{R/h}$ değerleri arasında ölçülürken ortalama değeri 17.42 $\mu\text{R/h}$ olarak bulunmuştur. Bu değerler yardımıyla dış gama soğurulan doz hızlarının ortalama değeri 151.57 nGy/h ve yıllık etkin doz ortalaması 185.89 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçların daha önce yapılan çalışmalarla kıyası Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Adıyaman ili dış gama radyasyonu ölçüm verileri ve literatürdeki verilerin karşılaştırılması

Adıyaman	Soğurulan doz hızı (nGy/h)	Yıllık etkin doz ($\mu\text{Sv/y}$)
Ortalama	151.57	185.89
Standart Sapma	66.98	82.14
Minimum	53.71	65.87
Maksimum	409.77	502.54
Ortanca	143.72	176.26
Diğer Yörelere		
Çanakkale (Kam, 2010)	66.4	81.4
Çankırı (Kapdan, 2011)	69.6	87.7
Gaziantep (Osmanoğlu, 2007)	50.1	61.5
Isparta (Akkurt, 2004)	21.1 - 326.5	25.87 - 400.41
Kastamonu (Kam, 2006)	54.81	67.21
Kırklareli (Taşkın, 2006)	135.086	165.66
Şanlıurfa (Bozkurt, 2007)	60.9	74.7
Tekirdağ (Kam, 2010)	43.85	53.77
Trabzon (Kurnaz, 2011)	59	66
Dünya (UNSCEAR, 2000)	57	69.90

Çizelge 5.1’deki veriler kıyaslandığında Adıyaman ilindeki dış gama kaynaklı radyasyon değerlerinin Türkiye’nin diğer yörelerine kıyasla yüksek çıktığı görülmektedir. Dış gama radyasyonlarının en önemli kaynağı toprak ve kayalardaki

^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi doğal radyonüklitler, az bir kısmı ise ^{137}Cs ve uzay kaynaklı kozmik ışınlardır.

Bu tez çalışmasında iç ışınlamalarda etkili olan ve vücut içi ışınlamayı arttırabilen alfa ile beta parçacıklarının aktivitelerinin incelenmesi de hedeflenmiştir. Bu amaçla Adıyaman il genelinde toplanan 52 su örneğindeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir. Sudaki toplam alfa aktivitesi 0.015 Bq/L ile 0.244 arasında değişirken, ortalama toplam alfa aktivitesi 0.052 Bq/L olarak bulunmuştur. Sudaki toplam beta aktivitesi ise 0.026 Bq/L ile 0.328 Bq/L değerleri arasında olup ortalama toplam beta aktivitesi 0.085 Bq/L olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlarla literatürdeki daha önce yapılan çalışmalar kıyaslamalı olarak Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Adıyaman ili suda toplam alfa beta aktivite konsantrasyonu ölçüm verileri ve literatürdeki verilerin karşılaştırılması

Adıyaman	Toplam alfa (Bq/L)	Toplam beta (Bq/L)
Ortalama	0.052	0.085
Standart Sapma	0.04	0.06
Minimum	0.015	0.026
Maksimum	0.244	0.328
Ortanca	0.04	0.06
Diğer Yörelere		
Adana (Değerlier, 2007)	0.003-0.023	0.019-0.29
Çanakkale (Kam, 2010)	0.0599	0.0841
Çankırı (Kapdan, 2011)	0.25	0.26
Doğu Karadeniz (Damla, 2006)	0.0065	0.1008
Erzincan (Yalçın, 2012)	0.0477	0.104
Gaziantep (Osmanoğlu, 2007)	0.0493	0.1284
İstanbul (Karahana, 1997)	0.023	0.0664
Kastamonu (Kam, 2006)	0.0089	0.271
Kırklareli (Taşkın, 2006)	0.040	0.05
Şanlıurfa (Bozkurt, 2007)	0.038	0.1324
Tekirdağ (Kam, 2010)	0.044	0.1
Dünya Limit Değerleri (WHO, 2004)	0.5	1

Elde edilen verilere göre su örneklerinin toplam alfa aktivitelerinin ortalama değeri 0.052 Bq/L olarak elde edilmiş olup, bu değer WHO’nun tavsiye ettiği 0.5 Bq/L değerinin altındadır. En yüksek alfa aktivitesi Çelikhan ilçesinin Taşdamlar köyünden alınan su örneğinde 0.244 Bq/L olarak belirlenirken, tüm su örnekleri tek tek değerlendirildiğinde alfa aktiviteleri genellikle 0.5 Bq/L değerinin altında ölçülmüştür. Adıyaman ilinde toplanan tüm su örnekleri için ölçülen beta aktiviteleri ortalama değeri olan 0.085 Bq/L WHO’nun tavsiye ettiği 1 Bq/L değerinin oldukça

altındadır. Türkiye’de daha önce yapılan çalışmalarda ölçülen değerlere yakın değerler ölçülmüştür. Adıyaman ilinde toplanan tüm su örnekleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde beta aktiviteleri genellikle 1 Bq/L değerinin çok altındadır. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, genelde toplam alfa ve beta aktivitelerinin düşük çıkması sudaki radyoaktivitenin insan sağlığına etkisi açısından olumludur.

Adıyaman il genelinde bulunan 52 yerleşim biriminden alınan toprak örneklerinin, gama spektrometresi analiz yöntemi ile yapılan radyoaktivite konsantrasyonlarının ölçüm sonuçlarına göre radyonüklit aktivite konsantrasyonu ortalama değerleri ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 17.20 Bq/kg, 18.50 Bq/kg ve 298.33 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Filyon ürünü olan ^{137}Cs için ise aktivite konsantrasyonu ortalama değeri 7.04 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlarla literatürdeki daha önce yapılan çalışmalar karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Adıyaman ili toprak örneklerindeki radyoizotop aktivite konsantrasyonu ölçüm verileri ve literatürdeki verilerin karşılaştırılması

	^{238}U	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
Adıyaman	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)
Ortalama	17.20	18.50	298.33	7.04
Standart Sapma	9.93	10.13	162.84	5.28
Minimum	2.60	1.00	36.80	0.30
Maksimum	44.20	50.50	909.90	23.70
Ortanca	14.70	16.40	274.30	5.80
Diğer Yörelere				
Adana (Değerlier, 2007)	22.3	22.7	305.6	7
Çanakkale (Kam, 2010)	94.55	110.4	1 273	19.39
Çankırı (Kapdan, 2011)	18	22	357	4
Gaziantep (Osmanoğlu, 2007)	25.2	23.7	289.2	8.022
İstanbul (Karahana, 1997)	21	37	342	
Kastamonu (Kam, 2006)	39.93	27.17	431.43	8.02
Kırklareli (Taşkın, 2006)	25.4	39.9	667	8
Şanlıurfa (Bozkurt, 2007)	20.8	24.95	298.61	9.08
Tekirdağ (Kam, 2010)	29	39	580	5.2
Trabzon (Kurnaz, 2011)	41	35	437	21
Dünya (UNSCEAR, 2000)	33	45	420	

Elde edilen verilere göre U-238 radyoizotopunun aktivitelerinin ortalama değeri UNSCEAR’ın ilgili raporundaki U-238’in aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 33 Bq/kg değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000). U-238’in aktivitesi için 6 toprak örneği dışında tüm değerler dünya ortalamasının altında ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde en dikkat çekici sonuç Merkez Koçali köyünden alınan toprak

örneği için ölçülen 44.20 Bq/kg olup, U-238 radyoizotopunun bu aktivite değeri UNSCEAR 2000 raporunda belirtilen ortalama değer olan 33 Bq/kg değerinin üzerindedir. U-238'in aktivitesi için 6 toprak örneği dışında tüm değerler dünya ortalamasının altında ölçülmüştür.

Adıyaman ili toprak örneklerinin Th-232 radyoizotopunun aktivitelerinin ortalama değeri 18.50 Bq/kg olarak elde edilmiş olup, bu değer Th-232 için dünya ortalaması olan 45 Bq/kg değerinin altındadır. Th-232'in aktivitesi için 2 toprak örneği dışında tüm değerler dünya ortalamasının altında ölçülmüştür.

Adıyaman ili toprak örneklerinin K-40 radyoizotopunun aktivitelerinin ortalama değeri 298.33 Bq/kg olarak elde edilmiş olup, bu değer ilgili UNSCEAR raporundaki U-238'in aktivitesi için belirtilen ortalama değer olan 420 Bq/kg değerinin altındadır (UNSCEAR, 2000). K-40'in aktivitesi için 8 toprak örneği dışında tüm değerler dünya ortalamasının altında ölçülmüştür.

Bu çalışmada Adıyaman ili toprak örneklerinin Cs-137 aktivitesi ise 0.30 Bq/kg'dan 23.70 Bq/kg'a değiştiği gözlenmiştir. Cs-137 için ortalama değer ise 7.04 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Adıyaman il genelinde toplanan toprak örneklerinde doğal bir radyoaktif izotop olmayan Cs-137 izotopuna genellikle rastlanmıştır. Cs-137 bulunmasının nedeni nükleer deneme ve kazalar sonucu oluşan radyoaktif serpintilerden kaynaklanmaktadır.

Türkiye için bu alanda daha önce yapılmış çalışmaların ortalama verileri incelendiğinde topraktaki radyoizotopların aktivite konsantrasyonları için ölçülen değerlere Çanakkale'de ölçülen veriler haricinde yakındır. Bu tez çalışması Adıyaman ilinin doğal zemin radyasyonunun belirlenmesi için yapılan ilk çalışmadır. Adıyaman için farklı noktalar belirlenerek toplanan örneklerle ileriki bir çalışma yapılabilir ve bu çalışma ile kıyaslanabilir. Bu çalışma ile yapılmış veya yapılacak bölgesel diğer çalışmaların verileri analiz edilerek sonuçlar çıkarılabilir. Alınan su örnekleri için alfa ve beta aktivitesini saptamak dışında, radyoaktiviteyi artırıcı radyonüklitleri belirlemek için, nötron aktivasyon veya gama spektroskopik analizler

yapılması ileriki çalışmalar için önerilebilir. Ayrıca doğal zemin radyasyonuna önemli bir katkısı olan havadaki Rn-222 gazı konsantrasyonunun da uygun dedektörlerle belirlenmesi önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

- ADİYAMAN VALİLİĞİ. Adıyaman İli Çevre Durum Raporu, 2006.
- AKKURT, I., SEVİN, Z., MAVİ, B., ve KAPLAN, A., 2004. Isparta Bölgesinde Doğal Gamma Radyasyonu Ölçümü. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2):108-110.
- ALPHER, P. A. and HERMAN, R. C., 1953. Origin and Abundance Distribution of Elements, Am. Rev. Nuclear Sci., 2:1-12.
- BOZKURT, A., YORULMAZ, N., KAM, E., KARAHAN, G., and OSMANLIOĞLU, A. E., 2007. Assesment of Environmental Radyoactivity for Sanliurfa Region of Southeastern Turkey. Radiation Measurements, 42(8):1387-1391.
- ÇELEBİ, N., 1995. Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Teniklerinin Geliştirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, s.21-22.
- DAMLA, N., CEVİK, U., KARAHAN, G. and KOBYA, A. I., 2006. Gross alpha and beta activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey. Chemosphere, 62:957–960.
- DEGERLİER M., 2007 Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 175s.
- EISENBUD, M. and PETROW, 1964. Radioactivity in the Atmosferic Effluents of Power Plants That Use Fosil Fuels. Science, pp. 144-288.
- EISENBUD, M., 1987. Environmental radioactivity: From Natural, İndustrial, and Military Sources, Third Ed. Academic Press, San Diego, pp. 10-11.
- GONZALEZ-LABAJO, J., BOLİVAR, J.P., GARCÍA-TENORİO, R., 2001. Natural Radioactivity in Waters and Sediments in Spanish Mining River. Radiation Physiscs and Chemistry, 61: 643-644.
- HENRIKSEN, T. and MAILLIE, H. D., 2003. Radiation and Health, 1st. Ed. Taylor and Francis. London and New York, 226p.
- IAEA, 1990. Isotopes in Everyday Life, IAEA Division of Public Information, International Atomic Energy Agency, IAEA/PI/A6E.
- IAEA, 1996. Radiation Safety, International Atomic Energy Agency, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.
- ICRP, 1991. ICRP Publication 60 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, The International Comission on Radiological Protection, Pergamon Press Inc., USA. pp. 1-20.
- ICRP, 1993. Radon–222 at Home and at Work. Annals of the ICRP, ICRP Publication, No.65, Pergamon, Oxford, UK. pp. 1-23.
- KAM, E. and BOZKURT A., 2006. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 65(4):440–444.

- KAM, E., BOZKURT, A., and ILGAR, R., 2010. A study of background radioactivity level for Canakkale, Turkey. *Environ. Monit. Assess.*, 168:685–690.
- KAM, E., YARAR, Y., and BOZKURT, A., 2010. A study of background radioactivity level for Tekirdag. *Turk Radiat Prot Dosimetry*, 138:40–44.
- KAPDAN, E., TAŞKIN, H., KAM, E., OSMANLIOĞLU, A.E., KARAHAN, G., and BOZKURT A., 2011. A study of environmental radioactivity measurements for Cankiri, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 150(3):398–404.
- KARAHAN, G., 1997. İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 118s.
- KNOLL, G.F., 1989. *Radiation Detection and Measurement*. 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York, 784p.
- KÖKSAL, M.E. ve ÇELEBİ N., 2003. Radon ve Türkiye Evlerinde Radon Ölçümleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi. İstanbul.
- KURNAZ, A., KUCUKOMEROGLU, B., DAMLA, N., and CEVİK, U., 2011. Radiological maps for Trabzon, Turkey. *J. Environ. Radioactiv.* 102:393–399.
- LAPP, R.E. and ANDREWS, H.L., 1972. *Nuclear Radiation Physics*, 4th. Ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey, 447p.
- L'ANNUNZIATA, M.F., 1998. *Handbook of Radioactivity Analysis*, 1st Ed. Elsevier Science & Technology Books Amsterdam, 771p.
- MERDANOĞLU B., 2004. Kestambul (Çanakkale) Civarındaki Su, Toprak ve Granit Örneklerinde Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 70s.
- NCRP, 1977. *Environmental Radiation Measurement*, Report 50. NCRP Publications, National Council on Radiation Protection and Measurements, ISBN.0-913392-32-4.
- NCRP, 1987. *Exposure of The Population in The United States and Canada From Natural Background Radiation*, National Council On Radiation Protection And Measurements, Report 94. NCRP Publications, ISBN.0-913392-93-6.
- NCRP, 1989. *Guidance on Radiation Received in Space Activities*, Report 98. NCRP Publications, National Council on Radiation Protection and Measurements, ISBN.0-913392-96-0.
- OSMANLIOGLU, A.E., KAM, E., and BOZKURT, A., 2007. Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of Southeastern Turkey. *Radiat. Prot. Dosim.* 24:407–410.
- RESMİ GAZETE, 2000. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. 23999, Ankara.
- RESMİ GAZETE, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. 25730, Ankara.
- SCOTT, M.R., 1982. *The Chemistry of U- and Th-series Nuclides in Rivers. Uranium Series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems* (Editors: Ivanovich M., Harmon, R.S.) Oxford Univ. Press, Oxford, pp. 181-201.
- TAEK, 1985. *Tıp ve Biyolojik Bilimlerde Radyasyon Korunması Kurs Notları*, Teknik Rapor No:32, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, İstanbul.

- TAEK, 1998. Türkiyede Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.
- TAEK, 2006. Türkiyede Çernobil Sonrası Radyasyon ve Radyoaktivite Ölçümleri. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.
- TAŞKIN, H., 2006. İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması. Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 102s.
- THORNE, M.C., 2003. Background radiation: Natural and man-made. Journal of Radiological Protection, 23:29-42.
- TSOULFANİDİS, N., 1995. Measurement and Detection of Radiation. McGraw-Hill Company, New York, USA.
- UNSCEAR, 1982. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, New York, pp. 84-89.
- UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. New York.
- VALKOVİC, V., 2000. Radioactivity in the Environment. ISBN 0444829547. Ruder Boskovic Institute, 1st Ed., Zagreb, Croatia. 680p.
- WHO, 2004. Guedlines for Drinking Water Quality, third edition. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- YALÇIN, P., TAŞKIN, H., KAM, E., TAŞKIN, H., TERZİ, M., VARINLIOĞLU, A., BOZKURT, A., BAŞTUĞ, A., and TAŞDELEN, B., 2012. Investigation of radioactivity level in soil and drinking water samples collected from the city of Erzincan, Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 292(3):999-1006.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmir ve Şanlıurfa'da tamamladı. 1995 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi, Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmeliği Bölümü'nü kazanarak, 2000 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı bir okulda öğretmen olarak göreve başladı. Mart 2011'de Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapma hakkını kazandı. Evli ve iki çocuk babasıdır.

ÖZET

Dünya üzerinde var olan her madde az bir miktar dahi olsa radyoaktif atomlar içermektedir. Yer kabuğu, solunan hava, içilen ve kullanılan su, gıdalar ve güneş sistemi doğal radyasyon kaynaklarını oluşturur. İnsanların yaşadıkları çevrede doğal ya da yapay olarak maruz kaldığı radyasyon *doğal fon* düzeyini veya *artalan* denilen doğal zemin radyasyon düzeyini oluşturur. Bir yerin fon radyasyon düzeyi, o bölgenin coğrafi ve jeolojik yapısına, deniz seviyesinden yüksekliğine, toprak ve kayaların mineral yapılarına bağlı olarak farklılıklar gösterir. Bunun yanında tıpta ve endüstride kullanılan radyoaktif maddeler, nükleer silah denemeleri, nükleer santrallerdeki sızıntı ve kazalar da zemin radyasyon düzeyinin artışına sebep olur.

Normal bir bölgede doğal yollardan alınan doz kişi başına yaklaşık olarak yıllık 2.4 mSv civarındadır (IAEA, 1996). Bu değer %82'sinin sebebi doğal radyasyon kaynaklarıdır. O halde bir bölgenin veya yerin zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesi için öncelikle o yerin toprağında, suyunda ve havasında bulunan radyoaktivite miktarlarının ölçülmesi gerekmektedir (UNSCEAR, 1982).

1986 yılında gerçekleşen Çernobil nükleer santral kazasından sonra, ülkemizin öncelikle bu kazadan etkilenen bölgelerinde doğal zemin radyasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (TAEK, 1998). Bunun yanı sıra, son yıllarda diğer bazı illerimizde de benzer çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Dünya genelinde yapılan nükleer silah denemeleri ile 2011 yılında Japonya'nın Fukuşima şehrinde gerçekleşen deprem ve tsunami sonucu meydana gelen kazalar gibi yeni nükleer santral kazaları da Türkiye'deki doğal fon düzeyini sürekli olarak değiştirebileceğinden, doğal zemin radyasyonunun belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça önemlidir.

Bu tez çalışmasında, turistik ve doğal güzellikler açısından Türkiye'nin önemli bir ili olan Adıyaman'ın il merkezi, ilçe ve köylerini kapsayan bir alan seçilmiştir ve 52 örnekleme noktası için deneysel olarak ev dışı gama ışınlama hızları ile su ve toprak örneklerindeki radyonüklit konsantrasyonları belirlenmiştir.

Dış gama ışınlama hızları 6.17 $\mu\text{R/h}$ ile 47.1 $\mu\text{R/h}$ değerleri arasında ölçülmüş ve ortalama değer 17.42 $\mu\text{R/h}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer yıllık 185.89 μSv değerinde etkin doz ortalamasına karşılık gelmektedir. Sudaki toplam alfa aktivitesi 0.015 Bq/L ile 0.244 arasında değişirken ortalama toplam alfa aktivitesi 0.052 Bq/L olarak elde edilmiştir. Sudaki toplam beta aktivitesi ise 0.026 Bq/L ile 0.328 Bq/L değerleri arasında olup ortalama toplam beta aktivitesi 0.085 Bq/L olarak bulunmuştur. Sudaki toplam alfa ve beta aktivitelerine karşılık gelen yıllık etkin doz 53.55 μSv olarak belirlenmiştir. İl genelinde toplanan toprak örneklerinin ortalama radyonüklit aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla 17.2 Bq/kg, 18.5 Bq/kg ve 298.33 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Filyon ürünü olan ^{137}Cs için ise ortalama aktivite konsantrasyonu 7.04 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklitleri için toplam yıllık etkin doz 38.71 μSv olarak belirlenmiştir. Türkiye'de daha önce yapılan çalışmalar ve dünya ortalamaları dikkate alındığında Adıyaman genelinde hava doz hızı ortalaması yüksek çıkmış, su ve toprak radyoaktiviteleri ise ortalama değerlere yakın bulunmuştur.

SUMMARY

Matter existing on earth contains radioactive atoms to some extent. Earth's crust, air inhaled, water consumed, food and solar system all form natural radiation sources. Natural or artificial radiation to which human beings are exposed in their environment constitutes the background radiation level. This varies depending on the geographical and geological structure, altitude, and mineral forms of soil and rocks. In addition, radioactive materials used in medicine or industry, nuclear weapons tests, leakages from nuclear power stations and accidents also contribute to background radiation.

Radiation dose absorbed in a region is about 2.4 mSv per person annually (IAEA, 1996). Natural radiation sources are responsible for 82% of this. For this reason, determining the background radiation level in a region starts with measuring radioactivity in its soil, water and air. (UNSCEAR, 1982).

After the Chernobyl nuclear power station accident, there were studies carried out in the affected parts of Turkey to determine natural background radiation (TAEK, 1998). Moreover, similar studies were recently performed in other cities of the country. Because nuclear weapon tests and new nuclear accidents like Fukushima 2011 can continuously increase the natural background level in Turkey, studies related to determining natural background radiation are considered to be significant.

In this thesis study, a region covering the provincial center, townships and villages of Adiyaman, which is a city known for its natural beauties as well as touristic attractions, was selected and for 52 sampling locations outdoor gamma exposure rates and radionuclide concentrations in water and soil samples were experimentally obtained.

Outdoor gamma exposure rates were measured in the range 6.17 $\mu\text{R/h}$ and 47.1 $\mu\text{R/h}$ and the average was calculated as 17.42 $\mu\text{R/h}$. This value corresponds to an annual effective dose of 185.89 μSv . Gross alpha activity in water varied between 0.015 Bq/L

and 0.244, the average being 0.052 Bq/L. Gross beta activity in water ranged between 0.026 Bq/L and 0.328 Bq/L and their average was found as 0.085 Bq/L. The annual effective dose corresponding to total alpha and beta activity in water was found to be 53.55 μ Sv. Average radionuclide activity concentrations in the soil samples collected were determined as 17.2 Bq/kg, 18.5 Bq/kg and 298.33 Bq/kg for ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K , respectively. For the fission product ^{137}Cs the average activity concentration was found as 7.04 Bq/kg. For ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K radionuclides, the total annual effective dose was determined as 38.71 μ Sv. In comparison with previous studies done in Turkey and the world averages, outdoor gamma exposure rates were found to be higher and water and soil radioactivities were observed to be about the averages.