

150093

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ YÖRESİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ

150093

Cumhur CANBAZOĞLU

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2004

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ YÖRESİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ

Cumhur CANBAZOĞLU

DOKTORA TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenmiştir (FÜBAP-Proje No: 591)

ELAZIĞ, 2004

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ YÖRESİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ

Cumhur CANBAZOĞLU

Doktora Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Bu tez, 07/10/2004 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oy birliği ile başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof.Dr. Mahmut DOĞRU

Üye: Prof.Dr. Osman ADIGÜZEL (Jüri Başkanı)

Üye: Prof.Dr. Bülent GÖNÜL

Üye: Prof.Dr. Mehmet CEYLAN

Üye: Prof.Dr. Vedat TANYILDIZI

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nu 22/10/2004... tarih ve 2004-62/04... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışmanım sayın Prof.Dr. Mahmut DOĞRU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Radon detektörlerinin hazırlanması, kalibrasyonu ve analizleri esnasındaki değerli katkı ve yardımlarından dolayı ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölüm Başkanı Dr. Nilgün ÇELEBİ ve Teknisyen Güner KOPUZ'a teşekkür ederim. Bunların yanı sıra, iso-radyoaktivite haritalarının çizimi ile tezime önemli katkı sağlayan ve bilgilerinden faydalandığım Dr. Gürsel KARAHAN'a teşekkürlerimi sunarım. Sonuçların jeolojik formasyonlar açısından değerlendirilmesi sırasında yardımlarından faydalandığım Arş.Gör. M. Taner Şengül'e ve doktora tezimde emeği olan herkese ayrı ayrı teşekkür ederim.

FÜBAP-591 nolu proje çerçevesinde bu çalışmayı destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim. Ayrıca, doktora çalışmamın radon bölümüne ortak araştırma projesi ile destek veren Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Bana her türlü desteği sağlayan ve büyük özverilerde bulunan sevgili eşime ve kıymetli aileme saygı ve şükranlarımı sunarım.

Cumhur CANBAZOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLolar LİSTESİ.....	VII
SİMGELER LİSTESİ.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. RADYASYON VE BİRİMLERİ.....	5
2.1 Radyasyon Çeşitleri.....	5
2.1.1 Alfa Işınları.....	5
2.1.2 Beta Işınları.....	6
2.1.3 X ve Gama Işınları.....	6
2.1.4 Nötronlar.....	6
2.2 Radyoaktivite.....	7
2.3 Radyasyon Birimleri.....	7
2.3.1 Radyoaktivite Birimleri.....	8
2.3.2 Işınlama Birimi.....	8
2.3.3 Soğurulan Doz Birimi.....	8
2.3.4 Eşdeğer Doz Birimi.....	8
2.4 Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları.....	9
2.4.1 Radyasyon Görevlileri İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları.....	9
2.4.2 Toplum Üyesi Kişiler İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırı.....	9
3. RADYASYON ALGILAMA YÖNTEMLERİ.....	10
3.1 Gaz Doldurulmuş Tüp Algılayıcılar.....	10
3.1.1 İyonizasyon Odaları.....	10
3.1.2 Orantılı Sayıcılar.....	11
3.1.3 Geiger Mülller (G-M) Sayıcıları.....	11
3.2 Sintilasyon Algılayıcıları.....	12
3.2.1 NaI (Tl) Sintilatörleri.....	12

3.2.2	ZnS Sintilatörleri.....	13
3.2.3	Plastik Sintilatörler.....	13
3.3	Nükleer İz Algılayıcıları.....	14
3.3.1	Kimyasal Kazıma.....	14
3.3.2	Optiksel İz Sayım Sistemleri.....	15
3.4	Algılayıcı Verimi.....	16
3.5	Algılama Verimi.....	16
4.	DOĞADAKİ RADYONÜKLİTLER.....	19
4.1	Karasal Radyonüklitler.....	19
4.1.1	Kaya ve Topraklardaki Radyoaktivite.....	23
4.1.2	Sulardaki Radyoaktivite.....	27
4.1.2.1	Yeraltı Sularındaki Radyoaktif Elementler.....	28
4.1.2.2	Uranyum, Toryum ve Radon'un Hidrokimyası.....	28
4.1.2.3	İçme Sularındaki Radyoaktivite Limitleri.....	29
4.1.3	Havadaki Radyoaktivite.....	30
4.1.4	Gıdalardaki Radyoaktivite.....	32
4.1.5	Radon.....	33
4.1.5.1	Bina İçi Radon Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri.....	37
4.2	Kozmojenik Radyonüklitler.....	37
4.3	Radyoaktivitenin Diğer Kaynakları.....	40
4.4	Radyonüklitlerin Taşınması.....	41
4.5	İnsan Vücudundaki Doğal Radyonüklitler.....	43
5.	MATERYAL VE METOT.....	44
5.1	Örneklerin Alınması.....	44
5.2	Örneklerin Sayıma Hazır Hale Getirilmesi.....	46
5.2.1	Su Örnekleri.....	46
5.2.2	Toprak Örnekleri.....	46
5.2.3	Gıda Örnekleri.....	47
5.2.4	Hava Örnekleri.....	48
5.3	Havada Doğrudan Gama Dozu Ölçümleri.....	48
5.4	Kullanılan Sayım Sistemleri ve Algılayıcılar.....	49
5.4.1	7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı.....	49
5.4.2	Penceresiz Sintilasyon Sayacı.....	49
5.4.3	BP4 Beta Proflu Sintilasyon Sayacı.....	50
5.4.4	Gama Hassas Sintilasyon Sayacı.....	50

5.4.5	ASP2e Portatif Radyasyon Monitör Cihazı.....	50
5.4.6	CR-39 Radon Algılayıcıları.....	50
5.5	Örneklerin Aktivite Konsantrasyonları.....	51
5.5.1	Sayma Hataları.....	51
5.5.2	Verim Düzeltmeleri.....	51
5.5.3	Örneklerin Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması.....	52
5.6	Evlerde Radon Gazı Ölçümü.....	52
5.6.1	CR-39 Radon Algılayıcılarının Hazırlanması.....	53
5.6.2	CR-39 Radon Algılayıcılarının Kalibrasyonu.....	53
5.6.3	CR-39 Radon Algılayıcılarının Analizleri.....	53
5.6.4	Radon Gazı Aktivite Konsantrasyonunun Hesaplanması.....	54
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
6.1	Elazığ İl Merkezinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	55
6.1.1	Elazığ İl Merkezi İçme ve Kullanma Sularının Radyoaktivite Seviyeleri....	55
6.1.2	Elazığ İl Merkezi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	58
6.1.2.1	Toprak Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktiviteleri.....	58
6.1.2.2	Toprak Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları....	61
6.1.3	Elazığ İl Merkezi Gıda Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	64
6.1.3.1	Gıda Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktiviteleri.....	64
6.1.3.2	Gıda Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{40}K Konsantrasyonları.....	67
6.1.4	Elazığ İl Merkezi Ev İçi Radon Gazı Konsantrasyonları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.....	74
6.1.5	Elazığ İl Merkezi Gama Radyasyon Doz Hızı Değerleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.....	80
6.2	Elazığ İlçe Merkezlerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	85
6.2.1	Sivrice İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	85
6.2.2	Maden İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	89
6.2.3	Baskil İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	92
6.2.4	Keban İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	96
6.2.5	Ağın İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	99
6.2.6	Alacakaya İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	102
6.2.7	Kovancılar İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	105

6.2.8	Arıcak İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	107
6.2.9	Karakoçan İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	109
6.2.10	Palu İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri.....	112
7.	SONUÇLAR	116
7.1	Elazığ İli Su Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	116
7.2	Elazığ İli Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	120
7.3	Elazığ İli Gıda Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	122
7.4	Elazığ İli Hava Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri.....	124
7.5	Elazığ İli Gama Radyasyon Doz Hızı Değerleri.....	127
7.6	Elazığ İli Ev İçi Radon (^{222}Rn) Gazı Konsantrasyonları.....	130
	KAYNAKLAR	133
	ÖZGEÇMİŞ	143



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Farklı voltaj bölgelerinin şematik gösterimi [17].....	11
Şekil 3.2: Bir plastik sintilatör algılayıcısının elektronığı [17, 19].....	14
Şekil 3.3: Tam Enerji Pik verim eğrisi [17].....	17
Şekil 4.1: Bina dışı radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri.....	35
Şekil 4.2: Bina dışı radon konsantrasyonunun günlük değişimleri.....	35
Şekil 4.3: Almanya’da bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi [61].....	38
Şekil 4.4: Hindistan’da bina içi radon seviyelerinin yıllık değişimi [62].....	38
Şekil 4.5: Çevreye yayılmış radyoaktif kaynaklar ve sağlık etkileri arasındaki temel yollar [25].....	42
Şekil 4.6: Yüzey ve yer altı sularına geçmiş (direkt ya da toprak yoluyla) radyoaktif maddeler ve insan arasındaki yollar [64].....	42
Şekil 4.7: Radyoaktif maddelerin hava ile insana geçiş yolları [64].....	43
Şekil 5.1: Elazığ il merkezi ve ilçeleri ile şehrin komşu olduğu illeri gösteren harita.....	44
Şekil 5.2: TGA analiz sonuçlarını gösteren örnek bir grafik.....	48
Şekil 6.1: Elazığ il merkezi sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	56
Şekil 6.2: Elazığ il merkezi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	59
Şekil 6.3: Elazığ il merkezi toprak örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları.....	62
Şekil 6.4: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	65
Şekil 6.5: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları.....	71
Şekil 6.6: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{226}Ra konsantrasyonları.....	71
Şekil 6.7: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{137}Cs konsantrasyonları.....	73
Şekil 6.8: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları.....	73
Şekil 6.9: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{137}Cs ve ^{40}K konsantrasyonları.....	74
Şekil 6.10: Elazığ il merkezindeki evlerin oturma ve yatak odası radon konsantrasyonları.....	78
Şekil 6.11: Elazığ il merkezindeki evlerin ortalama radon konsantrasyonları.....	78
Şekil 6.12: Elazığ il merkezi BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	81
Şekil 6.13: Sivrice ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	87

Şekil 6.14: Maden ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	91
Şekil 6.15: Baskil ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	94
Şekil 6.16: Keban ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	98
Şekil 6.17: Ağın ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	101
Şekil 6.18: Alacakaya ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	104
Şekil 6.19: Kovancılar ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	106
Şekil 6.20: Arıcak ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	109
Şekil 6.21: Karakoçan ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	111
Şekil 6.22: Palu ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.....	114
Şekil 7.1: Elazığ ili su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	116
Şekil 7.2: Elazığ ili su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası....	119
Şekil 7.3: Elazığ ili su örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası....	119
Şekil 7.4: Elazığ ili toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri...	120
Şekil 7.5: Elazığ ili toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.....	123
Şekil 7.6: Elazığ ili toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.....	123
Şekil 7.7: Elazığ ili hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri....	124
Şekil 7.8: Elazığ ili hava örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.....	126
Şekil 7.9: Elazığ ili hava örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.....	126
Şekil 7.10: Elazığ ili ortalama gama radyasyon doz hızı değerleri.....	127
Şekil 7.11: Elazığ ili ortalama gama radyasyon doz hızı değerlerinin yıllık etkin doz eşdeğerine katkıları.....	128
Şekil 7.12: Elazığ ili gama radyasyon doz hızı değerlerinin düzey haritası.....	129
Şekil 7.13: Elazığ ili ev içi ortalama ^{222}Rn konsantrasyonları [93].....	130
Şekil 7.14: Elazığ ili ortalama ^{222}Rn konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerine katkıları.....	131
Şekil 7.15: Elazığ ili ev içi radon gazı konsantrasyonlarının düzey haritası.....	132

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: İyonlaştırıcı radyasyonlar ve özellikleri.....	5
Tablo 2.2: İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.....	7
Tablo 2.3: Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri.....	9
Tablo 4.1: Doğal radyoaktif seriler ve onların bazı parametreleri.....	20
Tablo 4.2: Bazı kayalar ve topraktaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U 'nun kütle ve aktivite konsantrasyonları.....	21
Tablo 4.3: Topraktaki doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları ve havadaki ilgili absorplanmış doz hızı.....	21
Tablo 4.4: Gıda ve havadaki bazı karasal radyonüklitlerin referans aktiviteleri.....	22
Tablo 4.5: Bazı karasal radyonüklitlerin yıllık referans aktiviteleri ve yetişkinler için ilgili doz değerleri.....	22
Tablo 4.6: Gıdalardaki bazı doğal radyonüklitlerin yüksek aktivite konsantrasyonları.....	23
Tablo 4.7: Değişik kaynakların içilebilir sularındaki bazı doğal karasal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları [29].....	24
Tablo 4.8: Bazı ülkeler için ev içi ve ev dışı gama doz hızı değerleri.....	25
Tablo 4.9: İçme suları için uluslararası ve ulusal kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları.....	29
Tablo 4.10: Bireylerin değişik kaynaklardan maruz kaldığı ortalama radyasyon dozları.....	31
Tablo 4.11: ^{222}Rn , ^{220}Rn ve kısa ömürlü bozulma ürünlerinin alfa bozunum parametrelerinin bazıları.....	34
Tablo 4.12: Doz katsayıları ve yıllık efektif dozlar ile birlikte ^{222}Rn , ^{220}Rn ve onların bozulma ürünlerinin dünya genelindeki ortalama konsantrasyonları.....	36
Tablo 4.13: Bazı ülkeler için evlerdeki ^{222}Rn konsantrasyonları ve yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri.....	36
Tablo 4.14: Hedef elementler ve yarı ömürleri ile önemli kozmojenik radyonüklitler.....	39
Tablo 4.15: Kozmojenik radyonüklitlerin yıllık vücut içerisine alınan aktiviteleri ve yetişkinler için yıllık efektif doz değerleri.....	39
Tablo 6.1: Elazığ il merkezi sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	56
Tablo 6.2: Elazığ il merkezi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	59
Tablo 6.3: Elazığ il merkezi toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.....	62
Tablo 6.4: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	65

Tablo 6.5: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin özellikleri.....	67
Tablo 6.6: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{40}K konsantrasyonları.....	68
Tablo 6.7: Elazığ il merkezindeki evlerin radon gazı konsantrasyonları.....	75
Tablo 6.8: Elazığ il merkezi çevresel gama radyasyon doz hızı değerleri.....	80
Tablo 6.9: Elazığ il merkezi bina içi (Bİ) ve bina dışı (BD) gama radyasyon doz hızı değerleri.....	83
Tablo 6.10: Sivrice ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	85
Tablo 6.11: Sivrice ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	87
Tablo 6.12: Maden ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	90
Tablo 6.13: Maden ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	91
Tablo 6.14: Baskil ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	92
Tablo 6.15: Baskil ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	94
Tablo 6.16: Keban ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	97
Tablo 6.17: Keban ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	98
Tablo 6.18: Ağın ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	100
Tablo 6.19: Ağın ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	101
Tablo 6.20: Alacakaya ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	103
Tablo 6.21: Alacakaya ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	104
Tablo 6.22: Kovancılar ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	106
Tablo 6.23: Kovancılar ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	106

Tablo 6.24: Arıcak ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	108
Tablo 6.25: Arıcak ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	109
Tablo 6.26: Karakoçan ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	110
Tablo 6.27: Karakoçan ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	111
Tablo 6.28: Palu ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.....	112
Tablo 6.29: Palu ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.....	114
Tablo 7.1: Elazığ ili su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	116
Tablo 7.2: Elazığ ili toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	120
Tablo 7.3: Elazığ ili gıda örneklerinin radyoaktivite seviyelerinin dağılımları.....	122
Tablo 7.4: Elazığ ili hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.....	124
Tablo 7.5: Elazığ ili ortalama gama radyasyon doz hızı değerleri ve yıllık etkin doz eşdeğeri.....	127
Tablo 7.6: Elazığ ili ev içi ortalama ²²² Rn konsantrasyonları ve yıllık etkin doz eşdeğeri [93].....	130

SİMGELER LİSTESİ

A: Aktivite

B: Geri Saçılma için Düzeltme Faktörü

E: Sayma hızlarının toplama ve çıkarılması hallerinde toplam veya farkın hatası

E_s: Standart Sapma

G: Geometri için Düzeltme Faktörü

KF: Kalibrasyon Faktörü

N: Detektör tarafından algılanan radyoaktif parçacık sayısı

RK: Radon Konsantrasyonu

S: Ölçüm periyodu boyunca kaynak tarafından yayınlanan radyoaktif parçacık sayısı

T: Self-Absorpsiyon için Düzeltme Faktörü

V: Verim

VDF: Verim Düzeltme Faktörü

Z: Atom Numarası

ϵ_{ep} : Esas Pik Verimi

ϵ_{esas} : Esas Verim

ϵ_{mutlak} : Mutlak Verim

ϵ_{pik} : Pik Verimi

ϵ_{top} : Toplam Verim

Ω : Katı Açısı

ÖZET

Doktora Tezi

ELAZIĞ YÖRESİNDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE TAYİNİ

Cumhur CANBAZOĞLU

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

2004, Sayfa: 143

Bu çalışmada, Elazığ yöresinin doğal radyoaktivite seviyesi tespit edilmiştir. Bu amaçla; Elazığ il ve ilçe merkezlerinden su, toprak, hava ve gıda örnekleri alınmış, sayıma hazır hale getirildikten sonra uygun algılama sistemleri ile radyoaktivite seviyeleri tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, karasal kaynaklı gama radyasyon doz hızı ölçümleri de yapılmıştır. Bunlara ek olarak, pasif algılayıcılar olan CR-39 detektörleri kullanılarak il merkezini karakterize edebilecek şekilde seçilmiş olan evlerde ^{222}Rn gazı konsantrasyonları farklı oda ve katlar için belirlenmiştir. Elde edilen veriler ulusal ve uluslar arası standartlar ile karşılaştırılmış ve Elazığ yöresinin doğal radyoaktivite seviyesini su, toprak ve hava için gösteren iso-radyoaktivite haritaları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elazığ, İso-radyoaktivite haritası, CR-39, Radyoaktivite, Radon.

ABSTRACT

PhD Thesis

THE NATURAL RADIOACTIVITY DETERMINATION IN ELAZIG DISTRICT

Cumhur CANBAZOĞLU

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics Department

2004, Page: 143

In this study, the natural radioactivity of Elazığ district was determined. For this purpose, the samples of water, soil, air and food were collected from Elazığ and its county centres then they prepared to be convenient for counting their radioactivity levels by using the suitable detection systems. Additionally, terrestrial gamma radiation dose rates of the area were also determined. In addition to those measurements, different types of the houses from various locations of the city centre were selected to be representing the city's houses and their ^{222}Rn concentration in different rooms and floors was determined by using CR-39 passive detectors. The obtained data were compared to the national and international standards and the natural iso-radioactivity maps of water, soil and air for Elazığ city and its surrounding were drawn.

Keywords: Elazığ, Iso-radioactivity map, CR-39, Radioactivity, Radon.

1. GİRİŞ

Radyoaktivite doğanın bir parçasıdır, çünkü elementlerin hem kararlı hem de radyoaktif izotopları yıldızlarda meydana gelen nükleer reaksiyonlar ile şekillenir. Bu nedenle elementlerin izotopik kompozisyonları onların oluşumunu sağlayan nükleer reaksiyonların özellikleri ile karakterize edilir. Yaşının yaklaşık olarak $4,5 \times 10^9$ yıl olduğu tahmin edilen dünya gezegeninin doğal bileşimi, kimyasal bir dengenin söz konusu olmadığı maddelerden oluşmuştur. Bu nedenle, doğada dünya yaşından daha uzun yarı ömürlü radyonüklitler olduğundan sürekli yeni radyoizotoplar üreten doğal süreçlerden bahsedilebilir. Tabiattaki en basit çekirdek olan hidrojen dışında diğer bütün çekirdekler proton ve nötronlardan oluşur. Nötronların protonlara oranı kararlılık çizgisi üzerindeki daha hafif izotoplar için 1'dir ve periyodik tablonun sonundaki elementlere yaklaştıkça ya da kararlılık çizgisinden uzaklaştıkça bu oran artar. Bu oran arttıkça kararsız izotopların olduğu bölgeye yaklaşılr. En ağır kararlı çekirdek ^{209}Bi 'dir. Bu çekirdekten daha ağır olan çekirdekler kararsızdırlar ve çevreye yayabilecekleri fazla enerjileri vardır. Kararsız çekirdekler radyonüklitler olarak adlandırılırlar ve radyasyon yayımı ile fazla miktardaki enerjilerini ortama yayarlar. Bu süreç radyoaktivite ya da radyoaktif bozunma olarak adlandırılır [1].

Radyoaktivitenin keşfinden beri onun insanlar üzerindeki olumsuz etki ve faydaları sürekli olarak tartışılmıştır. Teknoloji gelişimi; hem enerji üretimi hem de nükleer silah imalatı ve denemesinde özellikle fisyon ve füzyon gibi nükleer süreçlerin kullanımıyla, radyoaktivite ile çevrenin nadiren de olsa kirlenmesine sebep olmuştur. Bunlara ek olarak insanların maruz kaldığı pek çok iyonlaştırıcı radyasyon kaynağı; doğal kaynaklar, nükleer patlamalar, nükleer güç üretimi, radyasyonun medikal, endüstriyel ve araştırma amaçlı kullanımı ve radyasyon yayan tüketici ürünleri olarak sıralanabilir.

Teknolojinin kullanımı doğal radyasyona maruz kalmayı önemli derecede değiştirebilmektedir. Teknoloji kullanımıyla ortaya çıkan aktiviteler arasında termik santraller ile elektrik üretimi, fosfat gübrelerinin kullanımı ve teknolojik pek çok tüketici ürünleri sayılabilir. İnsan yapımı (suni) radyoaktivite günlük hayatımızda pek çok yararlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Suni radyoaktivitenin en yaygın olarak kullanıldığı alanlar özellikle hastalıkların teşhis ve tedavisini amaçlayan medikal uygulamalardır.

Toplum için radyasyon dozunu hesaplamada, önce radyonüklitin aktivitesinin kesin olarak bilinmesi gerekir. Çevreye yayılan radyasyondan dolayı toplumun maruz kaldığı dozu belirlemek için, alınmış olan dozdan dolayı oluşabilecek klinik sağlık etkileri değerlendirilmeli ve sonuçta çevredeki kirlenme miktarı belirlenerek toplumu korumak için gerekli olan önlemler alınmalıdır.

Çevresel örneklerde radyonüklitlerin belirlenmesi insan sağlığının korunması bakımından oldukça önemlidir. Bu, kazara radyoaktivitenin çevreye yayılması durumunda Çernobil nükleer reaktör kazasında olduğu gibi özel bir hal alır. Durumun değerlendirilebilmesi için çevreye yayılmış değişik radyonüklitlerin güvenilir ve pratik tekniklerle analizlerinin yapılması gerekir.

Radyoaktivitenin ölçülmesi ve algılanması ile ilgili olarak geliştirilmiş bütün cihazların çalışma prensipleri radyasyonun madde ile etkileşmesi esasını temel alır. Radyasyon-madde etkileşim süreçlerinin anlaşılması, bir çok radyasyon algılayıcısının geliştirilmesini sağlamıştır. Radyonüklit konsantrasyonlarının ölçülmesi için kullanılan metotların sayısı oldukça fazladır. Bununla birlikte bir birinden farklı bir kaç tekniğin bir arada kullanılması ölçümlerde daha iyi sonuçların alınmasını sağlar.

İnsanlar, her zaman doğal radyoaktif kaynak orijinli çevresel radyasyonlara (karasal gama radyasyonu, kozmik ışınlar, vs.) maruz kalırlar. Çevresel radyasyonlara maruz kalmaya en büyük katkı ise radon gazı ve onun kız çekirdeklerinden gelir. Bina içindeki radon gazından dolayı ortaya çıkan radyasyon dozu, dünya üzerindeki bütün toplumlar tarafından alınmış olan toplam doğal radyasyon dozunun büyük bir kısmını oluşturur.

Doğal radyoaktif kaynaklar genel olarak, kara ve uzay kökenli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Karasal radyasyonlar temelde güneş sisteminin oluşumunun ilk aşamasında var olan radyoaktif çekirdeklerden kaynaklanır. Bununla birlikte; uranyum, toryum ve potasyum doğal karasal kaynaklı radyoaktiviteye esas katkı sağlayan radyoaktif elementlerdir. Uranyum, ^{238}U ve ^{235}U olmak üzere iki adet birincil izotopa sahiptir. Tabiatta ^{238}U %99,3 oranında, ^{235}U ise %0,7 oranında bulunmaktadır. Potasyum üç izotopa (^{39}K , ^{40}K ve ^{41}K) sahip iken toryum sadece bir izotopa sahiptir. Bu izotoplardan ^{40}K toplam potasyum içinde %0,012 bollukta bulunur ve radyoaktiftir [2].

Çevresel radyasyona katkı sağlayan bu gibi doğal radyonüklitlerin (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) kütle aktivite konsantrasyonları toprak ve kaya tiplerine göre değişir. Kütle aktivite konsantrasyonu, yerden 1 m yükseklikte havadaki absorplanmış doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir [3]. Bu nedenle havada ölçülen radyasyon dozu topraktaki radyonüklit konsantrasyonları ile yakından ilgilidir. Volkanik kayaların kütle aktivite konsantrasyonları tortul kayalarinkine nazaran daha yüksektir. Bununla birlikte tortul ve fosfat kayalar da oldukça yüksek kütle aktivite konsantrasyonlarına sahiptirler. Başkalaşım kayaları ise oluştukları kayaların içerdiği konsantrasyonlara sahiptirler [4]. Bununla birlikte; ^{238}U , ^{232}Th ve onların azalma serileri ile ^{40}K orijinli karasal kaynaklı gama radyasyonu kristal kayalardan oluşan bölgelerde sedimentel bölgelere nazaran daha yüksektir [5].

Kozmik radyasyonlar, farklı enerjilerde yayınlanan ve değişik yüklerde olan partikül veya elektromanyetik ışınlardır. Bu radyasyonların yoğunlukları atmosferin üst tabakalarında yüksek, deniz seviyesinde ise daha düşüktür. Deniz seviyesindeki kozmik ışın elemanlarının havada meydana getirdikleri doz değerinin dünya ortalaması yaklaşık olarak 32 nGy/saat'dir [6]. Kozmik radyasyonlar kökenlerine göre hapsolmuş partikül radyasyonlar ve solar radyasyonlar olarak sınıflandırılırlar.

Yapı malzemelerindeki doğal radyonüklitler ev içi ve ev dışı radyasyon kaynaklarıdır. Dış radyasyonlara maruz kalmaya uranyum ile toryum radyoaktif azalma serilerinden ve potasyumdan kaynaklanan gama radyasyonu sebebiyet vermektedir. Solunum sistemlerini önemli derecede etkileyen iç radyasyona maruz kalma bina materyalinden çıkan radon ve onun kızlarından dolayıdır [7].

Uranyumun doğal bir radyoizotopu olan ^{238}U değişik konsantrasyonlarda kaya ve topraklarda bulunur. ^{238}U 'nun doğal bozunma zincirinden radyoaktif olan ve soy gaz özelliği gösteren ^{222}Rn oluşur. Bir başka ifade ile ^{226}Ra radyoaktif maddesi ^{222}Rn 'nin asıl kaynağıdır. Doğada bulunan radon gazının ortaya çıkışı birkaç farklı şekilde olur. Topraktaki radyum ana radon kaynağıdır. Denizden çıkan radon gazı konsantrasyonu topraktan çıkan radon gazı konsantrasyonundan iki ya da üç kat daha küçük bir değerdedir. Havadaki diğer radon kaynakları; doğal gaz, kömür, yapı malzemeleri, madenler, toprakla sürekli etkileşim halinde olan sular ve bitkilerdir. İç radon kaynakları ise; evlerin yapı malzemeleri, evlerin üzerine bina edildiği toprak, eve ait su ve evdeki doğal gaz kaynaklarıdır. Bununla birlikte evlerdeki radon gazı konsantrasyonuna en büyük katkı evlerin üzerinde kurulu oldukları topraktan gelmektedir [8].

İnsanlar üzerindeki zararlı etkilerinden dolayı radon gazı ve onun kızlarına maruz kalmanın kanser riskini arttırdığı bilinmektedir. Bununla birlikte bina içi radon gazı konsantrasyonuna maruz kalma ve bazı kanser türleri arasında güçlü bir korelasyon olduğu yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilmiştir. Uluslar arası Radyolojik Koruma Komisyonu tarafından radon konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer evler için 200-600 Bq.m⁻³/yıl'dır. Komisyona göre 400 Bq.m⁻³'lük bir konsantrasyonda sürekli olarak yaşayan insanlar için akciğer kanseri riskindeki artış %6'dır [9, 10].

FÜBAP-591 numaralı proje ile desteklenen bu çalışmada; su, toprak, hava ve gıda materyallerinin radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi ile Elazığ ili radyolojik açıdan incelenmiş ve Elazığ'ın çevresel doğal radyoaktivite seviyesi tayin edilmiştir.

Bu amaçla; Elazığ ilinin doğal çevresel radyasyonunu karakterize edecek musluk, doğal ve baraj gölü sularından alınan örneklerde toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi, havada kozmik ışınlar ve karasal kaynaklı toplam gama radyasyon doz hızlarının

ölçülmesi, toprakta ve çeşitli gıdalarda toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tespiti ve bunlara ek olarak gıdalardaki bazı doğal radyonüklit konsantrasyonlarının tayini gibi deneysel çalışmalar, uygun metot ve algılama sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziği Bölümü ile yapılan ortak araştırma projesi ile insan sağlığı açısından belirlenmesi oldukça önemli olan bina içi radon gazı aktivite konsantrasyonları da tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirilerek bölge radyasyon açısından detaylı olarak tanımlanmıştır.



2. RADYASYON VE BİRİMLERİ

2.1 Radyasyon Çeşitleri

İnsanlar ve canlı varlıklar yaşamları süresince uzaydan gelen ve yeryüzünden yayınlanan radyasyonlardan oluşan bir iyonlaştırıcı radyasyon ortamı içinde yaşamaktadırlar. Alman fizikçisi W.C. Roentgen'in 1895 yılında kendi adıyla bilinen ışınları keşfi ile insanlar iyonlaştırıcı radyasyonlarla tanışmışlardır. Madde içinden kolayca geçebilen ve gözle görülmeyen bu ışınlara radyasyon denir. Radyasyon ile bir atomun elektronlarından bir veya bir kaçının yörüngelerinden koparılarak serbest hale gelmesi olayına iyonizasyon, madde ile etkileşmesi durumunda iyonlaşma meydana getiren radyasyonlara da iyonlaştırıcı radyasyonlar denir. İyonlaştırıcı radyasyonların çeşitleri ve özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir [11, 12].

2.1.1 Alfa Işınları

Alfa parçacıkları, iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeği olup pozitif yüklüdür. Alfa parçacığı yayarak çekirdeğin bölünmesi olayı, atom numarası büyük olan izotoplarda görülür. Doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri genellikle 9 MeV'in altında olup bunları çok küçük bir madde kalınlığı ile durdurmak mümkündür. Alfa parçacıkları madde içinden geçerken nispeten büyük olan elektrik yükleri nedeniyle yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirerek enerjilerini çabucak kaybederler. Alfa parçacıkları, erişme uzaklıklarının kısa oluşundan dolayı normal olarak bir dış radyasyon tehlikesi yaratmazlarsa da alfa parçacıkları yayınlayan maddeler sindirim, solunum veya yaralar yolu ile vücuda girdikleri takdirde çok tehlikeli olabilirler. Bu nedenle radyasyon korunması bakımından içme suları ve havada alfa kirlenmesinin algılanmasına özel bir önem verilir.

Tablo 2.1: İyonlaştırıcı radyasyonlar ve özellikleri.

Radyasyon Tipi	Yapısı	Kütlesi (a.k.b.)	Yükü	Ortalama Menzil	
				Hava	Doku
Alfa	2 proton ve 2 nötron	4	+2	3 cm	0,04 mm
Beta	Elektron	1 / 1840	-1	3 m	5 mm
X ve γ -ışınları	Elektromanyetik Dalga	0	0	∞	Vücut İçine
Nötronlar	Nötronlar	1	0	Çok Geniş	Vücut İçine

2.1.2 Beta Işınları

Pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Bu parçacıkların salınması, çekirdek içindeki nötron fazlalığından dolayı ise salınan parçacıklar negatif yüklüdürler ve β^- ile gösterilirler. Eğer beta yayınlanması çekirdekteki proton fazlalığından ileri geliyorsa yayınlanan parçacıklar pozitif yüklüdür ve pozitron adı verilerek β^+ ile gösterilir. Beta parçacıklarının maksimum enerjisi (0,5 ile 5 MeV) kendilerini yayınlayan radyoizotopun bir karakteristiği olduğundan bu izotopun tanımlanmasında referans olarak kullanılırlar. Beta parçacıkları küçük kütleleri ve elemanter yükleri nedeniyle alfa parçacıkları gibi kolayca durdurulamazlar ise de yüksek enerjilere çıkmadıkça madde içine fazla nüfuz edemezler. Beta parçacıklarının katılar içindeki erişme uzaklıkları çok fazla olmamakla birlikte hava içinde oldukça uzun mesafelere kadar yayılabilirler. Bu nedenle sırf beta parçacıkları yayınlayan radyoizotoplar dahi insanlar için bir dış radyasyon tehlikesi yaratabilirler.

2.1.3 X ve Gama Işınları

Her ikisi de elektromanyetik radyasyonlar olmakla birlikte oluşumları bakımından farklıdır. X-ışınları ya hızlandırılmış elektronların ani durdurulması şeklinde veya bir atomun yörünge elektronlarının koparılması neticesinde meydana gelirler. Suni olarak X-ışınları röntgen tüplerinde elde edilir. Röntgen tüpünde bir elektron demeti oluşturulur ve yüksek bir potansiyel altında hızlandırılarak anot denilen bir metal üzerine çarptırılır. Hızla anot atomlarına çarpan elektronlar anot metalinin atomlarının iç tabakalarından elektronlar kopararak karakteristik X-ışınlarını oluştururlar.

Gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Bu ışınlar atomun çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa ya da beta parçacığı yayınladıktan sonra genelde kararlı hale geçemez. Bunun bir sonucu olarak fazla olan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon (gama ışını) olarak yayınlanır.

2.1.4 Nötronlar

Kütleleri protonun kütlesine eşit elektrik yükleri olmayan parçacıklardır. Nötronlar normal radyoaktif bozulma olayı sonucunda meydana gelmezler. Atom çekirdeğinden nötron çıkışı 'Fisyon Olayı' sonucunda olur. Fisyon olayı, ağır bir çekirdeğin nötron bombardımanı sonunda ikiye bölünmesi ve bu arada birden fazla nötron ile büyük bir enerjinin çıkması olayıdır.

Nötronlar nispeten büyük olan kütlelerine rağmen yüksüz olduklarından madde içine kolayca nüfuz eder ve bir atomun elektron yapısından geçebilirler. Ancak, bir çekirdeğe çarpmakla durdurulabildiklerinden veya yollarından saptırıldıklarından dolayı her türlü madde içindeki erişme uzaklıkları büyüktür.

2.2 Radyoaktivite

Kararsız atom çekirdeklerinin dışardan enerji almadan kendiliğinden bölünerek; elektromanyetik radyasyonlar, α ve β parçacıkları yayınlamak suretiyle başka atom çekirdeklerine dönüşmesine radyoaktivite veya radyoaktif bölünme denir. Radyoizotopların bölünme şekilleri; alfa bozunumları, beta bozunumları ve gama yayınımları şeklinde olur. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Yavaşlatılamaz veya durdurulamaz.

Doğal ve yapay her radyoaktif çekirdeğin kendine özgü bir bozunma şekli vardır. Bu bozunma şeklinin biri çekirdeğin yayınladığı radyasyonların cinsi ve enerjileri diğeri de bozunmanın hızıdır. Radyoaktif maddelerin bozunarak aktivitelerini kaybetmelerine radyoaktif bozunum denir. Radyoaktif bir maddenin birim zamandaki parçalanma sayısı o andaki mevcut atom sayısı ile orantılıdır.

2.3 Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaşma ise soğurulan radyasyonun enerjisine bağlıdır. Uluslar arası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda radyasyon birimleri; soğurulan doz için **rad**, ışınlama için **röntgen**, aktivite için **curie**, doz eşdeğeri için ise **rem** olarak tanımlamıştır. Buna göre ICRU tarafından tanımlanan iyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri Tablo 2.2’de verilmiştir [12].

Tablo 2.2: İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri.

Büyüklik	SI Birim ve Sembolü	Geleneksel Birimler	Dönüşüm Faktörü
İşinlama	Röntgen ($C\ kg^{-1}$)	Röntgen (R)	$1\ C\ kg^{-1} = 3876\ R$
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	rad (rad)	$1\ Gy = 100\ rad$
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	rem (rem)	$1\ Sv = 100\ rem$
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	$1\ Bq = 2,7 \times 10^{-11}\ Ci$

2.3.1 Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktivite, birim zamandaki radyoaktif madde miktarını göstermektedir. Radyoaktivite birimi becquerel (Bq) olup saniyede bir parçalanma veren radyoaktif madde miktarı veya bu maddenin radyoaktivitesi olarak tanımlanır. Becquerel ile radyoaktivite geleneksel birimi olan Curie (Ci) arasındaki bağıntı $1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ (ya da $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 1 \text{ Ci}$) şeklinde ifade edilir [12-14].

2.3.2 Işınlama Birimi

Işınlama birimi röntgen (R), normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm cıva basıncı) havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ coulomb'luk elektrik yükü değerinde + ve – iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarı olarak tanımlanır ve $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C kg}^{-1}$ (hava) olarak ifade edilir. Işınlama, X ve γ ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. SI birim sisteminde ışınlama biriminin özel bir adı yoktur [15].

2.3.3 Soğurulan Doz Birimi

Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlaştırıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Bu birim, radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini belirtir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi gray (Gy) olup, gray; 1 kg'lık bir maddede 1 joule'luk enerji veren herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon dozudur ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$). Eski birimi rad (radiation absorbed dose) olup; 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurumuna eşdeğerdir ($1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J kg}^{-1} = 100 \text{ erg g}^{-1}$). Gray ve rad birimleri arasındaki bağıntı ise $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ olarak ifade edilir [12, 15].

2.3.4 Eşdeğer Doz Birimi

Soğurulan dozun oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin, iyonlaştırıcı radyasyonların çeşitlerine ve oluşturduğu iyonizasyon yoğunluğuna bağlı olduğu yapılan biyolojik deneylerden anlaşılmaktadır. Yani iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluğundaki kaybettikleri enerji miktarına (Lineer Enerji Transferi (LET)) bağlı olmakta ve LET değeri arttıkça biyolojik etkide artmaktadır. Böylece eşdeğer doz birimi, iyonlaştırıcı radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmalı ve buna bağlı bazı faktörleri kapsamalıdır. Eşdeğer doz birimi, Joule / kg olup sievert (Sv) adı verilmiş ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$) ve soğurulmuş doz ile kalite faktörünün çarpımı olarak tanımlanmıştır. Geleneksel birim rem olup $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ 'dir. Değişik radyasyon türleri için kalite faktörleri Tablo 2.3'de verilmiştir [12].

2.4 Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları

Radyasyon görevlileri ve toplum üyesi kişiler için ICRP dolayısıyla TAEK tarafından maksimum müsaade edilen yıllık eşdeğer doz sınırları belirlenmiştir. Bu doz değerlerine tıbbi işinlamlardan maruz kalınacak dozlar dahil edilemez.

2.4.1 Radyasyon Görevlileri İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırları

Radyasyon görevlileri için yıllık eşdeğer doz sınırları aşağıda verilmiştir [12]:

Yıllık Tüm Vücut Dozu	50 mSv (5 rem)
Tek Bir Organ (el, ayak) ve Doku İçin	500 mSv (50 rem)
Göz Merceği İçin	150 mSv (15 rem)

Radyasyon görevlileri için eşdeğer doz sınırının birbirini takip eden 5 yıl süresince (bu sürede herhangi bir yılda 50 mSv'i geçmemek koşuluyla) toplam 100 mSv'i aşmaması gerekir. Yaşları 16-18 arasında olan çıraklar ile radyasyon kullanmak zorunda olan öğrenciler için yıllık eşdeğer doz sınırı 6 mSv, eller ve ayaklar için 150 mSv'tir. Hamile bayanlar için yıllık eşdeğer doz, belden aşağısı için 2 mSv'dir. Bunun nedeni fetüsün doz sınırı olan 1 mSv'i aşmamasıdır.

2.4.2 Toplum Üyesi Kişiler İçin Yıllık Eşdeğer Doz Sınırı

Toplum üyesi kişiler için yıllık eşdeğer doz sınırları aşağıda verilmiştir [12]:

Yıllık Tüm Vücut Dozu	5 mSv (0,5 rem)
Tek Bir Organ (el, ayak) ve Deri İçin	50 mSv (5 rem)
Göz Merceği İçin	15 mSv (1,5 rem)

Bu sınırlar toplumdaki kritik gruplar içindir. Yaşam boyu eşdeğer doz sınırı ise yılda ortalama 1 mSv ya da 0,1 rem'dir.

Tablo 2.3: Çeşitli radyasyonlar için kalite faktörleri.

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve Gama Işınları	1
Elektronlar ve Beta Parçacıkları	1
Nötronlar ($E < 10$ keV)	3
Nötronlar ($E > 10$ keV)	10
Alfa Parçacıkları	20

3. RADYASYON ALGILAMA YÖNTEMLERİ

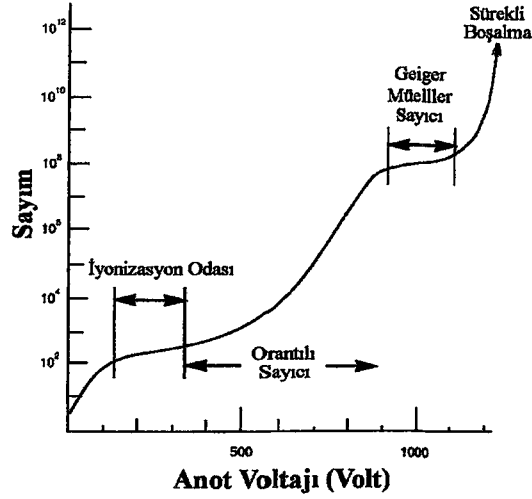
Radyasyon algılamasında genel olarak kullanılan algılayıcı çeşitlerini üç grup halinde incelemek mümkündür. Bunlar; Gaz Doldurulmuş Tüp Algılayıcılar, Sintilasyon Algılayıcıları ve Yarıiletken Algılayıcılarıdır. Bir parçacık algılayıcısı seçilirken; algılayıcının uygulama çözünürlüğü, verimi, ilgili deneyi yapmaya uygunluğu ve amaca uygun olarak X veya gama ışınlarının enerji değerleri gibi önemli noktalara dikkat edilmelidir.

3.1 Gaz Doldurulmuş Tüp Algılayıcılar

Gaz Doldurulmuş Tüp Algılayıcılar, en basit şekli ile gaz doldurulmuş bir metal oda ve pozitif biyazlanmış bir anot telinden oluşmuştur. Bir foton, metal oda içerisinde dolu bulunan gazı boydan boya geçerken serbest elektronlar ve pozitif iyonlar meydana getirir. Elektronlar, oluşan elektrik alan etkisiyle anot teline doğru çekilirler ve anot telinde toplanan bu elektronlar bir elektrik pulsu meydana getirirler. Zayıf anot voltajında elektronlar iyonlar ile tekrar birleşebilirler. Birleşme olayı iyonların yüksek bir yoğunluğu için de meydana gelebilir. Uygun bir yüksek voltajda, yakınlardaki bütün elektronlar toplanırlar. Bu durumda algılayıcı bir **İyonizasyon Odası** olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda anoda doğru hareket eden elektronlar diğer gaz atomlarını iyonize ederler ve böylece daha çok elektron meydana gelmiş olur. Bu durumda algılayıcı bir **Orantılı Sayıcı** olarak bilinir. Daha yüksek voltajlarda elektronların sayısında daha fazla çoğalma olur ve anotta toplanan elektronların sayısı başlangıçtaki iyonizasyondan bağımsız hale gelir. Bu esnada ise algılayıcı, **Geiger Müller (G-M)** sayıcısı olarak bilinir ve bu tüplerden elde edilen büyük çıkış pulsu bütün fotonlar için aynıdır. Algılayıcıya çok daha fazla voltaj uygulanırsa, tüpte sürekli bir boşalma meydana gelir. Farklı voltaj bölgeleri Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Gerçek voltajlar, bir algılayıcıdan diğerine geniş bir şekilde değişebilir. Bu voltaj değişimi algılayıcı geometrisi, gaz türü ve gaz basıncına bağlıdır.

3.1.1 İyonizasyon Odaları

İyonizasyon odalarının çok zayıf sinyal çıkışına sahip olmaları, bu algılayıcıların sadece gama ışınlarının algılanması için kullanılmasını zorlaştırır. İyonizasyon odaları, çok büyük akım meydana getiren radyoaktif kaynakların algılanmasında kullanılırlar. İyonizasyon ölçümleri tam olarak, çıkışı kaydetmek için kullanılan bir elektrometre yardımıyla yapılabilir [16].



Şekil 3.1: Farklı voltaj bölgelerinin şematik gösterimi [17].

3.1.2 Orantılı Sayıcılar

Orantılı sayıcılar, uygun enerji çözünürlüğü gerekli olduğu durumlarda X-ışınları ölçümleri için sık sık kullanılırlar. Orantılı sayıcılar farklı hacim ve şekillerde üretilebilirler. Bu tip sayıcılar genelde görünüş olarak silindir şeklindedirler ve pencereleri düz silindirdir. Bunlar normal kaliteli algılayıcılardır ve gaz akışı prensibine uygun olarak çalışırlar. Bu tür algılayıcılar ince bir berilyum pencereye sahip olabildikleri gibi penceresiz de olabilirler. Bir algılayıcı tipik olarak, efektif pencere hacmi, gaz iyonlaşma uzunluğu, uygulanan voltaj hızı ve çözünürlük gibi fiziksel özelliklerine bakılarak belirlenir. Tipik olarak çözünürlükler %16-20 FWHM (Full Width at Half Maximum) değerindedir. Bu sayıcılarda uygulama voltajı geometriye bağlı olduğu kadar algılayıcı içerisinde bulunan gaza da bağlıdır.

3.1.3 Geiger Müller (G-M) Sayıcıları

Bir G-M sayıcısı, çıkışında büyük bir voltaj pulsu meydana getirir. Bu nedenle bu tip algılayıcılarda sinyal yükseltme işlemine gerek yoktur. Bu sayıcılarda enerji ölçümleri yapılamamaktadır. Bunun sebebi çıkış puls yüksekliğinin başlangıçtaki iyonizasyondan bağımsız olmasındandır.

G-M sayıcıları farklı boyutlarda olabilmekte ve kullanılabilir. Genel olarak bu algılayıcılar ince bir mika pencere ile birlikte kullanılırlar. Algılayıcıya uygulanması gereken voltaj plato bölgesi sınırları içerisinde ve bu plato eğrisinin eğimi yaklaşık 2 ile 5 derece arasında değişmektedir. Plato bölgesi, anot voltajının bir fonksiyonu olarak sayım hızının belirlenmesi ile bulunur.

Bir G-M sayıcısı her pulstan sonra boşalma tamamlanıncaya kadar sayım yapamaz. G-M tüpünün tepki vermediği bu s reye ölü zaman aralığı denir ve 100 mikrosaniye civarındadır. Dolayısıyla bu tür algılayıcılar zayıf sayım hızı olan uygulamalarda yetersiz kalmalarından dolayı verimsizdirler.

3.2 Sintilasyon Algılayıcıları

Gama ışınının bir sintilatör ile etkileşmesinden bir ışık pulsu meydana gelir ve bu ışık pulsu bir fotoçoğaltıcı tüp aracılığı ile elektrik pulslarına dönüştürülür. Fotoçoğaltıcı tüp bir fotokatot, bir elektron odaklayıcı ve çok miktarda Dinot'tan meydana gelmiştir. Fotoçoğaltıcı tüp içerisindeki dinotlara uygulanan gerilim ile elektronların dinotlara çarpması sağlanır ve bu şekilde elektronların sayılarının artması mümkün olur. Anot ve dinotlar t p tabanında bulunan fişlere yerleştirilmiş seri bağlı dirençler vasıtası ile biyazlanırlar. Bir Sintilasyon Algılayıcısı genel olarak fotoçoğaltıcı t p ve sintilatör şeklinde başlıca iki kısıma ayrılabilir [17, 18].

İyi bir algılayıcının sintilatör materyalinde aranılan özellikler, şeffaflık, büyük boyutlarda kullanılabilirlik ve büyük ışık çıkışına sahip olma şeklinde sıralanabilir. Relatif olarak birkaç materyal bu tür algılayıcılar için iyi özelliklere sahiptir. Bu yüzden genellikle NaI ve CsI kristalleri içerisine aktive edilmiş talyum kullanılır. NaI gama algılaması için kullanışlı bir materyaldir çünkü ekonomik olmasının yanında çok iyi bir şekilde gama çözünürlüğüne de sahiptir. NaI(Tl) kristalleri %100'l k verimle gamaları algırlar. Bununla beraber plastik sintilatörler daha fazla ışık pulsu azalmasına sahiptirler ve zamanlama uygulamalarında kullanılırlar. Bunun yanında bu tip sintilatörler iyi enerji çözünürlüğüne sahip değillerdir [18, 19].

3.2.1 NaI (TI) Sintilatörleri

NaI sintilat r nde bulunan iyotun atom numarasının yüksek olması, gama ışınlarının algılanmasında yüksek verim elde edilmesini sağlamaktadır. Genellikle talyumun küçük bir miktarı kristal içerisine eklenerek aktive edilir. Oluşan bu yapı NaI(Tl) kristali olarak isimlendirilir. Bu algılayıcıların en iyi çözünürlüğü 3x3 boyutlarında bir kristal kullanılarak ¹³⁷Cs radyoaktif kaynağından alınan 662 keV enerjili gama ışınları için %7,5 ile %8,5 arasında değişir. Bu kristal daha küçük ve daha büyük boyutlarda kullanıldığında bu kadar iyi bir çözünürlük elde etmek mümkün değildir. NaI algılayıcılarının birçok türü kullanışlıdır. Bu tür kristaller, zayıf numunelerin 4 'deki sayımlarını en iyi şekilde yapacak bir biçimde üretilmektedir.

NaI kristalindeki ışık azalma sabiti yaklaşık olarak 0,25 µs civarındadır. Bunun yanında tipik bir yüke hassas ön yükselteçten 0,5 saniye civarında yükselme zamanına sahip çıkış pulsları elde edilir. Bu sebepten dolayı NaI algılayıcıları yüksek aktiviteli ölçümler için plastik algılayıcılar kadar iyi değildirler, çünkü bu tür ölçümlerde kısa çözümleme zamanına ihtiyaç vardır [17, 19, 20].

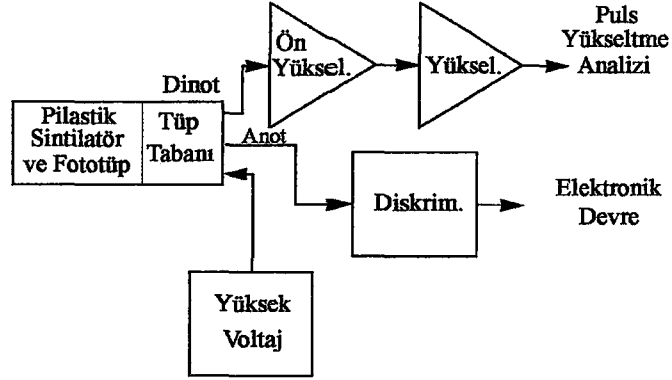
3.2.2 ZnS Sintilatörleri

Gümüş ile aktive edilmiş çinko sülfat eski inorganik sintilatörlerden birisidir. Bu sintilatörler NaI(Tl) sintilatörleri ile karşılaştırıldığı zaman çok yüksek bir sintilasyon verimine sahiptirler. Bunun yanında bu tip sintilatörler bir polikristal tozu gibi kullanılırlar. Bunun sonucu olarak bu sintilatörlerin kullanımı, alfa parçacıkları ve diğer ağır iyon algılamalarında kullanılmış olan ince ekranlar için sınırlandırılmıştır. Kalınlık 25 mg/cm²'den büyük olduğu zaman kendi kendilerine parıltı meydana getirme ihtimalleri olduğundan kullanılabilmektedirler [18].

3.2.3 Plastik Sintilatörler

Eğer bir organik sintilatör bir çözücü içerisinde çözünürse, bir katı çözeltinin eşdeğeri elde edilmiş olur. Buna örnek olarak styrene monomerden meydana gelmiş bir çözücüde organik bir sintilatörün çözülmesi verilebilir. Styrene daha sonra bir katı plastik şeklinde polimerize olur. Bu tip sintilatörlerin şekillendirilmesi ve üretimi kolaydır. Bu yüzden plastik sintilatörler organik sintilatörlerin içerisinde en kullanışlı olanlardan birisidir. Bu tip sintilatörlerin puls şekillendirmesi için üretilen diğer sintilatörler kadar iyi ve hızlı bir azalma zamanları vardır.

Plastik sintilatörler genellikle nötron algılamalarında, yüklü parçacık algılamalarında ve **Hızlı Zamanlama** uygulamalarında kullanılırlar. Bu uygulamalarda kullanılabilmeleri için çok büyük boyutlarda olmaları veya doğal sert plastik özelliklerini sağlamaları gerekmektedir. Hızlı fotoçoğaltıcı tüplere bağlanmış plastik sintilatörler ile nano saniye civarında yükselme zamanına ulaşmak mümkündür. Şekil 3.2'de bir plastik sintilatör algılayıcısının elektroniki görülmektedir. Ayrı çıkışlar genellikle zamanlama için kullanılmışlardır. Dinot'un pozitif çıkışı bir ön yükseltece ve oradan da enerji analizi için yükseltece, daha büyük bir negatif çıkış için ise bir hızlı diskriminatöre bağlanmıştır.



Şekil 3.2: Bir plastik sintilatör algılayıcısının elektroniği [17, 19].

3.3 Nükleer İz Algılayıcıları

Alfa parçacığı gibi yüklü parçacıklar polikarbonat ya da selüloz nitrat gibi plastik materyallerin belirli bir türü üzerine etki ettiklerinde, materyal içerisinde radyasyon hasar izlerine sebebiyet verirler. İzler kimyasal ya da elektrokimyasal kazıma prosedürlerinin materyallere uygulanması ile görülebilir şekilde algılanabilir. Görünür izler bir mikroskop, mikrofilm okuyucu ya da otomatik görüntü analizörü kullanılarak sayılabilir. İzlerin sayısı algılayıcı materyalinin maruz kaldığı toplam radyasyon dozunu hesaplamak için kullanılır [1].

Nükleer iz algılayıcıları, alfa parçacığı yayan radon ve toron konsantrasyonlarını belirlemek için kullanılır. Çünkü izlerin sayısı radon ve toron konsantrasyonları ile alakalıdır.

Nükleer iz algılayıcıları dolaylı olarak hızlı nötronları da algılayabilirler. Hızlı nötronlar özel bir filmin taban materyali ile etkileşirler ve serbest halde geri tepme protonlarının oluşmasına sebep olurlar. Bu protonlar daha sonra filmde yukarıda belirtildiği gibi sayılabilen görünür radyasyon izleri oluştururlar. İzlerin sayısı nötron dozunu belirlemek için kullanılabilir.

3.3.1 Kimyasal Kazıma

Bu, Katı Hal Nükleer İz Algılayıcısında en temel metottur. Kimyasal kazıma genellikle sıcaklığı kontrol edilen bir film banyosunda (sıcaklığı 40 °C ile 70 °C arasında değişebilen) uygulanır ve en yaygın olan dağlama çözeltisi, molaritesi 2-6 M arasında değişen NaOH (ya da KOH) sulu çözeltisidir.

Tipik olarak kazıma zamanı 2 saat ile 6 saat arasında değişir. Dağlama çözeltisinin molaritesi, kazıma zamanı ve kimyasal kazıma sıcaklığı arttırıldıkça filmler üzerindeki izlerin büyüklükleri de artar. Belirli uygulamalarda, etil alkol belirli bir oranda çözeltiye eklenebilir.

Bu etil alkol ilavesi bazı plastiklerin (polikarbonatlar) kayıt hassaslığını artırır. Bununla birlikte diğer plastiklerin (CR-39) kayıt hassaslığını daha düşürür [21]. Plastik algılayıcılar uygun düzenekler ile aralarında belirli bir mesafe olacak şekilde sıralanır. Algılayıcılar arasında belirli mesafeler bırakılır ve her bir algılayıcının birbirine değmemesine özen gösterilir. Bu şekilde dağılama çözeltisinin algılayıcıların bütün yüzeyleri ile etkileşmesi için uygun bir düzenleme yapılmış olur. Algılayıcılar sabit sıcaklıktaki su banyosuna yerleştirilmiş beherler içerisindeki kimyasal kazıma (etching) çözeltisine daldırılırlar. Bu işlem, beher içerisindeki çözelti karıştırılarak ya da karıştırılmaksızın gerçekleştirilebilir. Algılayıcının çözelti içerisine daldırılması esnasında dikkat edilecek hususlardan bir tanesi de algılayıcıların kimyasal kazıma çözelti seviyesi altında kalmasıdır. Kimyasal kazıma işlemi sonunda; algılayıcı çözeltiden alınır, akıcı su ile yıkanır ve tercihen algılayıcı üzerindeki kimyasal kazıma (etching) kalıntılarından kurtulmak için birkaç dakika kadar küçük bir distillenilmiş su kullanılan ultrasonik banyoda bırakılır. Kurutma işleminden sonra, algılayıcılar bir optik mikroskop altında okunmaya hazır hale getirilir. Kimyasal yöntem kullanılarak kazınmış algılayıcı üzerindeki iz çapları tipik olarak 1 μm civarındadır. Kimyasal kazıma zamanının uzatılması ile bu iz çapları 50 μm ya da daha fazla olabilmektedir.

3.3.2 Optiksel İz Sayım Sistemleri

İz algılayıcıları saydam olduklarından dolayı, optiksel geçirmeli mikroskoplar en kolay ve en geniş kullanılan sayım araçlarıdır. Kimyasal kazıma sonucunda algılayıcı üzerinde oluşan izlerin çoğunun uzunluğu 1 μm 'den daha azdır ve bu izlerin uzunluğu 10-15 μm 'ye kadar da uzanmaktadır. Bu nedenle, kullanılan optiksel mikroskobun büyütmesinin x100 ile x1000 aralığında olması gerekir [21].

Radon ölçümlerinde, örneklerin büyük bir kısmı için pek çok mikroskobik bölgede izlerin sayılması gerekir. Bu durum manuel (el ile) olarak yapılan sayımlarda çok büyük bir çaba gerektirir. Herhangi bir sistemin yüksek yoğunluktaki izleri sayma yeteneği, cihazın çözümleme gücüne ya da birbirlerine yakın objeleri ayırma yeteneğine bağlıdır. Pratikte iz yoğunluğu arttığı için cihaz ve gerçek iz yoğunlukları arasındaki ilişki daha az doğrusal hale gelir. Doğrusal bölge daha yüksek büyütmelerin kullanılması ile uzatılabilir. Böylece çözünürlük artırılmış olur. Bununla birlikte çoğu sistemlerin doğrusallığı 1 cm^2 'de 1000-2000'den fazla sayım yapılabilmesine imkan verir. Otomatik sistemler ise hızlı ve otomatik olarak iz hacmini (boyutlarını) ayırt edebilme yeteneğine sahiptirler. Bu özellik farklı enerjilerdeki parçacık izlerinin ve farklı parçacık izlerinin ayırt edilmesine olanak sağlar [22].

3.4 Algılayıcı Verimi

Bir algılayıcının verimi, aktivitesi bilinen bir kaynaktan çıkan radyasyonun meydana getirdiği pulsların ölçülmesi ile bulunur. Verim, radyasyon tipine göre ayrı ayrı hesaplanabilir. Örnek olarak, gama algılayıcıları için aşağıda belirtilen birkaç değişik verimden bahsedilebilir.

Mutlak Verim: Algılayıcı tarafından sayılmış gama ışınları sayısının kaynak tarafından bütün doğrultularda yayınlanan gama ışınları sayısına oranıdır.

Esas Verim: Algılayıcı tarafından alınan puls sayısının algılayıcıya çarpan gama ışınlarının sayısına oranıdır.

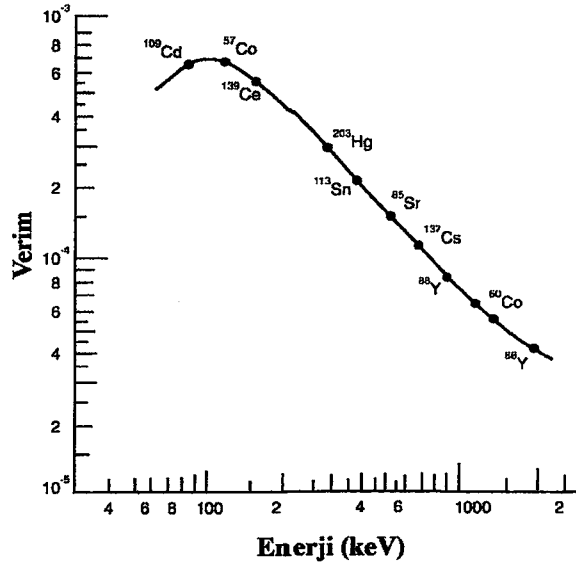
Relatif Verim: Bir algılayıcının başka bir algılayıcıya göre verimidir.

Tam Enerji Pik (Fotopik) Verimi: Gama ışınlarının herhangi bir hacmindeki bir pulstundan ziyade sadece meydana gelen Tam Enerji Pik pulsları için verimdir. Algılayıcının kullanışlı olabilmesi için gama ışını enerjilerinin büyük bir kısmını emmesi gereklidir. Bu özellik, yüksek Z'li algılayıcı materyalinin seçilmesi veya uygun hacimli bir algılayıcının kullanılması ile algılayıcıya kazandırılır. Şekil 3.3'de bir germanyum algılayıcısı için Tam Enerji Pik verim eğrisinin bir örneği görülmektedir.

3.5 Algılama Verimi

Bütün radyasyon algılayıcıları aktif alanlarına gelerek etkileşen radyasyonun her bir tanesi için bir çıkış pulsu oluşturur. Başlıca yüklü parçacıklar olan alfa ve beta parçacıkları iyonizasyon formunda etkileşirler. Parçacık uygun bir mesafede yol aldığı zaman şayet gürültü kaynaklarından daha yüksek seviyede puls meydana getirebiliyorsa, parçacığın meydana getirdiği bu puls sayıcılar tarafından kaydedilebilir. Böylece algılayıcı, önüne bırakılan ve algılayıcının aktif hacmi ile etkileşen her alfa ve beta parçacığını algılayabilecektir. Bu durumda algılayıcının %100'lük bir sayım verimine sahip olduğu söylenebilir [18, 23].

Diğer taraftan yüksüz radyasyonlar, örneğin gama ışınları ve nötronlar algılama meydana gelmeden önce algılayıcı içerisinde önemli etkileşmelerde bulunurlar. Çünkü bu radyasyonlar etkileşerek uzun mesafeler katedebilirler. Bundan dolayı algılayıcıların verimi %100'den daha az olur. Bu nedenle kullanılan algılayıcının veriminin belirlenmesi gerekir. Algılayıcı verimi sayılmış pulsların sayısı ve algılayıcı üzerine gelen fotonlar veya nötronların sayısı ile ilişkilidir.



Şekil 3.3: Tam Enerji Pik verim eğrisi [17].

Algılayıcı verimini iki sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlar mutlak (absolute) ve esas (intrinsic) verimlerdir. Mutlak verim aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\epsilon_{mutlak} = [\text{Algılayıcının Kaydettiği Pulsların Sayısı}] / [\text{Kaynaktan Yayınlanan Parçacık Sayısı}] \quad (3.1)$$

Denklem (3.1) katı açrı içermez. Bu iki verim izotropik kaynaklar için $\epsilon_{esas} = \epsilon_{mutlak} 4\pi/\Omega$ olarak basit bir şekilde ifade edilebilir. Bu denklemdeki Ω algılayıcının katı açısıdır. Bir algılayıcının esas verimi; algılayıcı materyali, radyasyon enerjisi ve gelen radyasyon doğrultusundaki algılayıcının fiziksel kalınlığı gibi özelliklere bağlıdır [18, 24].

Algılayıcı ile kaynak arasındaki mesafenin göz ardı edilmesinin sebebi, algılayıcıya doğru gelen radyasyonun ortalama yol uzunluğunun değişebilmesidir. Sayım verimleri, kaydedilmiş sonuçların doğrallığı ile de sınıflandırılabilir. Eğer bütün pulsların algılayıcıdan meydana geldiği kabul edilirse, bu durumda sayım verimi yaklaşık olarak toplam verim gibi düşünülebilir. Pik veriminin toplam verime oranı r ile gösterilir ve denklem (3.2)'deki gibi ifade edilir.

$$r = \frac{\epsilon_{pik}}{\epsilon_{top}} \quad (3.2)$$

Sonuç olarak, bir algılayıcının verimi bahsedilen kriterlerin her ikisine uygun şekilde tanımlanabilir. Verimi bilinen bir algılayıcı bir radyoaktif kaynağın mutlak aktivitesini ölçmek

için kullanılabilir. Esas pik verimi (ϵ_{ep}), bilinen bir algılayıcı spektrumundaki bütün enerji piki altındaki N sonuçlarını kaydetmek için kullanılabilir. Eğer radyasyonun izotropik olarak yayıldığı ve algılayıcı ile kaynak arasında alınmış olan bölgenin değişmediği kabul edilirse, ölçüm periyodu boyunca kaynak tarafından yayınlanan radyasyon parçacık sayısı S şu şekilde verilir:

$$S = N \frac{4\pi}{\epsilon_{ep} \Omega} \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'de Ω katı açıdır. Katı açı algılayıcı yüzeyi üzerindeki bir integral ile tanımlanır ve şu şekilde formüle edilir [18]:

$$\Omega = \int_A \frac{\cos \alpha}{r^2} dA \quad (3.4)$$

Bu formülde r, kaynak ile bir yüzey elemanı olan dA arasındaki mesafedir. α ise kaynak doğrultusu ve onun normali arasındaki açıdır. Eğer kaynağın hacmi önemli değilse, o zaman bir ikinci integrasyon, kaynağın bütün hacim elemanları üzerinden dışarıya taşınmış olacaktır. Silindirik yapıda olan bir algılayıcının x eksenini boyunca yerleşmiş olan nokta kaynak için katı açı şu şekilde verilir:

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right) \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'de, d silindirik algılayıcı ile nokta kaynak arasındaki mesafe, a ise silindirik algılayıcının yarıçapıdır.

4. DOĞADAKİ RADYONÜKLİTLER

4.1 Karasal Radyonüklitler

Karasal radyonüklitler birkaç milyar yıl gibi uzun bir süreden beri dünyada mevcuttur ve miktar olarak önemli derecede azalmışlardır. İlk radyonüklitler olarak isimlendirilen bu radyonüklitlerin önemli ve bol miktarda çevrede bulunanları arasında; ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , bu radyoaktif izotopların bozunma ürünleri ve ^{40}K sayılabilir.

Ağır elementler olan uranyum ve toryum üç radyoaktif serinin ana çekirdeğidir. Bu üç radyoaktif seri doğal olarak tabiatta bulunan kararsız ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th radyoaktif çekirdekleri ile başlar. Bu üç klasik seri sırası ile uranyum serisi, aktinyum serisi ve toryum serisidir. Dördüncü seri ^{237}Np ile başlayan neptünyum serisidir ve diğer serilere nazaran yarılanma ömrü (2×10^6 yıl) daha kısadır. Bu serinin üyeleri nükleer reaksiyonlar neticesinde suni (yapay) olarak üretilebilirler fakat doğal olarak tabiatta bulunamazlar çünkü onların yarılanma ömürleri dünyanın yaşı ile karşılaştırıldığında çok kısa kalır. Doğal olarak bulunan üç dönüşüm serisi ve seri üyelerinin radyoaktif özellikleri Tablo 4.1’de özetlenmiştir [25].

Yerkabuğunda daha önce var olan radyonüklitlerin (ilk radyonüklitler) ortalama konsantrasyonları oldukça düşüktür. Bazı kaya ve topraklardaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U ’nun konsantrasyonları Tablo 4.2’de verilmiştir [26]. Hem bu radyonüklitlerin hem de onların bozunma ürünlerinin; toz birikimi, sel sularının sürüklenmesi, hava etkisi ile meydana gelen değişiklikler, tortu birikimi (sedimentasyon), biyolojik ve diğer transfer mekanizma ve süreçleri ile değişik çevresel örneklerde (biyolojik, hidrolojik ve jeolojik) mevcut olmaları beklenir [27].

Topraktaki doğal radyonüklitlerin insanların radyasyona maruz kalması üzerindeki etkisi ABD’den bazı veriler ile örneklendirilebilir. Tablo 4.3’de bazı ilk radyonüklitler ile toprağın kirlenmesinden kaynaklanan havadaki absorplanmış doz hızı değerleri gösterilmektedir [28].

Okyanus ve deniz sularındaki radyonüklit konsantrasyonları oldukça düşüktür. Bunun sebebi kısmen tortu birikimi süreçlerinden ve kısmen de büyük su hacimlerindeki sulanmalardandır. Örneğin, potasyum ve uranyum konsantrasyonları sırası ile $0,35 \text{ gL}^{-1}$ (11 BqL^{-1}) ve $3 \text{ } \mu\text{gL}^{-1}$ ’dir (36 mBqL^{-1}). Yer altı sularındaki ^{222}Rn özellikle derin kuyu sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda ($10\text{-}200 \text{ BqL}^{-1}$) görülür. Bununla birlikte onun ana çekirdeği olan ^{226}Ra çok daha düşük konsantrasyonlarda bulunur [26]. Karasal radyonüklitlerin hidrosfere transferi güçlü bir şekilde kaya-toprak-su-atmosfer sisteminin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bunun yanı sıra değişik radyonüklitlerin depolanma ve taşınması farklılıklar gösterir.

Tablo 4.1: Doğal radyoaktif seriler ve onların bazı parametreleri.

Seriler	Üye	Atom Numarası	Yarı Ömür	Bozulma Türü
Uranyum	²³⁸ U	92	4,5x10 ⁹ yıl	α
	²³⁴ Th	90	24 gün	β^-
	^{234m} Pa	91	1,2 dakika	IT, β^-
	²³⁴ Pa	91	6,7 saat	β^-
	²³⁴ U	92	2,5x10 ⁵ yıl	α
	²³⁰ Th	90	8x10 ⁴ yıl	α
	²²⁶ Ra	88	1600 yıl	α
	²²² Rn	86	3,8 gün	α
	²¹⁸ Po	84	3,0 dakika	α
	²¹⁴ Pb	82	27 dakika	β^-
	²¹⁴ Bi	83	20 dakika	β^-, α
	²¹⁴ Po	84	160 μ saniye	α
	²¹⁰ Tl	81	1,3 dakika	β^-
	²¹⁰ Pb	82	22 yıl	β^-
	²¹⁰ Bi	83	5,0 gün	β^-
	²¹⁰ Po	84	138 gün	α
	²⁰⁶ Pb	82	Kararlı	Kararlı
Toryum	²³² Th	90	1,4x10 ¹⁰ yıl	α
	²²⁸ Ra	88	5,8 yıl	β^-
	²²⁸ Ac	89	6,1 saat	β^-
	²²⁸ Th	90	1,9 yıl	α
	²²⁴ Ra	88	3,7 gün	α
	²²⁰ Rn	86	56 saniye	α
	²¹⁶ Po	84	0,15 saniye	α
	²¹² Pb	82	10,6 saat	β^-
	²¹² Bi	83	1,0 saat	β^-, α
	²¹² Po	84	0,3 μ saniye	α
	²⁰⁸ Tl	81	3,1 dakika	β^-
	²⁰⁸ Pb	82	Kararlı	Kararlı
Aktinyum	²³⁵ U	92	7,1x10 ⁸ yıl	α
	²³¹ Th	90	26 saat	β^-
	²³¹ Pa	91	3,3x10 ⁴ yıl	α
	²²⁷ Ac	89	22 yıl	β^-, α
	²²⁷ Th	90	19 gün	α
	²²³ Fr	87	22 dakika	β^-, α
	²²³ Ra	88	11 gün	α
	²¹⁹ At	85	0,9 dakika	α, β^-
	²¹⁹ Rn	86	4,0 saniye	α
	²¹⁵ Po	84	1,8 mili saniye	α
	²¹¹ Pb	82	36 dakika	α
	²¹¹ Bi	83	2,2 dakika	α, β^-
	²¹¹ Po	84	0,5 saniye	α
	²⁰⁷ Tl	81	4,8 dakika	β
	²⁰⁷ Pb	82	Kararlı	Kararlı

Tablo 4.2: Bazı kayalar ve topraktaki ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U 'nun kütle ve aktivite konsantrasyonları.

Kaya Türü	^{40}K		^{232}Th		^{238}U	
	(mg/kg)	(Bq/kg)	(mg/kg)	(Bq/kg)	(mg/kg)	(Bq/kg)
Püskürük						
Granit	5	1200	17	70	3	35
Bazalt	0,9	230	4	15	1	12
Tortul						
Kireçtaşı	0,3	70	2	8	2	25
Kumtaşı	1,3	300	3	11	1,5	18
Killi Şist	3,0	700	12	45	4	50
Toprak						
Dünya Ort.	1,4	370	6	25	2	25

Tablo 4.3: Topraktaki doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları ve havadaki ilgili absorplanmış doz hızı.

Radyonüklit	Konsantrasyon (Bq/kg)		Doz Hızı (nGy/saat)	
	Ortalama	Dağılım	Ortalama	Dağılım
^{40}K	370	100-700	15	4-29
^{232}Th serisi	35	4-130	22	2-81
^{238}U serisi	35	4-140		
^{226}Ra alt-serisi	40	8-160	18	4-74

Dış yayıcılar olarak önemli katkılarına ilaveten hem uranyum ve toryum serilerinin üyeleri hem de ^{40}K insan vücudundaki iç ışınlamanın ana kaynağı olarak belirtilir. Bu doğal radyonüklitlerin vücut içerisine alınması solunum ve yeme yoluyla olur. Değişik radyonüklitlerin vücut içerisine alınmasından dolayı radyasyona maruz kalmanın değerlendirilmesi için Uluslar arası Radyolojik Koruma Komisyonu (International Commission on Radiological Protection, ICRP) Doz Eşdeğeri ve Efektif Doz Eşdeğeri gibi bazı nicelikler ortaya koymuştur.

Buna ilave olarak; hava ve gıdaların ortak türlerindeki bazı doğal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 4.4'de, yetişkinler için solunum ve yeme yolu ile vücut içerisine alınan radyonüklit aktiviteleri ise ilgili dozlar ile birlikte Tablo 4.5'de verilmiştir [29].

Uranyum ve toryum ailesinin radyonüklitleri için yıllık vücut içerisine radyoaktif madde alımından dolayı meydana gelen dozlar 80 μSv , ortalama vücut içeriğinden kaynaklanan doz değeri ise her yıl 92 μSv 'dir. ^{40}K için aynı dozlar sırası ile yaklaşık olarak 165 μSv ve 180 μSv civarındadır. Toplam doz, vücut içerisine alınan radyonüklitlerden dolayı 245 μSv , vücut içeriğinden dolayı ise 272 μSv 'dir [25].

Gıdalardaki aktivite konsantrasyonlarının değişkenliği Tablo 4.6'da gösterilmiştir [29]. Referans değerler pek çok kez aşılmıştır. Brezilya'daki Minas Gerais volkanik bölgesinde ve Hindistan'daki Kerala mineral kumlarında; süt, et, tahıl, yapraklı sebzeler, kökler ve meyvelerde yüksek aktivite konsantrasyonları mevcuttur. Çin'deki Guandong granitik bölgesinde ise pirinç ve kırmızı turp gibi gıdalarda yüksek aktiviteler ölçülmüştür.

Tablo 4.4: Gıda ve havadaki bazı karasal radyonüklitlerin referans aktiviteleri.

Vücut İçerisine Alınan Materyaller	Aktivite Konsantrasyonu (mBq/kg)						
	²³⁸ U- ²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²²⁸ Ra	²³² Th
Süt Ürünleri	1	0,5	5	40	60	5	0,3
Et Ürünleri	2	2	15	80	60	10	1
Tahıl Ürünleri	20	10	80	100	240	60	3
Yapraklı Sebzeler	20	20	50	30	30	40	15
Kökler ve Meyveler	3	0,5	30	25	30	20	0,5
Balık Ürünleri	30	-	100	200	5000	-	-
Su kaynakları	1	0,1	0,5	10	5	0,5	0,05
Vücut İçerisine Alınan Materyaller	Aktivite Konsantrasyonu (µBq/kg)						
	²³⁸ U- ²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²²⁸ Ra	²³² Th
Hava	1	0,5	0,5	500	30	1	1

Tablo 4.5: Bazı karasal radyonüklitlerin yıllık referans aktiviteleri ve yetişkinler için ilgili doz değerleri.

Radyonüklit	Sindirim		Solunum	
	Aktivite (Bq)	Doz (µSv)	Aktivite (Bq)	Doz (µSv)
²³⁸ U	5,7	0,21	8,0	0,25
²³⁴ U	5,7	0,22	8,0	0,28
²³⁰ Th	2,9	0,22	4,0	0,20
²²⁶ Ra	22	4,84	4,0	0,01
²¹⁰ Pb	36	31,0	4000	8,8
²¹⁰ Po	127	26,7	400	0,40
²³² Th	1,5	0,56	8,0	1,68
²²⁸ Ra	15	4,05	8,0	0,01
²²⁸ Th	1,5	0,10	8,0	0,53
²³⁵ U	0,24	0,01	0,40	0,01

Tablo 4.6: Gıdalardaki bazı doğal radyonüklitlerin yüksek aktivite konsantrasyonları.

Gıda	Ülke	Radyonüklit	Aktivite Konsantrasyonu (mBq/kg)	
			Dağılım	Aritmetik Ortalama
İnek Sütü	Brezilya	²²⁶ Ra	29-210	108
		²¹⁰ Pb	50-60	45
Tavuk Eti	Brezilya	²²⁶ Ra	37-163	86
		²²⁸ Ra	141-355	262
Sığır Eti	Brezilya	²²⁶ Ra	30-59	44
		²²⁸ Ra	78-111	96
Domuz Eti	Brezilya	²²⁶ Ra	7-22	13
		²²⁸ Ra	93-137	121
Rengeyiği Eti	İsveç	²¹⁰ Pb	400-700	550
		²¹⁰ Po	---	11000
Tahıllar	Hindistan	²²⁶ Ra	> 510	174
		²²⁸ Th	> 5590	536
Mısır	Brezilya	²²⁶ Ra	70-229	118
		²¹⁰ Pb	100-222	144
Pirinç	Çin	²²⁶ Ra		250
		²¹⁰ Pb		570
Yeşil Sebzeler	Hindistan	²²⁶ Ra	325-2120	1110
		²²⁸ Th	348-5180	1670
Havuçlar	Brezilya	²²⁶ Ra	329-485	411
		²¹⁰ Pb	218-318	255
Kökler	Hindistan	²²⁶ Ra	477-4780	1490
		²²⁸ Th	70-32400	21700
Meyveler	Hindistan	²²⁶ Ra	137-688	296
		²²⁸ Th	59-21900	2590

Gıdalardaki aktivite konsantrasyonlarının büyük değişimlerine ilave olarak içilebilen sulardaki radyonüklit içerikleri de önemli derecede değişiklikler gösterir (Tablo 4.7).

Daha önce de vurgulandığı gibi; karasal kaynaklı doğal radyonüklitlerden dolayı maruz kalınan en yüksek doz, radon bozunma ürünlerinin solunmasından ileri gelir. Bu yüksek konsantrasyonlara uzun süreli maruz kalma akciğer kanseri gelişiminin bireysel riskini oldukça arttırabilmektedir. ABD halkının akciğer epitelleri için ortalama yıllık doz eşdeğeri yaklaşık olarak 25 mSv olarak belirlenmiştir [30, 31]. Bu doza maruz kalma, ülkede her yıl 5000 ile 10000 akciğer kanseri ölümüne sebebiyet verebilmektedir.

4.1.1 Kaya ve Topraklardaki Radyoaktivite

Püskürük ve metamorfik kayalar yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında şekillenmiş olan kristal kayalardır. Bu şartlar altında kayalar eriyebilir ya da tekrar kristalleşebilir. Birbirlerinden farklı elementler olan uranyum ve toryumun büyük hacimleri, onların çoğu mineral yapılar içine girmelerine izin vermez. Bunun bir sonucu olarak uranyum ve toryum daha önceden şekillenmiş yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı mineral yapılarından ayrılırlar ve oluşumu uzun zaman alan

alkalik kayalarda zengin olarak bulunma eğilimi gösterirler [32]. Uranyum ve toryum bu şartlar altında benzer bir şekilde hareket ettikleri için onlar arasındaki oran genellikle ortak püskürük kayalarda 4'e 3'tür. Her iki elementin bolluğu kuvars muhteviyatı ile artış eğilimi gösterir. Granitler genellikle uranyum ve toryumun en yüksek konsantrasyonlarına sahiptirler. Bu tür kayalardaki uranyum konsantrasyonu nadiren 30 ppm'i aşmaktadır. Kuvarsca zayıf kayalar ise genellikle 0,1 ppm ya da daha az uranyum konsantrasyonu içerirler [33]. Uranyum, toryum, bu radyonüklitlerin kızları ve radyoaktif potasyum (^{40}K) bulundukları kristal kayalarda büyük oranda ısı açığa çıkmasına sebebiyet verirler.

Özel çevresel şartlar altında ve bazı ana kaya türleri ile bozulma serisi çekirdeklerinin relatif birikme eğilimi artış gösterir. Örneğin kireç taşı üzerindeki terra rosta tipi toprağın oluşumu uranyum serisi radyonüklitlerinin çok güçlü bir dengesizliğine yol açar. Güney Pasifik okyanusundaki ada topraklarında ^{230}Th / ^{234}U oranlarının 5'den büyük olduğu ve bazı durumlarda 20 değerini aştığı görülür. ^{226}Ra ile karşılaştırıldığı zaman ^{210}Pb 'nin aktivitesi çok düşüktür. Bu aktiviteye sahip olan toprak ^{226}Ra 'nın bozunumu sonucu atmosfere radon (^{222}Rn) gazı çıkmasını sağlar. Bu durumun tersi ise mağaralarda ortaya çıkar. Toprak yukarıdaki harici gama doz hızının büyüklüğü (%95), toprak içerisinde var olan radyonüklitlerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Bu harici gama doz hızına asıl katkı ^{40}K , ^{232}Th serisi ve ^{238}U serisi için sırası ile %35, %50 ve %15'dir. Bazı ülkeler için belirlenmiş olan gama doz hızı değerleri Tablo 4.8'de verilmiştir [1,29].

Tablo 4.7: Değişik kaynakların içilebilir sularındaki bazı doğal karasal radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları [29].

Kaynak	Ülke	Radyonüklit	Aktivite Konsantrasyonu (mBq/L)		
			Dağılım	Aritmetik Ort.	Geometrik Ort.
Şişe Suları	Brezilya	^{226}Ra	< 10-130		27
		^{210}Pb	< 50-190		77
	Fransa	^{226}Ra	> 2700	60	
		^{238}U	> 2000	60	
		^{232}Th	—	< 40	
	Almanya	^{226}Ra	< 1-1800		25
		^{238}U	< 1-140		4,4
		^{210}Pb	3,3-53		9,0
		^{210}Po	0,4-8,9		1,8
	Endonezya	^{226}Ra	< 1-60	22	
Yer altı Suları	Portekiz	^{226}Ra	< 3-2185		26,7
		^{210}Pb	2-392		18,5
	Finlandiya	^{226}Ra	> 5300	440	
		^{238}U	> 74000	4200	
		^{210}Pb	> 10200	430	
	İsveç	^{210}Po	> 6300	220	
		^{226}Ra	2-2460	42	13,7

Tablo 4.8: Bazı ülkeler için ev içi ve ev dışı gama doz hızı değerleri.

Ülke	Ev İçi Ölçümler ($\mu\text{R/saat}$)	Ev Dışı Ölçümler ($\mu\text{R/saat}$)
Avustralya	10,3	7,0
Belçika	5,8	4,3
Bulgaristan	7,5	7,0
Kanada	---	2,8
Danimarka	6,3	3,8
Finlandiya	8,0	6,5
Mısır	1,4-21,0	3,2
Fransa	1,0-25	7,5
Almanya	7,0	4-35
Yunanistan	---	4,2
Hong Kong	---	3,7-11,3
Endonezya	---	5,5
Hindistan	---	2,0-110
İtalya	8,6	7-50
Japonya	5,0	5,0-10
Hollanda	3,0-10,0	1,0-6,0
Dünya Ortalaması	7,0	5,5

Gama doz hızına ^{232}Th bozulma zincirinden ana katkı ^{208}Tl ve ^{228}Ac radyonüklitlerindendir. ^{238}U bozulma serisi için ise doz hızının yaklaşık olarak %99'u ^{214}Pb ve ^{214}Bi 'den dolayıdır.

^{238}U ve ^{232}Th için normal topraktaki (ıslak ağırlık) radyoaktivite seviyesinin dünya ortalaması ve aralığı sırası ile $0,025 \text{ Bqg}^{-1}$ ve $(0,01-0,05)$; $0,025 \text{ Bqg}^{-1}$ ve $(0,07-0,05)$ 'dir. Bununla birlikte daha yüksek değerler dünyanın lokalize olmuş özel bölgelerindeki petrollerde görülebilir.

Karasal kaynaklı gama doz hızının değişkenliği için iki temel faktör, radyonüklit konsantrasyonları ve zırlamadır [1]:

Doz hızları toprak ve kayaların radyonüklit kompozisyonu ve bir bölgenin jeolojisine göre değişir. En yüksek seviyeler genellikle püskürük kayalarda bulunur ve bu durum asidik kayalarda en yüksek değerde bulunan asit silisit tuzunun nicelikleriyle alakalıdır.

Bazı killi şistler ve fosfat kayaları yüksek seviyeler sergileyebilmesine rağmen sedimentel kayalar genellikle püskürük kayalardan daha zayıf radyoaktif madde konsantrasyonuna sahiptir.

Topraktaki radyoaktivite temel anlamda kayalardan kaynaklanır. Toprağın içermiş olduğu radyoaktivite konsantrasyonu; hava koşulları, sedimentasyon, filtreleme, emilme, yer altı suyunun hareketi sonucu meydana gelen çökelmeler, diğer maddeler ile sulanma ve yüksek derecede porozite ile artar veya azalabilir.

Zırlama diğer bir faktör olarak göz önünde bulundurulur. Örneğin, 20 cm'lik bir kar kalınlığı gama doz hızını yarıya kadar düşürür. Bunun yanı sıra; nemli hava süresince suyun toprağın üst tabakasına sızması, gama doz hızını %20'den daha fazla düşürebilir.

Uranyum, radyum ve toryumun biyolojik kullanılabilirliği üzerindeki toprak özelliklerinin (pH, toprak yapısı ve organik madde içerikleri gibi) etkileri tam olarak çalışılmamıştır. Bununla beraber, bu toprak özelliklerinin etkileri bitkiler kullanılarak yapılan deneylerin örnekleme sonuçları ile tespit edilebilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda tespit edilen toprak özellikleri rapor edilmiştir. Toprakta çözünebilir özellikte olan radyonüklitler ya da diğer iyonlar bitkiler tarafından kolaylıkla ve çokça emilmektedirler. Bunun bir sonucu olarak, tutma ve çözünürlüğü etkileyen toprak reaksiyonları direkt olarak bu radyonüklitlerin biyolojik kullanılabilirliğini etkilemektedir [1].

Bu radyonüklitleri bünyesine alan bitki, kendi türüne bağlı olarak toprak pH'ından bir miktar etkilenir. Bu farklılıklar, toprağın pH seviyesi ile artış gösteren Ca ve Mg gibi kararlı elementlerin miktarları ile dolaylı olarak alakalıdır. Topraktaki birkaç radyonüklitin hareketi üzerindeki toprak yapısının etkisi, iki değerlikli Ca ve Mg'nin hareketi üzerindeki toprak yapısının etkisine benzerdir. İki değerlikli pozitif yüklü iyonlar karşılıklı etkileşim mekanizması boyunca toprak killeri tarafından emilirler. Bu nedenle emilimin relatif hızı genellikle toprakların kil içeriği ile artar. Topraktaki mobilite emilme ile ters alakalı olduğundan dolayı radyonüklitlerin aşağı doğru hareketi yüksek kil oranına sahip topraklarda daha zayıf olur. Kiss ve diğerleri [34] yüksek ^{40}K aktivitesine sahip doğal otlakların altındaki toprakların genellikle daha yüksek ^{214}Bi ve ^{208}Tl aktivitelerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Topraktaki uranyum konsantrasyonları toprağın içerdiği organik bileşik ile alakalıdır [35]. Hansen ve Huntington [36] topraktaki bağımsız toryum birikimlerinin yüksek organik madde içeriği ile çabucak aşağı tabakalara kaydığını rapor etmişlerdir. Toprağın içerdiği organik madde güçlü bir şekilde 4 değerlikli toryum ile birleşir. Böylece topraktaki toryumun mobilitesi artar. Bu bilim adamları aynı zamanda radyumun toryumdan daha düzensiz olarak yayıldığını da bulmuşlardır. Radyum yayılımlarını, topraktaki organik maddeler tarafından toryumun hareketi ve uranyum tutulumu ile açıklamışlardır. Hansen ve Stout [37] toprağın üst kısmının toryumdan ziyade daha fazla uranyum konsantrasyonuna sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

4.1.2 Sulardaki Radyoaktivite

İrmaklar, radyonüklitleri içeren toprakları aşındırarak okyanus ve göllere ulaşırlar. Bunun yanı sıra bazı radyonüklitleri içeren yer altı suları da okyanus ve göllere ulaşabilirler. Bunlara ek olarak okyanus ve göllerin üzerinde atmosferik olaylar dahilinde meydana gelen birikimler de olur.

Radyoelementler erozyon dirençli minerallerle alakalı olduklarından bu mineralleri içeren sedimentler yüksek radyoaktivitenin tespit edildiği kaynaklar olabilirler. Örneğin, Florida'nın kuzey doğusundaki kumlar önemli miktarda toryum içeren monazit minerallerince zengindirler. Bu zenginliğin oluşmasının sebebi monazitin yüksek özgül ağırlığı nedeniyle sahiller boyunca konsantre olmasıdır.

Su küçük ve değişken miktarlarda uranyum ve toryum bozulumu ve onların kızlarından kaynaklanan (^{40}K ile birlikte) doğal radyoaktivite içerir. Background radyasyonu nükleer fisyonun bir sonucu olarak son on yılda artmıştır. Nükleer silah testleri sonucu çıkan fisyon ürünleri yani suni radyoaktif kaynaklar, radyoaktif yağışlar ile hidrosfere girmişlerdir. ^{90}Sr , ^{137}Cs gibi fisyon ürünleri ve diğer suni radyonüklitler; yağmur, ırmak, yüzey ve yer altı sularında tespit edilmişlerdir [38, 39].

Elektrik üretiminde kullanılan nükleer güç reaktörleri ve araştırma kuruluşlarının çalışması sonucunda ortaya çıkan sıvı radyoaktif atıkların küçük miktarlarının çevreye yayılımı, endüstri ve ilaç sanayinde radyoaktif maddelerin kullanımı ve hatta, sediment ve su hareketlerinin incelenmesi için kullanılan radyoaktif iz elementleri sulardaki radyoaktifliğe katkıda bulunan kaynaklardır.

Su, uranyum serisi çekirdeklerinin başlıca taşınma ortamıdır. Okyanus ve onun sedimentleri bu radyonüklitler için bir tekrar yayılım sistemi ve önemli depolama yerleri vazifesini görür. Deniz sistemine girişler o radyonüklitleri taşıyan sedimentler ve ırmak sularıdır. İrmaklardaki çözülmüş uranyum konsantrasyonu 0,29'dan 0,005 dpmL⁻¹'e kadar değişir (0,13 ile 0,002 pCiL⁻¹ ya da 0,4 ile 0,01 µgL⁻¹) ve okyanus suyu konsantrasyonu 2,4 dpmL⁻¹'dir (1,08 pCiL⁻¹ ya da 3,25 µgL⁻¹) [40]. Toryum ise okyanus ve nehir sularında oldukça düşük seviyelerdedir. Bununla birlikte, ırmaklar tarafından taşınan parçacıklar üzerinde adsorplanmış olan toryum (bu parçacıkların yüzeyine yapışmış olarak) deniz içerisine taşınır ve deniz tabanında birikir.

Yer altı suyu radyonüklit ayrımını kolaylaştıran başlıca ortamdır. Bu nedenle yer altı sularında çok değişik konsantrasyonlarda radyonüklitlere rastlamak mümkündür. Örneğin, yer altı sularında uranyum 10⁻³ ppb'den ppm'in yüzlercesine kadar olan konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Bunun aksine bütün toryum izotopları sularda her zaman çok zayıf konsantrasyonlardadırlar [1].

4.1.2.1 Yeraltı Sularındaki Radyoaktif Elementler

Yeraltı suları farklı konsantrasyonlarda ^{235}U ve ^{232}Th grubundan olan radyoaktif elementler içermektedirler [41]. Bu sularda; uranyum serilerinden olan ^{226}Ra , ^{223}Ra ve ^{222}Rn izotoplarının ve toryum serisinden olan ^{224}Ra ve ^{228}Ra gibi radyoaktif izotopların bulunma olasılıkları çok yüksektir. Bu radyoaktif elementlerin konsantrasyon miktarları ortamda bulunan kayaların türlerine, yeraltı sularının reaksiyona girme kabiliyetlerine ve farklı türdeki kayaların istikrarları gibi etkenlere bağlıdır [42-44]. Sularda çözünmüş uranyum serisine ait dört tür radyoaktif izotop bulunur. Bunlar, ^{238}U , ^{223}Ra , ^{226}Ra ve ^{222}Rn 'dir. Bu radyoaktif izotoplardan en önemlisi alfa parçacıkları yayınlamak azalan ve $4,5 \times 10^9$ yıl yarılanma ömrüne sahip olan ^{238}U 'dur. Bu radyoaktif izotopun diğerlerine göre daha önemli olmasının nedeni, uzun yarılanma ömrüne sahip olması ve canlılar için çok tehlikeli olan alfa radyasyonu yayınlamak azalmasıdır. Bu radyoizotoplardan 1622 yıl gibi uzun bir yarılanma ömrüne sahip olan ^{226}Ra da ^{238}U gibi alfa radyasyonu yayınlamak azalır ve kaya oyukları içerisinde geçerek yeraltı sularına difüzyon yoluyla geçebilme kabiliyetine sahiptir [45]. ^{222}Rn radyoaktif izotopu ise 3,825 gün yarılanma ömrüne sahip olup, ^{235}U serisine dahil olan ve doğal uranyumda %0,7 oranında bulunan ^{223}Ra gibi alfa radyasyonu yayınlamak azalır. Bunun yanında toryum serisine dahil olan ^{228}Ra ve ^{224}Ra radyoaktif izotopları ise beta radyasyonu yayınlamak bozunurlar [41].

4.1.2.2 Uranyum, Toryum ve Radon'un Hidrokimyası

Özellikle uranyumun hidrokimyası çok karmaşıktır. Bununla birlikte uranyumun hidrokimyasını kısaca özetlemek mümkündür. Uranyum, birkaç oksidasyon konumunda oluşabilir fakat sadece 4+ ve 6+ konumları hidrokimyada önemlidir. U^{4+} konumundan uranil (UO_2^{2+}) konumuna oksidasyon, +0,33 V'luk bir redoks potansiyeline sahiptir. U^{4+} iyonu düşük pH değerlerinde dahi sularda erimeyen bir hidroksit olarak şekillenir. Bununla birlikte, uranil (UO_2^{2+}) iyonu ve onun hidroksiti oksidasyon durumunda oldukça yüksek çözünme kabiliyetine sahiptir. Krauskopf, uranyum mineralleri ile temas halindeki yüzey sularının birkaç ppm ve müstesna olarak birkaç bin ppm'i aşkın uranyum içerebileceğini ifade etmiştir [46]. Özetle uranyum indirgenmiş çevrelerde oldukça erimez iken, özellikle okside eden ve asidik şartlarda çözünürdür. Uranyum (VI) yüksek çözünürlüğünün bir sonucu olarak; hidroksit, karbonat, fosfat ve hatta klorit ile kompleks iyonları şekillendirir [47, 48]. Organik/humik türler ve önemli olabilen sülfid, florid gibi diğer türler ile çözünmüş kompleksler şeklinde de olabilen uranyum, kimyasal olarak vanadyuma benzerlik gösterir. Uranyum'un aksine toryum bütün şartlar altında yüksek oranda erimezdir. Bu durum özellikle 4+ oksidasyon konumunda ortaya çıkar.

Radon kimyasal olarak inert fakat çözünürlüğü yüksek olan bir gazdır. Yeraltı sularındaki radonun konsantrasyonu; hidrodinamik faktörler, kuyu civarlarındaki yeraltı suyu ve kayaların içerdiği uranyum ve radyum elementleri, esnek kayalar içerisindeki uranyum ve radyum mineralojisi gibi faktörler ile kontrol edilir [49]. Eriyebilen diğer maddeler gibi radon konsantrasyonu, genelde yeraltı sularında düzenli olarak bulunur [50]. Deprem olaylarını tahmin etmede de kullanılan radon konsantrasyonları; atmosferik basınç, ağır yağmur yağışı ve kar erimesi gibi meteorolojik faktörler ile değişebilir [51].

4.1.2.3 İçme Sularındaki Radyoaktivite Limitleri

İçme suları içerisinde bulunabilecek maksimum alfa ve beta radyasyon seviyeleri WHO, TSE ve İSKİ tarafından yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 4.9'da verilmiştir [52-54].

Sular içerisinde alfa ve beta aktif radyoaktif elementlerin bulunma olasılığı, gama aktif radyoaktif elementlere nazaran çok daha yüksektir. Tabiatta doğal olarak bulunan alfa ve beta aktif elementler, içerisinde bulunduğu ortama background olarak nitelendirilen bir radyoaktiflik kazandırır. Tablo 4.9'da görüldüğü gibi WHO tarafından tavsiye edilen üst sınırlar; toplam alfa radyoaktivitesi için 0,1 Bq/L, toplam beta radyoaktivitesi için ise 1,0 Bq/L olarak belirtilmiştir. Bunun yanı sıra TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerleri; toplam alfa radyoaktivitesi için 0,1 Bq/L, toplam beta radyoaktivitesi için ise 1,0 Bq/L'dir.

Tablo 4.9: İçme suları için uluslararası ve ulusal kuruluşlar tarafından kabul edilmiş en yüksek radyoaktif kirletici konsantrasyonları.

Kirletici	Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)			TSE	İSKİ
	1993	1971	1971	2003	1984
	Tavsiye Edilen Üst Sınırlar	Tavsiye Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar	Müsaade Edilen Üst Sınırlar
Toplam	0,1 Bq/L	0,11 Bq/L	0,37 Bq/L	0,1 Bq/L	0,037 Bq/L
Alfa	(2,7 pCi/L)	(3 pCi/L)	(10 pCi/L)	(2,7 pCi/L)	(1 pCi/L)
Toplam	1,0 Bq/L	1,1 Bq/L	3,7 Bq/L	1,0 Bq/L	0,37 Bq/L
Beta	(27 pCi/L)	(30 pCi/L)	(100pCi/L)	(27 pCi/L)	(10 pCi/L)
²²⁶ Ra	----	----	----	----	----
⁹⁰ Sr	----	1,1 Bq/L (30 pCi/L)	----	----	----

4.1.3 Havadaki Radyoaktivite

Atmosferik radyonüklitlerin konsantrasyonu enlem ve yüksekliğe bağlı olan özel bir dağılıma sahiptir. Kozmojenik radyonüklitler, stratosferde troposferden daha yüksek bir üretim hızına sahiptirler çünkü stratosferde kozmik ışınların daha yüksek bir yoğunluğu söz konusudur.

Radon, toron ve onların bozulma ürünleri halkın radyasyona maruz kalmasını sağlayan en önemli kaynaklardır. Bu radyoaktif kaynaklar doğal ve suni radyoaktiviteden alınmış olan toplam efektif doz eşdeğerinin yaklaşık olarak yarısına katkı sağlarlar (Tablo 4.10'a bakınız) [55].

Radon (^{222}Rn ya da Rn) radyoaktif bir soy gazdır ve kimyasal olarak nispeten ağırdır. Bu radyoaktif gazın kaynağı granitler gibi değişik materyallerde bulunan uranyumdur (^{238}U ya da U). Radon atomu maddenin mineral taneciklerinde şekillenir. Şekillenmiş atomların belirli bir parçası maddenin gözenek boşluğuna kaçar ve madde yüzeyine difüz ederek oradan da madde çevresindeki havaya dağılır.

Radon, radyoaktif olan bozulma ürünlerine radyoaktif bozunum ile ayrılır. Soluk alıp verme ve bunun neticesinde solunum sisteminde biriken radon kızları bozunarak solunum sistemi organlarının radyasyona maruz kalmasına sebebiyet verirler ve bu bölgede radyasyon tehlikesi oluştururlar.

Gerçekte radon bütün topraklarda her zaman olur ve çok zayıf konsantrasyonlarda bile ölçülebilir. Doğal olarak oluşan eser gazdır. Bu özellik, geçirimli tabakalar ve toprak altı çatlaklarının algılanmasında kullanılabilir.

Radon, ^{238}U bozulma zincirindeki ilk gaz izotoptur. Buna paralel olarak toron (^{220}Rn) ve aktinon (^{219}Rn), ^{232}Th ve ^{235}U bozulma serilerindeki ilk gaz izotoplar olarak ortaya çıkarlar. Radonun alfa yayılımı yaparak bozunumu ile üç kısa ömürlü izotop meydana gelir. Bunlar ^{218}Po (RaA), ^{214}Pb (RaB) ve ^{214}Bi 'dir (RaC). ^{214}Bi , ^{214}Po 'ya (RaC') bozunur ve bu radyonüklitin yarı ömrü 163 s'dir. Bu izotopun aktivitesi ^{214}Bi 'nin aktivitesine eşit olur. RaA ve RaC' başta olmak üzere bu üç radyoizotop solunum sisteminde radyoaktif risk oluştururlar çünkü alfa radyasyonunun solunum sistemi organları üzerindeki etkileri ihmal edilemeyecek kadar büyüktür [1].

Radonun materyal boyunca dağınık geçişi difüzyon uzunluğu ile karakterize edilir. Difüzyon katsayısından belirlenen bu nicelik, bir radon atomunun bozunmadan önce madde içerisinde hareket edebileceği tipik mesafeyi gösterir. Tipik nemli topraklar için difüzyon uzunluğu 20-50 cm kadar olup bu değer kuru kumlarda 1,5 m kadar yüksek olabilir. Yoğun maddelerde (örneğin yoğun granitte) difüzyon uzunluğu sadece 10-15 cm kadardır. Havada ise difüzyon uzunluğu 2,18 m'dir [1].

Tablo 4.10: Bireylerin değişik kaynaklardan maruz kaldığı ortalama radyasyon dozları.

	Radyasyon Kaynakları	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (mSv)
Doğal	Deniz seviyesindeki kozmik ışımlar	0,37
	Radon (^{222}Rn ve ^{220}Rn)	1,30
	Potasyum (^{40}K)	0,30
	Diğer doğal kaynaklar	0,40
Yapay	Radyasyonun medikal kullanımı	0,4-1,0
	Nükleer Denemeler	0,01
	Nükleer Güç Üretimi	0,002

Radon'un çıktığı maddeler uranyum içeren herhangi bir materyal olabilir. Alışılmış yapı malzemeleri; örneğin granit taş ocağı orijinli çimento, yüksek miktarda doğal uranyum içerebilir. Bu materyaller kullanılarak yapılan binalarda, bina içerisine radon gazı yayılımı olacaktır çünkü uranyumca zengin olan duvar yapı malzemeleri binalar içerisine radon yayacaktır. Bu duruma örnek olarak büyük bir binanın beton parçası verilebilir.

Yapı malzemeleri katkılıdır. Bunlara örnek olarak termik santrallerde hammadde olarak kullanılan kömürün yanması sonucu oluşan kömür külü verilebilir. Kömür önemli derecede uranyum içerebilir. Yapı malzemeleri içerisine bu kömür külü harmanlanarak katkı sağlanır. Bu nedenle yapı malzemelerinin uranyum içerme ihtimali yüksektir. Dolayısıyla, yapı malzemeleri içerdikleri uranyum miktarına bağlı olarak radon gazı çıkışı sağlayabilirler.

Diğer örnekler maden ocaklarının işlenmesi sonucunda ortaya çıkan malzemelerdir. Bu malzemeler atmosferik radonun önemli bir kaynağıdır ve halkın radon gazına maruz kalmasına sebebiyet verir.

Görüldüğü gibi iç ortamlardaki radonun ana kaynağı taban toprağı bölgesidir. Radon; ana kaynak vazifesi gören taban toprağı bölgesinden su borusu girişleri, çatlaklar vs. yolu ile binaların içerisine difüz edebilir.

Diğer bir radon gazı kaynağı da, radon gazı suda çözündüğü zaman su dengesiz ise (duşta akan su gibi) meydana çıkar. Bu durumda su damlacıklarından çıkan radon havaya yayılır. Üzerinde yüksek basınç olan yer altı suları önemli miktarlarda (370 kBqm^{-3} 'den fazla) radon içerebilir. Böyle yer altı suları evler ve diğer bina yapılarında önemli bir radon gazı kaynağı olabilirler.

Herhangi bir aşamada radon (Rn) ve radon kızlarının (RnD) denge durumu F faktörü ile karakterize edilir. Bu F faktörünün değeri 1 olduğı zaman Rn ve RnD arasında tam bir denge vardır. F faktörünün değeri 1'den küçük olduğı zaman ise gerçeğe uygun günlük durumları

gösterir. Dışarıdaki havanın F faktörü 0,7-0,8'dir. İç ortamlarda ise bu faktör 0,33 ve 0,45 değerleri arasında değişir [1].

Dışarı havasındaki ^{222}Rn konsantrasyonları; topraktaki ^{226}Ra konsantrasyonuna, topraktan radyoaktif gaz çıkışı hızına ve atmosferik dağılım faktörlerine büyük oranda bağlıdır. Su bölgeleri üzerindeki değerler toprak bölgesi üzerindeki değerlerden daha zayıftır. Uranyum birikimlerine yakın ölçülen değerler ise birkaç kat daha yüksek seviyededir. Günlük ve mevsimsel değişimler en düşük değer 2,4 katıdır. Bina içi radon konsantrasyonları çok değişkendir. Kuzey iklimlerinde zayıf havalandırma hızı mevcut olduğundan dolayı bina içerisinde fazla hava sirkülasyonu olmaz. Bunun bir sonucu olarak bina içerisinde radona maruz kalma doz değerleri yükselir ve çoğu kez dış radon katkılarından daha fazladır [1].

4.1.4 Gıdalardaki Radyoaktivite

İnsan, yaşamını sürdürmek için ihtiyacı olan besinlerin tamamına yakını topraktan temin eder. Karbon ve oksijen gibi havadan alınan elementler hariç, besinleri oluşturan elementlerin hepsi toprağın ekolojik yapısında mevcuttur. İnsanlar topraktaki bu elementleri vücutlarına bitkiler vasıtasıyla alır. Bu mekanizma sürekli işlemektedir. İnsanlar tarafından suni olarak üretilen radyonüklitler de toprak içinde doğal radyonüklitlere benzer özellikler gösterirler. Bu durum son 30-40 yıldan beri yapılan nükleer denemeler ve nükleer santrallerde olan kazaların sebep olduğu radyoaktif kirlenmelerin gıda zincirinde meydana getirdiği etkilerin araştırılması sonucu ortaya konmuştur [56]. Atmosferde bulunan radyoaktif maddeler radyoaktif yağışlarla yere düştüklerinde bitki yaprakları tarafından da tutulurlar. Bitkilerin, hayvanlar tarafından tüketilmesiyle de bu radyoaktif maddeler dolaylı olarak insan vücuduna girerler. Bu da insan sağlığı için başka bir risk oluşturmaktadır.

Toprak içindeki mineraller, organik maddeler, su ve hava, bitkiler için gerekli olan besleyici unsurlar olmakla birlikte bitkilere mekanik bir destek de sağlarlar. Radyonüklitler topraktan bitki metabolizmasına genellikle kökler vasıtasıyla geçmektedir. Bitki tarafından topraktan alınan uranyum, radyum, iyot, kobalt gibi elementlerin bitki için ne tür faydalar sağladığı henüz bilinmemekle birlikte C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu, Mo, B, Cl gibi elementlerin bitki bünyesi için çok önemli oldukları uzun zamandan beri bilinmektedir. Bir radyonüklit, o nüklidin kimyasal yapısına, bitki metabolizmasındaki gereksinimine ve topraktaki fizikokimyasal faktörlere bağlı olarak bitki tarafından emilir. Emilme olayı radyonüklitin radyoaktif özelliklerinden bağımsızdır [56]. Toprak taneciklerinin yüzeylerinde adsorbe olmuş katyonlar bitki için gerekli olan bir çok besleyici maddeyi bitkiye aktarır. Besinler, bitki kök uçlarına içinde katyon konsantrasyonlarını dengede tutan toprak suları ile geçerler. Bitki kökleri kaba yonca, kuşkonmaz gibi bazı türlerde çok derinlere kadar iner.

Ispanakta bu durum, tersine yüzeye yakın bir derinliktedir. Bazı türlerde de bitki yüzey alanları çok büyük olduğu için radyoaktif yağışlarla yere düşen radyoaktif tozların yapraklar tarafından tutulmaları daha fazla olmaktadır [57].

²²⁶Ra kimyasal olarak kalsiyuma benzer, bitkiler tarafından topraktan emilir ve besin zinciriyle insanlara geçer. Bitkilerin radyumu topraktan alması nedeniyle, radyum içeren toprak değişken olacağından, radyum içeren bitkiler de değişkenlik gösterecektir. Gıdalar, radyumun emilmesi ve kana karışması için solunumdan daha önemli bir kaynaktır. Beslenme yoluyla alınan ²²⁶Ra miktarı yıllık 15 Bq, solunumla alınan miktar ise 0,01 Bq olarak saptanmıştır [55].

4.1.5 Radon

Kimyasal olarak radon bir soy gazdır ve helyum ya da neon gazlarına benzer davranışlar sergiler. Yine bu gazlar gibi renksiz ve kokusuzdur. Aslında, radyoaktif element radonun üç doğal izotopu vardır. Bunlar; ²¹⁹Rn (aktinon), ²²⁰Rn (toron) ve ²²²Rn'dir (radon). Radonun ilk izotopu ²¹⁹Rn çok az öneme sahiptir ve tamamen göz ardı edilebilir çünkü onun atası olan ²³⁵U diğerlerine nazaran az bulunan bir nüklittir. Bunlara ek olarak ²¹⁹Rn 4 saniye gibi çok kısa bir yarılanma ömrüne sahiptir. Yerkabuğundaki ²³²Th'nin bolluğu (²²⁰Rn'nin işaretçisi) ²³⁸U'nun bolluğundan (²²²Rn'nin uzak atası) biraz daha yüksek olmasına rağmen, topraktaki bu iki radon izotopunun ortalama üretim hızı pratik olarak aynıdır. Bununla birlikte ²²⁰Rn'nin yarı ömrü (55 saniye) ²²²Rn'nin yarı ömründen çok daha kısadır. Sonuç olarak, çevreye giren ²²⁰Rn miktarı ²²²Rn miktarından genellikle oldukça düşüktür. Bu nedenle radon izotoplarının en önemlisi tabiatda en fazla bollukta bulunan ²³⁸U izotopundan gelen ²²²Rn'dir. ²²²Rn'nin yarı ömrü (3,825 gün), kapalı ortamlara giren ve difüz eden radon gazının oldukça yüksek konsantrasyonlarda birikip etkili olabilmesi için yeterince uzundur.

²²²Rn ve ²²⁰Rn'nin alfa bozunum özellikleri ve onların kısa yarı ömürlü bozunma ürünlerinin bir karşılaştırması Tablo 4.11'de özetlenmiştir [29]. Radon bozunma ürünlerinin ölçümleri, alfa parçacıklarının yanı sıra yaydıkları gama fotonları ve beta parçacıklarının algılanması ile de mümkün olabilir. Toron (²²⁰Rn) bozunma ürünlerinin solunmasından dolayı meydana gelen katkı ihmal edilemez düzeyde olmasına rağmen, pek çok ülkede radondan dolayı radyasyona maruz kalma esasen ²²²Rn'den ve özellikle onun kısa yarı ömürlü kızlarından gelir.

Bir bütün olarak radon problemi tartışıldığında iç radon konsantrasyonu ve dış radon konsantrasyonu arasında bir ayrım yapmak gerekir [55].

Radon bilindiği gibi toprak-hava ara yüzeyini geçerek esasen atmosfere girer. Bu geçişlerde; okyanus, yer altı suları, doğal gaz, jeotermal akışkanlar ve kömür yanması gibi diğer ikincil kaynaklarda mevcuttur. Toprak seviyesindeki dış radon konsantrasyonları genellikle

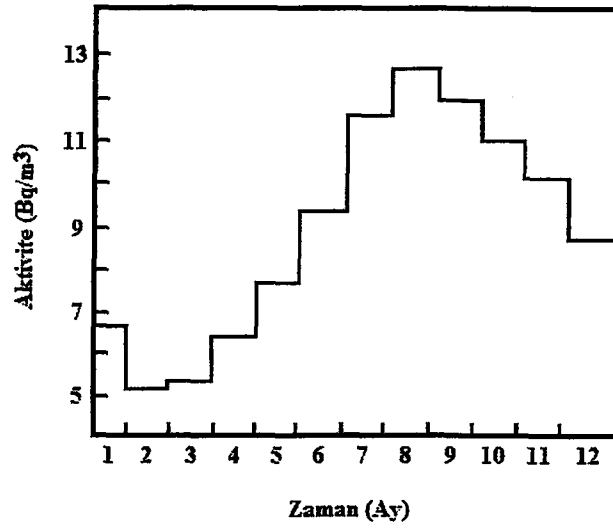
radon çıkış hızı ve atmosferin nemlenme süreci gibi kaynak şartları ile yönetilir. Bu faktörlerin her ikisi de yerel meteorolojik şartlardan etkilenirler öyle ki radon ve onun kızları arasındaki radyoaktif dengenin derecesi bu meteorolojik şartlar ile yakından ilgilidir [25].

Dış radon konsantrasyonu değişimi; yer, zaman, yerden olan yükseklik, gerçek meteorolojik durumlar gibi faktörlere bağlıdır. Dış radon kaynağı sadece toprak olduğundan ve radonun oldukça kısa bir fiziksel yarı ömre sahip olmasından dolayı, radon konsantrasyonu genellikle sürekli olarak yükseklikle azalma gösterir. Bunlara ek olarak coğrafi konum da önemlidir [25].

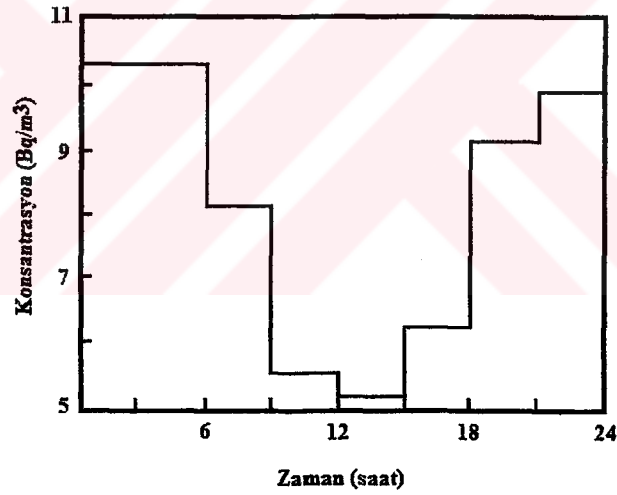
Dış radon konsantrasyonları hem mevsimsel hem de günlük değişimler gösterir. Bu değişimler sırası ile Şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir [58, 59]. Radon ve onun bozunma ürünlerinin solunmasından dolayı oluşabilecek radyolojik zararların değerlendirilmesinde, iç radon konsantrasyonları dış radon konsantrasyonlarından daha önemlidir. Bina içindeki radon; bina altındaki kaya ve toprak, inşaat (yapı) malzemeleri, su kaynakları, doğal gaz ve dışarıdaki hava gibi farklı kaynaklardan gelir. Bina içi radon kaynaklarının en önemlilerinden birisi bina altındaki toprak tabakasıdır. Bunun yanı sıra gerçek iç radon konsantrasyonları, değişik kaynaklardan üretim hızı ve havalandırma hızı gibi iki baskın faktöre bağlıdır [25].

Tablo 4.11: ^{222}Rn , ^{220}Rn ve kısa ömürlü bozulma ürünlerinin alfa bozunum parametrelerinin bazıları.

Radyonüklit	Yarı Ömür	Enerji (MeV)	Yoğunluk (%)
^{222}Rn	3,824 gün	5,49	100
^{218}Po	3,04 dakika	6,00	100
^{214}Pb	26,8 dakika	β , gama	---
^{214}Bi	19,7 dakika	β , gama	---
^{214}Po	163,7 μ saniye	7,69	100
^{220}Rn :	55 saniye	6,29	100
^{216}Po	0,15 saniye	6,78	100
^{212}Pb	10,64 saat	β , gama	---
^{212}Bi	60,6 dakika	6,05	25
		6,09	10
^{212}Po	304 nano saniye	8,78	100
^{208}Tl	3,10 dakika	β , gama	---



Şekil 4.1: Bina dışı radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri.



Şekil 4.2: Bina dışı radon konsantrasyonunun günlük değişimleri.

İç ve dış atmosferdeki hem ^{222}Rn ve hem de ^{220}Rn 'nin bugünkü tahmini konsantrasyonları Tablo 4.12'de özetlenmiştir [29]. Bu tabloda; radon gazı ve onun denge eşdeğer konsantrasyonları (EEC), ilgili doz dönüşüm katsayıları ve yıllık efektif doz değerleri ile birlikte verilmiştir. Bunlara ek olarak, bazı ülkelerde evlerde ölçülmüş ^{222}Rn konsantrasyonları ve yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri Tablo 4.13'de verilmiştir [60].

Tablo 4.12: Doz katsayıları ve yıllık efektif dozlar ile birlikte ^{222}Rn , ^{220}Rn ve onların bozulma ürünlerinin dünya genelindeki ortalama konsantrasyonları.

Radyonüklit	Konum	Konsantrasyon		Efektif Doz Katsayısı		Yıllık Efektif Doz ^a	
		(Bq/m ³)		(nSv)		(μSv)	
		Gaz	EEC ^b	Gaz	EEC	Gaz	Bozunma Ürünü
^{222}Rn	Dış	10	8	0,17	9	3	130
	İç	40	16	0,17	9	48	1000
Toplam							1200
^{220}Rn	Dış	10	0,1	0,11	10	1,9	1,8
	İç	3	0,3	0,11	32	2,3	67
Toplam							73

a: Meşguliyet faktörü bina içi için 0,8 bina dışı için ise 0,2'dir.

b: Denge faktörü değeri ^{222}Rn için bina içi 0,4 ve bina dışı 0,8 olarak alınmıştır.

Tablo 4.13: Bazı ülkeler için evlerdeki ^{222}Rn konsantrasyonları ve yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri.

Ülke	^{222}Rn Konsantrasyonu	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri
	(Bq/m ³)	(mSv/yıl)
Avusturya	12	0,7
Kanada	17	1,0
Danimarka	4,8	0,3
Finlandiya	17	1,0
Almanya	8,1	0,5
Norveç	11-26	0,7-1,6
Romanya	20-120	1,2-7,3
Polonya	6-17	0,4-1,0
İsviçre	60	3,7
İngiltere	15	0,9
ABD (New York)	15	0,9
Rusya	4,8-16	0,3-1,0

Uluslar arası Radyolojik Koruma Komisyonu tarafından evlerdeki radon konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer yılda 200-600 Bq/m³'tür. Bu komisyon tarafından evlerdeki ²²²Rn konsantrasyonları için belirlenmiş olan sınırlar; halkın yaşadığı eski evlerde 400 Bq/m³, yeni evlerde 200 Bq/m³, radyasyon ve maden bölgelerinde ise 1500 Bq/m³'dür. 400 Bq/m³'lük sınır değerinde akciğer kanseri meydana gelme riski %6'dır. Bu risk sigara kullanımı ile 10-20 kat kadar artabilmektedir [9, 10].

4.1.5.1 Bina İçi Radon Seviyelerinin Mevsimsel Değişimleri

Özellikle kendinden havalandırmalı evlerde bina içi radon seviyeleri mevsimsel bir değişim gösterir. Yaz aylarında; ev dışı sıcaklık ev içi sıcaklıktan daha yüksek ya da en az onun kadar yüksek olduğu zaman, bina içerisindeki konvektif hareketler önemsizdir. Eğer sıcaklık 10 °C'den daha yüksek ya da içeride daha fazla ise konvektif kuvvetler harekete geçer ve bina içerisinde küçük bir basınç azalması olur. Bu basınç azalması 10 Pa kadar olabilir. Eğer toprak başlıca radon kaynağı ise bu durum düşük basınçlı (en az 2-5 Pa'ı aşmış ise) bina içerisi için bir dezavantaj olabilir. Eğer yapı malzemeleri ya da eve ait su radon kaynakları ise bu düşük basınç bir avantajdır. Bina içi radon seviyelerinin mevsimsel değişimi; ev türü, radon kaynağı, ev sakinlerinin yaşama alışkanlıkları, evin havalandırma sistemi, evin ısıtılması ve dışarıdaki iklim gibi birkaç parametreye bağlıdır [21].

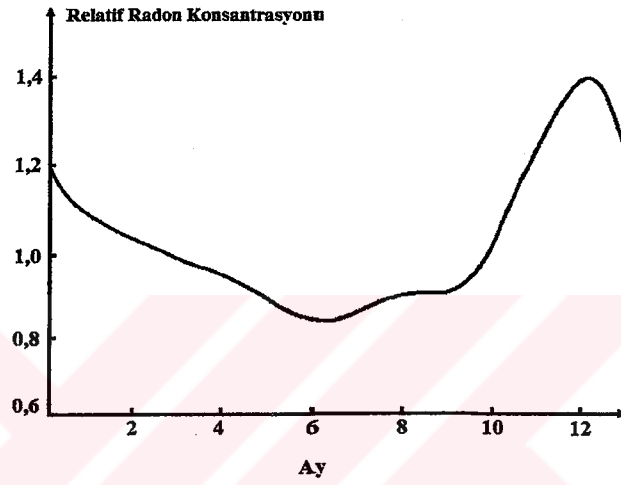
Şekil 4.3 ve 4.4 bir yıl süresince bina içi radon konsantrasyonunun değişimini gösterir. Sonbaharda radon seviyesi bir artış ve ilkbaharda bir düşüş gösterir. Yaz aylarında ise minimum değerine düşer. Tercihli radon kaynağı verilmemiştir. Yaz aylarında çok fazla sayıda açık pencere olması gayet normal bir durumdur. Bunun bir sonucu olarak bina içerisinde daha düşük bir radon seviyesi ölçmek mantıklıdır. Bunların yanı sıra kış aylarında toprağı donan ülkelerde; kendinden havalandırmalı evlerdeki baca etkisi, topraktaki radonun bina içerisindeki havaya akış miktarını arttırabilir.

4.2 Kozmojenik Radyonüklitler

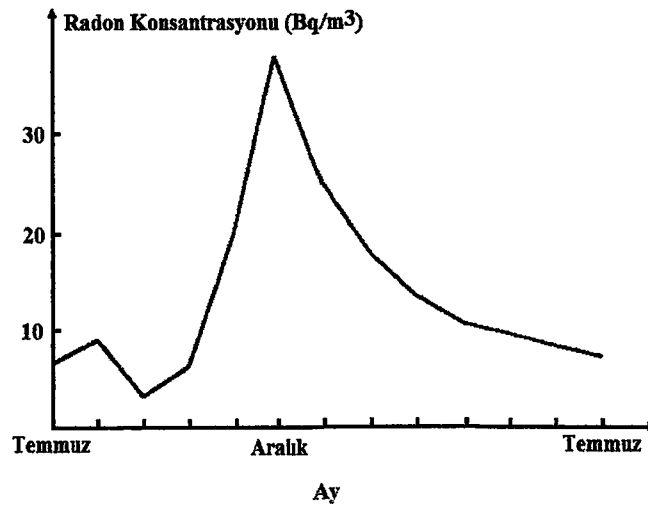
Kozmik ışınlar; nükleer reaksiyonların bir türü ile atmosferde, biyosferde ve litosferde bir dizi kararlı çekirdekler ve radyonüklitler meydana getirirler. Etkileşimler sonucunda ortaya çıkan ikincil parçacıklar kozmojenik nüklit oluşumunda çok etkili olmasına rağmen, bu süreçlerdeki önemli rol yüksek enerjili birincil kozmik ışınlar tarafından oynanır.

Bilindiği gibi birincil kozmik ışınlar elektronlar ve hafif elementlerin (hidrojen ve helyum gibi) çekirdeklerinden oluşurlar. Bu çekirdeklerin enerjileri 1-10 GeV'lik bir enerji aralığındadır. Birbiri ardına oluşan ikincil parçacıklar, birincil kozmik ışınların atmosferin üst

tabakasındaki hava çekirdekleri ile etkileşmeleri sonucunda meydana gelirler ve üretilen bu ikincil parçacıklar yerkabuğunda ve daha aşağı atmosfer tabakalarında bulunurlar. Dünya atmosferinin üst tabakalarına çarpan birincil kozmik ışın akı değeri kutuplarda yaklaşık olarak $1\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ve ekvatorda yaklaşık olarak $0,02\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'dir. Enlem etkisi, yüklü kozmik parçacıkların dünyanın jeomanyetik alanı ile perdelenmesinden dolayıdır [25].



Şekil 4.3: Almanya'da bina içi radon konsantrasyonunun yıllık değişimi [61].



Şekil 4.4: Hindistan'da bina içi radon seviyelerinin yıllık değişimi [62].

Yarılanma ömürleri iki haftayı aşan önemli kozmojenik radyonüklitlerin bazıları Tablo 4.14'de listelenmiştir. Bu radyonüklitlerin önemli bir bölümü N, O, Ar, Kr ve Xe gibi bazı atmosferik öğeler ile kozmik ışınların reaksiyonları sonucunda meydana gelir. Diğer geriye kalanlar ise biyosfer ve litosferdeki diğer elementlerle (O, Mg, Si, Fe, Al, Ca, K gibi) şekillenirler. Tablo 4.15'de ise kozmojenik radyonüklitlerin yıllık vücut içerisine alınan aktivite değerleri ve yetişkinler için yıllık efektif doz değerleri verilmektedir [29].

Tablo 4.14: Hedef elementler ve yarı ömürleri ile önemli kozmojenik radyonüklitler.

Radyonüklit	Yarı Ömür	Atmosferik Hedef	Diğer Hedefler
³ H	12,3 yıl	N, O	O, Mg, Si, Fe
⁷ Be	53 gün	N, O	O, Mg, Si, Fe
¹⁰ Be	1,6x10 ⁶ yıl	N, O	O, Mg, Si, Fe
¹⁴ C	5730 yıl	N	O, Mg, Si, Fe
²² Na	2,6 yıl	Ar	Mg, Al, Si, Fe
²⁶ Al	7,1x10 ⁵ yıl	Ar	Si, Al, Fe
³² S	87 gün	Ar	Fe, Ca, K, Cl
³⁶ Cl	3,0x10 ⁵ yıl	Ar	Fe, Ca, K, Cl
³⁷ Ar	35 gün	Ar	Fe, Ca, K
³⁹ Ar	269 gün	Ar	Fe, Ca, K
⁶¹ Kr	2,1x10 ⁵ yıl	Kr	Rb, Sr, Zr
¹²⁹ I	1,6x10 ⁷ yıl	Xe	Te, Ba, La, Ce
⁴⁰ K	1,3x10 ⁹ yıl		Fe
⁴¹ Ca	1,0x10 ⁵ yıl		Ca, Fe
⁴⁶ Sc	84 gün		Fe
⁴⁸ V	16 gün		Fe, Ti
⁵³ Mn	3,7x10 ⁶ yıl		Fe
⁵⁴ Mn	312 gün		Fe
⁵⁵ Fe	2,7 yıl		Fe
⁵⁶ Co	79 gün		Fe
⁵⁹ Ni	7,6x10 ⁴ yıl		Ni, Fe
⁶⁰ Fe	1,5x10 ⁶ yıl		Ni
⁶⁰ Co	5,27 yıl		Co, Ni

Tablo 4.15: Kozmojenik radyonüklitlerin yıllık vücut içerisine alınan aktiviteleri ve yetişkinler için yıllık efektif doz değerleri.

Radyonüklit	Aktivite (Bq/yıl)	Yıllık Efektif Doz (μSv)
³ H	500	0,01
⁷ Be	1000	0,03
¹⁴ C	2000	12
²² Na	50	0,15

Kozmojenik radyonüklitlerden dolayı insanların maruz kaldığı radyasyon dozuna en büyük katkı ^{14}C 'den gelir. Karbon ihtiva eden besinlerin yetişkinler tarafından vücut içerisine alınan miktarı yılda yaklaşık olarak 95 kg'dır. Bu miktar yaklaşık olarak 20 kBqy^{-1} 'lik bir ^{14}C aktivitesine eşdeğerdir. Bu, yıllık vücut içerisine alım miktarı (karbon ihtiva eden besin miktarı) yaklaşık olarak $12 \mu\text{Sv}$ 'lik bir efektif doza karşılık gelir. ^{22}Na 'dan gelen katkı ise çok daha küçüktür (sadece $0,15 \mu\text{Sv}$) ve geriye kalan radyonüklitler (^3H ve ^7Be) insanların radyasyona maruz kalması ile ilgili olarak radyasyon dozuna çok az katkı sağlarlar [25].

4.3 Radyoaktivitenin Diğer Kaynakları

Nükleer endüstri ve nükleer ile ilgili aktivite ve uygulamalara ek olarak radyoaktif maddelerin kullanıldığı diğer bazı nükleer olmayan alanlar vardır. Böyle kaynakların radyoaktiviteleri, çevrenin radyoaktif kirlenme seviyesi üzerinde potansiyel ya da doğrudan etki gösterir.

Belirli radyonüklitler ticari ürünlerde ve bazı özel uygulamalarda kullanılırlar. Bunlara örnek olarak parıltılı boyalar, kalbin atış hızını ayarlayan aygıt için bataryalar, sigara ve ateş algılayıcıları, iyonizasyon prensibi ile çalışan gaz analizörleri verilebilir. Bu ürünler atmosferdeki radyoaktiviteye katkı sağlarlar. Diğer örnekler ise ^{210}Pb ve ^{210}Po içeren tütün ürünleri, yapı malzemeleri, uranyum ve toryum azalma serilerini içeren yakıtlar, lüks gömleği, kamera lensleri ve toryum içeren kaynak çubukları olarak sıralanabilir.

Bununla birlikte radyoaktiviteye katkının çoğu, bazı endüstriyel süreçlerden gelir. Böyle endüstriyel aktiviteler; jeotermal çalışmaları, fosfat madenleri ve fosfat kayalarından gübre üretimini, kömür madeni ve kömür yanması, uranyumsuz madenler ve süreçlerini içerir. Bu endüstriyel süreçlerdeki radyoaktiviteden kaynaklanan tehlikeler diğer kimyasal maddelerden kaynaklanan tehlikelerden genelde çok daha küçük olduğu için, ne radyasyon ne de radyoaktif bulaşma sistematik olarak araştırılıp değerlendirilmemiştir [55].

Diğer alternatifler şimdilerde daha kullanışlı olmasına rağmen, kömürden enerji üretimi pek çok ülkede hala baskındır. Bu amaç için kullanılan kömürün yaklaşık %70'i elektrik güç istasyonlarında, %20'si ise kok kömürü fırınlarında yanmakta ve yaklaşık olarak %10'luk bir dilimi de yemek pişirme ve ısınma amaçlı olarak evlerde kullanılmaktadır. Kömür doğadaki pek çok materyal gibi eser miktarda doğal radyonüklitler (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th ve onların bozunma ürünleri) içerir. Yanma sürecinde, bu radyonüklitlerin aktiviteleri yeraltından çevremize tekrar dağılır. Bununla birlikte kömür içerisindeki radyonüklit miktarı oldukça büyük değişiklikler gösterebilir. UNSCEAR kömürdeki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th ortalama aktivite konsantrasyonlarının sırası ile 50, 20 ve 20 Bqkg^{-1} olduğunu kabul etmektedir. Kömür külündeki ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları ise sırası ile 400, 150 ve 150 Bqkg^{-1} 'dir [25].

Jeotermal enerji ve doğal gaz gibi enerji üretiminin diğer türleri de çevredeki radyoaktiviteye katkı sağlayabilir. Jeotermal enerji, dünyanın derinliklerinde yerleşmiş yüksek sıcaklıklı kayalar ile etkileşen suların yüzeye çıkarılması ile elde edilir. Jeotermal akışkanlarda bulunan radyonüklitlerin çoğu uranyum bozunma serisine aittir. Katı radyoaktif elementler az miktarda suyu kirletmelerine rağmen, sudan bina atmosferine ya da direkt olarak atmosfer içerisine yayılan radon gazı bazı problemlere sebebiyet verebilir [63].

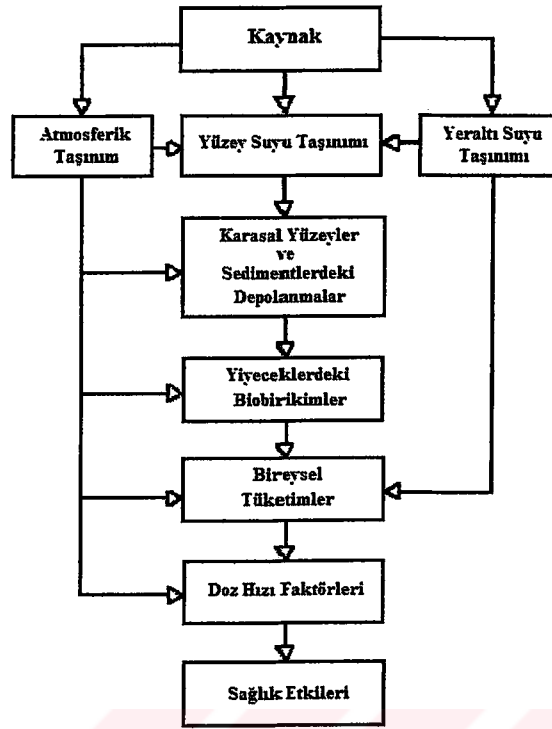
Doğal gazlar evlerin ısıtılmasında, elektrik üretiminde ve endüstrideki pek çok uygulamada kullanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Doğal gazda tek bir radyonüklitin varlığı vardır. Bu radyonüklit de radon gazıdır. Doğal gazdaki radon konsantrasyonu 1000 Bqm^{-3} 'lük tipik bir değer etrafında genişçe değişebilir [55].

Radyoaktiviteye katkı sağlayan diğer kaynak fosfat kayaların gübre üretiminde kullanımı ile ilgilidir. Fosfat kayalarındaki doğal radyonüklitlerin konsantrasyonları kayaların orijini ve türüne bağlıdır. Fosfat kayalarının %85'i sedimentel orijinli, geriye kalanlar ise volkanik ve biyolojik orijinlidir [25].

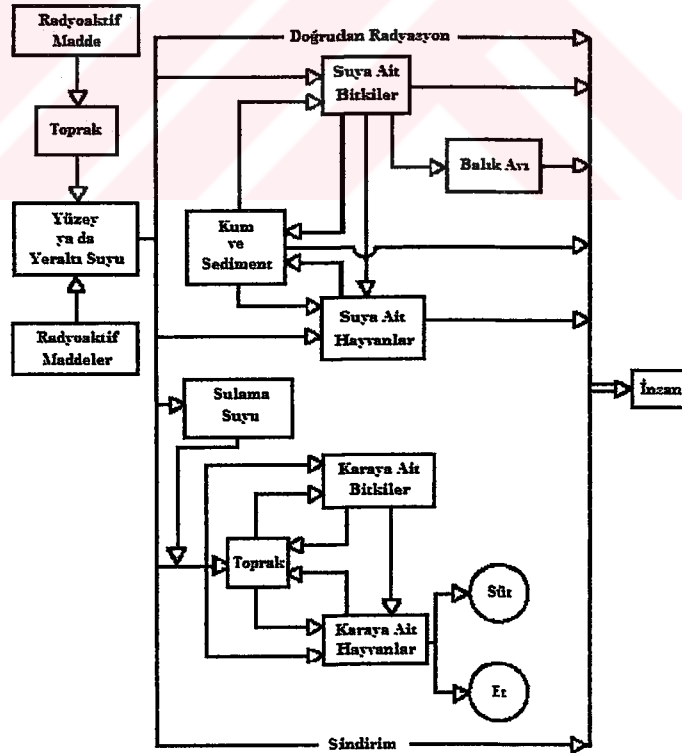
4.4 Radyonüklitlerin Taşınması

Elektrik üretimi için nükleer enerjinin kullanımı, teknolojiye, endüstride, bilimde, ilaç sanayindeki radyonüklit uygulamaları ve nükleer silah denemeleri gibi aktiviteler sonucunda çevreye değişik radyoaktif materyaller yayılır. Böyle radyonüklitlerin hava ve su ortamına yayılması ve toprakta birikmesi karmaşık bir süreçtir. Çevreye yayılmış olan radyoaktif materyallerin etkisindeki başlıca adımlar Şekil 4.5'de gösterilmektedir. Şekil 4.5'deki oklar bölümler arasındaki bağlantıları gösterir. Bütün süreç kaynak teriminde başlar ve radyonüklitlerin bireyler tarafından vücut içerisine alınması ile ilgili yollar boyunca gider. Sağlık etkileri ile ilgili önemli sonuçların değerlendirilmesini içeren bu yolların tanımlanması prensipte uygun matematik modellerin uygulanması ile mümkündür. Bu işlem yapılırken radyonüklitlerin davranışı ve onların bir bölümden diğerine hareketlerini yöneten temel faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Matematik modeller; çevreye yayılmış radyoaktif materyallerin insanlar tarafından vücut içerisine alınmasını, radyoaktif materyallerin taşınması ve birikimini tahmin etmek için kullanılabilir [25].

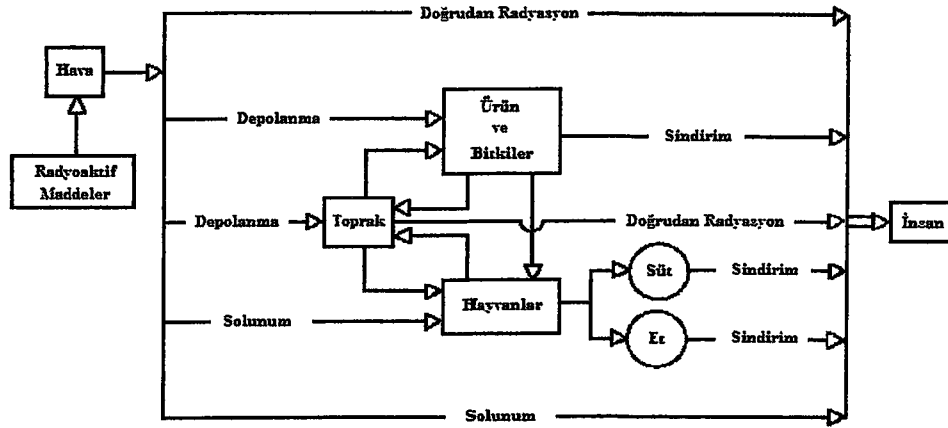
Gerçek yollar oldukça komplekstir ve radyoaktif materyallerin taşınma mekanizmalarının bütün detayları her zaman tam olarak anlaşılamamıştır. Genellikle, çevresel taşınma yollarının iki kategorisi vardır. Bunlar; i) toprak ve yüzey suları aracılığı ile yiyecekler içerisine giren radyonüklitlerin izlediği yol ve ii) atmosfer yolu ile çevre içerisine girmiş radyonüklitler arasındaki yoldur. Bu iki ekolojik yol türünün genelleştirilmiş şematik diyagramı Şekil 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.5: Çevreye yayılmış radyoaktif kaynaklar ve sağlık etkileri arasındaki temel yollar [25].



Şekil 4.6: Yüzey ve yer altı sularına geçmiş (direkt ya da toprak yoluyla) radyoaktif maddeler ve insan arasındaki yollar [64].



Şekil 4.7: Radyoaktif maddelerin hava ile insana geçiş yolları [64].

4.5 İnsan Vücudundaki Doğal Radyonüklitler

İnsan, doğal radyonüklitleri vücuduna sindirim veya solunum yoluyla alır. ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U 'nun bozulma ürünleri ve çok az oranlarda ^{14}C ve ^3H , vücuda sindirim yoluyla alınan doğal radyonüklitlerin başında gelir. Su ve gıdalarda bulunan ^{40}K , ^{226}Ra ve bozulma ürünleri sindirim yoluyla vücuda alındıklarında yayınladıkları radyasyonlarla iç ışınlamalara neden olmaktadır. İnsan vücudunda bulunan en önemli doğal radyoaktif element ^{40}K 'dır. 70 kg ağırlığında bir insanda ortalama 140 mg potasyum bulunur. Bu miktar potasyumda bulunan ^{40}K aktivitesi 0,1 μCi civarındadır. Genellikle gıdalarla vücuda alınan ^{40}K 'nın yayınladığı gama ışınlarının %50'si ve beta parçacıklarının tamamı vücutta emilir. Biyosferde bulunan karbon, hidrojen ve kozmojenik radyonüklitler, kozmik ışın nötronlarının atmosferdeki azotla etkileşmeleri sonucu ortaya çıkarlar. Radyoaktif yağışlarla yere düşen bu radyoaktif partiküller gıdalarla vücuda alındıklarında iç ışınlamalara neden olurlar.

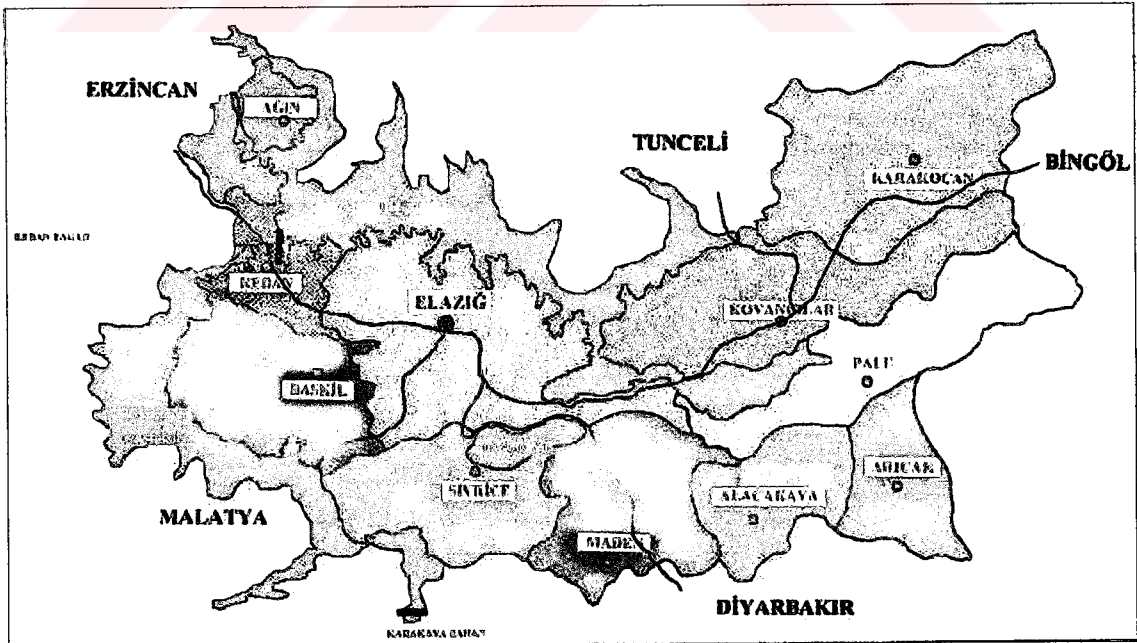
Havadaki karasal radyoaktif maddeler genellikle uranyum ve toryum serisi ürünleridir. Rüzgarlar vasıtasıyla topraktan atmosfere çıkan tozlarda düşük oranlarda ^{40}K da vardır. Hava ortamında bulunan toz ve partiküllerdeki radyoaktif maddeler solunum yoluyla insan vücuduna girerler ve iç ışınlamalara sebep olurlar. İç ışınlamalara en büyük katkı vücuda alınan ^{222}Rn ve ^{220}Rn ile bu iki nüklidin bozulma ürünlerinden gelmektedir. Radonun yarı ömrü kısa olmakla birlikte gaz olduğu için vücutta geniş alana dağılarak etkisini artırır. Bu radyoaktif gaz atomları, yerde ve atmosferde difüzyonla ortaya çıkan uranyum ve toryum atomlarının bozunuma uğraması sonucu üretilirler. Radon ve toronun bozulma ürünlerine ilave olarak, alfa ve beta parçacıklarıyla birlikte gama ışınları da yayınlayan ^{210}Po , ^{210}Pb ve ^{210}Bi atomları solunum yoluyla vücuda girerler.

5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; Elazığ yöresini radyolojik açıdan karakterize edebilecek su, toprak, gıda ve hava gibi çevresel örnekler, örnek toplama kriterleri göz önünde bulundurularak alınmıştır. Alınan örnekler mümkün olan en kısa sürede çeşitli ön işlemlere tabi tutularak sayıma hazır hale getirilmiş ve uygun algılama sistemleri ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları; ilgili denklemlerde kullanılarak, örneklerin tamamının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ve bunlara ilave olarak gıda örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonları hesaplanmıştır. Bunların yanı sıra havada doğrudan gama doz ölçümleri yapılmış ve pasif algılayıcılar olan CR-39 nükleer iz algılayıcıları kullanılarak evlerde bina içi radon gazı konsantrasyonları ölçülmüştür. Elazığ il merkezi ve ilçeleri ile şehrin komşu olduğu illeri gösteren bir harita Şekil 5.1’de verilmiştir.

5.1 Örneklerin Alınması

Yüzey ve yer altı su örnekleri; suların taşınma, karışma, depolanma gibi özellikleri ile halkın kullanım amacı ve yüzdesi gibi kriterler göz önünde bulundurularak; ilgili bölgede bulunan dere, çay, nehir, göl vb açık su kaynakları, su depoları, şehir şebeke suyu kullanan evlerdeki musluklar ve halkın kullanımına açık sokak çeşmelerinden tek kullanımlık steril 1 L’lik polietilen şişelere alınmıştır.



Şekil 5.1: Elazığ il merkezi ve ilçeleri ile şehrin komşu olduğu illeri gösteren harita.

Musluk suyu örneklemelerinde musluğun açılarak 2-3 dakika kadar suyun akıtılmasına ve daha sonra örnek alma işlemine geçilmesine dikkat edilmiştir. Etiketlenen örneklerin sıcaklık ve pH ölçümleri örnek alımından hemen sonra yapılarak değerler kaydedilmiştir. 1 L'lik polietilen şişelerdeki su örnekleri içerisine nitrik asit eklenerek (1 N HNO₃'den 15 mL kadar), örneklerin pH'ları 2'den küçük bir değere pH metre ile kontrollü olarak ayarlanmıştır.

Toprak örnekleri; tarım alanı olmayan, otsuz ve üzeri otlardan temizlenmiş, az bitki örtüsüne sahip, periyodik örnekleme yapmaya uygun açık ve düz alanlardan; toprak rengi, nem oranı, incelenen bölgeye taşıma ile getirilip getirilmediği, bölgedeki mevcudluk yüzdesi, çeşitli amaçlar için kullanımı vb kriterler dikkate alınarak örneklenmiştir. İlk olarak incelenen bölgede birincil örnekleme noktaları belirlenmiştir. Her bir birincil örnekleme noktası için; örnekleme noktasının kuzey, güney, doğu ve batısından yaklaşık olarak 50 m mesafede ikincil örnekleme noktaları tespit edilmiştir. Sonuçta tek bir toprak örneği için 1 adet birincil ve 4 adet ikincil olmak üzere toplam 5 adet örnekleme noktası elde edilmiştir. Bu örnekleme noktalarından alınan (yüzeyden 0-5 cm derinlikten) 5 adet toprak örneği; içinde bulunan taş, kaya parçası, ot ve odun gibi yabancı maddelerden ayıklandıktan sonra karıştırılarak 1 adet toprak örneği elde edilmiş ve çıtçıklı temiz plastik poşetler içerisine alınarak etiketlenmiştir. Bunların yanı sıra su örneklerinin alındığı dere, çay, nehir gibi yüzey sularından sediment örnekleri de toplanmıştır.

Gıda örnekleri; halk tarafından tüketilme sıklığı ve miktarı, ürünlerin yöre toprağında yetişmesi gibi kriterler dikkate alınarak il merkezinde kurulan halk pazarlarından sebze ve meyve ağırlıklı olarak temin edilmiştir.

Hava örnekleri; havada bulunan radyoaktif toz ve partiküllerin toplam alfa ve beta radyoaktivite konsantrasyonlarını tespit etmek için Staplex firması tarafından geliştirilmiş olan dakikada ortalama 1,1m³ emiş hızına sahip TFIA-2 model portatif bir yüksek hacimli hava toplayıcı pompası kullanılarak alınmıştır. Örnek toplayıcı ortam olarak, 10,16 cm çaplı TFAGF41 tipi fiberglas filtreler kullanılmıştır. Kullanılan bu filtreler 0,5 mikron ve daha büyük boyutlu partiküller için %95 oranında toplama verimi sağlamakta ve havada asılı bulunan 0,01 mikrondan daha küçük boyutlu parçacıkları tutabilmektedirler [65]. Cihazın hava emişi yaptığı esnada yerden toz kapmaması için belirli bir yükseklikte olmasına, rüzgar yönüne ters bir istikamete döndürülmesine ve hava akış hızı göstergesinin sabit kalmasına özen gösterilmiştir. Hava emiş süresi; havada bulunan toz, duman ve sise bağlı olarak kullanılan fiberglas filtrenin üzerinde toplanan katı madde yoğunluğu esas alınarak belirlenmiştir. Bu süre yaklaşık olarak 2,5-5,5 saat arasında değişmektedir. Yukarıda bahsedilen süreçler sonucunda elde edilen filtreler çıtçıklı temiz plastik poşetler içerisine özenle aktarılmış ve etiketlenmiştir.

Arazi çalışmaları sonucunda alınan örneklerin; çürüme, bozulma ya da azalma ve herhangi bir radyoaktif bulaşmaya maruz kalmasını engellemek için uygun laboratuvar şartları altında depolanmasına önem verilmiştir.

5.2 Örneklerin Sayıma Hazır Hale Getirilmesi

Elazığ yöresinin doğal radyoaktivitesini tespit etmek amacı ile il merkezi ve ilçelerden alınan çevresel örneklerin (su, toprak, gıda ve hava) uygun algılama sistemleri ile radyoaktivite ölçümleri yapılmadan önce, bu örneklerin çeşitli ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Her bir örnek türü için yapılması gereken ön işlemlerin detayları aşağıda verilmiştir.

5.2.1 Su Örnekleri

Deneyde kullanılacak olan malzemeler (planşetler, spatula ve beherler) kaliteli deterjanla yıkanarak iç kısımları bir fırça aracılığı ile iyice temizlenmiştir. Deterjanlı su ile yıkanan malzemeler musluk suyu ile bolca durulanmış ve içerisine su koyularak bir müddet bekletilmiştir. Malzemeler daha sonra $Kr_2Cr_2O_7$ yıkama suyu ile iyice temizlenmiştir. Yıkama suyu ile temizlenen malzemeler iki kez saf sudan geçirilmiş ve etüvde kurutulmuştur.

1 L'lik steril polietilen şişelerdeki sular çalkalanarak self absorpsiyona sebebiyet vermeyecek miktarda 100 mL'lik üç farklı beher içerisine alınmış ve bir elektrik ocağı ile kaynamasına izin verilmeden her bir beher içerisinde 5-10 cm³ su kalıncaya kadar buharlaştırılmıştır. Her bir beher içerisinde bulunan 5-10 cm³ hacmindeki su numuneleri darası alınmış 11,34 cm² alanlı planşetlere aktarılmıştır. Kayıpları minimuma indirmek için beher içerisindeki kalıntılar saf su ile çalkalanıp spatula ile kazınarak ilgili planşetlere aktarılmış ve tamamen kurumanın gerçekleşmesi için elektrikli ocak üzerinde buharlaştırma işlemine devam edilmiştir. Planşetler daha sonra 2 saat kadar 105 °C'deki bir etüvde kurutulmuştur. Etüvde kurutma işlemi tamamlanan planşetler en son olarak birkaç dakika kadar sönük kırmızı bir ışık altında pozlanmaya tabi tutulmuş ve sayıma kadar bir desikatörde muhafaza edilmiştir. Örneklerin toplam beta aktivitesi sayımlarına hemen başlanılmış, toplam alfa aktivitesi sayımları için ise en az 72 saat beklenilmiştir.

5.2.2 Toprak Örnekleri

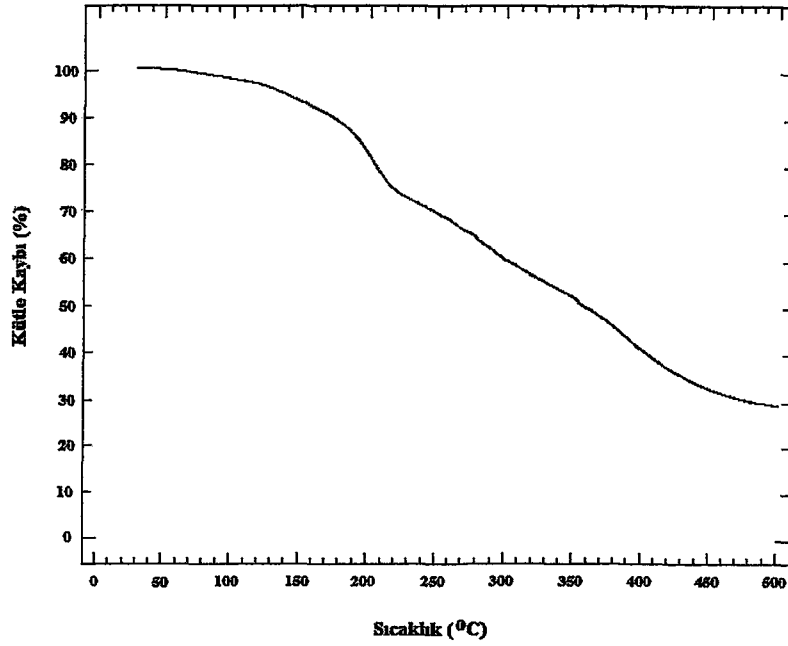
Arazi çalışmaları sonucunda alınan toprak örnekleri vakit kaybedilmeden laboratuvar ortamına taşınmış ve içerisinde bulunan ot, odun vb yabancı maddelerden titizlikle ayıklanmıştır. Örnekler, alüminyum folyolar üzerine serilerek 10 gün süreyle oda sıcaklığında

kurutulmuşlardır. Bu işlem ile örnekler içerisinde mevcut olan nem miktarı minimuma düşürülmüştür. Alüminyum folyolar içerisinde sarılan toprak örnekleri daha sonra 105 °C'deki bir etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Kurutma işlemi esnasında buharlaşma ile kaybolacak radyoaktivite miktarı ihmal edilebilecek düzeylerde olduğu için hesaplamalara katılmamıştır. Bu süreç sonucunda tamamen kuruması sağlanan toprak örnekleri 200 mesh (74 mikron) gözenekli özel bir elek kullanılarak elenmiş ve temiz plastik poşetler içerisinde etiketlenmiştir. Daha sonra her bir toprak örneği self absorpsiyona sebebiyet vermeyecek miktarda darası alınmış üç farklı planşet içerisinde homojen bir dağılım sergileyecek şekilde aktarılmış ve üzerine örnek kaybını engellemeyecek miktarda saf su eklenerek elektrik ocağı üzerinde kuruması sağlanmıştır. Planşetlerdeki örnekler daha sonra 2 saat kadar 105 °C'deki bir etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuşlar ve sayıma kadar bir desikatörde muhafaza edilmişlerdir. Yukarıda bahsedilen süreçler sonucunda sayıma hazır hale getirilen toprak örneklerinin toplam alfa, toplam beta ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K gibi radyonüklit konsantrasyonları ölçümleri uygun algılama sistemleri kullanılarak yapılmıştır.

5.2.3 Gıda Örnekleri

Gıda örnekleri öncelikle tüketim şekline uygun hale getirilmiştir. Daha sonra küçük parçalara bölünmüş ve iki kez saf su ile iyice yıkanmıştır. Her bir gıda örneği temiz naylon sergiler üzerinde oda sıcaklığında 3 ay kadar çürüme ve kokmasına izin verilmeden kurutulmuştur. Oda sıcaklığında kurutulan gıda örnekleri alüminyum folyolara sarılmış ve 105 °C'deki bir etüv ile tamamen kuruması sağlanmıştır. Daha sonra küleştirme işlemine geçilmiştir. Bu işlem için kuru kül etme yöntemi kullanılmıştır. Etüv sıcaklığı 250 °C'ye ayarlanmış ve gıda örnekleri kül haline gelinceye kadar bu işleme devam edilmiştir. Kül haline gelen gıda örnekleri etüvden alınmış ve temiz plastik poşetler içerisinde etiketlenmiştir. Daha sonra kül haline gelmiş her bir gıda örneği self absorpsiyona sebebiyet vermeyecek miktarda darası alınmış üç farklı planşet içerisinde homojen bir dağılım sergileyecek şekilde aktarılmış ve üzerine örnek kaybını engellemeyecek miktarda saf su eklenerek elektrik ocağı üzerinde kuruması sağlanmıştır. Planşetlerdeki örnekler 2 saat kadar 105 °C'deki bir etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuş ve sayıma kadar bir desikatörde muhafaza edilmiştir. Yukarıda bahsedilen süreçler sonucunda sayıma hazır hale getirilen gıda örneklerinin toplam alfa, toplam beta ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{137}Cs gibi radyonüklit konsantrasyonları ölçümleri uygun algılama sistemleri kullanılarak yapılmıştır.

Bunlara ek olarak, oda sıcaklığında 3 ay kadar kurutulmuş gıda örneklerinin kül haline gelinceye kadarki kütle kayıplarını kesin olarak belirlemek için termogravimetrik analiz ölçümleri yapılmıştır. TGA analiz sonuçlarını gösteren örnek bir grafik Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2: TGA analiz sonuçlarını gösteren örnek bir grafik.

5.2.4 Hava Örnekleri

Yüzeye yakın atmosferdeki radyoaktif toz ve partiküllerin toplandığı filtreler üzerine alkol dökülerek uygun bir kap içerisinde yakılmış ve kalan bakiye tartılarak temiz plastik poşetler içerisinde etiketlenmiştir. Filtrenin alkol ile tamamen yakılması sonucunda elde edilen bakiye self absorpsiyona sebebiyet vermeyecek miktarda darası alınmış bir planşet içerisine homojen bir dağılım sergileyecek şekilde aktarılmış ve üzerine örnek kaybını engellemeyecek miktarda saf su eklenerek elektrik ocağı üzerinde kuruması sağlanmıştır. Planşetlerdeki örnekler 2 saat kadar 105 °C'deki bir etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuşlar ve sayıma kadar bir desikatörde muhafaza edilmişlerdir. Örneklerin toplam alfa ve toplam beta sayımları uygun algılama sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.3 Havada Doğrudan Gama Dozu Ölçümleri

Bu çalışmada; çevresel gama radyasyon dozu ölçümleri Eberline firması tarafından geliştirilmiş NaI propolu (SPA8) Portatif Radyasyon Monitör Cihazı (ASP2e) kullanılarak, incelenen bölgeyi karakterize edebilecek şekilde seçilmiş olan noktalarda gerçekleştirilmiştir. Ölçümler; toprak örneklerinin alındığı birincil ve ikincil örnekleme noktalarında, bina içinde, bina dışındaki asfalt ve toprak zeminlerde yerden 1 m yükseklikte ve aynı gün içerisinde

yapılmıştır. Her bir ölçüm noktası için 30 s zaman bazında 5 kez ölçüm alınmış ve ortalama bir gama radyasyon dozu değeri elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, kozmik radyasyon ölçümleri de gerçekleştirilmiştir.

5.4 Kullanılan Sayım Sistemleri ve Algılayıcılar

Bu çalışmada; örneklerin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı, toplam beta radyoaktivite ölçümleri ise Penceresiz Sintilasyon Sayacı ve BP4 Beta Proflu Sintilasyon Sayacı kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{137}Cs gibi radyonüklit aktivite konsantrasyonu sayımları ise Gama Hassas Sintilasyon Sayacı ile gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak havada doğrudan gama dozu ölçümleri ASP2e Portatif Radyasyon Monitör Cihazıyla, evlerde radon gazı ölçümleri ise CR-39 nükleer iz algılayıcılarıyla yapılmıştır. Kullanılan sayım sistemleri ve algılayıcılar hakkında detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

5.4.1 7286 Düşük Seviyeli Alfa Sayıcısı

Bu sayım sistemi; 44 mm çapında ZnS katmanlı katı bir inorganik sintilatör, EMI 6097B tür bir foto çoğaltıcı tüp ve sayıcıdan meydana gelmiştir. Sayıcı kısmına 4 adet birbirinden bağımsız foto çoğaltıcı tüp bağlanabilmektedir. Her bir foto çoğaltıcı tüp kendine ait ayarlanabilir yüksek voltaj kaynağına ve diskriminatör devresine sahiptir. Bu sistem esas olarak çok zayıf background ölçümlerinde ve düşük sayım hızlı uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzu esas alınarak yapılmış ve örneklerin toplam alfa radyoaktivite ölçümleri için kullanılmıştır [66].

5.4.2 Penceresiz Sintilasyon Sayacı

Bu donanım, sintilatör ve bir foto çoğaltıcı tüpten ibarettir. Penceresiz sintilasyon sayacı katı örneklerden zayıf enerjili beta radyasyonu ya da alfa radyasyonu ölçümleri için dizayn edilmiştir. Bu sintilasyon sayacının penceresiz olması ve sintilatör ile örnek arasındaki mesafenin 1,6 mm'den daha küçük olması sayım veriminin yüksek olmasını sağlar. Penceresiz sintilasyon sayacı SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile kullanılabilir. 2059 plastik sintilatöre sahip olan bu sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzu esas alınarak yapılmış ve örneklerin toplam beta radyoaktivite ölçümleri için kullanılmıştır [67].

5.4.3 BP4 Beta Proplu Sintilasyon Sayacı

Bu sistem, yüksek hassasiyetli BP4 tipi bir sintilatör ve foto çoğaltıcı tüpten ibarettir. Sintilatör ve foto çoğaltıcı tüp, minimum 3,2 cm kalınlıklı %4 oranında antimon içeren kurşun bir blok içerisine yerleştirilmiştir. Bu donanım zayıf enerjili beta radyasyonu ölçümleri için dizayn edilmiştir. Bu sintilasyon sayacı SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile kullanılabilir. Sayım verimi ^{90}Sr radyoaktif kaynağı için yaklaşık olarak %30'dur. Sistemin kalibrasyonu, kullanma kılavuzu esas alınarak yapılmış ve örneklerin toplam beta radyoaktivite ölçümleri için kullanılmıştır [68].

5.4.4 Gama Hassas Sintilasyon Sayacı

Bu sistem, gama radyasyonuna hassas 50,8 mm x 50,8 mm boyutlarındaki kuyu tipi bir NaI sintilatör ve bir foto çoğaltıcı tüpten oluşur. Kuyu tipi sintilatör foto çoğaltıcı tüpe optik kontak yapılarak monte edilmiştir. Sintilatör ve foto çoğaltıcı tüp kurşun bir blok içerisine yerleştirilmiştir. 10 keV ile 1 MeV gama enerji aralığında algılama yapabilen bu algılayıcı sistemi SR7, SR8 ve ST7 gibi uygun sayım donanımları ile kullanılabilir. Sistemin kalibrasyonu kullanma kılavuzu esas alınarak yapılmış ve örneklerin radyonüklit konsantrasyonu ölçümleri için kullanılmıştır [69].

5.4.5 ASP2e Portatif Radyasyon Monitör Cihazı

Bu sistem, 2,5 cm x 2,5 cm boyutlu NaI (Tl) sintilatörlü alüminyum korumalı bir algılayıcı (SPA8) ve bu algılayıcıya uyumlu analog/dijital göstergeli bir sayıcıdan (ASP2e) ibarettir. Algılayıcının ölü zamanı 36 μs ve enerji aralığı 40 keV ile 1,3 MeV arasındadır. Çevresel gama ve X-ışınlarından kaynaklanan çok zayıf radyasyon seviyelerini algılayabilecek hassaslıkta dizayn edilmiştir. Sistemin sayıcı kısmı ise (ASP2e) PC uyumlu olup, farklı birimlerde radyasyon ölçümleri yapabilmektedir [70].

5.4.6 CR-39 Radon Algılayıcıları

Evlerde ^{222}Rn ölçümlerinde kullanılan ve ticari ismi Alil Diglikol karbonat olan bu algılayıcılar; camın optik özellikleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri birleştirilerek yapılmış ve ısı altında sertleştirilmiş bir tür plastiktir. CR-39 radon algılayıcıları aşağıdaki karakteristik özelliklere sahiptirler.

- Camla kıyaslanabilecek optik özelliklere sahip olup yüzeyi cam gibi parlak ve pürüzsüzdür.

- Sahip olduğu üstün optik özellikleri sayesinde her türlü şartlarda kullanılabilir. Çözücülerle temas edildiğinde veya uzun süre çözücü içinde bekletildiğinde iç ve dış yüzeyinde çatlamlar ve kırılmalar olmaz.
- Aşınma direnci akrilik plastiklerden 30-40 kat daha fazladır. Kimyasal maddelere, aseton ve benzin içeren çözücülere karşı dayanıklıdır.
- 100 milyon röntgen şiddetindeki gama ışınlarına maruz bırakıldığında saydamlığından %5 oranında kayıp verir. Bu kayıp akrilik materyallerde %45 civarındadır.
- CR-39'un özgül ağırlığı bir çok plastikten daha azdır.

5.5 Örneklerin Aktivite Konsantrasyonları

5.5.1 Sayma Hataları

- %95 güvenilirlik seviyesindeki standart sapma aşağıdaki denklem ile verilir:

$$E_s = \pm 1,96 (N_s / t_s + N_b / t_b)^{1/2} \quad (5.1)$$

Burada, N örneğin veya Background'un cpm cinsinden sayma hızı, t örnek veya Background'un dakika cinsinden sayma zamanı, E_s ise net sayma hızının (cpm) %95 güvenilirlik seviyesindeki hatasıdır.

- Sayma hızlarının toplama ve çıkarılması hallerinde toplam veya farkın hatası şöyle verilir:

$$E = \pm (E_a^2 + E_b^2)^{1/2} \quad (5.2)$$

Bu denklemde, E_a ve E_b toplanan veya çıkarılan değerlerin hatasıdır.

5.5.2 Verim Düzeltmeleri

- Sayma hızını bozunumlara dönüştürmek için aşağıdaki denklemden faydalanılır:

$$dpm = cpm / \text{verim} = cpm / G B T = cpm \times (VDF) \quad (5.3)$$

Burada G, B ve T geometri, geri saçılma ve self-absorpsiyon için düzeltme faktörleridir. 1/GBT ise **Verim Düzeltme Faktörü** veya kısaca VDF'dir.

- Kalınlık, örneğin kütlesi ile etkin alana göre değişme gösterir ve denklem (5.4) ile ifade edilir.

$$\text{Kalınlık (mg/cm}^2\text{)} = (\text{Örneğin mg Cinsinden Kütlesi}) / (\text{Etkin Alan}) \quad (5.4)$$

- Alüminyum planşet üzerinde sayılan aktivite için verim düzeltme faktörü (5.5) denklemi ile verilir.

$$\text{VDF} = 1 / V \times (T) \quad (5.5)$$

Bu denklemdeki T'nin değeri, mg/cm² cinsinden kalınlığın fonksiyonu olarak daha önceden belirli standartlara göre çizilmiş eğrilerden bulunur (U₃O₈ ve KCl için self-absorpsiyon eğrileri) [71, 72]. (5.5) denklemindeki V parametresi verimdir ve denklem (3.3) ile hesaplanır.

5.5.3 Örneklerin Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması

Örneklerin toplam alfa, toplam beta ve radyonüklit konsantrasyonları denklem (5.6) kullanılarak hesaplanır.

$$A = [(NS \pm SS) \times \text{VDF}] / 2,22 \quad (5.6)$$

Bu denklemde; A pCi cinsinden aktivite, NS ve SS sırası ile örneğin dakikadaki net sayım sayısı ve standart sapması, VDF verim düzeltme faktörüdür [71, 73-76].

5.6 Evlerde Radon Gazı Ölçümü

Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziği Bölümü Radon Laboratuvarında hazırlanmış olan CR-39 radon algılayıcıları, Elazığ il merkezi ve ilçelerindeki evlere çeşitli kriterler (bina türü, yaşı, sigara kullanımı vb) göz önünde bulundurularak biri yatak diğeri ise oturma odası olmak üzere toplam bir çift olarak dağıtılmış

ve 5 ay kadar sonra toplanmıştır. Radon algılayıcılarının analizleri yine ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Radon Laboratuvarında yapılmıştır.

5.6.1 CR-39 Radon Algılayıcılarının Hazırlanması

Evlerdeki radon gazı konsantrasyonunu belirlemek için kullanılan CR-39 tipi nükleer iz algılayıcılarının kalınlığı yaklaşık olarak 0,50 mm'dir ve Alil Diglikol karbonat plastikten yapılmıştır. 20 x 20 x 0,50 mm boyutlarında kesilen CR-39 plakaları 100 mL hacmindeki radon difüzyon kabı tabanına dikey olarak yerleştirilmiştir. Difüzyon kabının ağzı, algılayıcıyı toz partikülleri ve aerosollerden (radon gazı dışındaki) korumak için uygun bir kapak ile kapatılmıştır. Difüzyon kapları daha sonra paketlenmiş ve alüminyum folyolara sarılmıştır.

5.6.2 CR-39 Radon Algılayıcılarının Kalibrasyonu

CR-39 radon algılayıcılarının kalibrasyon işlemleri 225 litrelik bir radon kalibrasyon odası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Radon kalibrasyon odasının denge konsantrasyonu 3,2 kBq/m³'tür. Kalibrasyon için hazırlanmış olan algılayıcılar 1-5 günlük sürelerle radon kalibrasyon odasında ışınlanmış ve kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra algılayıcıların üzerinde oluşan izler optiksel mikroskop kullanılarak sayılmış ve kalibrasyon faktörü 5 (kBq/m³) / (net iz sayısı / saat) olarak hesaplanmıştır.

5.6.3 CR-39 Radon Algılayıcılarının Analizleri

Biri yatak odası diğeri ise oturma odasına olmak üzere toplam 1 çift olarak evlere bırakılan CR-39 radon algılayıcıları 5 ay sonra toplanmıştır. Toplanan algılayıcıların radon ve onun ürünlerinden analizleri yapılana kadar etkilenmemesi için algılayıcıların içinde bulunduğu difüzyon kapları önce naylon bir bant ile daha sonra da alüminyum folyo ile sarılmıştır. Analiz yapılmak üzere ÇNAEM Sağlık Fiziği Bölümü Radon Laboratuvarına mümkün olan en kısa sürede transfer edilen algılayıcılar kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulmuşlardır. Algılayıcılar, 62 °C'de 15 saat süreyle %30'luk NaOH çözeltisi içerisinde banyo ettirilmiş ve iki kez destile edilmiş su ile dikkatlice yıkanarak kurutulmuştur. Daha sonra her bir algılayıcı üzerinde birbirinden farklı en az 10 bölge seçilerek radon gazından dolayı bu bölgeler üzerinde alfa parçacıklarının bırakmış olduğu izler optiksel mikroskop kullanılarak sayılmıştır. Sayılan her bir bölgenin yüzey alanı yaklaşık olarak 2.5 mm²'dir.

5.6.4 Radon Gazı Aktivite Konsantrasyonunun Hesaplanması

Evlerdeki radon gazı aktivite konsantrasyonu denklem (5.7) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RK = [(KF) \times (NIS)] / [(DRMS)] \quad (5.7)$$

Bu denklemde; RK (kBq/m³) birimi cinsinden radon konsantrasyonu, KF kalibrasyon faktörü, NIS net iz sayısı ve DRMS algılayıcının radona maruz kaldığı süredir [71].



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Elazığ İl Merkezinin Radyoaktivite Seviyeleri

6.1.1 Elazığ İl Merkezi İçme ve Kullanma Sularının Radyoaktivite Seviyeleri

Elazığ il merkezinin içme ve kullanma suları şehir merkezinde bulunan Fırat Üniversitesi Araştırma Hastanesi önündeki su deposu ile Abdullahpaşa ve Kesikköprü su depoları tarafından sağlanmaktadır. Bu su depolarında Elazığ'ın güney-doğu ve güney-batı kesimlerinde açılmış kuyuların suları toplanmaktadır.

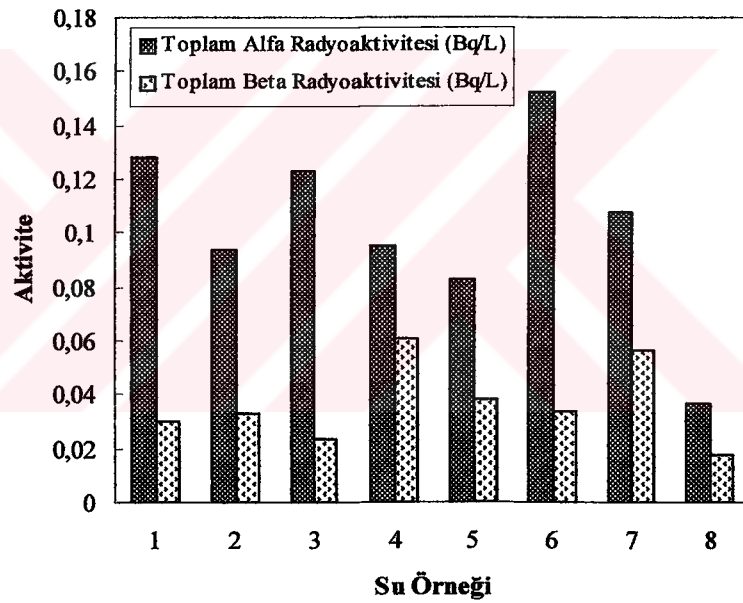
Elazığ il merkezinin içme ve kullanma su ihtiyacını büyük ölçüde sağlayan Fırat Üniversitesi Araştırma Hastanesi önündeki Elazığ Belediyesine ait su deposu, Elazığ'ın güney-doğu kesiminde bulunan su kuyularından beslenmektedir. Elazığ'ın güney-doğu kesimine giren Mollakendi ve Kuyulu köyü civarında çoğunluk sergileyen kuyulardan alınan sular, Mollakendi yakınlarında bulunan P1 Pompa İstasyonunda toplanmaktadır. P1 Pompa İstasyonunda toplanan sular sırası ile P2 ve P3 Pompa İstasyonlarına pompalanmakta, ardından Fırat Üniversitesi Araştırma Hastanesi önündeki su deposunda biriktirilmektedir. Fırat Üniversitesi Araştırma Hastanesi önündeki bu su deposu Rızaiye, İzzetpaşa, İcadiye, Sanayi, Karşıyaka, Salıbaşı, Kızılay, Nailbey, Fevzi Çakmak, Yıldızbağları, Doğukent, Çarşı, Akpınar, Zafran, Çatalçeşme, Gümüşkavak, Kırklar, Rüstempaşa, Ulukent mahallelerin tümünün, Yeni Mahallenin ise yarısının su ihtiyacını karşılamaktadır. Abdullahpaşa su deposunda, Abdullahpaşa Mahallesinin çeşitli yerlerinde açılmış olan kuyuların suları depolanmaktadır. Bu su deposu Abdullahpaşa Mahallesinin ve Polis Sitelerinin tümünün, Cumhuriyet Mahallesinin ise yarısının su ihtiyacını karşılamaktadır. Kesikköprü su deposu ise Yolçatı yakınlarında bulunan 4 adet kuyudan beslenmektedir. Bu su deposu; Fırat Üniversitesi Kampüsü, Sürsürü, Kültür ve Olgunlar mahallelerinin tümünün, Yeni Mahallenin ise yarısının su ihtiyacını karşılamaktadır.

Elazığ il merkezini karakterize edebilecek şekilde seçilmiş olan içme ve kullanma sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri Tablo 6.1 ve Şekil 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 ve Şekil 6.1 birlikte incelendiğinde; en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,1524 \pm 0,0104$ Bq/L değeri ile 6 numaralı Araştırma Hastanesi su deposu örneğinde, en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise $0,0366 \pm 0,0048$ Bq/L değeri ile 8 numaralı Karaçalı suyu (Şıra Meydanı) örneğinde olduğu görülür. Bunun yanı sıra; en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi $0,0608 \pm 0,0016$ Bq/L değeri ile 4 numaralı P2 Pompa İstasyonu örneğinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $0,0173 \pm 0,0027$ Bq/L değeri ile 8 numaralı Karaçalı suyu (Şıra Meydanı) örneğindedir.

Tablo 6.1: Elazığ il merkezi sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

No	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L)	Madde Miktarı (mg/L)
1	Kesikköprü Su Deposu	$0,1284 \pm 0,0086$	$0,0300 \pm 0,0019$	368,3
2	Abdullahpaşa Şebeke Suyu	$0,0933 \pm 0,0088$	$0,0329 \pm 0,0020$	349,7
3	P1 Pompa İstasyonu	$0,1228 \pm 0,0093$	$0,0231 \pm 0,0015$	519,7
4	P2 Pompa İstasyonu (Klorlu)	$0,0948 \pm 0,0092$	$0,0608 \pm 0,0016$	507,0
5	P3 Pompa İstasyonu	$0,0827 \pm 0,0092$	$0,0377 \pm 0,0015$	542,7
6	Araştırma Hastanesi Su Deposu	$0,1524 \pm 0,0104$	$0,0340 \pm 0,0014$	580,3
7	Dabakhane Şifalı Suyu (Harpur)	$0,1073 \pm 0,0097$	$0,0562 \pm 0,0016$	552,3
8	Karaçalı Suyu (Şıra Meydanı)	$0,0366 \pm 0,0048$	$0,0173 \pm 0,0027$	168,0



Şekil 6.1: Elazığ il merkezi sularının toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Bütün örnekler için toplam alfa radyoaktivite seviyesinin toplam beta radyoaktivite seviyesine oranı 1'den büyüktür ve bu oran 1,56 ile 5,32 değerleri arasında değişmektedir. Su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri $0,0366 \pm 0,0048$ Bq/L ile $0,1524 \pm 0,0104$ Bq/L değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise $0,0173 \pm 0,0027$ Bq/L ile $0,0608 \pm 0,0016$ Bq/L değerleri arasında dağılım sergilemektedir. Bu dağılım aralığı dikkatlice irdelendiğinde; toplam alfa radyoaktivite seviyesinin dağılım aralığının, toplam beta radyoaktivite seviyesinin dağılım aralığından daha geniş ve daha büyük değerlere sahip olduğu

açıkça görülür. Bunun sebebi, örneklerin tamamının yer altı orijinli olmasındandır. Çünkü yer altı suları radyonüklit ayırımı kolaylaştıran başlıca ortamlardır [1].

Şekil 6.1'deki aynı orijinli suları içeren 3, 4, 5 ve 6 numaralı örnekler sırası ile dikkate alındığında; örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri düşme eğilimi göstermekte ve tekrar artmakta, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise yükselme eğilimi göstermekte ve tekrar düşmektedir. 3, 4 ve 5 numaralı örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri taşınma etkisiyle sırası ile $0,1228 \pm 0,0093$ Bq/L, $0,0948 \pm 0,0092$ Bq/L ve $0,0827 \pm 0,0092$ Bq/L değerine azalmakta, 6 numaralı örneğin toplam alfa radyoaktivitesi ise depolanma etkisi ile $0,1524 \pm 0,0104$ Bq/L değerine artmaktadır. Bunun yanı sıra; 4 numaralı örneğin toplam beta radyoaktivite seviyesi klorlama etkisi ile $0,0231 \pm 0,0015$ Bq/L (3 numaralı örnek) değerinden $0,0608 \pm 0,0016$ Bq/L değerine artmakta, taşınma etkisi ile $0,0377 \pm 0,0015$ Bq/L (5 numaralı örnek) değerine ve daha sonra depolanma etkisi ile de $0,0340 \pm 0,0014$ Bq/L (6 numaralı örnek) değerine azalmaktadır. 6 numaralı Araştırma Hastanesi su deposu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin bariz bir şekilde (1,84 kat) artmasının sebebi, ^{222}Rn gazı ve beton depo duvarlarından gelen radyoaktif katkıdan dolayıdır. Depo duvarlarının betondan yapılması ve depodaki su sıcaklığının düşük olması bu katkıyı artırma yönünde etki yapmıştır [77, 78].

Şekil 6.1'deki iki farklı bölgeden alınmış olan 1 ve 3 numaralı örneklerin sırası ile toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,1284 \pm 0,0086$ Bq/L ve $0,1228 \pm 0,0093$ Bq/L, toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise $0,0300 \pm 0,0019$ Bq/L ve $0,0231 \pm 0,0015$ Bq/L olduğu görülür. Her iki örneğin hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite seviyeleri biri birilerine oldukça yakın değerlerdedir. Bunun sebebi her iki örneğin de alındığı bölge toprağının hemen hemen aynı jeolojik formasyona sahip olmasındandır. Özellikle toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin biri birine çok yakın değerlerde olmasının sebebi ise, ilgili jeolojik formasyonların uranyum izotoplarını biriktirme eğilimi gösteren kil ve kireçtaşı gibi yapılarca zengin olmalarından kaynaklanmaktadır [1, 33, 79].

Tablo 6.1 ve Şekil 6.1 incelendiğinde; 1, 3, 6 ve 7 numaralı su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) tarafından tavsiye edilen ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından müsaade edilen üst sınır değeri 0,1 Bq/L'den büyük değerde olduğu görülür. Geriye kalan diğer örneklerin toplam alfa radyoaktiviteleri ise bu limit değerlerinin altındadır. Su örneklerinin hepsinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değeri 1Bq/L'den küçük değeredir. Bunların yanı sıra; 2, 4, 5 ve 8 numaralı örneklerin hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen üst sınır değerlerinden küçüktür [53, 54]. Ayrıca, 8 numaralı Karaçalı suyu örneği en düşük radyoaktivite değerlerine sahip olup daha önce yapılan çalışmalar ile uyumludur [79, 80].

6.1.2 Elazığ İl Merkezi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

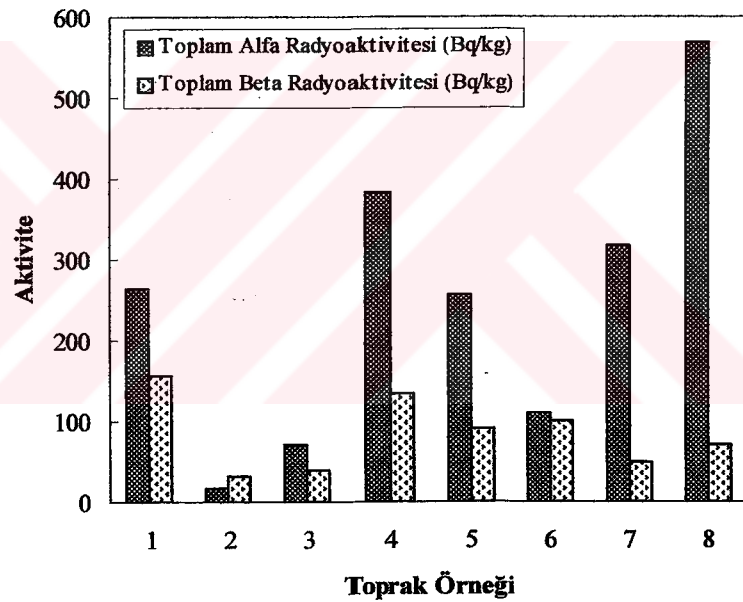
6.1.2.1 Toprak Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktiviteleri

Elazığ il merkezini karakterize edecek şekilde alınmış olan toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile Tablo 6.2 ve Şekil 6.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablo 6.2 ve Şekil 6.2 irdelendiğinde; en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $568,9 \pm 14,1$ Bq/kg değeri ile 8 numaralı Gümüşkavak Mahallesi örneğinde, en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise $16,8 \pm 15,9$ Bq/kg değeri ile 2 numaralı Abdullahpaşa su deposu civarı örneğinde olduğu görülür. Bunların yanı sıra; en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi $155,2 \pm 7,8$ Bq/kg değeri ile 1 numaralı Kesikköprü su deposu civarı örneğinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $31,6 \pm 3,6$ Bq/kg değeri ile 2 numaralı Abdullahpaşa su deposu civarı örneğindedir. Toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerine oranı 0,53 ile 8,0 değerleri arasında değişir. Bu aktivite oranı sadece 2 numaralı örnekte 1’den küçüktür ve değeri 0,53’tür. Örneklerin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri $16,8 \pm 15,9$ Bq/kg ile $568,9 \pm 14,1$ Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise $31,6 \pm 3,6$ Bq/kg ile $155,2 \pm 7,8$ Bq/kg değerleri arasında dağılım sergilemektedir. Toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin dağılımlarının, toplam beta radyoaktivite seviyelerinin dağılımlarından daha geniş olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 6.2 ve Şekil 6.2 birlikte dikkatlice irdelendiğinde; 5 numaralı Sürsürü Mahallesi ve 6 numaralı Cumhuriyet Mahallesi toprak örneklerinin radyoaktivite seviyeleri dikkati çeker. Bu 5 ve 6 numaralı toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $89,1 \pm 2,9$ Bq/kg ve $99,5 \pm 3,1$ Bq/kg değerleriyle biri birilerine çok yakındır. Toplam alfa radyoaktivite seviyeleri ise sırası ile $256,3 \pm 14,9$ Bq/kg ve $109,4 \pm 14,1$ Bq/kg değerlerindedir ve büyük farklılık gösterir. Toprakların içermiş olduğu radyoaktivite konsantrasyonu; hava koşulları, sedimentasyon, filtreleme, emilme, yer altı sularının hareketi sonucu meydana gelen çökelmeler, yüksek derecede porozite vb pek çok etkiye bağlı olarak değişim göstermekle birlikte, bu iki toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin farklılık göstermesinin temel sebebi doğrultu ve eğim atımlı Doğu Anadolu Fayı’nın (DAF) 5 numaralı toprak örneğinin alındığı Sürsürü Mahallesinin yakınlarından geçmesinden kaynaklanmaktadır [47]. Bunlara ek olarak, bu toprak örneğinin alındığı bölgenin tam altında DAF’dan ayrı bir birim olan doğrultu atımlı fay kırığı (aktif olmayan) mevcuttur ve bölgeye Meryem Dağı çevresindeki volkanik kayaç ağırlıklı kısımdan sürekli bir katkı söz konusudur [81]. Bu iki toprak örneğinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin biri birilerine çok yakın değerlerde olmasının sebebi ise temelde toprak örneklerinin alüvyon içerikli olmasındandır [37].

Tablo 6.2: Elazığ il merkezi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

No	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg)
1	Kesikköprü Su Deposu Civarı	263,9 ± 20,2	155,2 ± 7,8
2	Abdullahpaşa Su Deposu Civarı	16,8 ± 15,9	31,6 ± 3,6
3	Dabakhane Civarı (Harput)	70,9 ± 15,1	37,9 ± 2,2
4	Aksaray Mahallesi (Çimento Fabrikası)	382,7 ± 14,6	134,0 ± 3,8
5	Sürsürü Mahallesi	256,3 ± 14,9	89,1 ± 2,9
6	Cumhuriyet Mahallesi	109,4 ± 14,1	99,5 ± 3,1
7	Zafran Mahallesi	317,5 ± 14,4	47,7 ± 2,1
8	Gümüşkavak Mahallesi	568,9 ± 14,1	71,5 ± 3,5



Şekil 6.2: Elazığ il merkezi toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Şekil 6.2'deki 4, 5 ve 8 numaralı toprak örneklerinin radyoaktivite seviyelerinin karşılaştırılmasında fayda vardır. Bu üç örnek, diğer toprak örneklerine nazaran DAF'a daha yakın ve paralel olabilecek nitelikteki bölgelerden örnekleme sonucunda elde edilmişlerdir. 5, 4 ve 8 numaralı örneklerin sırası ile toplam alfa radyoaktiviteleri artmakta, toplam beta radyoaktiviteleri ise ilk olarak artmakta (4 numaralı örnek) ve daha sonra 5 numaralı örneğin toplam beta radyoaktivite seviyesinin ($89,1 \pm 2,9$ Bq/kg) altındaki bir değere ($71,5 \pm 3,5$ Bq/kg) düşmektedir. 4 numaralı Aksaray Mahallesi toprak örneğinin toplam beta radyoaktivite seviyesinin, biri birilerine yakın değerlerde olan 5 ve 8 numaralı örneklerin toplam beta

radioaktivite seviyelerine nazaran yüksek olmasının sebebi, 4 numaralı toprak örneğinin Elazığ Çimento Fabrikasının yakınından alınmasındandır. Elazığ Çimento Fabrikası ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda, bu fabrikanın çevreye toplam beta radyoaktivitesi açısından toplam alfa radyoaktivitesine nazaran daha fazla katkı sağladığı tespit edilmiştir [82]. Bunlara ek olarak bu bölge koni şeklinde 200 metreye kadar alüvyonlu toprak içermektedir. Bu nedenlerle 4 numaralı örneğin toplam beta radyoaktivitesinin artması oldukça doğal bir sonuçtur [37, 81]. 5, 4 ve 8 numaralı toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin artış gösterme eğilimi ile ilgili olarak ise kesin bir yorum yapmak mümkün değildir.

Şekil 6.2’de 1 numaralı Kesikköprü su deposu civarı örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi $263,9 \pm 20,2$ Bq/kg ve toplam beta radyoaktivitesi ise $155,2 \pm 7,8$ Bq/kg değerindedir. Bu örneğin toplam alfa radyoaktivitesinin diğer örneklerin toplam alfa radyoaktivitelerine nazaran yüksek, toplam beta radyoaktivitesinin ise en yüksek değere sahip olduğu görülür. Bunun sebebi tamamen bölgenin jeolojik yapısı ve toprağın içeriğine bağlıdır. Alüvyon içeren 1 numaralı toprak örneğinin alındığı bu bölge, uranyumca zengin olan kireçtaşı ve konglomera ağırlıklıdır [81]. Daha açık bir ifade ile uranyumca zengin olan kireçtaşı ve konglomera toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin yüksek olmasına, toprağın alüvyonlu olması ise en yüksek toplam beta radyoaktivitesinin ölçülmesine sebep olmuştur [26, 37, 83].

Şekil 6.2’deki 2 ve 3 numaralı örneklerin sırası ile toplam alfa radyoaktiviteleri $16,8 \pm 15,9$ Bq/kg ve $70,9 \pm 15,1$ Bq/kg değerlerinde, toplam beta radyoaktiviteleri ise $31,6 \pm 3,6$ Bq/kg ve $37,9 \pm 2,2$ Bq/kg değerlerindedir. Bu toprak örneklerinin radyoaktivite seviyeleri; Elazığ il merkezine ait diğer toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri ile karşılaştırıldığında, oldukça düşük değerlerde olduğu görülür. 2 ve 3 numaralı örneklerin alındığı bölgelerin sırası ile eski birimler olan metamorfik mermerler ve kumlu kalkerce (tortul kayaç ağırlıklı) yoğun olması, bu iki örneğin radyoaktivite seviyelerinin diğer toprak örneklerine nazaran daha düşük değerlerde olmasına sebebiyet vermiş olabilir [1, 81].

Şekil 6.2’deki 8 numaralı örneğin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivitesi sırası ile $568,9 \pm 14,1$ Bq/kg ve $71,5 \pm 3,5$ Bq/kg değerindedir. Bu örneğin radyoaktivite seviyeleri Elazığ il merkezine ait diğer toprak örneklerinin radyoaktivite seviyeleri ile karşılaştırıldığında; toplam alfa radyoaktivitesi açısından en yüksek değerde, toplam beta radyoaktivitesi açısından ise diğer örneklerle hemen hemen aynı değerde olduğu görülür. Toplam alfa radyoaktivitesinin bariz şekilde yüksek bir değerde olmasının temel nedeni örnek alınan sahanın volkanik kayaç ağırlıklı (granit bakımından zengin) ve erozyon dirençli olmasındandır [1, 33, 81].

Şekil 6.2’deki 7 numaralı toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi $317,5 \pm 14,4$ Bq/kg, toplam beta radyoaktivitesi ise $47,7 \pm 2,1$ Bq/kg değerindedir. Bu toprak örneğinin

alındığı bölge; kumtaşı, kil, killi şist ve mil ağırlıklı alüvyonlu topraklarca yoğundur. Ayrıca, bu bölgeye bölgenin üst kesimindeki volkanik kayaç ağırlıklı kısımdan sürekli bir katkı vardır. Bu toprak örneğinin yüksek toplam alfa radyoaktivitesine sahip olmasının sebebi, örnek alınan bölgenin kumtaşı, kil, killi şist ve mil ağırlıklı olmasından ve bölgenin volkanik kayaç ağırlıklı katkı almasındandır. Toplam beta radyoaktivitesinin diğer örneklerin toplam beta radyoaktivitelerine nazaran daha zayıf konsantrasyonda olmasının nedeni ise topraktaki alüvyon miktarının zayıf olmasındandır [1, 26, 37, 81].

Şekil 6.2'deki 4 numaralı toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi $382,7 \pm 14,6$ Bq/kg ve toplam beta radyoaktivitesi ise $134,0 \pm 3,8$ Bq/kg değerindedir. Bu örneğin hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite seviyesinin diğer toprak örnekleri içerisinde ikinci en yüksek değerde olduğu görülür. Bu bölge, koni şeklinde 200 metreye kadar alüvyonlu toprak içerir ve ana kayasının tortul ve volkanik kayaç karmaşığı şeklinde olduğu tahmin edilmektedir. Toprak örneğinin toplam beta radyoaktivite seviyesinin yüksek olmasının sebebi, bölgenin alüvyonlu toprak içermesi ve Elazığ Çimento Fabrikasının toplam beta radyoaktivitesi açısından bölgeye katkıda bulunmasındandır. Toplam alfa radyoaktivitesi ile ilgili olarak ise kesin bir yorum yapmak mümkün olmamakla birlikte, toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin yüksek olmasının sebebi bölgenin tortul ve volkanik kayaç karmaşığı şeklinde olduğu tahmin edilen ana kayaya sahip olmasına bağlanabilir [1, 37, 81, 82].

6.1.2.2 Toprak Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K Konsantrasyonları

Elazığ il merkezine ait 5 adet toprak örneğinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak Tablo 6.3'de verilmiştir.

Tablo 6.3 irdelendiğinde; en düşük ^{238}U konsantrasyonunun $8,5 \pm 2,8$ Bq/kg değeri ile 3 numaralı Aksaray Mahallesi örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonunun ise $89,6 \pm 5,9$ Bq/kg değeri ile 5 numaralı Gümüşkavak Mahallesi örneğinde olduğu görülür. Bunun yanı sıra; en düşük ^{232}Th konsantrasyonu $8,1 \pm 3,4$ Bq/kg ile 2 numaralı Dabakhane civarı (Harput) örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonu ise $49,9 \pm 6,0$ Bq/kg ile 5 numaralı Gümüşkavak Mahallesi örneğindedir. Bunlara ek olarak; $314,3 \pm 20,1$ Bq/kg değeri ile 2 numaralı Dabakhane civarı (Harput) örneği en düşük ^{40}K konsantrasyonuna, $524,5 \pm 19,8$ Bq/kg değeri ile 3 numaralı Aksaray Mahallesi (Çimento Fabrikası arkası) örneği ise en yüksek ^{40}K konsantrasyonuna sahiptir.

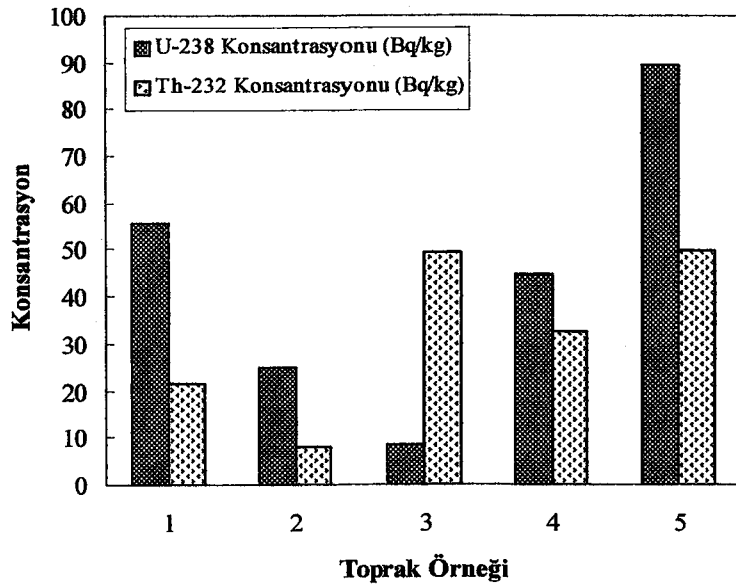
Literatürde; topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması sırası ile 25 Bq/kg, 25 Bq/kg ve 370 Bq/kg olarak verilmektedir [26]. Tablo 6.3'deki toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları bu değerler ile karşılaştırıldığında; 1, 4 ve 5 numaralı örneklerin ^{238}U konsantrasyonlarının; 3, 4 ve 5 numaralı

örneklerin ise ^{232}Th konsantrasyonlarının her iki radyonüklit için de 25 Bq/kg olarak kabul edilmiş olan ortalama değeri aştığı görülür. Bunların yanı sıra; 1, 3, 4 ve 5 numaralı toprak örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları 370 Bq/kg olan ortalama değerin üzerindedir. Tablo 6.3 genel olarak irdelendiğinde ise; 4 ve 5 numaralı toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının hepsinin dünya ortalaması değerlerini aştığı, 2 numaralı toprak örneğinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının ise dünya ortalamasının altında olduğu görülür.

Şekil 6.3 ve Tablo 6.3 birlikte irdelendiğinde; 5 numaralı toprak örneğinin hem ^{238}U hem de ^{232}Th konsantrasyonlarının en yüksek değerde olduğu dikkati çeker. Bu 5 numaralı toprak örneği için ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları sırası ile $89,6 \pm 5,9$ Bq/kg ve $49,9 \pm 6,0$ Bq/kg'dır. Gümüşkavak Mahallesinden alınan bu toprak örneğinin yüksek ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarına sahip olmasının temel nedeni örnek alınan sahanın volkanik kayaç ağırlıklı (granit ağırlıklı çamur taşı bakımından zengin) ve erozyon dirençli olmasındandır. Başka bir ifade ile granitlerde uranyum ve toryum birikimi en yüksek konsantrasyonlardadır [1, 33, 81].

Tablo 6.3: Elazığ il merkezi toprak örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları.

No	Örnek Adı	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
1	Kesikköprü Su Deposu Civarı	$55,7 \pm 4,1$	$21,7 \pm 4,2$	$381,0 \pm 28,4$
2	Dabakhane Civarı (Harpur)	$24,8 \pm 3,3$	$8,1 \pm 3,4$	$314,3 \pm 20,1$
3	Aksaray Mahallesi (Çimento F.)	$8,5 \pm 2,8$	$49,4 \pm 3,8$	$524,5 \pm 19,8$
4	Sürsürü Mahallesi	$44,6 \pm 5,4$	$32,6 \pm 5,5$	$522,0 \pm 27,8$
5	Gümüşkavak Mahallesi	$89,6 \pm 5,9$	$49,9 \pm 6,0$	$437,6 \pm 31,0$



Şekil 6.3: Elazığ il merkezi toprak örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları.

Şekil 6.3 ve Tablo 6.3 birlikte incelendiğinde; 1 numaralı Kesikköprü su deposu civarından alınan toprak örneğinin $55,7 \pm 4,1$ Bq/kg değeri ile ikinci en yüksek ^{238}U konsantrasyonuna sahip olduğu görülür. Bunun sebebi tamamen bölgenin jeolojik yapısı ve toprağın içeriğine bağlıdır. 1 numaralı toprak örneğinin alındığı bu bölge uranyumca zengin olan kireçtaşı ve konglomera ağırlıklıdır [26, 81, 83]. Bunun yanı sıra; 4 numaralı toprak örneği $44,6 \pm 5,4$ Bq/kg ve $32,6 \pm 5,5$ Bq/kg değerleri ile üçüncü en yüksek ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarına sahiptir. Bu toprak örneğinin hem ^{238}U hem de ^{232}Th konsantrasyonlarının her ikisinin birden yüksek değerde olmasının temel sebebi doğrultu ve eğim atımlı DAF'ın örneğin alındığı Sürsürü Mahallesinin yakınlarından geçmesinden kaynaklanmaktadır. Bunlara ek olarak; bu toprak örneğinin alındığı bölgenin tam altında, DAF'dan ayrı bir birim olan doğrultu atımlı fay kırığı (aktif olmayan) mevcuttur. Özetle, 4 numaralı toprak örneğinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarının her ikisinde yüksek değerde olmasının ana nedeni uranyum ve toryumun fay hatları boyunca yüksek konsantrasyonlarda birikme eğilimi göstermesindendir [47, 81].

Şekil 6.3 ve Tablo 6.3 birlikte irdelendiğinde; 3 numaralı toprak örneğinin $8,5 \pm 2,8$ Bq/kg değeri ile en düşük ^{238}U konsantrasyonuna, $49,4 \pm 3,8$ Bq/kg değeri ile ise en yüksek ikinci ^{232}Th konsantrasyonuna sahip olduğu görülür. Bu örneğin ^{232}Th konsantrasyonu bakımından ikinci en yüksek değere sahip olması oldukça doğal bir sonuçtur. Çünkü 3 numaralı bu toprak örneğinin alındığı bölge koni şeklinde 200 metreye kadar sadece alüvyonlu toprak içermektedir [81]. Literatürde, alüvyonlu toprakların daha fazla ve daha düzenli toryum konsantrasyonuna sahip olma eğilimi gösterdiği belirtilmektedir. Bu nedenle Aksaray Mahallesinden alınan bu toprak örneğinin ^{232}Th konsantrasyonunun yüksek değerde olması literatürle uyum içerisindedir [37]. Bunun yanı sıra; 3 numaralı toprak örneğinin $8,5 \pm 2,8$ Bq/kg değeri ile en düşük ^{238}U konsantrasyonuna sahip olmasının sebebi ise ağırlıklı olarak uranyumun bu toprak türü içerisindeki hareket kabiliyetine bağlanabilir [35, 84].

Şekil 6.3 ve Tablo 6.3 birlikte irdelendiğinde; 2 numaralı Dabakhane civarı (Harput) örneğinin $24,8 \pm 3,3$ Bq/kg değeri ile en düşük ikinci ^{238}U konsantrasyonuna, $8,1 \pm 3,4$ Bq/kg değeri ile ise en düşük ^{232}Th konsantrasyonuna sahip olduğu görülür. Örnek alınan bölgenin jeolojisi incelendiğinde, çevresi volkanik kayalar ağırlıklı olan Terra Rosta toprak formasyonunun yoğun olduğu görülür. Bu toprak örneğinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonlarının hepsinin dünya ortalamasının altında olması oldukça dikkat çekici bir durumdur. Terra Rosta toprağının ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarının oldukça zayıf olmalarının ana sebebi yüksek ihtimal ile bu toprak türünün güçlü olarak atmosfere ^{222}Rn (radon) ve ^{220}Rn (toron) gazı yaymasından kaynaklanmaktadır [85, 86].

Şekil 6.3 dikkatli olarak irdelendiğinde; örneklerin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarının ters orantılı değişim eğilimi gösterdiği fark edilir. Toprak örneklerinin $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ konsantrasyon oranları hesaplandığında ise, bu oranın 0,17 ile 3,06 değerleri arasında dağılım sergilediği görülür. $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ konsantrasyonu 1'den küçük olan sadece 3 numaralı toprak örneğidir ve bu oran 0,17'dir. Bunun yanı sıra diğer örneklerin tamamının $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ konsantrasyon oranları 1'den büyüktür. Toprak örneklerinin ^{232}Th konsantrasyonuna nazaran daha yüksek değerde ^{238}U konsantrasyonuna sahip olmasının temel nedeni örneklerin 0-5 cm derinlikten alınmasındandır. Yapılan bilimsel çalışmalarda toprağın üst kısmının toryumdan ziyade daha fazla uranyum konsantrasyonuna sahip olduğu rapor edilmiştir [37]. Toprak örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonlarının ters orantılı değişim gösterme eğiliminin sebebi ise genellikle toprağın üst kısmının organik madde içeriği bakımından zengin olmasına bağlanabilir. Çünkü organik madde içeriği yüksek olan topraklarda toryumun hareket kabiliyeti fazla, bunun yanı sıra uranyumun hareket kabiliyeti ise daha zayıftır [36, 84].

Tablo 6.3 irdelendiğinde; en düşük ^{40}K konsantrasyonunun $314,3 \pm 20,1$ Bq/kg değeri ile 2 numaralı toprak örneğinde, en yüksek ^{40}K konsantrasyonunun ise $524,5 \pm 19,8$ Bq/kg değeri ile 3 numaralı toprak örneğinde olduğu görülür. Tablodaki toprak örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları 370 Bq/kg olan dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında ise sadece Harput Dabakhane civarından alınan 2 numaralı Terra Rosta türü toprak örneğinin bu değer altında kaldığı görülür. Bunun yanı sıra; $524,5 \pm 19,8$ Bq/kg ile en yüksek ^{40}K konsantrasyonuna sahip olan 3 numaralı toprak örneğinin konsantrasyon değerinin dünya ortalamasına oranının 1,42 olduğu görülür. Özetle, Tablo 6.3'deki toprak örneklerinin ^{40}K konsantrasyonlarının dünya ortalamasını çok fazla aşmadığını ve biri birinden çok farklı değerler sergilemediğini söylemek mümkündür [26].

6.1.3 Elazığ İl Merkezi Gıda Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

6.1.3.1 Gıda Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktiviteleri

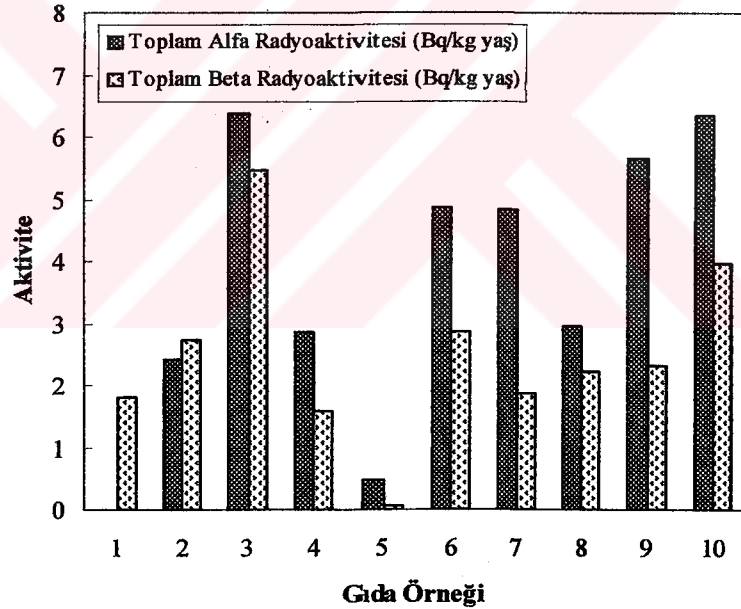
Elazığ il merkezinde kurulan halk pazarlarından temin edilmiş olan Elazığ il merkezi ve merkez köylerine ait sebze ağırlıklı gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri Tablo 6.4 ve Şekil 6.4'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.4 ve Şekil 6.4 irdelendiğinde; en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $6,3692 \pm 0,6362$ Bq/kg değeri ile 3 numaralı maydanoz örneğinde, en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise $0,4702 \pm 0,1561$ Bq/kg ile 5 numaralı turp örneğinde olduğu görülür. Bunun yanı sıra, 1 numaralı karpuz örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi algılama limitleri altındadır (ALA) ve ölçülememiştir. Bunlara ek olarak; en yüksek toplam beta

Tablo 6.4: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

No	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg yaş)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg yaş)
1	Karpuz	ALA*	1,8166 ± 0,0746
2	Dolmalık Biber	2,4055 ± 0,2692	2,7340 ± 0,0963
3	Maydanoz	6,3692 ± 0,6362	5,4761 ± 0,2320
4	Yeşil Soğan	2,8704 ± 1,0434	1,5963 ± 0,5382
5	Turp	0,4702 ± 0,1561	0,0710 ± 0,0274
6	Domates	4,8515 ± 0,3960	2,8678 ± 0,1708
7	Lahana	4,8186 ± 0,3537	1,8695 ± 0,0843
8	Patlıcan	2,9418 ± 0,5229	2,2120 ± 0,1650
9	Marul	5,6646 ± 0,6655	2,3160 ± 0,3090
10	Ispanak	6,3388 ± 0,3682	3,9758 ± 0,1084

*: Algılama Limiti Altında



Şekil 6.4: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

radyoaktivite seviyesi $5,4761 \pm 0,2320$ Bq/kg değeri ile 3 numaralı maydanoz örneğinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $0,0710 \pm 0,0274$ Bq/kg değeri ile 5 numaralı turp örneğindedir. Gıda örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin $0,4702 \pm 0,1561$ Bq/kg ile $6,3692 \pm 0,6362$ Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise $0,0710 \pm 0,0274$ Bq/kg ile $5,4761 \pm 0,2320$ Bq/kg değerleri arasında dağılım gösterdiği görülür. Buna göre, Tablo 6.4'deki gıda örneklerinin hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite

seviyelerinin hemen hemen aynı aktivite aralığında dağılım sergilediği söylenebilir. Bunlara ek olarak; gıda örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin %50'sinin $4,8515 \pm 0,3960$ Bq/kg ile $6,3692 \pm 0,6362$ Bq/kg arasında, %40'mın ise $0,4702 \pm 0,1561$ Bq/kg ile $2,9418 \pm 0,5229$ Bq/kg değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise %40'mın $2,7340 \pm 0,0963$ Bq/kg ile $5,4761 \pm 0,2320$ Bq/kg arasında, %60'mın ise $0,0710 \pm 0,0274$ Bq/kg ile $2,3160 \pm 0,3090$ Bq/kg değerleri arasında dağılım yoğunluğu sergilediği görülür.

Tablo 6.4'deki gıda örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerine oranı 0,88 ile 6,62 değerleri arasındadır. Toplam alfa radyoaktivite seviyesinin toplam beta radyoaktivite seviyesine oranı 1'den küçük olan sadece 2 numaralı dolmalık biber örneğidir ve bu oran 0,88'dir. Diğer gıda örneklerinin hepsinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine oranı ise 1'den büyüktür. Sonuç olarak Tablo 6.4'deki gıda örneklerinin %80'inin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesinden büyük olduğu söylenebilir.

Tablo 6.5 irdelendiğinde 3, 7, 9 ve 10 numaralı gıda örneklerinin yapraklı; 1, 2, 6 ve 8 numaralı gıda örneklerinin saplı; 4 ve 5 numaralı örneklerin ise köklü olarak sınıflandırıldığı görülür. Şekil 6.4 incelendiğinde; en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin genellikle yapraklı gıda örneklerinde, en düşük toplam beta radyoaktivite seviyelerinin ise genellikle köklü gıda örneklerinde olduğunu söylemek mümkündür. Şekil 6.4 toplam beta radyoaktivitesi açısından değerlendirildiğinde ise yapraklı gıda örneklerinin saplı ve köklü gıda örneklerine nazaran genelde daha yüksek toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür. Bunun yanı sıra en düşük toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise genelde köklü gıda örneklerindedir.

Şekil 6.4 irdelendiğinde; yapraklı gıda örneklerinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine oranının 1,16 ile 2,58 değerleri arasında değiştiği, saplı gıda örneklerinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine oranının 0,88 ile 1,69 değerleri arasında değiştiği, 4 ve 5 numaralı köklü gıda örnekleri için ise bu oranın sırası ile 1,80 ve 6,62 değerlerinde olduğu görülür. Bu sonuçlar saplı ve yapraklı gıda örneklerindeki radyoaktivite oranlarının çok büyük olmadığını gösterir.

Şekil 6.4 incelendiğinde; 3 ve 10 numaralı gıda örneklerinin toplam alfa radyoaktivitelerinin sırası ile $6,3692 \pm 0,6362$ Bq/kg ve $6,3388 \pm 0,3682$ Bq/kg değerlerinde, toplam beta radyoaktivitelerinin ise sırası ile $5,4761 \pm 0,2320$ Bq/kg ve $3,9758 \pm 0,1084$ Bq/kg değerlerinde olduğu görülür. Bu iki gıda örneği hem toplam alfa radyoaktivitesi hem de toplam beta radyoaktivitesi bakımından Tablo 6.4'deki diğer gıda örneklerine nazaran daha yüksek radyoaktivite konsantrasyonlarına sahiptirler. Tablo 6.5 incelendiğinde 3 ve 10 numaralı bu gıda örneklerinin sırası ile Sürsürü ve Aksaray mahallelerinde yetişmiş oldukları görülür. Bu nedenle Sürsürü ve Aksaray mahallelerine ait toprak örneklerinin radyoaktivite seviyelerine bakmak

Tablo 6.5: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin özellikleri.

No	Örnek Adı	Özellığı	Örnek Alınan Yer
1	Karpuz	Saplı	Elazığ Merkez (Harput-Alayaprak Köyü)
2	Dolmalık Biber	Saplı	Elazığ Merkez (Harput-Beşoluk Köyü)
3	Maydanoz	Yapraklı	Elazığ Merkez (Sürsürü Mahallesi)
4	Yeşil Soğan	Köklü	Elazığ Merkez (Kavakdere Köyü)
5	Turp	Köklü	Elazığ Merkez (Mollakendi-Bahçekapı Köyü)
6	Domates	Saplı	Elazığ Merkez (Yurtbaşı-Hoşköy Köyü)
7	Lahana	Yapraklı	Elazığ Merkez (Kesrik)
8	Patlıcan	Saplı	Elazığ Merkez (İçme-Aşağıbağ Köyü)
9	Marul	Yapraklı	Elazığ Merkez (Pincirik Köyü)
10	Ispanak	Yapraklı	Elazığ Merkez (Aksaray Mahallesi)

gereklidir. Tablo 6.2'deki 4 ve 5 numaralı örnekler sırası ile Aksaray ve Sürsürü mahallerinden alınan toprak örnekleridir. 4 ve 5 numaralı bu toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktiviteleri sırası ile $382,7 \pm 14,6$ Bq/kg ve $256,3 \pm 14,9$ Bq/kg, toplam beta radyoaktiviteleri ise sırası ile $134,0 \pm 3,8$ Bq/kg ve $89,1 \pm 2,9$ Bq/kg'dır. Bu iki toprak örneği de Tablo 6.2'deki diğer toprak örneklerine nazaran yüksek sayılabilecek nitelikte radyoaktivite konsantrasyonuna sahiptirler. Sonuç olarak, yüksek radyoaktivite konsantrasyonlu topraklarda yetişmiş olan gıda örneklerinin de yüksek radyoaktivite konsantrasyonuna sahip olması oldukça doğaldır.

6.1.3.2 Gıda Örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{40}K Konsantrasyonları

Elazığ il merkezine ait 10 adet gıda örneğinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{40}K radyonüklit konsantrasyonları Tablo 6.6'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Uranyum konsantrasyonu dikkate alınarak Tablo 6.6 incelendiğinde; en düşük ^{238}U konsantrasyonunun $0,1514 \pm 0,0435$ Bq/kg değeri ile 5 numaralı turp örneğinde, en yüksek ^{238}U konsantrasyonunun ise $2,5821 \pm 0,2046$ Bq/kg değeri ile 3 numaralı maydanoz örneğinde olduğu görülür. Tablo 6.6'daki 1, 2, 6, 8 ve 10 numaralı gıda örneklerinin ^{238}U konsantrasyonları ise algılama limiti altındadır. Daha dikkatli bir irdeleme yapıldığında, ^{238}U konsantrasyonu algılama limiti altında kalan bu gıda örneklerinin genelde saplı olarak sınıflandırılmış örnekler (karpuz, dolmalık biber, domates ve patlıcan) olduğu görülür. Özetle 10 adet gıda örneğinin %50'sinin, saplı olarak sınıflandırılmış olan gıda örneklerinin ise tamamının ^{238}U konsantrasyonu algılama limiti altındadır.

Tablo 6.6: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{40}K konsantrasyonları.

No	Örnek Adı	Özellığı	^{238}U (Bq/kg yaş)	^{232}Th (Bq/kg yaş)	^{226}Ra (Bq/kg yaş)	^{137}Cs (Bq/kg yaş)	^{40}K (Bq/kg yaş)
1	Karpuz	Saplı	ALA	ALA	ALA	0,0478 $\pm$ 0,0115	27,7728 $\pm$ 1,2372
2	Dolmalık Biber	Saplı	ALA	ALA	ALA	0,4754 $\pm$ 0,0371	4,4344 $\pm$ 1,2522
3	Maydanoz	Yapraklı	2,5821 $\pm$ 0,2046	ALA	ALA	ALA	22,9547 $\pm$ 2,6071
4	Yeşil Soğan	Köklü	2,4493 $\pm$ 0,1940	0,8165 $\pm$ 0,1721	ALA	0,0915 $\pm$ 0,0220	29,2969 $\pm$ 2,5006
5	Turp	Köklü	0,1514 $\pm$ 0,0435	0,3027 $\pm$ 0,0539	0,1088 $\pm$ 0,0378	0,1731 $\pm$ 0,0132	3,4132 $\pm$ 0,4645
6	Domates	Saplı	ALA	0,6400 $\pm$ 0,2196	1,3813 $\pm$ 0,1089	1,4620 $\pm$ 0,0826	20,4684 $\pm$ 1,9988
7	Lahana	Yapraklı	1,3183 $\pm$ 0,1049	ALA	0,9502 $\pm$ 0,0967	ALA	18,7480 $\pm$ 1,3142
8	Patlıcan	Saplı	ALA	ALA	0,9955 $\pm$ 0,2013	0,7886 $\pm$ 0,0615	16,4794 $\pm$ 2,2148
9	Marul	Yapraklı	1,2544 $\pm$ 0,1849	ALA	ALA	0,7157 $\pm$ 0,0555	22,5711 $\pm$ 1,9172
10	Ispanak	Yapraklı	ALA	0,9917 $\pm$ 0,1107	1,0708 $\pm$ 0,1084	ALA	20,4372 $\pm$ 1,5068

ALA: Algılama Limiti Altında

Toryum konsantrasyonu bakımından Tablo 6.6 irdelendiğinde; en düşük ^{232}Th konsantrasyonunun $0,3027 \pm 0,0539$ Bq/kg değeri ile 5 numaralı turp örneğinde, en yüksek ^{232}Th konsantrasyonunun ise $0,9917 \pm 0,1107$ Bq/kg değeri ile 10 numaralı ıspanak örneğinde olduğu görülür. Tablo 6.6'daki 1, 2, 3, 7, 8 ve 9 numaralı gıda örneklerinin ^{232}Th konsantrasyonları ise algılama limiti altında kalmıştır. Daha dikkatli bir irdeleme yapıldığında, ^{232}Th konsantrasyonu algılama limiti altında kalan bu gıda örneklerinin saplı ve yapraklı olarak sınıflandırılmış örnekler olduğu görülür. Özetle 10 adet gıda örneğinin %60'ının, saplı ve yapraklı olarak sınıflandırılmış gıda örneklerinin ise her birinin %75'inin ^{232}Th konsantrasyonu algılama limiti altındadır.

Radyum konsantrasyonu dikkate alınarak Tablo 6.6 incelendiğinde; en düşük ^{226}Ra konsantrasyonunun $0,1088 \pm 0,0378$ Bq/kg değeri ile 5 numaralı turp örneğinde, en yüksek ^{226}Ra konsantrasyonunun ise $1,3813 \pm 0,1089$ Bq/kg değeri ile 6 numaralı domates örneğinde olduğu görülür. Tablo 6.6'daki 1, 2, 3, 4 ve 9 numaralı örneklerin ^{226}Ra konsantrasyonları ise algılama limiti altındadır. Dikkatli irdeleme yapıldığında bu gıda örneklerinin ağırlıklı olarak saplı ve yapraklı örnekler olduğu görülür. Özetle 10 adet gıda örneğinin %50'sinin, saplı ve yapraklı olarak sınıflandırılmış gıda örneklerinin ise her birinin %50'sinin ^{226}Ra konsantrasyonu algılama limiti altındadır.

Sezyum konsantrasyonu bakımından Tablo 6.6 irdelendiğinde; en düşük ^{137}Cs konsantrasyonu $0,0478 \pm 0,0115$ Bq/kg ile 1 numaralı karpuz örneğinde, en yüksek ^{137}Cs konsantrasyonu ise $1,4620 \pm 0,0826$ Bq/kg ile 6 numaralı domates örneğindedir. Tablo 6.6'daki 3, 7 ve 10 numaralı örneklerin ^{137}Cs konsantrasyonlarının algılama limiti altında olduğu görülür. Dikkatli irdeleme yapıldığında bu gıda örneklerinin tamamının yapraklı olarak sınıflandırılmış örnekler olduğu görülür. Özetle 10 adet gıda örneğinin %30'unun, yapraklı olarak sınıflandırılmış örneklerin ise %75'inin ^{137}Cs konsantrasyonu algılama limiti altındadır.

Potasyum konsantrasyonu dikkate alınarak Tablo 6.6 incelendiğinde; en düşük ^{40}K konsantrasyonunun $3,4132 \pm 0,4645$ Bq/kg ile 5 numaralı turp örneğinde, en yüksek ^{40}K konsantrasyonunun ise $29,2969 \pm 2,5006$ Bq/kg ile 4 numaralı yeşil soğan örneğinde olduğu görülür. ^{40}K konsantrasyonu algılama limiti altında kalan hiçbir gıda örneği yoktur.

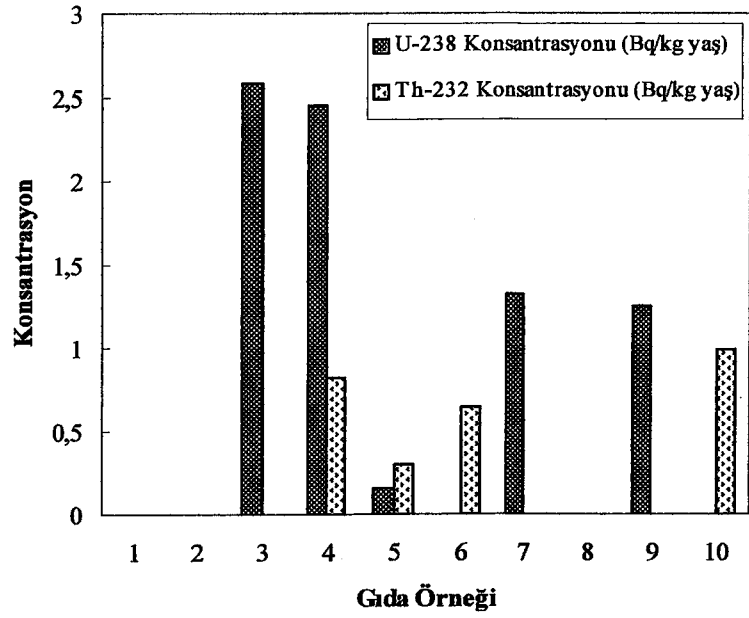
Tablo 6.6 irdelendiğinde; 1 ve 2 numaralı karpuz ve dolmalık biber örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{226}Ra konsantrasyonlarının algılama limiti altında olduğu görülür. Bunun yanı sıra 3 numaralı maydanoz örneğinin ise ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{137}Cs konsantrasyonları algılama limiti altındadır. Ayrıca 4 ve 6 numaralı gıda örneklerinin ise sırası ile ^{226}Ra ve ^{238}U konsantrasyonları algılama limiti altındadır. Bunların yanı sıra; 7, 8, 9 ve 10 numaralı örneklerin sırası ile ^{232}Th ve ^{137}Cs konsantrasyonları, ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları, ^{232}Th ve ^{226}Ra konsantrasyonları, ^{238}U ve ^{137}Cs konsantrasyonları algılama limiti altındadır. Bunlara ek olarak 5 numaralı turp

örneğin (saplı) ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K konsantrasyonlarının minimum değerde olması dikkat çekicidir.

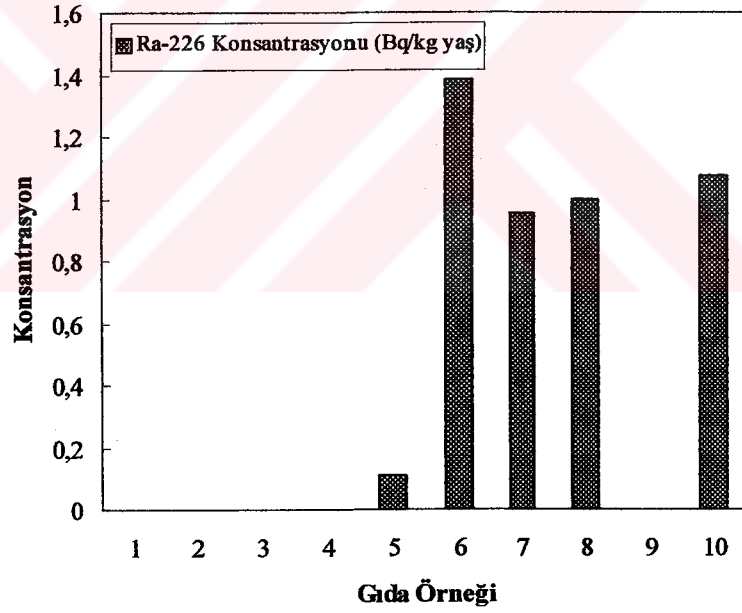
Gıda örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.5’de verilmiştir. Şekil 6.5 incelendiğinde; 1, 2 ve 8 numaralı gıda örneklerinin hem ^{238}U hem de ^{232}Th konsantrasyonlarının algılama limiti altında olduğu görülür. Bu gıda örneklerinin saplı olarak sınıflandırılmış olan örnekler olması dikkat çekicidir. Şekil 6.5’deki 6 numaralı domates örneği de saplı olarak sınıflandırılmış gıda örneğidir ve sadece $0,6400 \pm 0,2196$ Bq/kg değerinde ^{232}Th konsantrasyonuna sahiptir. Bunların yanı sıra 3, 7 ve 9 numaralı örnekler ise sadece ^{238}U konsantrasyonuna sahiptirler. 3, 7 ve 9 numaralı gıda örnekleri için bu değerler sırası ile $2,5821 \pm 0,2046$ Bq/kg, $1,3183 \pm 0,1049$ Bq/kg ve $1,2544 \pm 0,1849$ Bq/kg’dır. Dikkatli bir irdeleme yapıldığında, bu örneklerin yapraklı olarak sınıflandırılmış gıda örnekleri olduğu görülür. Bunlara ek olarak, Şekil 6.5’deki 4 ve 5 numaralı örneklerin hem ^{238}U hem de ^{232}Th konsantrasyonlarına sahip olduğu görülür. 4 ve 5 numaralı örneklerin ^{238}U konsantrasyonları sırası ile $2,4493 \pm 0,1940$ Bq/kg ve $0,1514 \pm 0,0435$ Bq/kg, ^{232}Th konsantrasyonları ise sırası ile $0,8165 \pm 0,1721$ Bq/kg, $0,3027 \pm 0,0539$ Bq/kg’dır. Bu iki örnek ise köklü olarak sınıflandırılmış olan gıda örnekleridir.

Gıda ve havadaki bazı karasal radyonüklitlerin referans aktivitelerini içeren Tablo 4.4 dikkatle incelenirse; yapraklı sebzeler için ^{238}U ve ^{232}Th referans aktivite değerlerinin sırası ile 0,02 Bq/kg ve 0,015 Bq/kg olduğu görülür. Kökler ve meyveler için ^{238}U ve ^{232}Th referans aktivite değerleri ise sırası ile 0,003 Bq/kg ve 0,0005 Bq/kg’dır [29]. Bunların yanı sıra Birleşmiş Milletler Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) tarafından gıdalardaki aktivite konsantrasyonlarının dünya genelinde referans aktivite değerlerini aşan büyük değişimler gösterdiği de not edilmiştir [29]. Şekil 6.5’deki gıda örneklerinin hem ^{238}U hem de ^{232}Th konsantrasyonlarının hepsi UNSCEAR tarafından kabul edilmiş olan referans aktivite değerlerini aşmaktadır. Bununla birlikte bu gıda örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları literatür ile uyum içerisindedir [71].

Gıda örneklerinin ^{226}Ra konsantrasyonları Şekil 6.6’da verilmiştir. Şekil 6.6’daki 1, 2, 3, 4 ve 9 numaralı gıda örneklerinin ^{226}Ra konsantrasyonları algılama limiti altındadır. Şekil 6.6 irdelendiğinde; 7, 8 ve 10 numaralı gıda örneklerinin biri birilerine çok yakın ^{226}Ra konsantrasyonlarına sahip olduğu görülür. 7, 8 ve 10 numaralı bu gıda örnekleri için ^{226}Ra konsantrasyonları sırası ile $0,9502 \pm 0,0967$ Bq/kg, $0,9955 \pm 0,2013$ Bq/kg ve $1,0708 \pm 0,1084$ Bq/kg’dır. Bunlara ek olarak; Şekil 6.6’daki 6 numaralı domates örneği $1,3813 \pm 0,1089$ Bq/kg değeri ile en yüksek ^{226}Ra konsantrasyonuna, 5 numaralı turp örneği ise $0,1088 \pm 0,0378$ Bq/kg değeri ile en düşük ^{226}Ra konsantrasyonuna sahiptir.



Şekil 6.5: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{238}U ve ^{232}Th konsantrasyonları.



Şekil 6.6: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{226}Ra konsantrasyonları.

Gıda ve havadaki bazı karasal radyonüklitlerin referans aktivitelerini içeren Tablo 4.4 dikkatle incelenirse; yapraklı sebzeler için ^{226}Ra referans aktivite değerinin 0,05 Bq/kg, kökler ve meyveler için ^{226}Ra referans aktivite değerinin ise 0,03 Bq/kg olduğu görülür [29]. Bunların yanı sıra UNSCEAR tarafından gıdalardaki aktivite konsantrasyonlarının dünya genelinde referans aktivite değerlerini aşan büyük değişimler gösterdiği de not edilmiştir [29]. Şekil

6.6'daki gıda örneklerinin ^{226}Ra konsantrasyonlarının hepsi UNSCEAR tarafından kabul edilmiş olan referans aktivite değerlerini aşmaktadır. Bununla birlikte bu gıda örneklerinin ^{226}Ra konsantrasyonları literatür ile uyum içerisindedir [87].

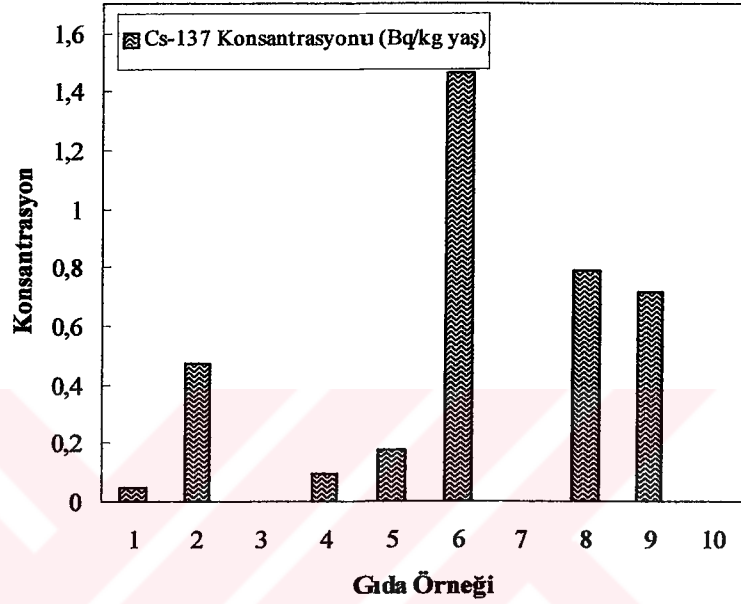
Gıda örneklerinin ^{137}Cs konsantrasyonları Şekil 6.7'de verilmiştir. Şekil 6.7'deki 3, 7 ve 10 numaralı örneklerin ^{137}Cs konsantrasyonları algılama limiti altındadır. Şekil 6.7 incelendiğinde; en düşük ^{137}Cs konsantrasyonunun $0,0478 \pm 0,0115$ Bq/kg değeri ile 1 numaralı karpuz örneğinde, en yüksek ^{137}Cs konsantrasyonunun ise $1,4620 \pm 0,0826$ Bq/kg değeri ile 6 numaralı domates örneğinde olduğu görülür. Şekil 6.7 dikkatli irdelendiğinde ise; saplı olarak sınıflandırılmış 2, 6 ve 8 numaralı gıda örneklerinin, köklü olarak sınıflandırılmış 4 ve 5 numaralı gıda örneklerine nazaran daha yüksek ^{137}Cs konsantrasyonuna sahip olduğu görülür. Şekil 6.7'de verilmiş olan gıda örneklerinin hepsinin ^{137}Cs konsantrasyonu literatür ile uyumlu olup, literatürde gıda örnekleri için ^{137}Cs referans aktivite değerine rastlanılmamıştır [88]. Sonuç olarak gıda örneklerinin ^{137}Cs açısından önemli sayılabilecek derecede bir radyoaktif bulaşmaya maruz kalmadığı söylenebilir.

Gıda örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları Şekil 6.8'de verilmiştir. Şekil 6.8 incelendiğinde en düşük ^{40}K konsantrasyonunun $3,4132 \pm 0,4645$ Bq/kg ile 5 numaralı turp örneğinde, en yüksek ^{40}K konsantrasyonunun ise $29,2969 \pm 2,5006$ Bq/kg ile 4 numaralı yeşil soğan örneğinde olduğu görülür. Hem en yüksek hem de en düşük ^{40}K konsantrasyonunun köklü olarak sınıflandırılmış 4 ve 5 numaralı gıda örneklerinde görülmesi oldukça dikkat çekicidir. Bunların yanı sıra; ^{238}U , ^{232}Th ve ^{226}Ra konsantrasyonları algılama limiti altında olan 1 numaralı karpuz örneğinin ^{40}K konsantrasyonu $27,7728 \pm 1,2372$ Bq/kg ile ikinci en yüksek konsantrasyon değeridir. Bu durum normaldir çünkü ^{40}K karasal radyonükliti ^{238}U , ^{232}Th ve ^{226}Ra karasal radyonüklitlerine nazaran toprakta daha yüksek konsantrasyonda bulunur [26, 89]. Şekil 6.8 dikkatli olarak irdelendiğinde, gıda örneklerinin ^{40}K konsantrasyonlarının diğer radyonüklit konsantrasyonlarına nazaran çok fazla değişim göstermediği açıkça görülür. Bunun sebebi de yine ^{40}K konsantrasyonunun toprakta yüksek olmasındandır.

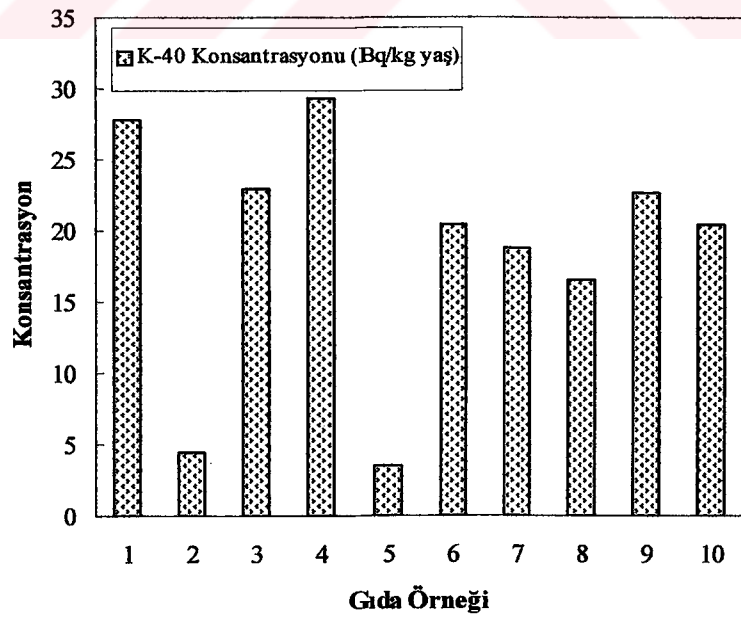
Literatürde ^{40}K için bir referans aktivite değerine rastlanılmamıştır. Bununla birlikte dünyanın değişik bölgelerinde algılanmış olan ^{40}K seviyeleri 40-240 Bq/kg konsantrasyon değerleri arasındadır [90]. Buna göre Şekil 6.8'deki gıda örneklerinin hepsinin ^{40}K konsantrasyonu 40 Bq/kg'dan düşük değerdedir.

Radyonüklitlerin çevreye yayılması, tüketilen gıdaların radyoaktif olarak kirlenmesi ile sonuçlanabilir. Topraktaki radyoaktif maddelerin dağılımı ve birikimi; sadece toprağın türü, yapısı ve kimyasal karakteristiklerine bağlı değil aynı zamanda toprak içerisindeki radyonüklitlerin fiziksel ve kimyasal formlarına da bağlıdır. Kimyasal davranışlardaki benzerliklerden dolayı, doğal ve suni radyonüklitlerin konsantrasyonları arasında korelasyonlar

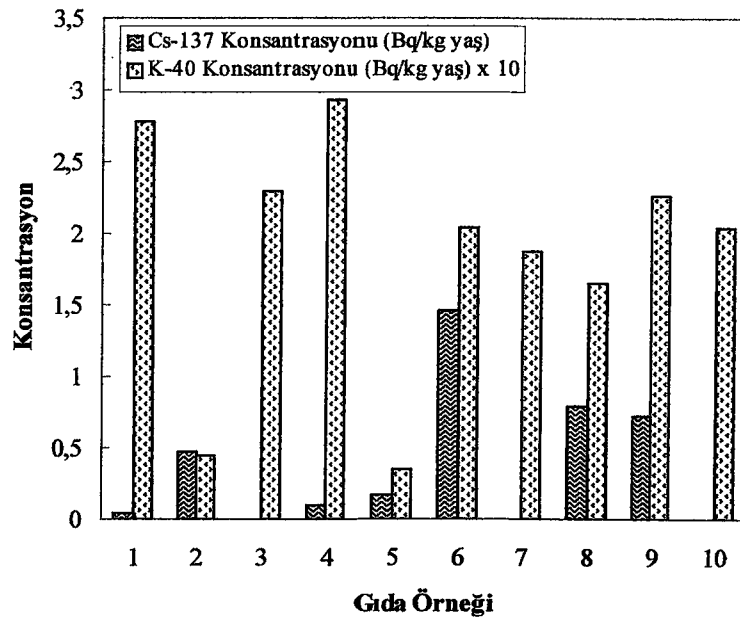
oluşabilir. Örneğin; topraktaki potasyum içeriğinin artması, bitkilere radyoaktif sezyumun alınmasını durdurur [91, 92]. Bu nedenle Şekil 6.9’da gıda örneklerinin ^{137}Cs ve ^{40}K konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 6.9 dikkatli irdelendiğinde; köklü olarak sınıflandırılmış olan örneklerin (4 ve 5 numaralı gıda örnekleri) ^{40}K ve ^{137}Cs konsantrasyonları ters orantılı korelasyon gösterir. Bunun yanı sıra, saplı olarak sınıflandırılmış



Şekil 6.7: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{137}Cs konsantrasyonları.



Şekil 6.8: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları.



Şekil 6.9: Elazığ il merkezi gıda örneklerinin ^{137}Cs ve ^{40}K konsantrasyonları.

örneklerin (1, 2, 6 ve 8 numaralı örnekler) köklü gıda örneklerine göre daha zayıf korelasyon gösterdiği açıktır. Yapraklı gıda örnekleri için ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonları arasında ise korelasyon olup olmadığını söylemek çok zordur çünkü yapraklı gıda örneklerinin çoğunun ^{137}Cs konsantrasyonu algılanamamıştır.

6.1.4 Elazığ İl Merkezi Ev İçi Radon Gazı Konsantrasyonları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Bina içindeki radon; bina altındaki kaya ve toprak, yapı malzemeleri, su kaynakları, doğal gaz ve bina dışarısındaki hava gibi farklı kaynaklardan ileri gelir. Bina içi radon kaynaklarından en önemlisi bina altındaki toprak tabakasıdır. Sonuç itibarıyla bina içi radon seviyesi temelde radon kaynağı üretim hızı ve havalandırma hızı gibi iki baskın faktöre bağlıdır. Bunların yanı sıra bina içi radon seviyeleri; ev türü, radon kaynağı türü, bina içerisindeki relatif nem, ev sakinlerinin yaşama alışkanlıkları, evin havalandırma sistemi, evin ısıtılması ve iklim gibi parametrelere de bağlıdır. Elazığ il merkezindeki evlerin radon konsantrasyonları bu bilgiler göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır.

Elazığ il merkezinde bulunan evlerde CR-39 pasif radon algılayıcıları kullanılarak ölçülmüş olan bina içi radon gazı konsantrasyon değerleri Tablo 6.7’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bina içi radon seviyelerine pek çok parametre etki ettiğinden dolayı Tablo 6.7’de radon konsantrasyon değerleri verilmiş olan evleri; birinci tip, ikinci tip, üçüncü tip ve dördüncü tip olmak üzere 4 sınıfa ayırmak mümkündür. Bu sınıflar hakkında detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir:

Tablo 6.7: Elazığ il merkezindeki evlerin radon gazı konsantrasyonları.

Ev No	Bölge	Ev Tipi	Kat	Sigara Kullanımı	Oturma Odası (Bq/m ³)	Yatak Odası (Bq/m ³)	Ortalama Konsantrasyon* (Bq/m ³)
EM 01	F.Ü. Rektörlük Lojmanları	Apt. Dairesi (2)	2	Yok	119	62	91
EM 02	Hilalkent Mahallesi	Apt. Dairesi (1)	5	Yok	71	37	54
EM 03	Kültür Mahallesi	Apt. Dairesi (2)	3	Var	48	52	50
EM 04	Rüstempaşa Mahallesi	Apt. Dairesi (3)	1	Var	237	100	169
EM 05	Doğukent Mahallesi	Dubleks Daire (2)	1	Var	91	75	83
EM 06	Sürsürü M. (Malatya Yolu)	Apt. Dairesi (1)	4	Yok	48	68	58
EM 07	Abdullahpaşa Mahallesi	Apt. Dairesi (2)	Z	Yok	110	48	79
EM 08	Aksaray Mahallesi	Kerpiç (4)	Z	Yok	77	76	77
EM 09	Gazi Caddesi	Apt. Dairesi (2)	3	Yok	63	75	69
EM 10	Üniv. M. (Ormanyolu Sok.)	Apt. Dairesi (3)	5	Var	141	104	123
EM 11	Yıldız Bağları Mahallesi	Kerpiç (4)	Z	Yok	119	154	137
EM 12	İzzetpaşa Mahallesi	Apt. Dairesi (2)	2	Var	88	64	76
Ortalama Bina İçi Radon Gazı Konsantrasyonları (Bq/m³)							
Elazığ Merkez İçin Ortalama Radon Gazı Konsantrasyonları (Bq/m³)					101	76	89
					100	73	87

*: Ortalama radon konsantrasyonu, aritmetik ortalama alınarak hesaplanmıştır.

- i) Birinci tip: Çimentodan inşa edilmiş birkaç yıllık apartman binasıdır. Bu tip evlerde su ihtiyacı şehir şebekesinden sağlanmaktadır. Bu tip evler için ana radon kaynağı yapı malzemeleridir.
- ii) İkinci tip: Çimentodan inşa edilmiş en az 10 yıllık apartman binasıdır. Bu tip evlerde su ihtiyacı şehir şebekesinden sağlanmaktadır. Bu tip evler için ana radon kaynağı yapı malzemeleridir.
- iii) Üçüncü tip: Çimentodan inşa edilmiş en az 25 yıllık apartman binasıdır. Bu tip evlerde su ihtiyacı şehir şebekesinden sağlanmaktadır. Bu tip evler için ana radon kaynağı yapı malzemeleridir.
- iv) Dördüncü tip: Duvar kalınlığı yaklaşık olarak 50 cm olan killi çamur ve taştan inşa edilmiş en az 40 yıllık kerpiç olarak isimlendirilen evlerdir. Zemini tamamen toprak olan bu evlerin tavanları çamur ve tahta karışımından yapılmıştır. Bu tip evlerde su ihtiyacı şehir şebekesinden ya da ev bahçesine açılmış olan kuyu sularından sağlanmaktadır. Bu tip evler için ana radon kaynağı toprak zemindir.

Tablo 6.7 incelendiğinde; en düşük oturma odası radon konsantrasyonunun 48 Bq/m^3 değeri ile 3 ve 6 numaralı evlerde, en yüksek oturma odası radon konsantrasyonunun ise 237 Bq/m^3 değeri ile 4 numaralı evde olduğu görülür. Bunun yanı sıra; en düşük yatak odası konsantrasyonu 37 Bq/m^3 değeri ile 2 numaralı evde, en yüksek yatak odası konsantrasyonu ise 154 Bq/m^3 değeri ile 11 numaralı evdedir. Bunlara ek olarak; 3 numaralı ev 50 Bq/m^3 değeri ile en düşük ortalama radon konsantrasyonuna, 4 numaralı ev ise 169 Bq/m^3 değeri ile en yüksek ortalama radon konsantrasyonuna sahiptir.

Tablo 6.7’de verilmiş olan 12 adet evin ortalama bina içi radon gazı konsantrasyon değerlerinin; oturma odası için 101 Bq/m^3 , yatak odası için 76 Bq/m^3 ve ortalama konsantrasyon için 89 Bq/m^3 olduğu görülür. Bunun yanı sıra Elazığ Merkez için ortalama radon gazı konsantrasyon değerleri ise Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziki Bölümü ile yapılmış olan ‘Elazığ Yöresindeki Evlerde Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi’ isimli ortak araştırma projesi çerçevesinde; oturma odası için 100 Bq/m^3 , yatak odası için 73 Bq/m^3 ve ortalama konsantrasyon için 87 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir [93]. Uluslar arası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) tarafından evlerdeki radon konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer yılda $200\text{--}600 \text{ Bq/m}^3$ ’tür. Bu komisyon tarafından evlerdeki ^{222}Rn konsantrasyonları için belirlenmiş olan sınırlar; halkın yaşadığı eski evlerde 400 Bq/m^3 , yeni evlerde ise 200 Bq/m^3 ’tür [9, 10]. Tablo 6.7’deki bina içi ^{222}Rn konsantrasyonlarının hiçbirisi ICRP tarafından tavsiye edilen bu değerleri aşmamaktadır.

1996 yılında yapılan çalışmada ortalama radon gazı konsantrasyon değeri 47 Bq/m^3 olarak bulunmuştur [94]. Tablo 6.7’deki 89 Bq/m^3 olan ortalama radon konsantrasyonu 47

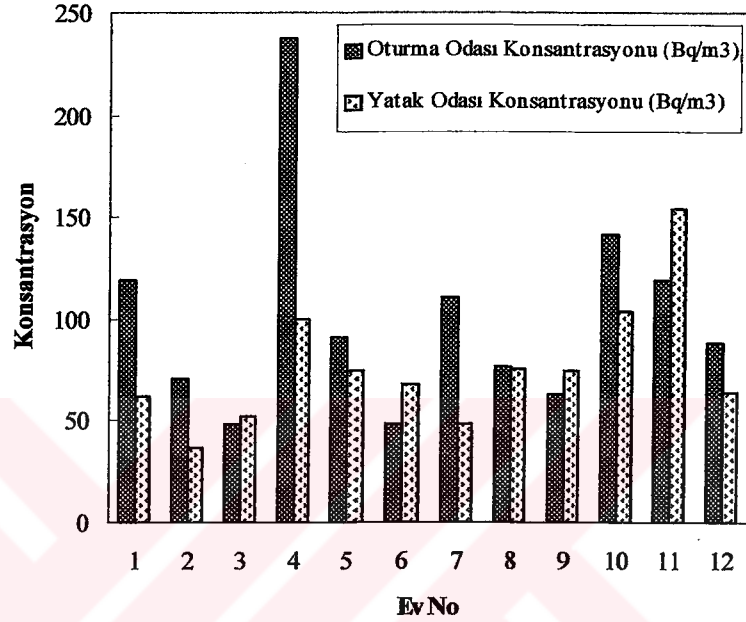
Bq/m³'lük bu ortalama değer ile karşılaştırılırsa, iki ortalama değerin oranının 1,89 olduğu görülür. Bu oldukça normal bir sonuçtur       bina içi radon seviyeleri bir mevsimden diğerine 2 kat kadar değişim gösterebilir. Bu durum ölçüm tekniğinden değil radonun doğasından kaynaklanmaktadır [21]. Yapılan araştırmalarda; bina içi radon seviyelerinin sonbaharda artma, ilkbaharda azalma eğilimi gösterdiği, yaz aylarında ise minimum değerini aldığı tespit edilmiştir [61, 62]. Bu nedenle; 2003 yılında evlerde tespit edilen konsantrasyon değerlerinin 1996 yılında tespit edilmiş olan konsantrasyon değerlerinden yüksek olmasının temel sebebi, 2003 yılındaki ölçümlerin kiş aylarında yapılmasındandır. Bunlara ek olarak kişin sert ve  etin geçmesi radon konsantrasyonunu artırıcı yönde etki etmiştir.

şekil 6.10, Tablo 6.7 de dikkate alınarak incelenirse; 4, 10 ve 11 numaralı evlerin oturma ve yatak odası radon konsantrasyonlarının diğer evlerin konsantrasyonlarına nazaran daha yüksek olduğu göze çarpar. 4, 10 ve 11 numaralı evlerin oturma odası radon konsantrasyonları sırası ile 237 Bq/m³, 141 Bq/m³ ve 119 Bq/m³'tür. Bu örneklerin yatak odası radon konsantrasyonları ise 100 Bq/m³, 104 Bq/m³ ve 154 Bq/m³'tür. 4, 10 ve 11 numaralı evlerin özellikleri incelendiğinde; 4 numaralı evin        tip yapı olduğu ve sigara kullanıldığı, 10 numaralı evin yine        tip yapı olduğu ve sigara kullanıldığı, 11 numaralı evin ise d rd     tip (kerpiç) yapı olduğu ve sigara kullanılmadığı görülür. 4 ve 10 numaralı evlerde radon konsantrasyonlarının yüksek olmasının temel sebebi evlerin çok eski olmasındandır. Radon konsantrasyonlarının 11 numaralı evde yüksek bulunmasının temel sebebi ise ana radon kaynağının toprak zemin olmasından kaynaklanır. Bunların yanı sıra sigara kullanımı radon konsantrasyonu artırıcı yönde etki etmiştir [21].

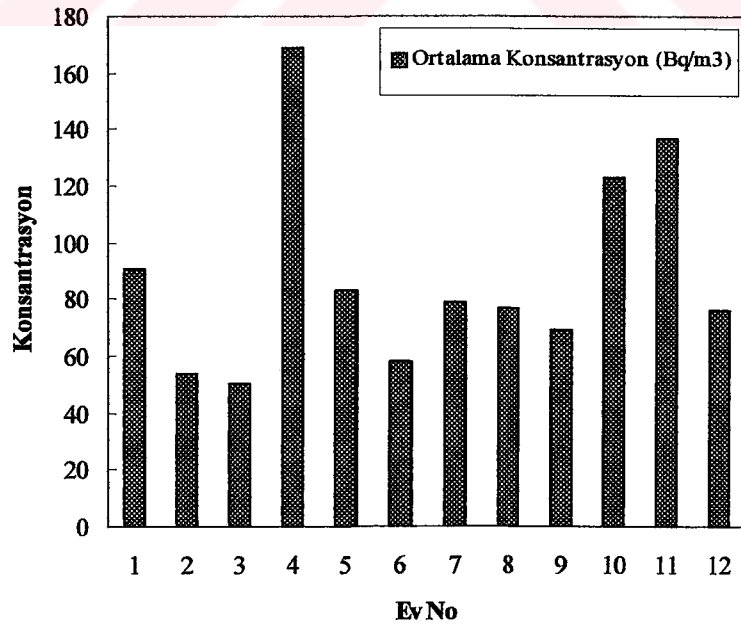
şekil 6.10'daki, evlerin oturma odası radon konsantrasyonlarının yatak odası radon konsantrasyonlarına oranı 0,71 ile 2,37 değerleri arasında değişim gösterir. Bu oran sadece 3, 6, 9 ve 11 numaralı evlerde 1'den k     r. Bu da radon konsantrasyonu belirlenen evlerin, oturma odası konsantrasyonlarının yatak odası konsantrasyonlarına göre daha yüksek seviyede olduğu anlamına gelir. Bir evdeki farklı odalarda farklı radon seviyelerinin olması oldukça doğal bir sonuçtur fakat yapılan çalışmalar bu oranın ağırlıklı olarak 1 civarında olduğunu göstermektedir [95].

şekil 6.11 irdelendiğinde; en düşük ortalama radon konsantrasyonunun 50 Bq/m³ değeri ile ikinci tip 3 numaralı evde, en yüksek ortalama radon konsantrasyonunun ise 169 Bq/m³ değeri ile        tip 4 numaralı evde olduğu görülür. İkinci tip yapı olan 3 numaralı evde sigara kullanılmasına rağmen en düşük ortalama konsantrasyonun ölçülmesinin temel sebebi bu evde iyi havalandırma yapılmasındandır.        tip 4 numaralı evin en yüksek ortalama konsantrasyona sahip olmasının sebebi ise binanın eski olması ve çok sigara kullanılmasıdır [21]. şekil 6.11'deki 8 ve 11 numaralı evlerin ortalama radon konsantrasyonlarını

karşılaştırmakta fayda vardır çünkü bu iki ev dördüncü tip olarak tanımlanan ve halk arasında kerpiç ev olarak bilinen yapılardır. Bina içi radon konsantrasyonuna pek çok parametre etki etmekle birlikte bu iki özdeş ev için ana radon kaynağı toprak zemindir. Bu iki evin konsantrasyon değerleri oranlandığında, 11 numaralı evin ortalama konsantrasyonunun 8 numaralı evin ortalama konsantrasyonundan 2,03 kat daha yüksek olduğu görülür. Bunun temel sebebi 8 numaralı evin çok iyi şekilde havalandırılmasındandır [21].



Şekil 6.10: Elazığ il merkezindeki evlerin oturma ve yatak odası radon konsantrasyonları.



Şekil 6.11: Elazığ il merkezindeki evlerin ortalama radon konsantrasyonları.

Şekil 6.11 incelendiğinde, 2 ve 6 numaralı evlerdeki ortalama radon konsantrasyonlarının sırası ile 54 Bq/m^3 ve 58 Bq/m^3 ile biri birilerine çok yakın değerlerde olduğu görülür. Bunun temel sebebi, her iki evinde ikinci tip olarak tanımlanmış birkaç yıllık apartman dairesi olmasındandır. Şekil 6.11 dikkatli bir şekilde irdelendiğinde; birinci tip evlerin ortalama radon konsantrasyonlarının $50\text{-}60 \text{ Bq/m}^3$ arasında, ikinci tip evlerin ortalama radon konsantrasyonlarının ise $50\text{-}90 \text{ Bq/m}^3$ arasında değiştiği görülür. Üçüncü ve dördüncü tip evlerin ortalama radon konsantrasyonları ise 130 Bq/m^3 'den büyüktür. Özetle, ortalama radon konsantrasyonları birinci ev tipinden dördüncü ev tipine doğru gidildikçe artma eğilimi gösterir. Bunun sebebi; birinci, ikinci ve üçüncü tip evlerde bina yaşının, dördüncü tip evlerde ise ana radon kaynağının ortalama radon konsantrasyonu üzerinde baskın rol oynamasıdır [96].

Evlerde ölçülen radonun yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için efektif doz katsayısının belirlenmesi gerekir. Efektif doz katsayısı, denge eşdeğer konsantrasyonu (EEC) tabiriyle açıklanır ve bu değer ^{222}Rn için $9 \text{ (nSv/saat)/(Bq/m}^3\text{)}$ olarak verilir [29]. Evlerdeki radon gazına maruz kalınma olayı, insanların evlerde veya kapalı alanlarda bulunma süreleriyle doğrudan ilgilidir. İnsanların gün içinde evlerde veya kapalı alanlarda kalma süresi yaklaşık 18-19 saat civarındadır. Yani insan gününün büyük bir kısmını evinde, işinde veya kapalı alanlarda geçirir. Bu süre meşguliyet zamanı olarak alınırsa, meşguliyet faktörü de 0,8 olur. Bu faktöre göre insan bir senenin yaklaşık 7008 saatini kapalı alanlarda geçirir. Yetişkin bir insan günde yaklaşık 20 m^3 hava teneffüs eder. Bu miktar bir yılda 7300 m^3 havaya tekabül eder. Teneffüs edilen hava miktarı EEC değerinin bulunmasında kullanılır. Ev içi radon ışınlamalarıyla insanın alacağı yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE) veya radyasyon dozu aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\text{YEDE} = \text{EEC Faktörü} \times \text{Ev İçi Meşguliyet Faktörü} \times \text{Ortalama Radon Konsantrasyonu} \times 8760 \text{ (saat/yıl)}$$

Elazığ il merkezi için ev içi ortalama radon gazı konsantrasyon değeri 87 Bq/m^3 'tür [93]. Ev içi radon ışınlamalarıyla Elazığ il merkezinde yaşayan bir insanın 1 yılda alacağı yıllık etkin doz eşdeğeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{YEDE} = 9 \text{ (nSv/saat)/(Bq/m}^3\text{)} \times 0,8 \times 87 \text{ (Bq/m}^3\text{)} \times 8760 \text{ (saat/yıl)} = 5,49 \times 10^6 \text{ nSv/yıl}$$

Elazığ il merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn gazından 1 yılda teneffüs yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak $5,49 \text{ mSv}$ 'dir.

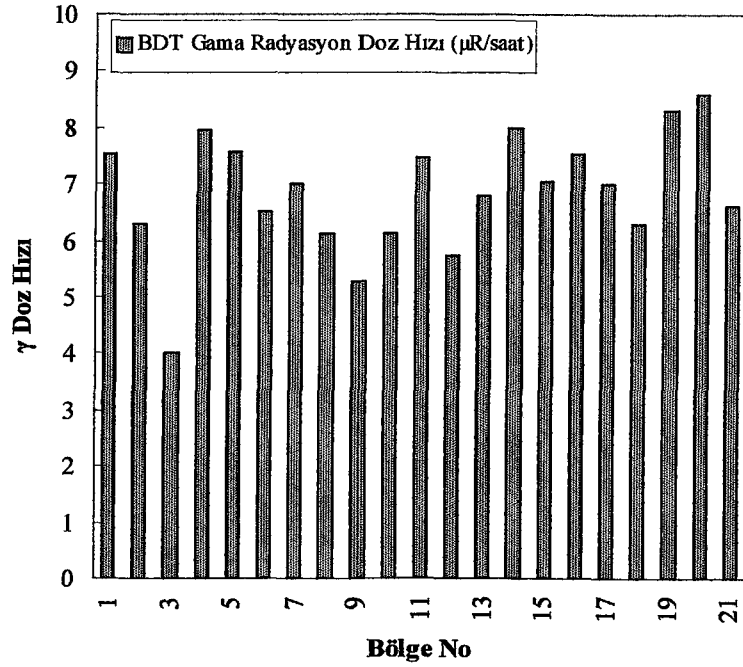
6.1.5 Elazığ İl Merkezi Gama Radyasyon Doz Hızı Değerleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Elazığ il merkezi için 21 farklı bölgede SPA8 (NaI) proflu ASP2e portatif radyasyon monitör cihazı kullanılarak ölçülen ortalama çevresel gama radyasyon doz hızı değerleri Tablo 6.8 ve Şekil 6.12’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.8: Elazığ il merkezi çevresel gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı (μ R/saat)	γ Doz Hızı (nGy/saat)
		BDT	BDT
1	Hankendi Beldesi Kesikköprü Su Deposu	7,54	66,13
2	Hilalkent Mahallesi	6,31	55,34
3	Hilalkent Mahallesi Kireç Ocağı Cıvarı	4,02	35,26
4	Abdullahpaşa Mahallesi	7,96	69,81
5	Mollakendi Beldesi Cıvarı	7,58	66,48
6	Mollakendi Bel. P1 Pompa İstasyonu Cıvarı	6,53	57,27
7	Fırat Üniv. Eski Araştırma Hastanesi Cıvarı	6,99	61,30
8	Rızaiye Mah. P3 Pompa İstasyonu Cıvarı	6,11	53,59
9	Harput Dabakhane Cıvarı	5,29	46,39
10	Harput Merkez	6,11	53,59
11	Doğukent Mahallesi	7,46	65,42
12	Sanayi Mahallesi	5,73	50,25
13	Sanayi Mahallesi Baz İstasyonu Cıvarı	6,78	59,46
14	Aksaray Mahallesi	8,00	70,16
15	Sürsürü Mahallesi	7,04	61,74
16	Cumhuriyet Mahallesi	7,54	66,13
17	Cumhuriyet Mahallesi Baz İstasyonu Cıvarı	6,99	61,30
18	Bahçelievler Mahallesi	6,32	55,43
19	Zafran Mahallesi	8,30	72,79
20	Gazi Caddesi Şıra Meydanı	8,59	75,33
21	Gümüşkavak Mahallesi	6,62	58,06
	γ Doz Hızı Ortalaması	6,85	60,06

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.12: Elazığ il merkezi BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Tablo 6.8 ve Şekil 6.12 birlikte incelendiğinde; en düşük ortalama gama radyasyon doz hızının 3 numaralı bölgede 4,02 $\mu\text{R/saat}$, en yüksek ortalama gama radyasyon doz hızının ise 20 numaralı bölgede 8,59 $\mu\text{R/saat}$ olduğu görülür.

Ölçüm alınan bölgeler coğrafi olarak konumlandırılırsa:

- i) 1-4 numaralı bölgeler şehrin güney-batı kesimindedir ve bu bölgeler için ortalama gama radyasyon doz hızı 6,46 $\mu\text{R/saat}$ 'dir.
- ii) 5 ve 6 numaralı bölgeler şehrin güney-doğu kesimindedir ve bu bölgeler için ortalama gama radyasyon doz hızı 7,06 $\mu\text{R/saat}$ 'dir.
- iii) 7-20 numaralı bölgeler nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu şehir merkezidir ve bu bölgeler için ortalama gama radyasyon doz hızı 6,95 $\mu\text{R/saat}$ 'dir.
- iv) 21 numaralı bölge ise şehir merkezinin güneyidir ve ortalama gama radyasyon doz hızı 6,62 $\mu\text{R/saat}$ 'dir.

Elazığ şehrinde 21 farklı bölgede ölçülen gama radyasyon doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması 6,85 $\mu\text{R/saat}$, standart sapması ise $\sigma = 1,05$ $\mu\text{R/saat}$ olarak hesaplanmıştır. Bu ortalama gama radyasyon doz hızı, İstanbul şehri için 6,50 $\mu\text{R/saat}$ olarak belirlenmiş olan ortalama gama radyasyon doz hızının yaklaşık olarak 1,05 katıdır [97].

Ev dışı gama doz hızı değerlerinin dünya ortalaması UNSCEAR tarafından 5,5 $\mu\text{R/saat}$ olarak belirlenmiştir [29]. Elazığ şehri için hesaplanan 6,85 $\mu\text{R/saat}$ 'lik ortalama gama doz hızı değeri 5,5 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırılırsa, iki değer arasındaki oranın 1,25 kat olduğu görülür.

Şekil 6.12 irdelendiğinde; 4, 14, 19 ve 20 numaralı bölgelerdeki ortalama gama doz hızlarının diğer bölgelere nazaran daha yüksek değerler sergilediği görülür. Bu 4, 14, 19 ve 20 numaralı bölgeler için ortalama gama radyasyon doz hızı değerleri sırası ile 7,96 $\mu\text{R/saat}$, 8,00 $\mu\text{R/saat}$, 8,30 $\mu\text{R/saat}$ ve 8,59 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Bunların yanı sıra; 3, 9 ve 12 numaralı bölgelerdeki ortalama gama doz hızları ise diğer bölgelere nazaran daha düşük değerler sergiler. Bu 3, 9 ve 12 numaralı bölgeler için ortalama gama radyasyon doz hızı değerleri ise sırası ile 4,02 $\mu\text{R/saat}$, 5,29 $\mu\text{R/saat}$ ve 5,73 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Şekil 6.12'deki bu bölgelerin düşük ve yüksek ortalama gama radyasyon doz hızı sergilemelerinin temel sebebi büyük oranda bölgedeki toprak ve kayaların radyonüklit kompozisyonu ve bölge jeolojisinden kaynaklanmaktadır. Bu durum kısaca şu şekilde açıklanabilir. Toprak yukarıdaki harici gama doz hızının büyüklüğü %95 oranında toprak içerisinde var olan radyonüklitlerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Bu harici gama doz hızına asıl katkı; ^{40}K , ^{232}Th ve ^{238}U serileri için sırası ile %35, %50 ve %15'dir. Bunun bir sonucu olarak doz hızı; toprak ve kayaların radyonüklit kompozisyonu ve bölgenin jeolojisine göre değişme gösterir. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak ilgili bölgelerin jeolojik formasyonları irdelendiğinde; püskürtük kayaç ağırlıklı bölgelerdeki gama doz hızının, sedimentel kayaç ağırlıklı bölgelere göre genellikle daha yüksek değerlerde olduğu görülür [1, 98].

Şekil 6.12 genel olarak irdelendiğinde; 21 farklı bölge için ortalama gama radyasyon doz hızı değerlerinin 4,02 $\mu\text{R/saat}$ ile 8,59 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında dağılım sergilediği görülür. Bu dağılım aralığının geniş olmasının ana sebebi Elazığ il merkezi jeolojisinin biri birilerine çok yakın bölgelerde bile değişiklik göstermesindendir [81].

Tablo 6.9'da Elazığ il merkezindeki evlerde eş zamanlı olarak yapılan bina içi ve bina dışı gama radyasyon doz hızı ölçüm sonuçları verilmiştir. Tablo 6.9 incelendiğinde; en düşük bina içi gama radyasyon doz hızının 5,04 $\mu\text{R/saat}$ değeri ile 7 ve 17 numaralı bölgelerde, en yüksek bina içi gama radyasyon doz hızının ise 8,64 $\mu\text{R/saat}$ değeri ile 3 ve 8 numaralı bölgelerde olduğu görülür. Bunun yanı sıra; en düşük bina dışı gama radyasyon doz hızı 5,04 $\mu\text{R/saat}$ değeri ile 6 numaralı bölgede, en yüksek bina dışı gama radyasyon doz hızı ise 10,8 $\mu\text{R/saat}$ değeri ile 8 numaralı bölgededir. Tabloda verilmiş olan 20 farklı bölge için bina içi ve bina dışı gama radyasyon doz hızı ortalama değerleri ise sırası ile 6,71 $\mu\text{R/saat}$ ve 7,42 $\mu\text{R/saat}$ 'dir.

Tablo 6.9: Elazığ il merkezi bina içi (Bİ) ve bina dışı (BD) gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)		γ Doz Hızı (nGy/saat)	
		Bİ	BD	Bİ	BD
1	Hilalkent Mahallesi	5,4	6,48	47,36	56,83
2	Abdullahpaşa Mahallesi	6,48	7,92	56,83	69,46
3	Bahçelievler Mahallesi	8,64	7,2	75,77	63,14
4	Cumhuriyet Mahallesi	7,56	8,64	66,30	75,77
5	Üniversite Mahallesi	5,76	7,92	50,52	69,46
6	Zafran Mahallesi	5,76	5,04	50,52	44,20
7	Yıldızbağları Mahallesi	5,04	5,76	44,20	50,52
8	Harput Merkez	8,64	10,8	75,77	94,72
9	Doğukent Mahallesi	6,48	7,56	56,83	66,30
10	Gümüşkavak Mahallesi	6,48	6,48	56,83	56,83
11	Sanayi Mahallesi	7,56	8,64	66,30	75,77
12	Aksaray Mahallesi	7,2	8,0	63,14	70,16
13	Sürsürü Mahallesi	7,56	9,72	66,30	85,24
14	Gazi Caddesi	5,76	7,2	50,52	63,14
15	İzzetpaşa Mahallesi	6,48	5,76	56,83	50,52
16	Rızaiye Mahallesi	7,56	8,64	66,30	75,77
17	İcadiye Mahallesi	5,04	6,48	44,20	56,83
18	Rüstempaşa Mahallesi	7,56	6,48	66,30	56,83
19	Akpınar Mahallesi	6,48	6,48	56,83	56,83
20	Kültür Mahallesi	6,84	7,2	59,99	63,14
	γ Doz Hızı Ortalaması	6,71	7,42	58,85	65,07

Tablo 6.9 dikkatli olarak irdelendiğinde; 20 farklı bölgede yapılan ölçümlerin %65’inde bina dışı gama radyasyon doz hızı bina içi gama radyasyon doz hızından büyük değerde, %25’inde küçük değerde, %10’unda ise biri birine eşittir. Özetle; bina dışı gama radyasyon doz hızı değerleri, bina içi gama radyasyon doz hızı değerlerine göre genelde yüksektir. Bina içi gama radyasyon doz hızı ölçümleri; inşaat yapımında kullanılan malzemelere, duvar kalınlıklarına, pencere büyüklüklerine göre değişme göstermekle birlikte, bu durum yapı malzemelerinden bina içi gama radyasyon doz hızına önemli sayılabilecek derecede katkı gelmediğinin açık bir göstergesidir. Başka bir ifade ile yapı malzemelerinin bina içi gama

radasyon doz hızına sağlamış olduğu katkı, toprak tabakasının bina dışı gama radyasyon doz hızına sağlamış olduğu katkıdan daha zayıftır.

Elazığ şehrinde 20 farklı bölgede ölçülen bina içi gama radyasyon doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması 6,71 $\mu\text{R/saat}$, standart sapması ise $\sigma = 1,04 \mu\text{R/saat}$ olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra bina dışı gama radyasyon doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması 7,42 $\mu\text{R/saat}$, standart sapması ise $\sigma = 1,37 \mu\text{R/saat}$ 'dir.

Ev içi ve ev dışı gama doz hızı değerlerinin dünya ortalaması UNSCEAR tarafından sırası ile 7,0 $\mu\text{R/saat}$ ve 5,5 $\mu\text{R/saat}$ olarak belirlenmiştir [29]. Elazığ şehri için hesaplanan 6,71 $\mu\text{R/saat}$ 'lik bina içi ortalama gama doz hızı değeri 7,0 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırılırsa, iki değer arasındaki oranın 0,96 kat olduğu görülür. Bunun yanı sıra Elazığ şehri için hesaplanan 7,42 $\mu\text{R/saat}$ 'lik bina dışı ortalama gama doz hızı değeri 5,5 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırıldığında ise, iki değer arasındaki oran 1,35 kattır.

Sonuç olarak Elazığ il merkezinde yapılan bina içi gama radyasyon doz hızı ölçüm değerlerinin dünya ortalamasının altında, bina dışı gama radyasyon doz hızı ölçüm değerlerinin ise dünya ortalamasının yukarısında olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Bunlara ek olarak, Elazığ il merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $1,8071 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ ve $1,9073 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler müsaade edilen limitlerin altındadır [71].

Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE), insanın bir yıl süresince maruz kaldığı radyasyonlardan alacağı doz olarak tanımlanır. Eşdeğer doz birimi, rem (röntgen equivalent man) olarak adlandırılır. Eşdeğer doz birimi rem SI birimler sisteminde Sv (Sievert) adını alır. 1 Sv, 100 rem'e eşittir. Değişik ülkelerde yapılan benzer çalışmalarda etkin doz eşdeğerinin havadaki absorplanmış doza oranı, orta enerjilere düşürülmüş çevresel gama ışınları için 0,7 Sv/Gy olarak alınır [29, 99]. Bu değer hem ev içi hem de ev dışı çevresel gama ışınları için kullanılır. Gama ışınlarının insana verdiği yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplariken bilinmesi gereken diğeri bir faktör de insanların bu ışınlara ne kadar sürelerle maruz kaldıklarıdır. Yani, insanın gün içinde ev içi ve ev dışı gama radyasyonlarına ne oranlarda maruz kaldıklarının bilinmesi gerekmektedir. Bu da meşguliyet faktörü olarak değerlendirilir. Bu çalışmada hesaplar, insanın bir gününün yaklaşık %80'ini ev içinde veya kapalı alanlarda, %20'sini de ev dışı alanlarda geçireceği göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu bilgilerden hareketle insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE aşağıdaki formül kullanılarak bulunur.

YEDE = Havada Ölçülen Ortalama Absorplanmış Doz x Çevresel Gama Radyasyonlarının Havadaki Absorplanmış Doza Oranı x Meşguliyet Faktörü x Zaman

Ev içi yada kapalı alanlar için;

$$YEDE = 58,85 \text{ (nGy/saat)} \times 0,7 \text{ (Sv/Gy)} \times 0,80 \times 8760 \text{ (saat/yıl)}$$

$$YEDE = 289 \text{ } \mu\text{Sv/yıl}$$

Ev dışı ya da açık alanlar için;

$$YEDE = 65,07 \text{ (nGy/saat)} \times 0,7 \text{ (Sv/Gy)} \times 0,20 \times 8760 \text{ (saat/yıl)}$$

$$YEDE = 80 \text{ } \mu\text{Sv/yıl olarak hesaplanır.}$$

Elazığ il merkezinde yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlarından 289 μSv , ev dışı gama ışınlarından ise 80 μSv olmak üzere toplam 369 μSv 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalaması olan 410 μSv ile karşılaştırıldığında, iki doz değeri arasındaki oran 0,9'dur. Sonuç olarak Elazığ il merkezinde yaşayan bir insanın gama ışınlarından dolayı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalamasının altındadır [55].

6.2 Elazığ İlçe Merkezlerinin Radyoaktivite Seviyeleri

6.2.1 Sivrice İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Sivrice ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyon değeri Tablo 6.10'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.10 irdelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $0,0478 \pm 0,0058 \text{ Bq/L}$, toplam beta radyoaktivitesinin ise $0,0055 \pm 0,0020 \text{ Bq/L}$ olduğu görülür. Bu su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değeri 0,1 Bq/L'den küçüktür. Su örneğinin toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değeri 1 Bq/L'nin oldukça altındadır [53, 54].

Tablo 6.10: Sivrice ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	²²² Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	$0,0478 \pm 0,0058$	$0,0055 \pm 0,0020$	—
Toprak (Bq/kg)	Merkez Kamp Yolu Toprağı	$206,5 \pm 22,5$	$58,8 \pm 10,5$	—
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	$1,6356 \times 10^{-3}$	$1,8663 \times 10^{-3}$	114

²²²Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

Tablo 6.10 irdelendiğinde; merkez kamp yolu toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $206,5 \pm 22,5$ Bq/kg, toplam beta radyoaktivitesinin ise $58,8 \pm 10,5$ Bq/kg değerinde olduğu görülür. Toprak örneğinin alındığı bölgenin jeolojisi ve toprak yapısı incelendiğinde, bölgenin denizaltı volkanizmasına bağlı olarak oluşan ultrabazik kayalarca baskın olduğu görülür. Bunun yanı sıra; toprak içerisinde ağırlıklı olarak kumtaşı, kireçtaşı ve kil taşı mevcuttur [100]. Toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin toplam beta radyoaktivite seviyesine göre daha yüksek olmasının ana sebebi; örneğin alındığı bölgenin özellikle uranyumun birikme eğilimi gösterdiği kumtaşı, kireçtaşı ve kil taşı gibi yapılarca zengin olmasından kaynaklanmaktadır [26].

Tablo 6.10 incelendiğinde, Sivrice ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn gazı konsantrasyon değerinin 114 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Bu ortalama radon gazı konsantrasyon değeri kullanılarak Sivrice’de yaşayan bir insanın ev içi radon ışınlamalarıyla 1 yılda alacağı etkin doz eşdeğeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\text{YEDE} = 9 (\text{nSv/saat})/(\text{Bq/m}^3) \times 0,8 \times 114 (\text{Bq/m}^3) \times 8760 (\text{saat/yıl}) = 7,19 \times 10^6 \text{ nSv/yıl}$$

Sivrice ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn gazından 1 yılda teneffüs yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak $7,19 \text{ mSv}$ ’dir. Bunlara ek olarak, Sivrice ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $1,6356 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ ve $1,8663 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.11 ve Şekil 6.13 irdelendiğinde, Sivrice ilçesi için 5 farklı bölgede gama radyasyon doz hızı ölçümleri yapılmış olduğu görülür. Tablo 6.11’deki 1 numaralı bölge için Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri sırası ile $10,99 \mu\text{R/saat}$, $11,40 \mu\text{R/saat}$ ve $12,34 \mu\text{R/saat}$ ’dir. Bu gama doz hızı değerleri; bina içinde, bina dışı asfalt zemin üzerinde ve bina dışı toprak zemin üzerinde ardışık olarak yapılmış ölçüm sonuçlarıdır. Bina dışı gama radyasyon doz hızı değerlerinin Bİ gama radyasyon doz hızı değerine göre yüksek olmasının temel nedeni, bina içi radon konsantrasyonunda en baskın faktör olan yapı malzemelerinin Bİ gama radyasyon doz hızına daha zayıf katkı sağlamasındandır. Bunların yanı sıra; 1 numaralı bölgedeki BDT gama doz hızının, BDA gama doz hızından büyük değerde olduğu görülür. Bunun temel sebebi toprak zeminden gelen gama radyasyonunun belirli bir miktarının asfalt zemin tarafından emilmesidir [1].

Tablo 6.11 irdelendiğinde; BDT gama doz hızı değerlerinin $3,48 \mu\text{R/saat}$ ile $12,34 \mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bunun yanı sıra, bu BDT gama doz hızı değerlerinin ortalaması $7,31 \mu\text{R/saat}$ ’dir. Ev içi ve ev dışı gama doz hızı değerlerinin dünya

ortalaması UNSCEAR tarafından sırası ile 7,0 $\mu\text{R/saat}$ ve 5,5 $\mu\text{R/saat}$ olarak belirlenmiştir [29]. Sivrice ilçesi için ölçülen 10,99 $\mu\text{R/saat}$ 'lik Bİ gama doz hızı değeri 7,0 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırılırsa, iki değer arasındaki oranın 1,57 kat olduğu görülür. Bunun yanı sıra; Sivrice ilçesi için hesaplanan 7,31 $\mu\text{R/saat}$ 'lik ortalama BDT gama doz hızı değeri 5,5 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırıldığında ise, iki değer arasındaki oran 1,33 kattır.

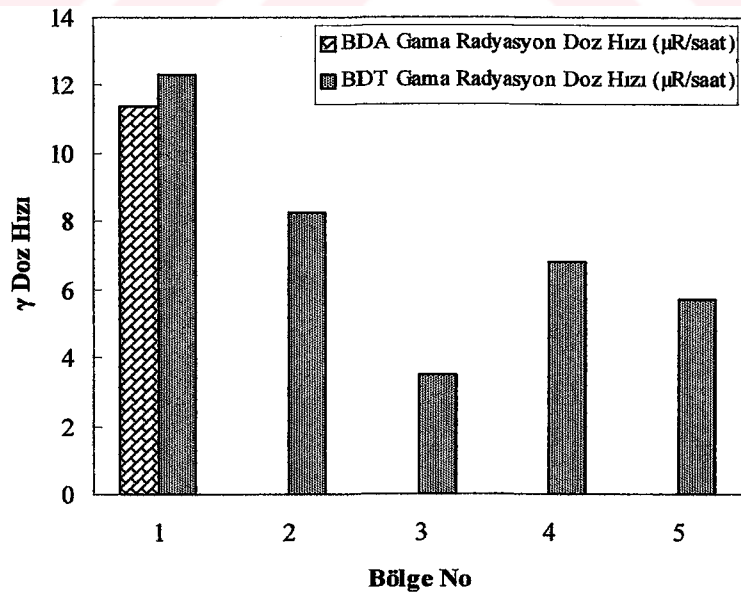
Tablo 6.11: Sivrice ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Sivrice Merkez (Bina)	10,99	11,40	12,34	96,38	99,98	108,22
2	Sivrice Çarşı Merkezi			8,23			72,18
3	Sivrice Merkez Kamp Alanı			3,48			30,52
4	F.Ü. Gençlik ve Eğitim Merkezi			6,82			59,81
5	Sivrice Merkez Askeri Kamp Alanı			5,70			49,99
6	γ Doz Hızı Ortalaması			7,31			64,14

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.13: Sivrice ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Sivrice ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE aşağıdaki formül kullanılarak bulunabilir.

YEDE = Havada Ölçülen Ortalama Absorplanmış Doz x Çevresel Gama Radyasyonlarının Havadaki Absorplanmış Doza Oranı x Meşguliyet Faktörü x Zaman

Ev içi yada kapalı alanlar için;

$$YEDE = 96,38 \text{ (nGy/saat)} \times 0,7 \text{ (Sv/Gy)} \times 0,80 \times 8760 \text{ (saat/yıl)}$$

$$YEDE = 473 \text{ } \mu\text{Sv/yıl}$$

Ev dışı ya da açık alanlar için;

$$YEDE = 64,14 \text{ (nGy/saat)} \times 0,7 \text{ (Sv/Gy)} \times 0,20 \times 8760 \text{ (saat/yıl)}$$

$$YEDE = 79 \text{ } \mu\text{Sv/yıl olarak hesaplanır.}$$

Sivrice’de yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlarından 473 μSv , ev dışı gama ışınlarından ise 79 μSv olmak üzere toplam 552 μSv ’lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalamasının 1,35 katıdır. Sonuç olarak, Sivrice’de yaşayan bir insanın gama ışınlarından dolayı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalamasının yukarısındadır [55].

Şekil 6.13 irdelendiğinde; en düşük BDT gama doz hızı değerinin 3,48 $\mu\text{R/saat}$ ile merkez kamp alanında, en yüksek BDT gama doz hızı değerinin ise 12,34 $\mu\text{R/saat}$ ile Sivrice ilçe merkezinde olduğu görülür. BDT gama doz hızı değerlerinin geniş dağılım sergilemesi, ölçüm yapılan toprak zeminlerin gama doz hızını etkileyebilecek şekilde farklılık göstermesindendir. Çünkü, bina dışı gama doz hızı değerlerinin değişkenliği toprağın içerdiği radyonüklit konsantrasyonu ve zırhlama gibi iki temel faktöre bağlıdır [1].

Kozmik ışınların havadaki gama doz hızına katkısını tespit etmek için karasal gama radyasyon etkisinin minimum olacağı bir ortam seçmek gereklidir. Bu iş için en uygun ortam tatlı su kaynakları olan göllerdir. Bu amaçla, kozmik radyasyon ölçümleri için Hazar Gölü seçilmiştir. Kozmik ışınların katkısının belirlenmesi için göl kıyısından yaklaşık olarak 1 km kadar uzaklaşmış ve su yüzeyinden 1 m yükseklikte ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler sırasında su kütesinden ve karadan gelecek gama ışınlarının katkıları ihmal edilebilecek seviyede olduğu için dikkate alınmamıştır. Alınan ölçümler sonucunda kozmik ışınların havadaki gama doz hızına katkısı 1,5 $\mu\text{R/saat}$ (13,16 nGy/saat) olarak tespit edilmiştir.

6.2.2 Maden İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Maden ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyon değeri Tablo 6.12’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.12 irdelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $0,0381 \pm 0,0054$ Bq/L, toplam beta radyoaktivitesinin ise $0,0367 \pm 0,0023$ Bq/L olduğu görülür. Bu su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinden küçüktür. Su örneğinin toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinin oldukça altındadır. Bunun yanı sıra; Maden Çayı yüzey suyu örneğinin $0,0603 \pm 0,0051$ Bq/L değeri ile toplam alfa radyoaktivite seviyesine, $0,0373 \pm 0,0027$ Bq/L değeri ile ise toplam beta radyoaktivite seviyesine sahip olduğu görülür. Bu yüzey suyu örneğinin de hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite seviyeleri WHO ve TSE tarafından kabul edilmiş olan standartların altında kalmaktadır [53, 54].

Tablo 6.12 incelendiğinde; merkez toprağı örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $279,6 \pm 18,0$ Bq/kg ve $206,6 \pm 9,5$ Bq/kg değerlerindedir. Toprak örneğinin alındığı sahanın jeolojisi ve toprak yapısı irdelendiğinde; bölgenin volkanosedimenter kayaç (volkanik ve tortul kayaç karışımı kayaçlar) ağırlıklı olduğu, toprak yapısının ise kumtaşı, kireçtaşı ve kil taşı bakımından yoğun olduğu görülür [81]. Toprak örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine göre daha yüksek olmasının ana sebebi; örneğin alındığı bölgenin özellikle uranyumun birikme eğilimi gösterdiği kumtaşı, kireçtaşı ve kil taşı gibi yapılarca zengin olmasından kaynaklanmaktadır. Toplam beta radyoaktivite seviyesinin toplam alfa radyoaktivitesine yakın değerde olmasının sebebi ise yüksek ihtimal ile bölgenin volkanosedimenter kayaç ağırlıklı olmasından kaynaklanabilir [26]. Bunların yanı sıra; Maden Çayı sediment örneğinin $412,0 \pm 14,9$ Bq/kg toplam alfa radyoaktivitesine, $108,4 \pm 4,2$ Bq/kg toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür. Maden Çayı yatağının jeolojisi irdelendiğinde, bölgede kromca zengin ofiyolitlerin olduğu görülür [81]. Maden Çayı sediment örneğinin ($412,0 \pm 14,9$ Bq/kg), Maden merkez toprağı örneğine ($279,6 \pm 18,0$ Bq/kg) göre daha yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesine sahip olması oldukça dikkat çekicidir.

Tablo 6.12 irdelendiğinde; Maden ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyon değerinin 154 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Bu ortalama radon konsantrasyon değerinin karşılık geldiği YEDE $9,71 \times 10^6$ nSv/yıl olarak hesaplanır. Maden ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn ’den 1 yılda teneffüs yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak 9,71

mSv'dir. Bunların yanı sıra, Maden ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $3,1859 \times 10^{-3}$ Bq/m³ ve $1,9539 \times 10^{-3}$ Bq/m³'tür.

Tablo 6.13 ve Şekil 6.14 birlikte irdelendiğinde, 1 numaralı bölgede (Maden merkez) ardışık olarak yapılmış Bİ ve BDA ölçümlerinin gama radyasyon doz hızı değerleri sırası ile 7,79 µR/saat ve 9,42 µR/saat'dir. Bİ gama radyasyon doz hızının BDA gama doz hızı değerinden küçük olmasının ana nedeni; yapı malzemelerinin gama radyasyon doz hızına yaptığı katkının, toprak zeminin gama doz hızına yaptığı katkıdan daha zayıf olmasındandır. Bunların yanı sıra, 1 ve 5 numaralı bölgelerdeki BDA gama doz hızı değerlerinin sırası ile 9,42 µR/saat ve 9,21 µR/saat değerlerinde olduğu görülür. Bu iki gama doz hızı değeri arasındaki 0,21 µR/saat'lik küçük farkın nedeni; toprağın içerdiği radyonüklit konsantrasyonunun değişmediği ve aynı oranda zırhlanma etkisinin olduğu kabul edilirse, temelde ölçüm yapılan bölgeler arasındaki kod (yükselti) farkındandır [1, 101].

Tablo 6.13 ve Şekil 6.14'deki 2 ve 3 numaralı bölgeler sırası ile 2,75 µR/saat ve 4,11 µR/saat'lik gama radyasyon doz hızı değerlerine sahiptir. Bu doz hızı değerleri, bakırlı pirit ve manganez gibi madenlerce zengin olan ve halen işletilmekteki maden cevherinden alınan ölçüm sonuçlarıdır. Bir krateri andıran maden cevherinin cevher kalbi olarak adlandırılan en dip noktasındaki gama radyasyon doz hızı 2,75 µR/saat (2 numaralı bölge), kraterin orta noktasında ölçülen (3 numaralı bölge) gama radyasyon doz hızı değeri ise 4,11 µR/saat'dir. Dikkatlice irdelendiğinde; maden cevherinde ölçülen gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalamasının (3,43 µR/saat), insan nüfusunun yoğun olduğu 1, 5, 6 ve 7 numaralı bölgelerin gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalamasının (9,28 µR/saat) 0,37 katı olduğu görülür. Maden cevherinde ölçülen gama doz hızı değerlerinin, ilçedeki diğer bölgelere ait gama doz hızı değerlerinden çok küçük olmasının ana nedenleri zırhlanma etkisi ve kod farkıdır [1, 101].

Tablo 6.12: Maden ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	²²² Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	0,0381 ± 0,0054	0,0367 ± 0,0023	—
Yüzey Suyu (Bq/L)	Maden Çayı	0,0603 ± 0,0051	0,0373 ± 0,0027	—
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	279,6 ± 18,0	206,6 ± 9,5	—
Sediment (Bq/kg)	Maden Çayı Sedimenti	412,0 ± 14,9	108,4 ± 4,2	—
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	$3,1859 \times 10^{-3}$	$1,9539 \times 10^{-3}$	154

²²²Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

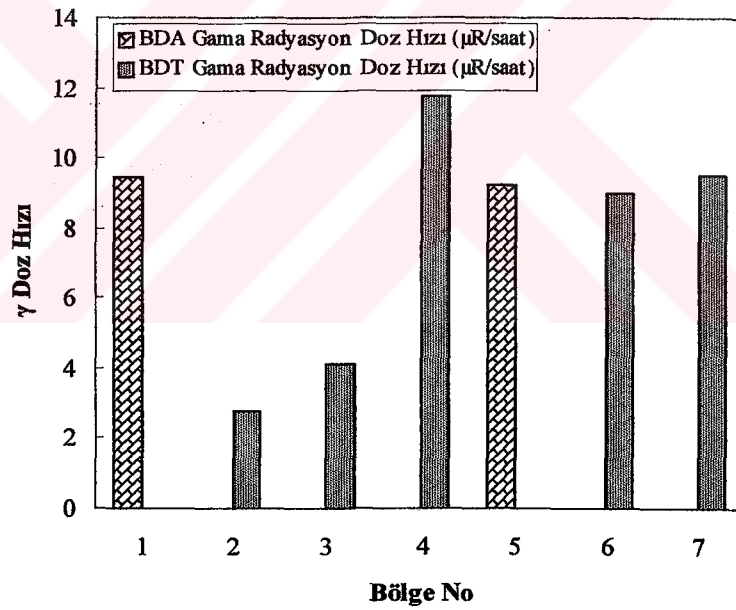
Tablo 6.13: Maden ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Maden Merkez (Bina)	7,79	9,42		68,32	82,61	
2	Cevher Kalbi			2,75			24,12
3	Cevher Kalbi Cıvarı			4,11			36,05
4	Baz İstasyonu Cıvarı			11,75			103,05
5	Maden Çarşı Merkezi		9,21			80,77	
6	Maden Devlet Hastanesi Cıvarı			8,97			78,67
7	Maden Soğuk Su Cıvarı			9,51			83,40
8	γ Doz Hızı Ortalaması		9,32	7,42		81,70	65,06

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.14: Maden ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Tablo 6.13 incelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 2,75 $\mu\text{R/saat}$ ile 11,75 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değiştiği görülür. Bunun yanı sıra, BDT gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması 7,42 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Maden ilçesi için ölçülen 7,79 $\mu\text{R/saat}$ 'lik Bİ gama doz hızı değeri 7,0 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırılırsa, iki değer arasındaki oranın 1,11 kat olduğu görülür. Bunun yanı sıra; Maden ilçesi için hesaplanan 7,42 $\mu\text{R/saat}$ 'lik

ortalama BDT gama doz hızı değeri 5,5 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırıldığında ise, iki değer arasındaki oran 1,35 kattır [29].

Maden ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırası ile 335 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 80 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'dır. Maden'de yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlarından 335 μSv , ev dışı gama ışınlarından ise 80 μSv olmak üzere toplam 415 μSv 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalaması ile yaklaşık olarak aynıdır. Sonuç olarak Maden'de yaşayan bir insanın gama ışınlarından dolayı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalaması civarındadır [55].

Şekil 6.14 ve Tablo 6.13 birlikte irdelendiğinde; en düşük gama radyasyon doz hızı değerinin 2,75 $\mu\text{R/saat}$ ile 2 numaralı bölgede, en yüksek gama radyasyon doz hızı değerinin ise 11,75 $\mu\text{R/saat}$ ile 4 numaralı bölgede olduğu görülür. 4 numaralı bölgedeki (baz istasyonu civarı) gama radyasyon doz hızının en yüksek değerde olmasının sebebi kod (yükselti) farkı ve elektromanyetik dalga yayılımının katkısından kaynaklanabilir [101]. Baz istasyonu civarında ölçülen 11,75 $\mu\text{R/saat}$ 'lik bu gama doz hızı değeri, insan nüfusunun yoğun olduğu 1, 5, 6 ve 7 numaralı bölgelerin gama radyasyon doz hızlarının aritmetik ortalaması olan 9,28 $\mu\text{R/saat}$ değerinin 1,27 katıdır.

6.2.3 Baskil İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Baskil ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyon değeri Tablo 6.14'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.14: Baskil ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	²²² Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	0,1231 $\pm$ 0,0062	0,0486 $\pm$ 0,0022	—
Yüzey Suyu (Bq/L)	Nazaruşağı Deresi	0,0457 $\pm$ 0,0065	0,0373 $\pm$ 0,0020	—
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	551,8 $\pm$ 19,7	67,8 $\pm$ 11,3	—
Sediment (Bq/kg)	Nazaruşağı Deresi Sedimenti	39,4 $\pm$ 22,0	301,8 $\pm$ 12,5	—
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	5,2460x10 ⁻⁴	2,1467x10 ⁻³	98

²²²Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

Tablo 6.14 irdelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi $0,1231 \pm 0,0062$ Bq/L, toplam beta radyoaktivitesi ise $0,0486 \pm 0,0022$ Bq/L değerindedir. Bu su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen üst sınır değerinden büyüktür. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen üst sınır değerinin altındadır. Bunun yanı sıra; Nazaruşağı Deresi yüzey suyu örneğinin $0,0457 \pm 0,0065$ Bq/L değeri ile toplam alfa radyoaktivite seviyesine, $0,0373 \pm 0,0020$ Bq/L değeri ile ise toplam beta radyoaktivite seviyesine sahip olduğu görülür. Bu yüzey suyu örneğinin hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise WHO ve TSE tarafından kabul edilen standartların altında kalmaktadır [53, 54].

Tablo 6.14 incelendiğinde; merkez toprağı örneğinin $551,8 \pm 19,7$ Bq/kg toplam alfa radyoaktivitesine, $67,8 \pm 11,3$ Bq/kg toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür. Bölgenin jeolojisi ve toprak yapısı irdelendiğinde; ilçe merkezi çevresinin volkanik kayaç ağırlıklı (granit bakımından zengin) olduğu, ilçe merkezinin ise iri unsurlu taş, çakıl ve kum içeren koliviyal (taşınmış) topraklar bakımından zengin olduğu dikkati çeker. Bu toprakların özelliğı, volkanik kayaç ağırlıklı (granit bakımından zengin) olan Bulutlu ve Hasan Dağı civarından taşınma yoluyla ilçe merkezine gelmiş olmalarıdır [102]. Merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin toplam beta radyoaktivite seviyesine nazaran çok daha yüksek olmasının sebebi granit bakımından zengin volkanik kayaç orijinli olmasındandır [33]. Bunların yanı sıra; Nazaruşağı Deresi sediment örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi $39,4 \pm 22,0$ Bq/kg, toplam beta radyoaktivitesi ise $301,8 \pm 12,5$ Bq/kg değerindedir. Bu sediment örneğinin toplam beta radyoaktivite seviyesinin toplam alfa radyoaktivite seviyesine göre bariz bir şekilde yüksek değerde olmasının nedeni, bölgedeki meşe ağacı köklerinin toprağı asit yaymasından kaynaklanabilir. Literatürde, bulunduğu ortama asit yayan bitkilerin olduğu bölgelerden alınan örneklerde yüksek konsantrasyonlarda ^{232}Th serisi radyonüklitlerin olduğu rapor edilmiştir [1].

Tablo 6.14 irdelendiğinde, Baskil ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyon değerinin 98 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Bu ortalama değer kullanılarak Baskil’de yaşayan bir insanın ev içi radon ışınlamalarıyla 1 yılda alacağı etkin doz eşdeğeri $6,18 \times 10^6 \text{ nSv}$ olarak hesaplanmıştır. Baskil ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn ’den 1 yılda solunum yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak $6,18 \text{ mSv}$ ’dir. Bunlara ek olarak, Baskil ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa radyoaktivite seviyesi $5,2460 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$, toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $2,1467 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.15 ve Şekil 6.15 birlikte irdelendiğinde; 1 numaralı bölgedeki Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile $12,16 \mu\text{R/saat}$, $11,52 \mu\text{R/saat}$ ve $15,93 \mu\text{R/saat}$

olduğu görülmür. Bİ gama radyasyon doz hızı değerinin BDT gama radyasyon doz hızı değerinden küçük olmasının ana nedeni; yapı malzemelerinin gama radyasyon doz hızına yaptığı katkının, toprak zeminin gama doz hızına yaptığı katkıdan daha zayıf olmasındandır.

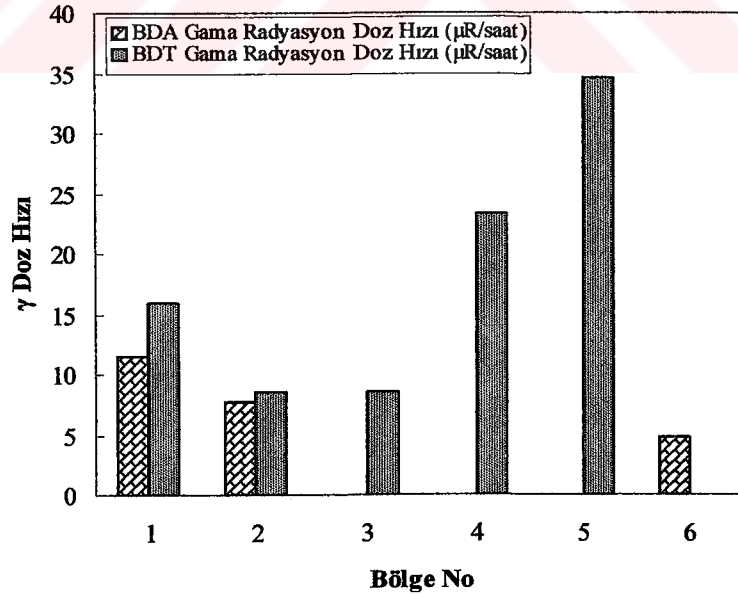
Tablo 6.15: Baskil ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Baskil Merkez (Bina)	12,16	11,52	15,93	106,64	101,03	139,71
2	Baskil Çarşı Merkezi (Postane Yanı)		7,64	8,54		67,00	74,90
3	Baskil Sağlık Ocağı Civarı			8,46			74,19
4	Nazar Uşağı Deresi Civarı			23,27			204,08
5	Baskil Ormanlık Bölge			34,66			303,97
6	Baskil-Elazığ Yolu (Baskil Çıkışı)		4,77			41,83	
7	γ Doz Hızı Ortalaması		7,98	18,17		69,96	159,37

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.15: Baskil ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bunun yanı sıra; BDA gama radyasyon doz hızının (11,52 $\mu\text{R/saat}$), Bİ ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinden küçük değerde olmasının temel sebebi ise asfalt zeminin topraktan gelen gama radyasyonunu emmesidir. Bu durum 2 numaralı bölgedeki ölçüm sonuçları için de açıkça görülmektedir [1].

Tablo 6.15 ve Şekil 6.15 birlikte incelendiğinde, 2 ve 3 numaralı bölgelerdeki BDT gama doz hızlarının (sırası ile 8,54 $\mu\text{R/saat}$ ve 8,46 $\mu\text{R/saat}$) biri birilerine çok yakın değerlerde olduğu görülür. Bu iki bölge arasında bariz bir yükselti farkı olmadığı göz önünde bulundurulur ve gama radyasyonunun her iki bölgenin toprak zemininde de aynı oranda emildiği farz edilirse; gama radyasyon doz hızlarının çok yakın değerlerde ölçülmesi, iki bölge toprağının hemen hemen aynı radyonüklit konsantrasyonuna sahip olduğu kanısını güçlendirir [1].

Tablo 6.15 ve Şekil 6.15 birlikte irdelendiğinde, 23,27 $\mu\text{R/saat}$ ve 34,66 $\mu\text{R/saat}$ 'lik gama radyasyon doz hızı değerleri ile 4 ve 5 numaralı bölgelerin diğer bölgelere nazaran çok daha yüksek seviyede doz hızlarına sahip olduğu görülür. Gama radyasyon doz hızı değerlerinin bu iki bölgede yaklaşık olarak 3 kat kadar artma göstermesi oldukça dikkat çekicidir. 4 ve 5 numaralı bölgelerde yüksek gama radyasyon doz hızı ölçülmesinin temel sebebi, yoğun olarak bölgede bulunan meşe ağaçlarının toprağa kökleri vasıtasıyla asit yaymasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, gama doz hızı büyüklüğünün %95 oranında toprak içerisindeki radyonüklit konsantrasyonlarına bağlı olduğu ve bu doz hızına asıl katkının ^{40}K için %35, ^{232}Th ve ^{238}U serileri için ise sırası ile %50 ve %15 olduğu belirtilmektedir [1]. Literatür bilgileri irdelendiğinde, gama radyasyon doz hızı değerlerinin bu bölgelerde artmasının oldukça doğal bir sonuç olduğu güçlü olarak ifade edilebilir.

Tablo 6.15 ve Şekil 6.15 birlikte irdelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 8,46 $\mu\text{R/saat}$ ile 34,66 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bu BDT gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması ise 18,17 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Baskil ilçesi için ölçülen 12,16 $\mu\text{R/saat}$ 'lik Bİ gama doz hızı değeri 7,0 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırılırsa, iki değer arasındaki oranın 1,74 kat olduğu görülür. Bunun yanı sıra; Baskil ilçesi için hesaplanan 18,17 $\mu\text{R/saat}$ 'lik ortalama BDT gama doz hızı değeri 5,5 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırıldığında ise, iki değer arasındaki oran 3,3 kattır [29].

Baskil ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırasıyla 523 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 196 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Baskil'de yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlarından 523 μSv , ev dışı gama ışınlarından ise 196 μSv olmak üzere toplam 719 μSv 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında, iki doz değeri arasındaki oran 1,75'dir. Sonuç olarak Baskil'de yaşayan bir insanın gama ışınlarından dolayı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalamasının yukarisındadır [55].

6.2.4 Keban İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Keban ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyon değeri Tablo 6.16'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.16 incelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $0,0185 \pm 0,0057$ Bq/L, toplam beta radyoaktivitesinin ise $0,0386 \pm 0,0019$ Bq/L olduğu görülür. Bu su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinden çok küçüktür. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinin altındadır. Bunun yanı sıra; Keban Barajı yüzey suyu örneğinin $0,0555 \pm 0,0049$ Bq/L değeri ile toplam alfa radyoaktivite seviyesine, $0,0252 \pm 0,0021$ Bq/L değeri ile ise toplam beta radyoaktivite seviyesine sahip olduğu görülür. Bu yüzey suyu örneğinin hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise WHO ve TSE tarafından kabul edilen standartların altında kalmaktadır [53, 54].

Tablo 6.16 irdelendiğinde; merkez toprağı örneğinin $474,0 \pm 22,9$ Bq/kg toplam alfa radyoaktivitesine, $151,6 \pm 14,3$ Bq/kg toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür. Keban ilçesinin jeolojisi ve toprak yapısı irdelendiğinde, bölgenin tamamen metamorfik ana kayadan oluştuğı ve litosolik topraklarca zengin olduğu dikkat çeker. Bölgedeki metamorfik (mermer) ana kaya, kireçtaşlarının yüksek sıcaklık ve basınç altında başkalaşım geçirerek kristalleşmesi sonucunda oluşmuştur. Litosolik topraklar ise, yüzeye çıkmış olan metamorfik ana kayanın atmosfer ve hidrosfer etkileriyle parçalanarak ufalanması sonucunda meydana gelmişlerdir. Bunlara ek olarak bölgedeki toprak örtüsü oldukça incedir [81]. Merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine göre yüksek değerde olmasının ana sebebi yüksek ihtimal ile bölgenin jeolojik yapısının uranyumca zengin olan kireçtaşı orijinli olmasındandır [26]. Literatürde; başkalaşım geçirmiş kayaların, kendilerini oluşturan kayaların içerdiği radyonüklit konsantrasyonlarına sahip oldukları belirtilmektedir [4, 103]. Bunların yanı sıra; Keban Barajı sediment örneğı $8,7 \pm 26,9$ Bq/kg toplam alfa radyoaktivitesine, $76,9 \pm 11,5$ Bq/kg toplam beta radyoaktivitesine sahiptir. Çevresi taşınmış killi toprak ağırlıklı olan bu sediment örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin toprak örneğinin radyoaktivite seviyelerine göre küçük değerde olması oldukça dikkat çekicidir.

Tablo 6.16 irdelendiğinde, Keban ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyon değerinin 127 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Bu ortalama radon konsantrasyon değerine karşılık gelen YEDE $8,01 \times 10^6 \text{ nSv/yıl}$ 'dır. Keban ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn

gazından 1 yılda teneffüs yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak 8,01 mSv'dir. Bunun yanı sıra, Keban ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $5,1427 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$ ve $2,6925 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ 'tür.

Tablo 6.17 ve Şekil 6.16 birlikte irdelendiğinde; 1 numaralı bölgede ölçülen Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile 15,86 $\mu\text{R/saat}$, 13,42 $\mu\text{R/saat}$ ve 15,64 $\mu\text{R/saat}$ olduğu görülür. Bİ gama radyasyon doz hızı değerinin (15,86 $\mu\text{R/saat}$), BDA gama doz hızı değerinden (13,42 $\mu\text{R/saat}$) büyük olması oldukça dikkat çekicidir. Bİ ve BDT gama radyasyon doz hızlarının biri birilerine çok yakın değerlerde olduğu göz önünde bulundurulursa; Bİ gama radyasyon doz hızının BDA gama doz hızından büyük değerde olmasının ana nedeninin, topraktan yayılan gama radyasyonunun asfalt zemin tarafından emilmesi olduğu rahatlıkla söylenebilir. Şekil 6.16'daki BDA gama radyasyon doz hızlarının BDT gama radyasyon doz hızlarından genellikle küçük değerde olmasının temel sebebi de, yine asfalt ya da beton zeminlerin gama radyasyonunu zırlamasından kaynaklanmaktadır [1].

Tablo 6.17 ve Şekil 6.16 birlikte irdelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 5,95 $\mu\text{R/saat}$ ile 15,86 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bunun yanı sıra bu BDT gama doz hızı değerlerinin ortalaması 13,17 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Keban ilçesi için ölçülen 15,86 $\mu\text{R/saat}$ 'lik Bİ gama doz hızı değeri 7,0 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırılırsa, iki değer arasındaki oranın 2,27 kat olduğu görülür. Bunun yanı sıra; Keban ilçesi için hesaplanan 13,17 $\mu\text{R/saat}$ 'lik ortalama BDT gama doz hızı değeri 5,5 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırıldığında ise, iki değer arasındaki oran 2,40 kattır [29].

Tablo 6.16: Keban ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	^{222}Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	$0,0185 \pm 0,0057$	$0,0386 \pm 0,0019$	—
Yüzey Suyu (Bq/L)	Keban Baraj Çıkışı	$0,0555 \pm 0,0049$	$0,0252 \pm 0,0021$	—
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	$474,0 \pm 22,9$	$151,6 \pm 14,3$	---
Sediment (Bq/kg)	Keban Barajı Sedimenti	$8,7 \pm 26,9$	$76,9 \pm 11,5$	---
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	$5,1427 \times 10^{-4}$	$2,6925 \times 10^{-3}$	127

^{222}Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

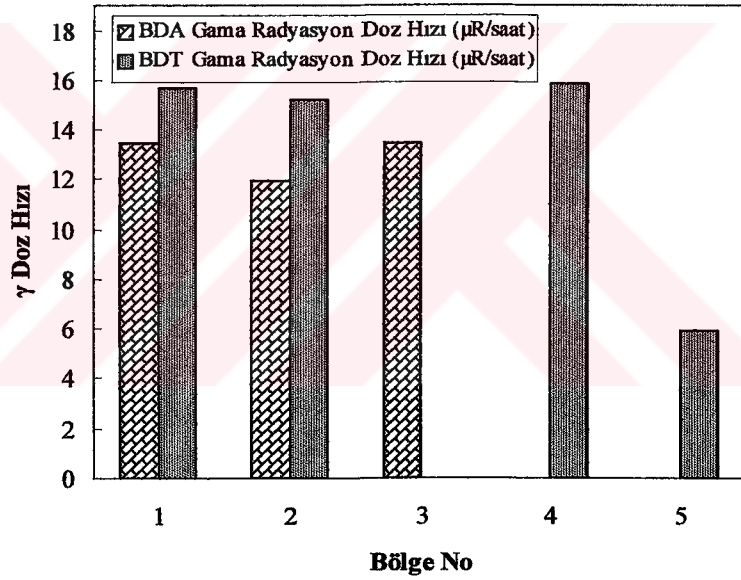
Tablo 6.17: Keban ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Keban Merkez (Bina)	15,86	13,42	15,64	139,09	117,69	137,16
2	Süleyman Demirel MYO		11,99	15,23		105,15	133,57
3	Keban Çarşı Merkezi		13,45			117,96	
4	Keban Barajı Girişi Civarı			15,86			139,09
5	Keban-Elazığ Yolu (Keban Çıkışı)			5,95			52,18
6	γ Doz Hızı Ortalaması		12,95	13,17		113,60	115,50

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.16: Keban ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Keban ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırası ile $682 \mu\text{Sv/yıl}$ ve $142 \mu\text{Sv/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Keban'da yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlardan $682 \mu\text{Sv}$, ev dışı gama ışınlardan ise $142 \mu\text{Sv}$ olmak üzere toplam $824 \mu\text{Sv}$ 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalamasının yaklaşık olarak 2 katıdır. Sonuç olarak, Keban'da yaşayan bir insanın gama ışınlardan dolayı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalamasının yukarisındadır [55].

6.2.5 Ağın İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Ağın ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon konsantrasyon değeri Tablo 6.18’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.18 irdelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $0,0225 \pm 0,0077$ Bq/L ve $0,0440 \pm 0,0020$ Bq/L değerlerindedir. Bu su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen üst sınır değerinden oldukça küçüktür. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen üst sınır değerinin altındadır. Bunun yanı sıra; Keban Baraj Gölü yüzey suyu örneğinin $0,0882 \pm 0,0054$ Bq/L değeri ile toplam alfa radyoaktivite seviyesine, $0,0274 \pm 0,0024$ Bq/L değeri ile ise toplam beta radyoaktivite seviyesine sahip olduğu görülür. Bu yüzey suyu örneğinin hem toplam alfa hem de toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise WHO ve TSE tarafından kabul edilen standartların altında kalmaktadır [53, 54].

Tablo 6.18 incelendiğinde, yüzey suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine nazaran daha yüksek değerde olduğu görülür. Bunun temel sebebi; suların, uranyum serisi çekirdeklerin başlıca taşınma ortamı olmasıdır [1].

Tablo 6.18 irdelendiğinde; merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $184,2 \pm 20,9$ Bq/kg, toplam beta radyoaktivitesinin ise $97,2 \pm 9,4$ Bq/kg olduğu görülür. Bunun yanı sıra; merkez beyaz toprak örneği $362,1 \pm 26,7$ Bq/kg toplam alfa radyoaktivitesine, $433,7 \pm 17,5$ Bq/kg toplam beta radyoaktivitesine sahiptir. Bölgenin toprak formasyonu irdelendiğinde, kum taşı ve kırmızı renkli konglomera ağırlıklı olan kahverengi topraklar ile kireçtaşı ağırlıklı olan beyaz topraklarca zengin olduğu görülür [81]. Kahverengi renkli merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine nazaran daha yüksek değerde olmasının sebebi yüksek ihtimal ile uranyumca zengin olan konglomera yapılarındandır [83]. Bunun yanı sıra, merkez beyaz toprak örneğinin kahverengi toprak örneğine nazaran çok yüksek değerde radyoaktivite seviyelerine sahip olması ise oldukça dikkat çekicidir. Bunlara ek olarak Keban Baraj Gölü sediment örneğinin $381,8 \pm 31,7$ Bq/kg toplam alfa radyoaktivitesine, $477,5 \pm 22,7$ Bq/kg toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür. Sediment örneğinin toprak örneklerine nazaran daha yüksek radyoaktivite seviyelerine sahip olmasının ana nedeni, bu yapıların radyonüklitlerin önemli depolanma yerleri olmasındandır. Sediment örneğinin sahip olduğu toplam beta radyoaktivite seviyesinin toplam alfa radyoaktivite seviyesine göre daha yüksek değerde olmasının temel sebebi ise bu yapıların uranyum için tekrar yayılım ve depolanma yerleri olarak, toryum için ise sadece depolanma yerleri olarak görev yapmasından kaynaklanmaktadır [1].

Tablo 6.18: Ağın ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	²²² Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	0,0225 ± 0,0077	0,0440 ± 0,0020	---
Yüzey Suyu (Bq/L)	Keban Baraj Gölü	0,0882 ± 0,0054	0,0274 ± 0,0024	---
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	184,2 ± 20,9	97,2 ± 9,4	----
Toprak (Bq/kg)	Merkez Beyaz Toprak	362,1 ± 26,7	433,7 ± 17,5	----
Sediment (Bq/kg)	Keban Baraj Gölü Sedimenti	381,8 ± 31,7	477,5 ± 22,7	----
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	7,3460x10 ⁻⁴	1,1968x10 ⁻³	112

²²²Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

Tablo 6.18 irdelendiğinde, Ağın ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ²²²Rn konsantrasyon değerinin 112 Bq/m³ olduğu görülür [93]. Bu ortalama radon gazı konsantrasyon değeri kullanılarak Ağın'da yaşayan bir insanın ev içi radon ışınlamalarıyla 1 yılda alacağı etkin doz eşdeğeri 7,06 x 10⁶ nSv olarak hesaplanmıştır. Ağın ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ²²²Rn'den 1 yılda solunum yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak 7,06 mSv'dir. Bunların yanı sıra, Ağın ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa radyoaktivite seviyesi 7,3460x10⁻⁴ Bq/m³, toplam beta radyoaktivite seviyesi ise 1,1968x10⁻³ Bq/m³'tür.

Tablo 6.19 ve Şekil 6.17 birlikte irdelendiğinde; 1 numaralı bölgedeki Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile 14,51 µR/saat, 7,05 µR/saat ve 9,76 µR/saat olduğu görülür. Bİ gama radyasyon doz hızının BDA ve BDT gama radyasyon doz hızlarından büyük değerde olması, yapı malzemelerinin doz hızına yaptığı katkının toprak zeminin yapmış olduğu katkıdan daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, BDT gama radyasyon doz hızının BDA gama radyasyon doz hızından daha büyük değerde olmasının ana nedeni ise topraktan yayınlanan gama radyasyonunun asfalt zemin tarafından emilmesidir [1].

Tablo 6.19 ve Şekil 6.17 birlikte incelendiğinde, BDA gama radyasyon doz hızı değerlerinin 7,05 µR/saat ile 10,31 µR/saat değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. BDA gama radyasyon doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması ise 9,07 µR/saat'dir. Bunların yanı sıra, 3 numaralı bölgedeki BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile 10,31 µR/saat ve 9,13 µR/saat olduğu görülür. BDA doz hızının BDT doz hızından büyük değerde olması, gama doz hızına asfalt zeminden katkı geldiğinin açık bir göstergesidir.

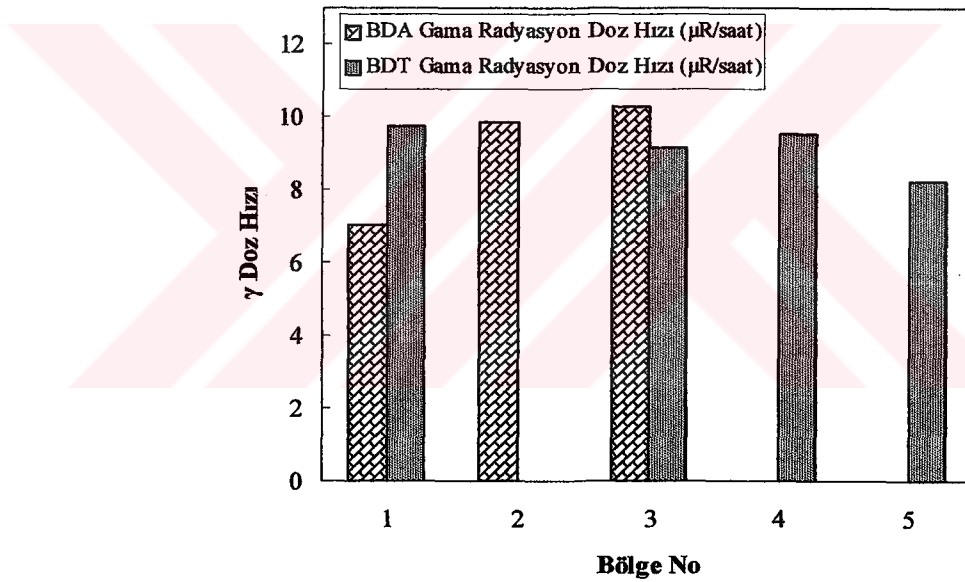
Tablo 6.19: Ağın ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Ağın Merkez (Bina)	14,51	7,05	9,76	127,25	61,83	85,60
2	Beyelması Köyü Merkezi		9,85			86,39	
3	Ağın Çarşı Merkezi		10,31	9,13		90,42	80,07
4	Baz İstasyonu Cıvarı			9,52			83,49
5	Ağın-Elazığ Yolu (Ağın Çıkışı)			8,23			72,18
6	γ Doz Hızı Ortalaması		9,07	9,16		79,54	80,33

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.17: Ağın ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Tablo 6.19 ve Şekil 6.17 birlikte irdelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 8,23 $\mu\text{R/saat}$ ile 9,76 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bunun yanı sıra, bu BDT gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması 9,16 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Ağın ilçesi için ölçülen 14,51 $\mu\text{R/saat}$ 'lik Bİ gama doz hızı değeri 7,0 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırılırsa, iki değer arasındaki oranın 2,07 kat olduğu görülür. Bunun yanı sıra Ağın ilçesi için hesaplanan 9,16 $\mu\text{R/saat}$ 'lik ortalama BDT gama doz hızı değeri 5,5 $\mu\text{R/saat}$ 'lik dünya ortalaması değeri ile karşılaştırıldığında ise, iki değer arasındaki oran 1,67 kattır [29].

Ağın ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırasıyla 624 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 99 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'dır. Ağın'da yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlardan 624 μSv , ev dışı gama ışınlardan ise 99 μSv olmak üzere toplam 723 μSv 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında, iki doz değeri arasındaki oran 1,76'dır. Sonuç olarak Ağın'da yaşayan bir insanın gama ışınlardan dolayı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalamasının yukarisındadır [55].

6.2.6 Alacakaya İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Alacakaya ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyon değeri Tablo 6.20'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.20 irdelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $0,0091 \pm 0,0049 \text{ Bq/L}$, toplam beta radyoaktivitesinin ise $0,0693 \pm 0,0031 \text{ Bq/L}$ olduğu görülür. Bu su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinin çok altındadır. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinin aşağısında kalmaktadır [53, 54].

Tablo 6.20 incelendiğinde; merkez toprağı örneğinin $126,7 \pm 20,7 \text{ Bq/kg}$ toplam alfa radyoaktivitesine, $320,7 \pm 12,2 \text{ Bq/kg}$ toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür. Toprak örneğinin alındığı bölgenin jeolojisi irdelendiğinde, bölgenin denizaltı volkanizmasına bağlı olarak oluşan ofiyolitlerce (ultrabazik kayalar) zengin olduğu görülür [81]. Merkez toprağı örneğinin toplam beta radyoaktivitesinin toplam alfa radyoaktivitesine göre daha yüksek değerde olması oldukça dikkat çekicidir.

Tablo 6.20 irdelendiğinde, Alacakaya ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyon değerinin 89 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Ortalama radon gazı konsantrasyon değeri kullanılarak Alacakaya'da yaşayan bir insanın ev içi radon ışınlamalarıyla 1 yılda alacağı etkin doz eşdeğeri $5,61 \times 10^6 \text{ nSv}$ olarak hesaplanır. Alacakaya ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn 'den 1 yılda solunum yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak $5,61 \text{ mSv}$ 'dir. Bunlara ek olarak, Alacakaya ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $1,9880 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ ve $1,9128 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.20: Alacakaya ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	²²² Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	0,0091 ± 0,0049	0,0693 ± 0,0031	—
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	126,7 ± 20,7	320,7 ± 12,2	---
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	1,9880x10 ⁻³	1,9128x10 ⁻³	89

²²²Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

Tablo 6.21 ve Şekil 6.18 birlikte irdelendiğinde; 1 numaralı bölgedeki Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile 7,12 µR/saat, 8,30 µR/saat ve 8,81 µR/saat olduğu görülür. Bİ gama radyasyon doz hızının BDA ve BDT gama radyasyon doz hızlarına göre daha küçük değerde olması yapı malzemelerinin doz hızına yaptığı katkının toprağın yaptığı katkıya nazaran daha zayıf olmasındandır. Bunların yanı sıra, BDA gama radyasyon doz hızının BDT gama radyasyon doz hızından daha düşük değerde olması ise zırlanma etkisindendir [1].

Tablo 6.21 ve Şekil 6.18 birlikte irdelendiğinde; 3, 4 ve 5 numaralı bölgelerdeki BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile 4,88 µR/saat, 4,11 µR/saat ve 3,53 µR/saat olduğu görülür. Bunların yanı sıra, 1 ve 2 numaralı bölgelerdeki BDT gama doz hızları ise sırası ile 8,81 µR/saat ve 7,99 µR/saat değerlerindedir. 3, 4 ve 5 numaralı bölgelerdeki BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin 1 ve 2 numaralı bölgelerdeki doz hızlarından daha küçük değerde olması oldukça dikkat çekicidir. 3 numaralı bölgedeki gama radyasyon doz hızı değerinin (4,88 µR/saat) 1 ve 2 numaralı bölgelerdeki doz hızlarından küçük değerde olmasının ana nedeni ölçüm yapılan toprak zemin üzerinde yoğun yağmur etkisiyle su birikintilerinin oluşmasıdır. Literatürde, yağmur etkisi ile toprağın üst kısmında oluşan su birikintilerinin havadaki gama doz hızını %20'den daha fazla azaltabileceği rapor edilmiştir. Bunun yanı sıra; 4 ve 5 numaralı bölgelerdeki gama doz hızlarının 1, 2 ve 3 numaralı bölgelerdeki gama doz hızlarından küçük değerde olmasının temel sebebi ise yüksek ihtimal ile 4 ve 5 numaralı bölgelerde yoğun mermer yataklarının olmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir ifade ile bu bölgedeki mermer yatakları gama radyasyonu üzerinde zırlama etkisi yapmaktadır [1].

Tablo 6.21 ve Şekil 6.18 birlikte irdelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 3,53 µR/saat ile 8,81 µR/saat değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bu BDT gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması ise 5,86 µR/saat'dir. Alacakaya ilçesi için ölçülen 7,12 µR/saat'lik Bİ ve 5,86 µR/saat'lik BDT ortalama gama doz hızı değerleri dünya ortalaması değerleri ile yaklaşık olarak aynıdır [29].

Alacakaya ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırası ile 306 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 63 $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Alacakaya’da yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlardan 306 μSv , ev dışı gama ışınlardan ise 63 μSv olmak üzere toplam 369 μSv ’lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalamasının altındadır [55].

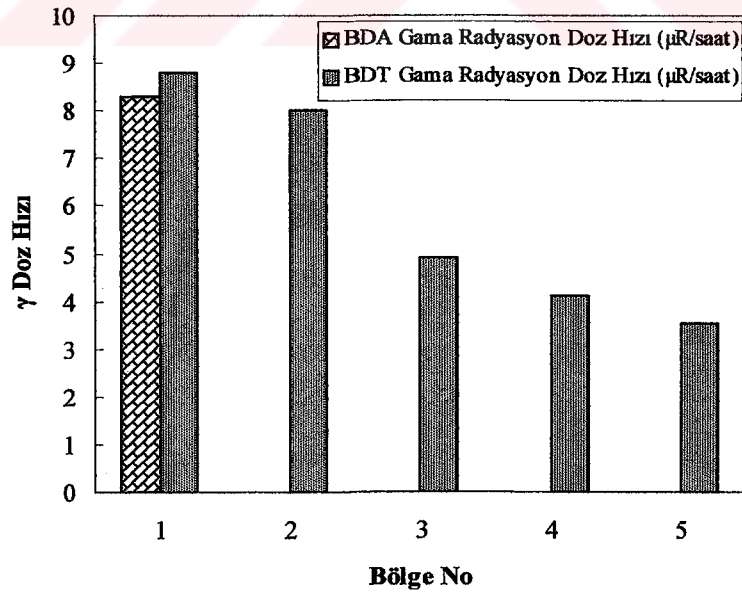
Tablo 6.21: Alacakaya ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Alacakaya Merkez (Bina)	7,12	8,30	8,81	62,44	72,79	77,26
2	Alacakaya Çarşı Merkezi			7,99			70,07
3	Alacakaya-Elazığ Yolu (İlçe Çıkışı)			4,88			42,80
4	Alacakaya-Elazığ Yolu (Sori Civarı)			4,11			36,05
5	Sori Merkez			3,53			30,96
6	γ Doz Hızı Ortalaması			5,86			51,43

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.18: Alacakaya ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

6.2.7 Kovancılar İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Kovancılar ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyon değeri Tablo 6.22’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.22 irdelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $0,1803 \pm 0,0076$ Bq/L, toplam beta radyoaktivitesinin ise $0,0217 \pm 0,0017$ Bq/L olduğu görülür. Bu su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen üst sınır değerinden çok yüksektir. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen üst sınır değerinin oldukça altındadır [53, 54].

Tablo 6.22 incelendiğinde; merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi $303,3 \pm 19,5$ Bq/kg, toplam beta radyoaktivitesi ise $211,9 \pm 10,4$ Bq/kg değerindedir. Bölgenin jeolojisi ve toprak yapısı irdelendiğinde; Kovancılar ova tabanının pliyosen gölsel birimlerini meydana getiren kumtaşı, marn (kireçli kil) ve kalkerler (kireçtaşı) bakımından zengin olduğu dikkati çeker. Bunların yanı sıra, ova çevresi volkanik ve tortul kayalardan oluşmaktadır [104]. Merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin toplam beta radyoaktivite seviyesine nazaran daha yüksek değerde olmasının ana nedeni yüksek ihtimal ile ova tabanı yüzeyinin uranyumca zengin kireçtaşı ve marn ağırlıklı olmasından kaynaklanmaktadır [26]. Toprak örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin yüksek değerde olmasının temel sebebi ise toprağın kil miktarının fazla olmasına bağlanabilir. Literatürde, kil içeriğı yüksek olan toprakların radyonüklitleri (^{238}U serisi, ^{232}Th serisi ve ^{40}K gibi) daha fazla emme ve tutma eğilimi gösterdiği rapor edilmiştir [34].

Tablo 6.22 irdelendiğinde, Kovancılar ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyon değerinin 71 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Bu ortalama radon gazı konsantrasyon değerine karşılık gelen YEDE $4,48 \times 10^6$ nSv/yıl’dır. Kovancılar ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn ’den 1 yılda teneffüs yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak $4,48 \text{ mSv}$ ’dir. Bunun yanı sıra, Kovancılar ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa radyoaktivite seviyesi $5,8833 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$, toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $1,8151 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.23 ve Şekil 6.19 birlikte irdelendiğinde; 1 numaralı bölgedeki Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile $11,75 \mu\text{R/saat}$, $12,34 \mu\text{R/saat}$ ve $9,4 \mu\text{R/saat}$ olduğu görülür. Bİ ve BDA gama doz hızlarının BDT gama doz hızına göre daha yüksek değerde olmasının ana nedeni, yapı malzemeleri ve asfalt zeminin ilgili doz hızına yaptığı katkının toprak zeminin yaptığı katkıya nazaran daha fazla olmasındandır.

Tablo 6.22: Kovancılar ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	²²² Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	0,1803 ± 0,0076	0,0217 ± 0,0017	---
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	303,3 ± 19,5	211,9 ± 10,4	---
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	5,8833x10 ⁻⁴	1,8151x10 ⁻³	71

²²²Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

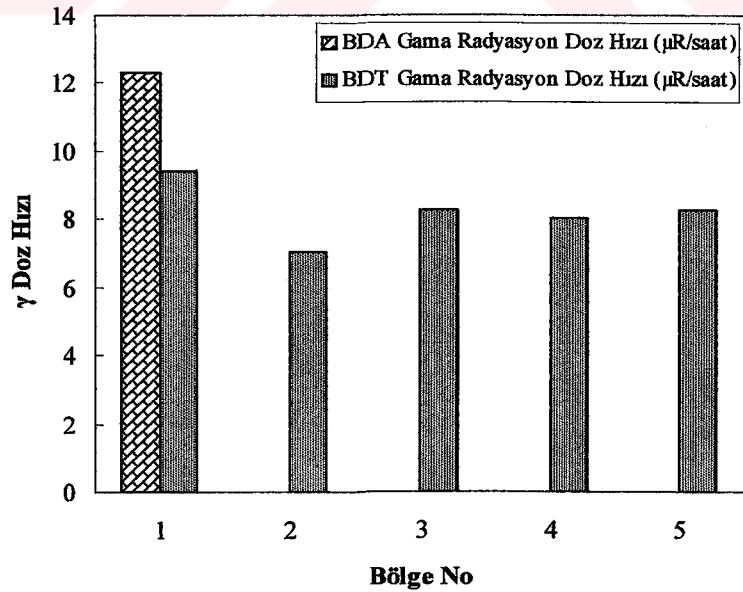
Tablo 6.23: Kovancılar ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı (μR/saat)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Kovancılar Merkez (Bina)	11,75	12,34	9,4	103,05	108,22	82,44
2	Kovancılar Çarşı Merkezi			7,05			61,83
3	12 Eylül İlköğretim Okulu Civarı			8,23			72,18
4	Kovancılar-Elazığ Yolu (İlçe Çıkışı)			7,99			70,07
5	Yarımca Baz İstasyonu			8,23			72,18
6	γ Doz Hızı Ortalaması			8,18			71,74

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.19: Kovancılar ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Tablo 6.23 ve Şekil 6.19 birlikte irdelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 7,05 $\mu\text{R/saat}$ ile 9,40 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bunun yanı sıra, bu BDT gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması 8,18 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Kovancılar ilçesi için ölçülen 11,75 $\mu\text{R/saat}$ 'lik Bİ gama doz hızı değeri dünya ortalaması değeri ile karşılaştırılırsa, iki değer arasındaki oranın 1,68 kat olduğu görülür. Bunun yanı sıra; Kovancılar ilçesi için hesaplanan 8,18 $\mu\text{R/saat}$ 'lik ortalama BDT gama doz hızı değeri dünya ortalaması değeri ile karşılaştırıldığında ise, iki değer arasındaki oran 1,49'dur [29].

Kovancılar ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırasıyla 506 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 88 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'dır. Kovancılar'da yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlarından 506 μSv , ev dışı gama ışınlarından ise 88 μSv olmak üzere toplam 594 μSv 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalamasının yaklaşık olarak 1,5 katıdır [55].

6.2.8 Arıcak İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Arıcak ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon konsantrasyon değeri Tablo 6.24'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 6.24 irdelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesi $0,0605 \pm 0,0045 \text{ Bq/L}$, toplam beta radyoaktivitesi ise $0,0837 \pm 0,0036 \text{ Bq/L}$ değerindedir. Bu su örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinden küçüktür. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinin altındadır [53, 54].

Tablo 6.24 irdelendiğinde; merkez toprağı örneğinin $418,0 \pm 18,5 \text{ Bq/kg}$ toplam alfa radyoaktivite seviyesine, $360,3 \pm 9,6 \text{ Bq/kg}$ toplam beta radyoaktivite seviyesine sahip olduğu görülür. Bölgenin jeolojik yapısı irdelendiğinde; büyük ölçüde volkanik ve tortul kayalardan meydana gelmiş olan bölgenin marn (kireçli kil), kumtaşı ve kireçtaşı ağırlıklı olduğu dikkat çeker [81]. Merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine göre daha yüksek değerde olmasının ana nedeni yüksek ihtimal ile bölgenin uranyumca zengin kireçtaşı ve marn içerikli olmasından kaynaklanmaktadır [26]. Toprak örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin yüksek değerde olmasının temel sebebi ise toprağın kil miktarının fazla olmasına bağlanabilir [34].

Tablo 6.24 irdelendiğinde, Arıcak ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyon değerinin 72 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Bu ortalama radon konsantrasyon değeri kullanılarak Arıcak'da yaşayan bir insanın ev içi radon ışınlamalarıyla 1 yılda alacağı

etkin doz eşdeğeri $4,54 \times 10^6$ nSv olarak hesaplanır. Arıcak ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn 'den 1 yılda teneffüs yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak 4,54 mSv'dir. Bunlara ek olarak, Arıcak ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $1,1851 \times 10^{-3}$ Bq/m³ ve $1,0836 \times 10^{-3}$ Bq/m³'tür.

Tablo 6.25 ve Şekil 6.20 birlikte irdelendiğinde; 1 numaralı bölgede ardışık olarak ölçülmüş olan Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile 14,10 µR/saat, 10,20 µR/saat ve 8,81 µR/saat olduğu görülür. Bİ gama radyasyon doz hızının BDA ve BDT gama doz hızından yüksek değerde olmasının sebebi inşaat malzemelerinden gelen katkının toprak zeminden gelen katkıya göre daha fazla olmasındandır. BDT gama doz hızının BDA gama doz hızından daha küçük değerde olmasının sebebi ise yüksek ihtimal ile ölçüm yapılan toprak zeminin yüzeyinin su birikintilerine sahip olmasındandır [1].

Tablo 6.25 ve Şekil 6.20 birlikte irdelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 8,81 µR/saat ile 12,34 µR/saat değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bu BDT gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması ise 10,22 µR/saat'dir. Arıcak ilçesi için ölçülen 14,10 µR/saat'lik Bİ gama doz hızı değeri dünya ortalaması değerinin yaklaşık 2 katıdır. Bunun yanı sıra Arıcak ilçesi için hesaplanan 10,22 µR/saat'lik ortalama BDT gama doz hızı değeri ise dünya ortalaması değerinin 1,86 katıdır [29].

Arıcak ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırası ile 607 µSv/yıl ve 110 µSv/yıl olarak hesaplanmıştır. Arıcak'da yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlarından 607 µSv, ev dışı gama ışınlarından ise 110 µSv olmak üzere toplam 717 µSv'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalamasının 1,75 katıdır. Sonuç olarak Arıcak'da yaşayan bir insanın gama ışınlarından dolayı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalamasının yukarisındadır [55].

Tablo 6.24: Arıcak ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	^{222}Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	$0,0605 \pm 0,0045$	$0,0837 \pm 0,0036$	—
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	$418,0 \pm 18,5$	$360,3 \pm 9,6$	—
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	$1,1851 \times 10^{-3}$	$1,0836 \times 10^{-3}$	72

^{222}Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

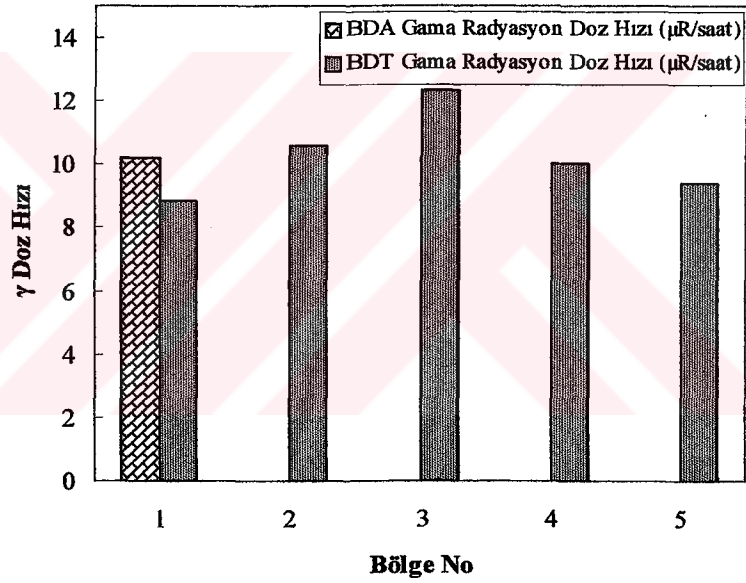
Tablo 6.25: Arıcak ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Arıcak Merkez (Bina) (Gümüşyaka)	14,10	10,20	8,81	123,66		77,26
2	Arıcak Merkez (Karakol Civarı)			10,58			92,79
3	Arıcak Çarşı Merkezi			12,34			108,22
4	Baz İstasyonu Civarı (Gümüşyaka)			9,99			87,61
5	Arıcak Merkez (Belediye Civarı)			9,40			82,44
6	γ Doz Hızı Ortalaması			10,22			89,67

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.20: Arıcak ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

6.2.9 Karakoçan İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Karakoçan ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyon değeri Tablo 6.26’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablo 6.26 irdelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $0,2186 \pm 0,0047$ Bq/L, toplam beta radyoaktivitesinin ise $0,0065 \pm 0,0024$ Bq/L olduğu görülür. Bu değerler WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinden oldukça yüksektir. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise

WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değerinin oldukça altındadır [53, 54].

Tablo 6.26 incelendiğinde, merkez toprağı örneğinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $215,3 \pm 17,6$ Bq/kg ve $82,8 \pm 7,6$ Bq/kg değerlerindedir. Bölgenin jeolojisi irdelendiğinde, volkanik orijinli olan ve lavların hızlı bir şekilde soğuyup sertleşmesi ile şekillenen kuvaterner bazaltların (genç bazaltlar) bölgede hakim olduğu dikkati çeker [81]. Merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivite seviyesinin toplam beta radyoaktivite seviyesine göre yüksek değerde olması, volkanik orijinli olan kuvaterner bazaltların bölgede yoğun olarak bulunmasına bağlanabilir [1].

Tablo 6.26 irdelendiğinde, Karakoçan ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyon değerinin 79 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Bu ortalama radon konsantrasyon değerine karşılık gelen YEDE $4,98 \times 10^6 \text{ nSv/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Karakoçan ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn 'den 1 yılda solunum yoluyla aldığı radyasyon dozu yaklaşık olarak $4,98 \text{ mSv}$ 'dir. Bunların yanı sıra, Karakoçan ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri sırası ile $1,3513 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ ve $1,4088 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.27 ve Şekil 6.21 birlikte irdelendiğinde; 1 numaralı bölgede ardışık olarak ölçülmüş olan Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerlerinin sırası ile $24,91 \mu\text{R/saat}$, $15,86 \mu\text{R/saat}$ ve $17,27 \mu\text{R/saat}$ olduğu görülür. Bİ gama radyasyon doz hızının BDT gama radyasyon doz hızına göre çok daha büyük değerde olması, yapı malzemelerinin gama doz hızına yaptığı katkının toprak zeminin yaptığı katkıya göre çok daha fazla olduğunun açık bir göstergesidir. BDA gama doz hızının BDT gama doz hızından küçük değerde olmasının ana nedeni ise asfalt zeminin gama radyasyonunu zırlamasıdır. Şekil 6.21'deki 2 numaralı bölge irdelendiğinde ise, BDA gama doz hızının ($14,34 \mu\text{R/saat}$) BDT gama doz hızından ($12,34 \mu\text{R/saat}$) daha büyük değerde olduğu dikkati çeker. Bunun nedeni ölçüm yapılan toprak zeminin ıslak ve su birikintilerine sahip olmasıdır [1].

Tablo 6.26: Karakoçan ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	Örnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	^{222}Rn
Su (Bq/L)	Merkez Şebeke Suyu	$0,2186 \pm 0,0047$	$0,0065 \pm 0,0024$	—
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	$215,3 \pm 17,6$	$82,8 \pm 7,6$	—
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava Örneği	$1,3513 \times 10^{-3}$	$1,4088 \times 10^{-3}$	79

^{222}Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

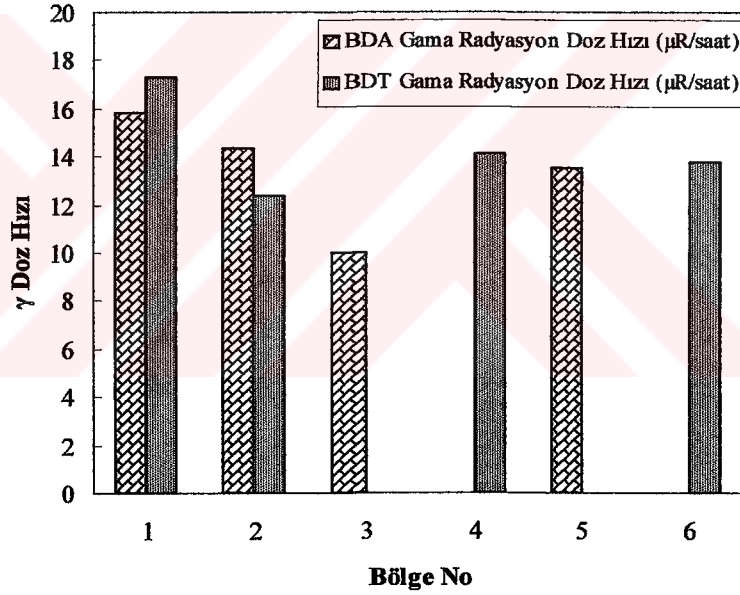
Tablo 6.27: Karakoçan ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Karakoçan Merkez (Bina)	24,91	15,86	17,27	218,46	139,09	151,46
2	Karakoçan Çıkış		14,34	12,34		125,76	108,22
3	Karakoçan arşı Merkezi		9,99			87,61	
4	Karakoçan Merkez (Akpınar Mah.)			14,10			123,66
5	Karakoçan Merkez (Kulubaba Mah.)		13,51			118,48	
6	Karakoçan Giriş			13,75			120,59
7	γ Doz Hızı Ortalaması		13,43	14,37		117,74	125,98

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.21: Karakoçan ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Tablo 6.27 ve Şekil 6.21 birlikte irdelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 12,34 $\mu\text{R/saat}$ ile 17,27 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bunun yanı sıra, bu BDT gama doz hızı değerlerinin ortalaması 14,37 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Karakoçan ilçesi için ölçülen 24,91 $\mu\text{R/saat}$ 'lik Bİ gama doz hızı değeri dünya ortalaması değerinin 3,56 katıdır. Bunun yanı sıra; Karakoçan ilçesi için hesaplanan 14,37 $\mu\text{R/saat}$ 'lik ortalama BDT gama doz hızı değeri ise dünya ortalaması değerinin yaklaşık olarak 2,6 katıdır [29].

Karakoçan ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırasıyla 1072 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 155 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'dır. Karakoçan'da yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlarından 1072 μSv , ev dışı gama ışınlarından ise 155 μSv olmak üzere toplam 1227 μSv 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalamasının yaklaşık olarak 3 katıdır. Sonuç olarak, Karakoçan'da yaşayan bir insanın gama ışınlarından dolaylı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalamasının olduğa üstündedir [55].

6.2.10 Palu İlçesi Radyoaktivite Seviyeleri

Palu ilçe merkezi; su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyon değeri Tablo 6.28'de karşılaştırılmal olarak verilmiştir.

Tablo 6.28 incelendiğinde; merkez şebeke suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin $0,1070 \pm 0,0055 \text{ Bq/L}$, toplam beta radyoaktivitesinin ise $0,0355 \pm 0,0024 \text{ Bq/L}$ olduğu görülür. Bu değerler WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen st sınır değerinden büyüktür. Toplam beta radyoaktivite seviyesi ise WHO ve TSE tarafından tavsiye ve müsaade edilen st sınır değerinin altındadır. Bunun yanı sıra; Murat Nehri yüzey suyu örneğinin $0,1386 \pm 0,0057 \text{ Bq/L}$ değeri ile toplam alfa radyoaktivite seviyesine, $0,0542 \pm 0,0022 \text{ Bq/L}$ değeri ile ise toplam beta radyoaktivite seviyesine sahip olduğu görülür. Bu rneğin toplam alfa radyoaktivite seviyesi WHO ve TSE tarafından kabul edilmiş olan standartların üstünde, toplam beta radyoaktivite seviyesi ise bu standartların altında kalmaktadır [53, 54].

Tablo 6.28: Palu ilçe merkezi su, toprak ve hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ile evlerdeki ortalama radon gazı konsantrasyonu.

Materyal	rnek Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi	Toplam Beta Radyoaktivitesi	^{222}Rn
Su (Bq/L)	Merkez şebeke Suyu	$0,1070 \pm 0,0055$	$0,0355 \pm 0,0024$	---
Yüzey Suyu (Bq/L)	Murat Nehri	$0,1386 \pm 0,0057$	$0,0542 \pm 0,0022$	---
Toprak (Bq/kg)	Merkez Toprağı	$396,0 \pm 20,0$	$62,1 \pm 12,7$	---
Sediment (Bq/kg)	Murat Nehri Sedimenti	$495,5 \pm 20,6$	$85,1 \pm 11,4$	---
Hava (Bq/m ³)	Merkez Hava rneği	$1,6464 \times 10^{-3}$	$2,8314 \times 10^{-3}$	80

^{222}Rn (Bq/m³): Bina içi ortalama radon konsantrasyonu.

Tablo 6.28 incelendiğinde, yüzey suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine nazaran yüksek değerde olduğu görülür. Bunun temel sebebi; suların, uranyum serisi çekirdeklerin başlıca taşınma ortamı olmasıdır. Bunun yanı sıra, bu yüzey suyu örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine göre çok daha yüksek değerde olmasının sebebi ise büyük olasılıkla doğrultu ve eğim atımlı DAF'ın nehrin hemen altından geçmesinden kaynaklanmaktadır [1].

Tablo 6.28 incelendiğinde; merkez toprağı örneğinin $396,0 \pm 20,0$ Bq/kg toplam alfa radyoaktivitesine, $62,1 \pm 12,7$ Bq/kg toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür. Bölgenin toprak yapısı irdelendiğinde; kum, kil, killi şist ve mil ağırlıklı kuvaterner (genç) alüvyonlu toprakların yoğun olduğu dikkat çeker [81]. Merkez toprağı örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine göre çok daha yüksek değerde olması yüksek olasılıkla toprakların kum, kil, killi şist ve mil ağırlıklı olmasına bağlanabilir [26]. Bunlara ek olarak; Murat Nehri sediment örneğinin $495,5 \pm 20,6$ Bq/kg toplam alfa radyoaktivitesine, $85,1 \pm 11,4$ Bq/kg toplam beta radyoaktivitesine sahip olduğu görülür. Sediment örneğinin toprak örneklerine nazaran daha yüksek radyoaktivite seviyelerine sahip olmasının ana nedeni bu yapıların radyonüklitlerin önemli depolanma yerleri olmasındandır [1]. Bunun yanı sıra, bu sediment örneğinin toplam alfa radyoaktivitesinin toplam beta radyoaktivitesine göre çok daha yüksek değerde olmasının ana nedeni ise doğrultu ve eğim atımlı DAF'ın Murat Nehrinin hemen altından geçmesine bağlanabilir [47].

Tablo 6.28 irdelendiğinde, Palu ilçe merkezinde bulunan evlerdeki ortalama ^{222}Rn konsantrasyon değerinin 80 Bq/m^3 olduğu görülür [93]. Bu ortalama radon konsantrasyon değerine karşılık gelen YEDE $5,05 \times 10^6 \text{ nSv/yıl}$ 'dır. Palu ilçe merkezinde yaşayan bir insanın ev veya kapalı alanlarda bulunduğu süre içinde inşaat malzemelerinden kaynaklanan ^{222}Rn 'den 1 yılda solunum yoluyla aldığı radyasyon dozu $5,05 \text{ mSv}$ 'dir. Bunun yanı sıra, Palu ilçe merkezi için yüzeye yakın atmosferdeki toplam alfa radyoaktivite seviyesi $1,6464 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$, toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $2,8314 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ 'tür.

Tablo 6.29 ve Şekil 6.22 birlikte irdelendiğinde; 1 numaralı bölgede ardışık olarak yapılmış olan ölçümlerin Bİ, BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri sırası ile $12,91 \mu\text{R/saat}$, $8,23 \mu\text{R/saat}$ ve $9,40 \mu\text{R/saat}$ 'dir. Bİ gama doz hızının BDT gama doz hızına göre daha yüksek değerde olmasının sebebi, yapı malzemelerinin doz hızına yaptığı katkının toprak zeminin yaptığı katkıya göre daha fazla olmasındandır. BDA gama doz hızının BDT gama doz hızından küçük değerde olmasının ana nedeni ise topraktan yayınlanan gama radyasyonunun asfalt ya da beton zemin tarafından zırhlıktan kaynaklanmaktadır [1].

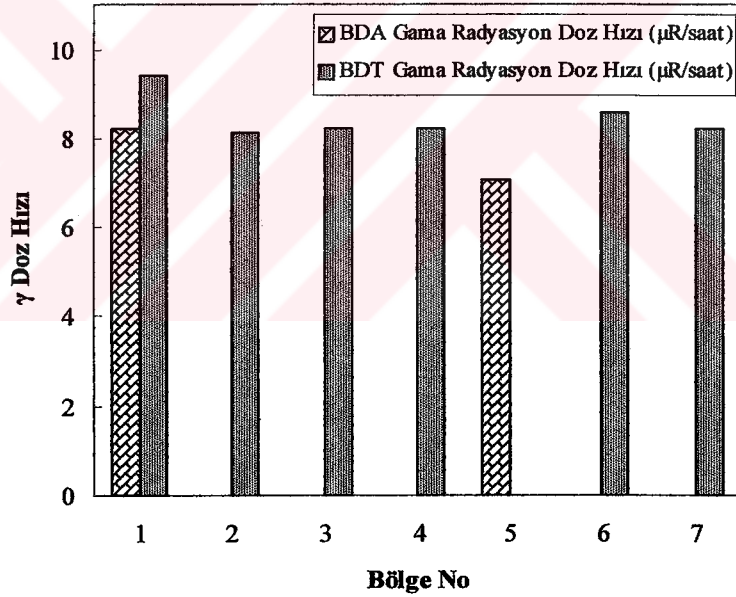
Tablo 6.29: Palu ilçesi gama radyasyon doz hızı değerleri.

Bölge No	Ölçüm Alınan Bölge	γ Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$)			γ Doz Hızı (nGy/saat)		
		Bİ	BDA	BDT	Bİ	BDA	BDT
1	Palu Merkez (Bina)	12,91	8,23	9,40	113,22	72,18	82,44
2	Palu Merkez (Murat Nehri Kıyısı)			8,11			71,13
3	Palu Merkez (Çekenbağları Civarı)			8,23			72,18
4	Endüstri Meslek Lisesi Civarı			8,23			72,18
5	Palu Merkez (Palu Belediyesi)		7,05			61,83	
6	Palu Devlet Hastanesi Civarı			8,58			75,25
7	Palu Merkez (Yenimahalle Mah.)			8,23			72,18
8	γ Doz Hızı Ortalaması		7,64	8,46		67,00	74,22

Bİ: Bina içi ölçümler.

BDA: Bina dışı asfalt (beton) zemin üzerindeki ölçümler.

BDT: Bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler.



Şekil 6.22: Palu ilçesi BDA ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri.

Tablo 6.29 ve Şekil 6.22 birlikte irdelendiğinde, BDT gama doz hızı değerlerinin 8,11 $\mu\text{R/saat}$ ile 9,40 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değişim gösterdiği görülür. Bu BDT gama doz hızı değerlerinin aritmetik ortalaması ise 8,46 $\mu\text{R/saat}$ 'dir. Palu ilçesi için ölçülen 12,91 $\mu\text{R/saat}$ 'lik Bİ gama doz hızı değeri dünya ortalaması değerinin 1,84 katıdır. Bunun yanı sıra, Palu ilçesi için hesaplanan 8,46 $\mu\text{R/saat}$ 'lik ortalama BDT gama doz hızı değeri ise dünya ortalaması değerinin 1,54 katıdır [29].

Palu ilçesinde yaşayan bir insanın gama radyasyonlarından ev içi ve ev dışı ışınlamalarla alacağı YEDE sırası ile 555 $\mu\text{Sv/yıl}$ ve 91 $\mu\text{Sv/yıl}$ 'dır. Palu'da yaşayan bir insan 1 yıl içerisinde ev içi gama ışınlardan 555 μSv , ev dışı gama ışınlardan ise 91 μSv olmak üzere toplam 646 μSv 'lik radyasyon dozu alır. Bu değer dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında, iki doz değeri arasındaki oran 1,58'dir. Sonuç olarak, Palu'da yaşayan bir insanın gama ışınlardan dolayı 1 yıl içerisinde almış olduğu radyasyon dozu dünya ortalamasının yukarisındadır [55].



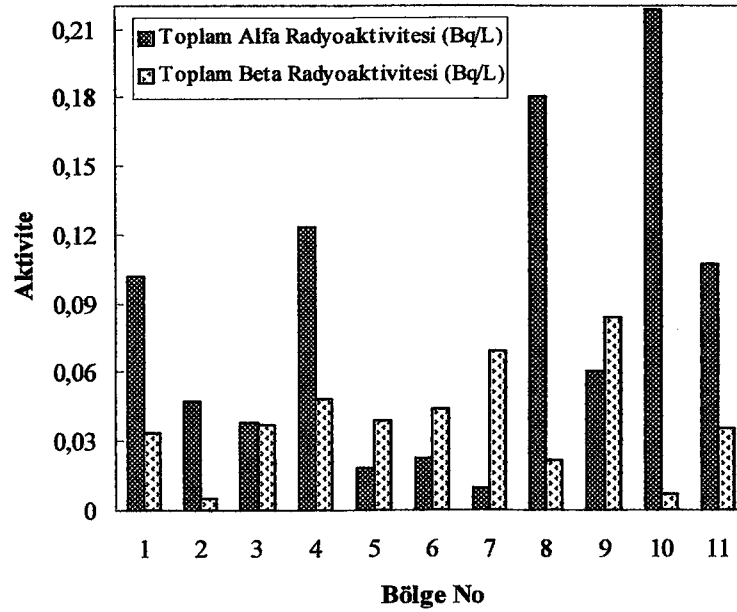
7. SONUÇLAR

7.1 Elazığ İli Su Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Elazığ il ve ilçe merkezlerine ait su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri Tablo 7.1 ve Şekil 7.1’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 7.1: Elazığ ili su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Bölge No	Bölge Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/L)
1	Elazığ Merkez	0,1016 ± 0,0033	0,0337 ± 0,0007
2	Sivrice Merkez	0,0478 ± 0,0058	0,0055 ± 0,0020
3	Maden Merkez	0,0381 ± 0,0054	0,0367 ± 0,0023
4	Baskil Merkez	0,1231 ± 0,0062	0,0486 ± 0,0022
5	Keban Merkez	0,0185 ± 0,0057	0,0386 ± 0,0019
6	Ağın Merkez	0,0225 ± 0,0077	0,0440 ± 0,0020
7	Alacakaya Merkez	0,0091 ± 0,0049	0,0693 ± 0,0031
8	Kovancılar Merkez	0,1803 ± 0,0076	0,0217 ± 0,0017
9	Arıcak Merkez	0,0605 ± 0,0045	0,0837 ± 0,0036
10	Karakoçan Merkez	0,2186 ± 0,0047	0,0065 ± 0,0024
11	Palu Merkez	0,1070 ± 0,0055	0,0355 ± 0,0024



Şekil 7.1: Elazığ ili su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Tablo 7.1 ve Şekil 7.1 birlikte incelendiğinde; en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $0,0091 \pm 0,0049$ Bq/L değeri ile 7 numaralı Alacakaya ilçe merkezi su örneğinde, en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise $0,2186 \pm 0,0047$ Bq/L değeri ile 10 numaralı Karakoçan ilçe merkezi su örneğinde olduğu görülür. Bunun yanı sıra; en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi $0,0055 \pm 0,0020$ Bq/L değeri ile 2 numaralı Sivrice ilçe merkezi su örneğinde, en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $0,0837 \pm 0,0036$ Bq/L değeri ile 9 numaralı Arıcak ilçe merkezi su örneğindedir.

Tablo 7.1 ve Şekil 7.1 birlikte irdelendiğinde; 1, 4, 8,10 ve 11 numaralı bölgeler olan Elazığ Merkez, Baskil Merkez, Kovancılar Merkez, Karakoçan Merkez ve Palu Merkez su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değeri $0,1$ Bq/L'den büyük değerde olduğu görülür. Diğer su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri ise bu standart değerlerin altındadır. Bunların yanı sıra, su örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin hiç birisi WHO tarafından tavsiye edilen ve TSE tarafından müsaade edilen üst sınır değeri 1 Bq/L'den büyük değerde değildir [53, 54].

En düşük ve en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyelerine sahip olan Alacakaya Merkez ve Karakoçan Merkez su örneklerinin alındığı bölgelerin jeolojik yapıları irdelendiğinde; Alacakaya bölgesinin denizaltı volkanizmasına bağlı olarak oluşan ofiyolitlerce (ultrabazik kayaçlar) zengin olduğu, Karakoçan bölgesinin ise volkanik kayaç (kuvaterner bazaltlar bakımından zengin) ağırlıklı olduğu görülür. Bunların yanı sıra en düşük ve en yüksek toplam beta radyoaktivitelerine sahip olan Sivrice Merkez ve Arıcak Merkez su örneklerinin alındığı bölgelerin jeolojik yapıları irdelendiğinde ise; Sivrice bölgesinin denizaltı volkanizmasına bağlı olarak oluşan ultrabazik kayaçlarca baskın olduğu, Arıcak bölgesinin ise büyük ölçüde volkanik ve tortul kayaçlardan meydana geldiği dikkati çeker. Özetle; en düşük toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ultrabazik kayaçlarca zengin olan bölgelerde, en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesi kuvaterner bazaltlar bakımından zengin volkanik kayaç ağırlıklı bölgede, en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi ise volkanik ve tortul kayaç ağırlıklı bölgede görülmüştür.

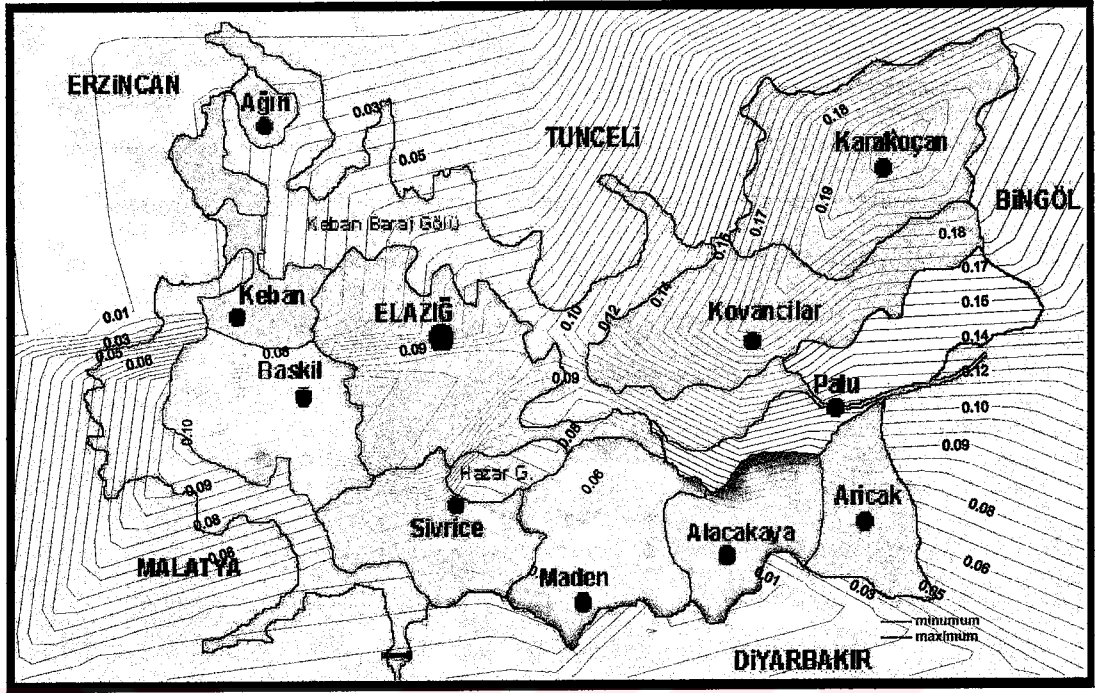
Tablo 7.1 ve Şekil 7.1 birlikte irdelendiğinde, su örneklerinin toplam alfa radyoaktivitelerinin toplam beta radyoaktivitelerine oranlarının $0,13$ ile $33,6$ arasındaki değerlerde değiştiği görülür. Bu oran; 5, 6, 7 ve 9 numaralı bölgeler olan Keban Merkez, Ağın Merkez, Alacakaya Merkez ve Arıcak Merkez su örneklerinde 1'den küçük olup $0,13$ ile $0,72$ değerleri arasında değişir. Diğer su örneklerinde ise bu oran 1'den büyüktür ve $1,04$ ile $33,6$ değerleri arasında değişim gösterir. Bunların yanı sıra; su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri $0,0091 \pm 0,0049$ Bq/L ile $0,2186 \pm 0,0047$ Bq/L değerleri arasında, toplam beta radyoaktivite seviyeleri ise $0,0055 \pm 0,0020$ Bq/L ile $0,0837 \pm 0,0036$ Bq/L değerleri arasında

dağılım sergiler. Su örneklerinin büyük bir kısmının yer altı orijinli olması; toplam alfa radyoaktivite seviyesinin dağılım aralığının, toplam beta radyoaktivite seviyesinin dağılım aralığından daha geniş olmasına sebebiyet verir. Çünkü yer altı suları radyonüklit ayrımını kolaylaştıran başlıca ortamlardır. Bu nedenle yer altı sularında çok değişik konsantrasyonlarda uranyum izotoplarına rastlamak mümkündür. Bunun aksine bütün toryum izotopları yer altı sularında her zaman çok düşük konsantrasyonlardadırlar [1].

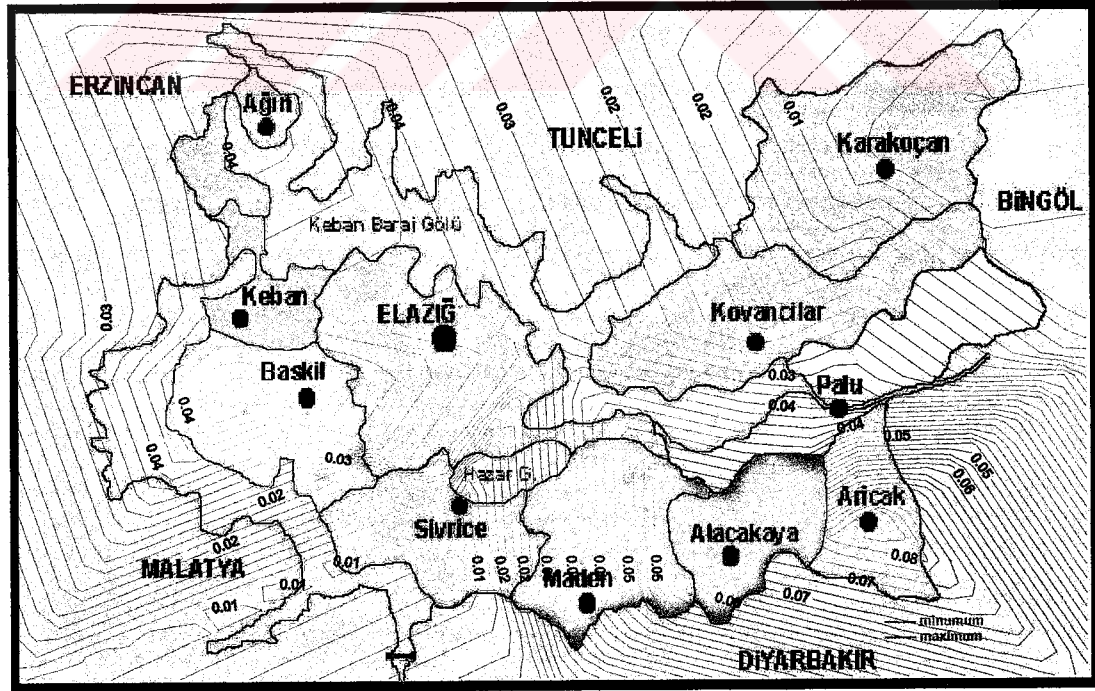
Elazığ ili su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritaları Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’de verilmiştir.

Şekil 7.2 irdelendiğinde; su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin Alacakaya ilçesi bölgesinde minimum değerli ($< 0,01$ Bq/L) radyasyon adacığı meydana getirdiğı, Karakoçan ilçesi bölgesinde ise maksimum değerli ($> 0,21$ Bq/L) radyasyon adacığı oluşturduğu görülür. Alacakaya ilçesinden Arıcak, Palu, Kovancılar ve Karakoçan ilçelerine doğru gidildikçe su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin artış gösterdiği rahatlıkla söylenebilir. Bunların yanı sıra, Baskil ilçesi bölgesinde maksimum değerde ($> 0,10$ Bq/L) ikinci bir radyasyon adacığı olduğu dikkatleri çeker. Baskil ilçesinden Keban ve Ağın ilçelerine doğru gidildikçe su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin büyük oranda düşme gösterdiği rahatlıkla ifade edilebilir. Ayrıca, Baskil ilçesinden Sivrice ilçesine doğru gidildikçe de toplam alfa radyoaktivite seviyelerinde bir düşüş söz konusudur. Bunların yanı sıra, Baskil ilçesinden Elazığ il merkezine doğru gidildikçe ise suların toplam alfa radyoaktivite seviyelerinde küçük oranda bir düşüş olduğu görülür.

Şekil 7.3 irdelendiğinde; su örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin Sivrice ilçesi bölgesinde minimum değerli ($< 0,01$ Bq/L) radyasyon adacığı meydana getirdiğı, Arıcak ilçesi bölgesinde ise maksimum değerli ($> 0,08$ Bq/L) radyasyon adacığı oluşturduğu görülür. Arıcak ilçesinden Palu, Kovancılar ve Karakoçan ilçelerine doğru gidildikçe su örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düşme gösterdiği rahatlıkla söylenebilir. Bunun yanı sıra; Arıcak ilçesinden Alacakaya, Maden ve Sivrice ilçelerine doğru gidildikçe de suların toplam beta radyoaktivite seviyelerinde bir düşüş olduğu görülür. Bunlara ek olarak, Baskil ve Ağın bölgelerinde maksimum değerde ($> 0,04$ Bq/L) radyasyon adacıklarının olduğu dikkatleri çeker. Su örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri Baskil ilçesinden Keban ilçesine doğru gidildikçe azalma, Keban ilçesinden Ağın ilçesine doğru gidildikçe ise artma gösterir. Bunların yanı sıra; suların toplam beta radyoaktivite seviyeleri Baskil ilçesinden Sivrice ilçesine doğru gidildikçe büyük oranda, Elazığ il merkezine doğru gidildikçe ise küçük oranda bir azalma gösterir.



Şekil 7.2: Elazığ ili su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.



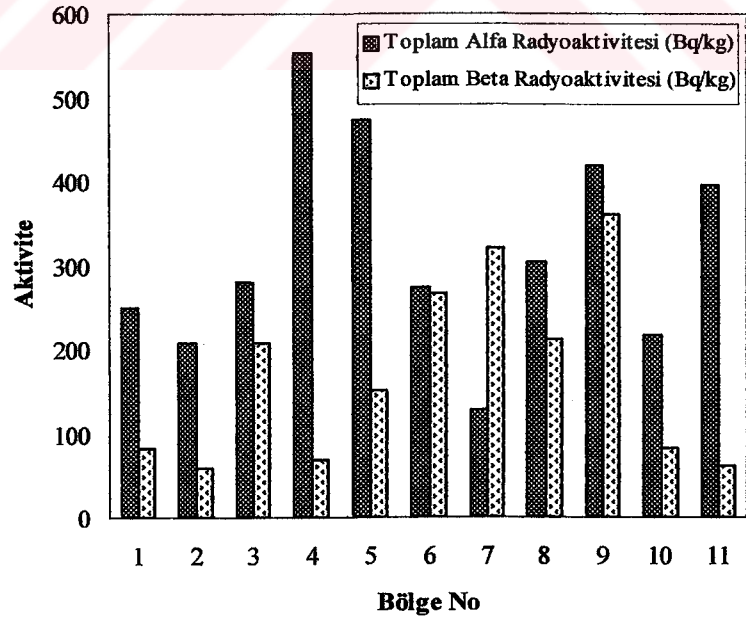
Şekil 7.3: Elazığ ili su örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.

7.2 Elazığ İli Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Elazığ il ve ilçe merkezlerine ait toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri Tablo 7.2 ve Şekil 7.4’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 7.2: Elazığ ili toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Bölge No	Bölge Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/kg)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/kg)
1	Elazığ Merkez	248,3 ± 5,5	83,3 ± 1,4
2	Sivrice Merkez	206,5 ± 22,5	58,8 ± 10,5
3	Maden Merkez	279,6 ± 18,0	206,6 ± 9,5
4	Baskil Merkez	551,8 ± 19,7	67,8 ± 11,3
5	Keban Merkez	474,0 ± 22,9	151,6 ± 14,3
6	Ağın Merkez	273,2 ± 17,0	265,5 ± 9,9
7	Alacakaya Merkez	126,7 ± 20,7	320,7 ± 12,2
8	Kovancılar Merkez	303,3 ± 19,5	211,9 ± 10,4
9	Arıcak Merkez	418,0 ± 18,5	360,3 ± 9,6
10	Karakoçan Merkez	215,3 ± 17,6	82,8 ± 7,6
11	Palu Merkez	396,0 ± 20,0	62,1 ± 12,7



Şekil 7.4: Elazığ ili toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Tablo 7.2 ve Şekil 7.4 birlikte incelendiğinde; $126,7 \pm 20,7$ Bq/kg değeri ile 7 numaralı bölge olan Alacakaya Merkez toprak örneğinin en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesine, $551,8 \pm 19,7$ Bq/kg değeri ile 4 numaralı bölge olan Baskil Merkez toprak örneğinin ise en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesine sahip olduğu görülür. Bunların yanı sıra; en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi $58,8 \pm 10,5$ Bq/kg değeri ile 2 numaralı bölge olan Sivrice Merkez toprak örneğinde, en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $360,3 \pm 9,6$ Bq/kg değeri ile 9 numaralı bölge olan Arıcak Merkez toprak örneğindedir.

En düşük ve en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyelerine sahip olan Alacakaya Merkez ve Baskil Merkez toprak örneklerinin alındığı bölgelerin jeolojik yapıları irdelendiğinde; Alacakaya bölgesinin denizaltı volkanizmasına bağlı olarak oluşan ofiyolitlerce (ultrabazik kayaçlar) zengin olduğu, Baskil bölgesinin ise granit bakımından zengin volkanik kayaç ağırlıklı olduğu görülür. Bunların yanı sıra en düşük ve en yüksek toplam beta radyoaktivitelerine sahip olan Sivrice Merkez ve Arıcak Merkez toprak örneklerinin alındığı bölgelerin jeolojik yapıları irdelendiğinde ise; Sivrice bölgesinin denizaltı volkanizmasına bağlı olarak oluşan ultrabazik kayaçlarca baskın olduğu, Arıcak bölgesinin ise büyük ölçüde volkanik ve tortul kayaçlardan meydana geldiği dikkati çeker. Özetle; en düşük toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri ultrabazik kayaçlarca zengin olan bölgelerde, en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesi granit bakımından zengin volkanik kayaç ağırlıklı bölgede, en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi ise volkanik ve tortul kayaç ağırlıklı bölgede görülmüştür.

Elazığ ili toprak örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritaları Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da verilmiştir.

Şekil 7.5 irdelendiğinde; toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin Alacakaya ilçesi bölgesinde minimum değerli (< 150 Bq/kg) radyasyon adacığı meydana getirdiği, Baskil ilçesi bölgesinde ise maksimum değerli (> 510 Bq/kg) radyasyon adacığı oluşturduğu görülür. Baskil ilçesinden Keban, Ağın, Sivrice ilçeleri ile Elazığ il merkezine doğru gidildikçe toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin azalma gösterdiği rahatlıkla ifade edilebilir. Bunun yanı sıra, Alacakaya ilçesinden Maden ve Arıcak ilçelerine doğru gidildikçe ise toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinde artma olduğu görülür. Bunlara ek olarak; maksimum değerli (> 390 Bq/kg) ikinci bir radyasyon adacığının mevcut olduğu Arıcak ilçesinden Palu, Kovancılar ve Karakoçan ilçelerine doğru gidildikçe ise toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin düşme gösterdiği rahatlıkla söylenebilir.

Şekil 7.6 irdelendiğinde; toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin Arıcak (> 340 Bq/kg), Alacakaya (> 310 Bq/kg) ve Ağın (> 250 Bq/kg) bölgelerinde maksimum değerli üç radyasyon adacığı oluşturduğu dikkatleri çeker. Arıcak ilçesinden Palu ilçesine doğru

gidildikçe toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinde büyük bir düşme olduğu görülür. Alacakaya ilçesinden Maden ve Sivrice ilçelerine doğru gidildikçe ise toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin azalma gösterdiği rahatlıkla söylenebilir. Bunlara ek olarak, Ağın ilçesinden Keban ve Baskil ilçeleri ile Elazığ il merkezine doğru gidildikçe toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinde düşme görülür. Toplam beta radyoaktivite seviyelerindeki bu düşme eğilimi Kovancılar ve Karakoçan ilçelerine doğru gidildikçe de etkisini sürdürmektedir. Bunların yanı sıra; Baskil, Sivrice ve Palu ilçelerinde toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyeleri en düşük (< 70 Bq/kg) değerlerdedir.

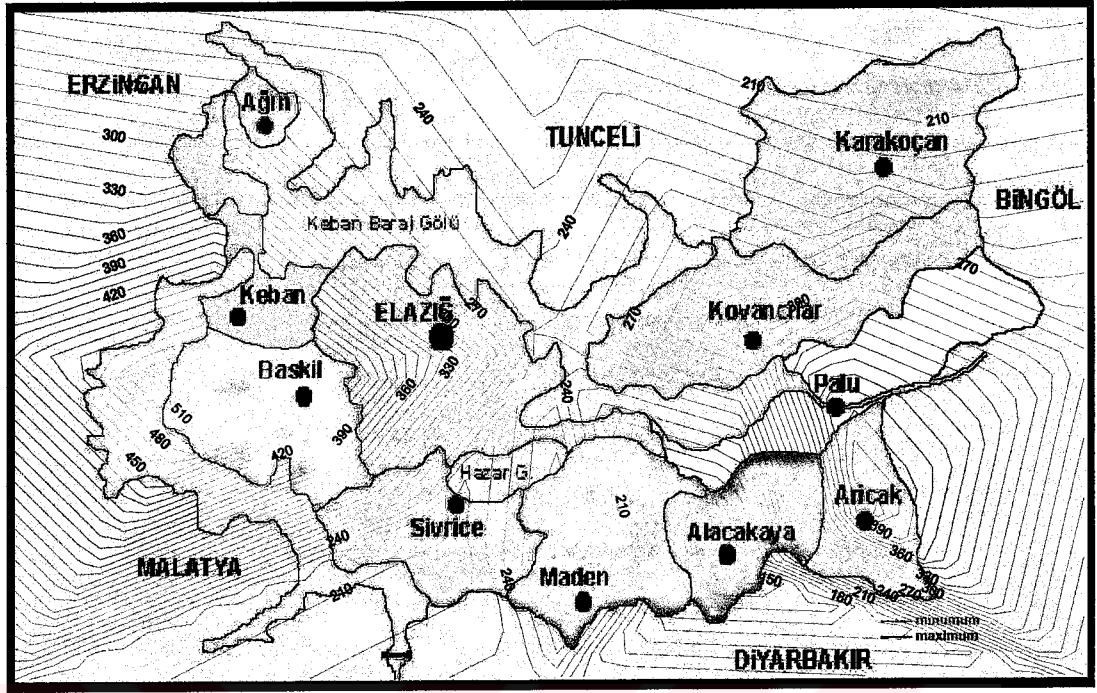
7.3 Elazığ İli Gıda Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Elazığ il merkezi ve merkez köylerine ait sebze ağırlıklı gıda örneklerinin radyoaktivite seviyelerinin dağılım aralıkları Tablo 7.3’de verilmiştir.

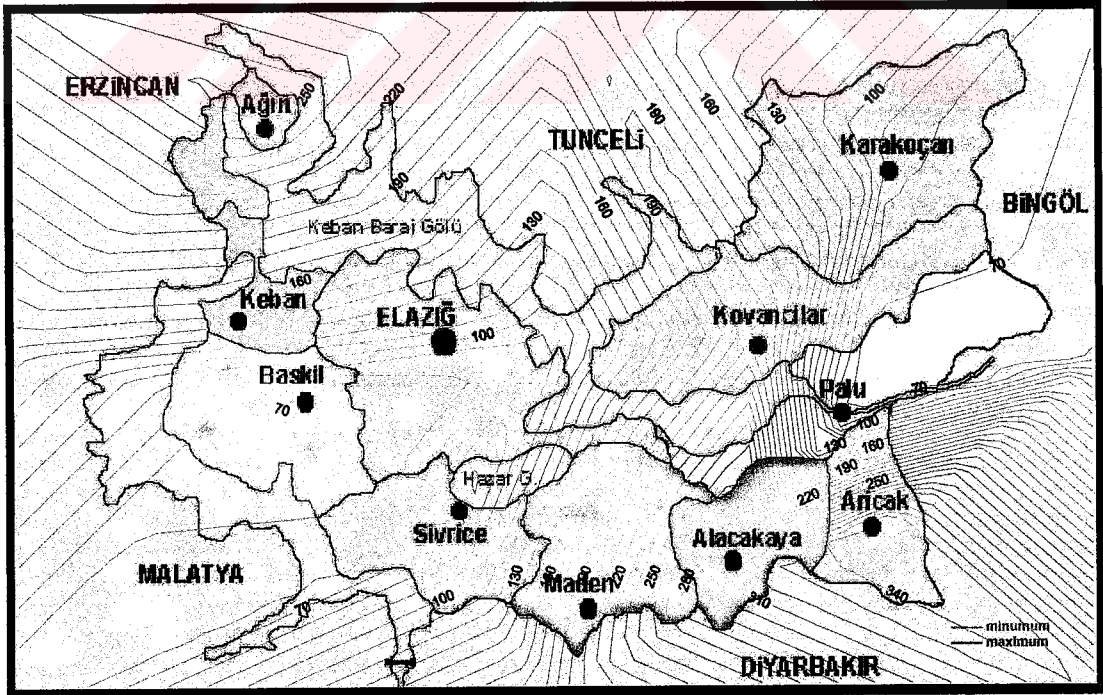
Tablo 7.3’de radyoaktivite dağılımları verilen gıda örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{226}Ra konsantrasyonlarının hepsi UNSCEAR tarafından kabul edilmiş olan referans aktivite değerlerini aşmaktadır [29]. Bununla birlikte; bu gıda örneklerinin ^{238}U , ^{232}Th ve ^{226}Ra konsantrasyonları literatür ile uyum içerisindedir [71, 87]. Literatürde, ^{137}Cs ve ^{40}K konsantrasyonları için referans aktivite değerlerine rastlanmamıştır. Bunun yanı sıra; gıda örneklerinin ^{40}K konsantrasyonları dünyanın değişik bölgelerinde 40-240 Bq/kg değerleri arasında algılanmıştır [90]. Gıda örneklerinin ^{137}Cs konsantrasyonları literatür ile uyum içerisindedir [88]. ^{40}K konsantrasyonları ise 40 Bq/kg’dan düşük değerdedir. Özetle, gıda örneklerinin radyoaktivite seviyeleri literatür ile uyumludur ve insan sağlığı açısından hiç bir tehlike arz etmemektedir.

Tablo 7.3: Elazığ ili gıda örneklerinin radyoaktivite seviyelerinin dağılımları.

Radyoaktivite Seviyesi	En Düşük Seviye (Bq/kg yaş)	En Yüksek Seviye (Bq/kg yaş)
Toplam α Radyoaktivitesi	$0,4702 \pm 0,1561$	$6,3692 \pm 0,6362$
Toplam β Radyoaktivitesi	$0,0710 \pm 0,0274$	$5,4761 \pm 0,2320$
^{238}U Konsantrasyonu	$0,1514 \pm 0,0435$	$2,5821 \pm 0,2046$
^{232}Th Konsantrasyonu	$0,3027 \pm 0,0539$	$0,9917 \pm 0,1107$
^{226}Ra Konsantrasyonu	$0,1088 \pm 0,0378$	$1,3813 \pm 0,1089$
^{40}K Konsantrasyonu	$3,4132 \pm 0,4645$	$29,2969 \pm 2,5006$
^{137}Cs Konsantrasyonu	$0,0478 \pm 0,0115$	$1,4620 \pm 0,0826$



Şekil 7.5: Elazığ ili toprak örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.



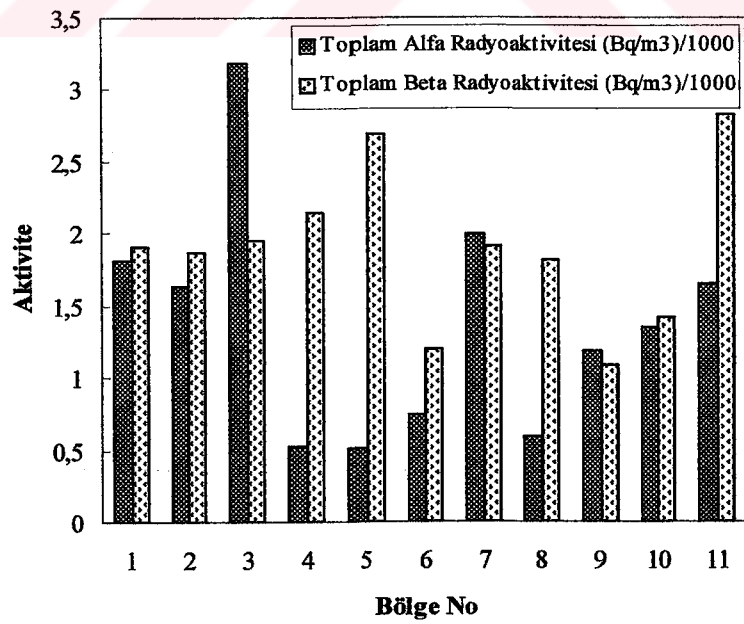
Şekil 7.6: Elazığ ili toprak örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.

7.4 Elazığ İli Hava Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Elazığ il ve ilçe merkezlerinde yüzeye yakın atmosferde ölçülen toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri Tablo 7.4 ve Şekil 7.7’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 7.4: Elazığ ili hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

Bölge No	Bölge Adı	Toplam Alfa Radyoaktivitesi (Bq/m ³)	Toplam Beta Radyoaktivitesi (Bq/m ³)
1	Elazığ Merkez	1,8071x10 ⁻³	1,9073x10 ⁻³
2	Sivrice Merkez	1,6356x10 ⁻³	1,8663x10 ⁻³
3	Maden Merkez	3,1859x10 ⁻³	1,9539x10 ⁻³
4	Baskil Merkez	5,2460x10 ⁻⁴	2,1467x10 ⁻³
5	Keban Merkez	5,1427x10 ⁻⁴	2,6925x10 ⁻³
6	Ağın Merkez	7,3460x10 ⁻⁴	1,1968x10 ⁻³
7	Alacakaya Merkez	1,9880x10 ⁻³	1,9128x10 ⁻³
8	Kovancılar Merkez	5,8833x10 ⁻⁴	1,8151x10 ⁻³
9	Arıcak Merkez	1,1851x10 ⁻³	1,0836x10 ⁻³
10	Karakoçan Merkez	1,3513x10 ⁻³	1,4088x10 ⁻³
11	Palu Merkez	1,6464x10 ⁻³	2,8314x10 ⁻³



Şekil 7.7: Elazığ ili hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyeleri.

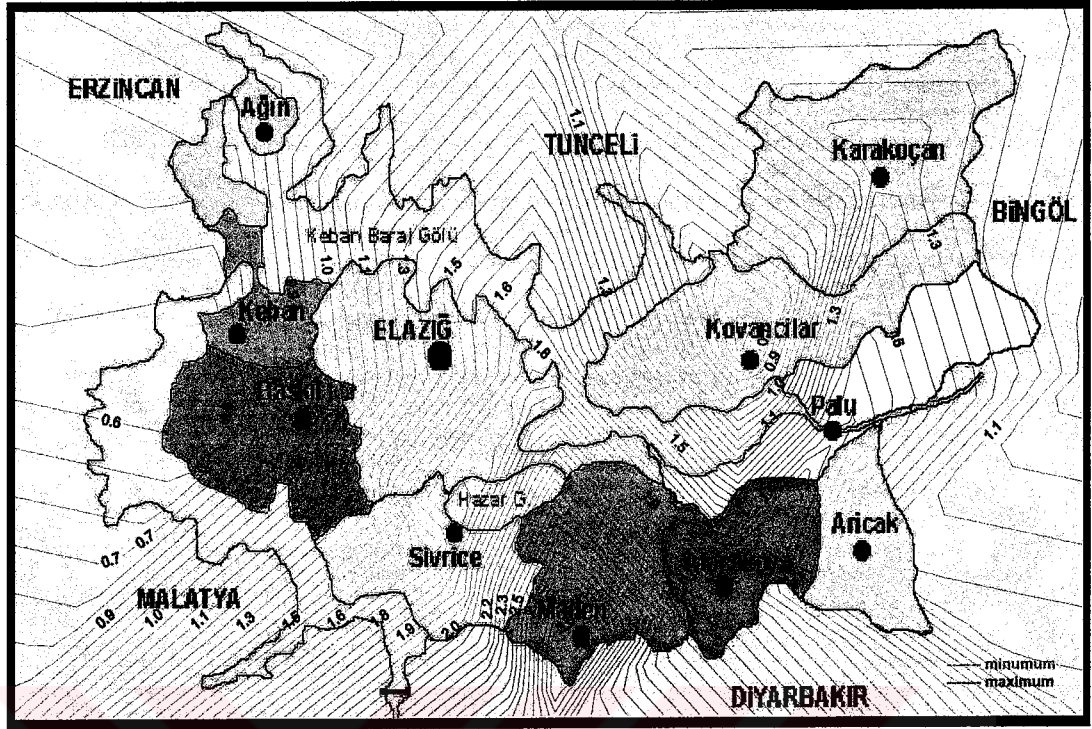
Tablo 7.4 ve Şekil 7.7 birlikte irdelendiğinde; en düşük toplam alfa radyoaktivite seviyesinin $5,1427 \times 10^{-4}$ Bq/m³ değeri ile 5 numaralı bölge olan Keban Merkez hava örneğinde, en yüksek toplam alfa radyoaktivite seviyesinin ise $3,1859 \times 10^{-3}$ Bq/m³ değeri ile 3 numaralı bölge olan Maden Merkez hava örneğinde olduğu görülür. Bunların yanı sıra; en düşük toplam beta radyoaktivite seviyesi $1,0836 \times 10^{-3}$ Bq/m³ değeri ile 9 numaralı bölge olan Arıcak Merkez hava örneğinde, en yüksek toplam beta radyoaktivite seviyesi ise $2,8314 \times 10^{-3}$ Bq/m³ değeri ile 11 numaralı bölge olan Palu Merkez hava örneğindedir. Bunlara ek olarak ölçülen radyoaktivite seviyelerinin hepsi müsaade edilen limitlerin altındadır [71].

Tablo 7.4 ve Şekil 7.7 birlikte irdelendiğinde, hava örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerine oranları 0,32 ile 1,63 değerleri arasında değişim gösterir. Bu oran; 3, 7 ve 9 numaralı bölgelerdeki hava örneklerinde 1'den büyüktür ve 1,04 ile 1,63 değerleri arasındadır. Diğer örneklerin hepsinde ise bu oran 1'den küçüktür ve 0,32 ile 0,96 değerleri arasında değişir.

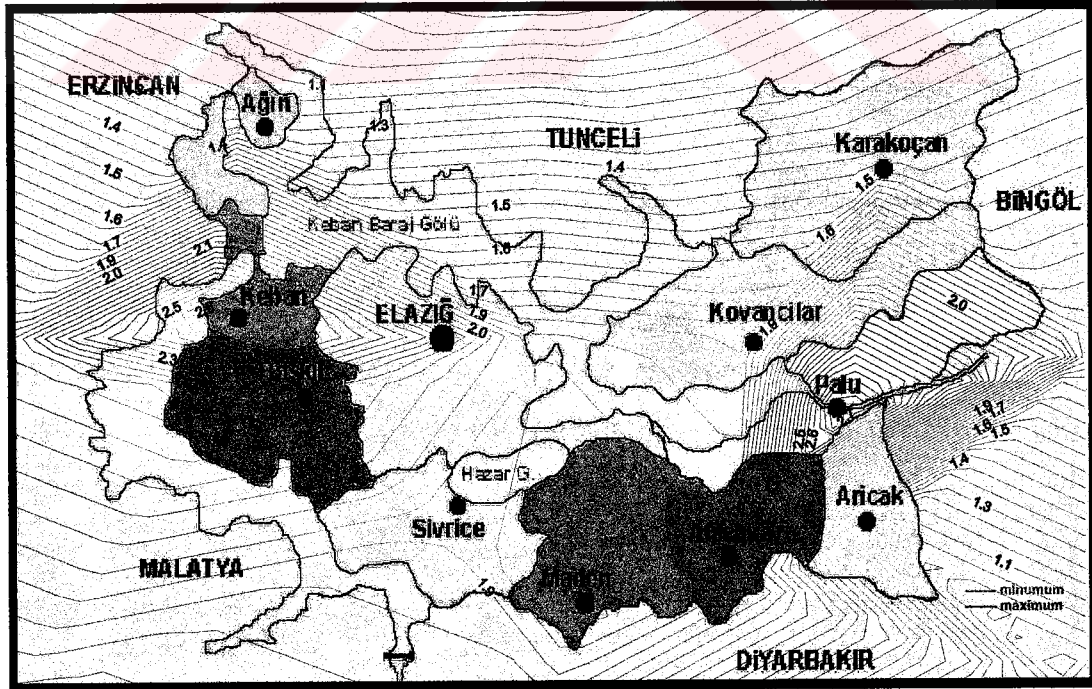
Elazığ ili hava örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritaları Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da verilmiştir.

Şekil 7.8 irdelendiğinde; Elazığ ili hava örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin Kovancılar ilçesi bölgesinde minimum değerli ($< 0,7 \times 10^{-3}$ Bq/m³) radyasyon adacığı meydana getirdiğı, Maden ilçesi bölgesinde ise maksimum değerli ($> 3,0 \times 10^{-3}$ Bq/m³) radyasyon adacığı oluşturduğu görülür. Hava örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyeleri; Maden ilçesinden Alacakaya ve Arıcak ile Sivrice ilçelerine doğru gidildikçe düşme, Kovancılar ilçesinden Palu ve Karakoçan ilçelerine doğru gidildikçe ise artma gösterir. Bunların yanı sıra, Keban ve Baskil ilçelerinde hava örnekleri en düşük ($< 0,6 \times 10^{-3}$ Bq/m³) toplam alfa radyoaktivite seviyelerine sahiptir. Keban ve Baskil ilçelerinden Elazığ il merkezi ve Sivrice ilçesine doğru gidildikçe hava örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin artış gösterdiği rahatlıkla söylenebilir.

Şekil 7.9 irdelendiğinde; Elazığ ili hava örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin Arıcak ilçesi bölgesinde minimum değerli ($< 1,1 \times 10^{-3}$ Bq/m³) radyasyon adacığı meydana getirdiğı, Palu ilçesi bölgesinde ise maksimum değerli ($> 2,7 \times 10^{-3}$ Bq/m³) radyasyon adacığı oluşturduğu görülür. Palu ilçesinden Kovancılar, Karakoçan ve Arıcak ilçelerine doğru gidildikçe hava örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinde bir azalma söz konusudur. Arıcak ilçesinden Palu, Alacakaya ve Maden ilçelerine doğru gidildikçe ise hava örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin artış gösterdiği dikkat çeker. Bunlara ek olarak; maksimum değerli ($> 2,6 \times 10^{-3}$ Bq/m³) ikinci bir radyasyon adacığı mevcut olan Keban ilçesinden Ağın, Baskil ve Sivrice ilçeleri ile Elazığ il merkezine doğru gidildikçe hava örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin azalma gösterdiği rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 7.8: Elazığ ili hava örneklerinin toplam alfa radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.



Şekil 7.9: Elazığ ili hava örneklerinin toplam beta radyoaktivite seviyelerinin düzey haritası.

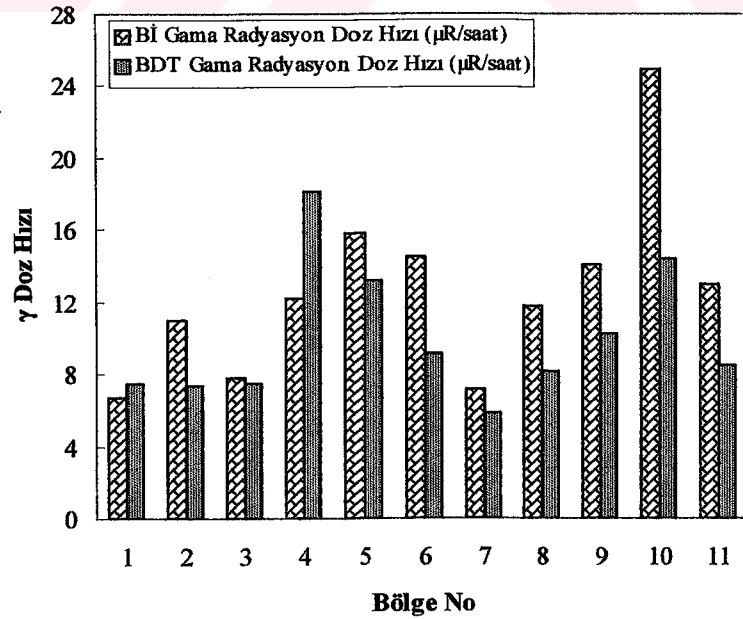
7.5 Elazığ İli Gama Radyasyon Doz Hızı Değerleri

Elazığ il ve ilçe merkezlerine ait ortalama gama radyasyon doz hızı değerleri ve yıllık etkin doz eşdeğerine katkıları Tablo 7.5, Şekil 7.10 ve 7.11’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

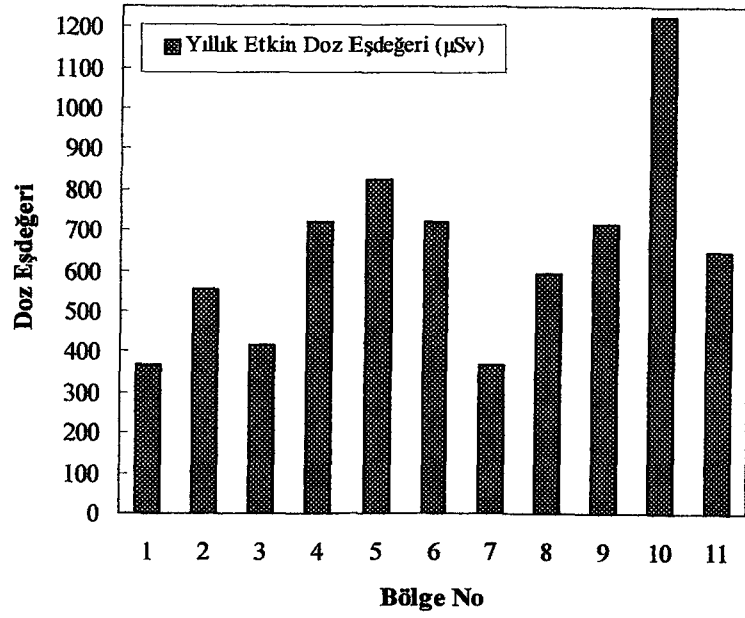
Tablo 7.5: Elazığ ili ortalama gama radyasyon doz hızı değerleri ve yıllık etkin doz eşdeğeri.

Bölge No	Bölge Adı	γ Radyasyon Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$) (Bİ)	γ Radyasyon Doz Hızı ($\mu\text{R/saat}$) (BDT)	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (μSv) (YEDE)
1	Elazığ Merkez	6,71	7,42	369
2	Sivrice Merkez	10,99	7,31	552
3	Maden Merkez	7,79	7,42	415
4	Baskil Merkez	12,16	18,17	719
5	Keban Merkez	15,86	13,17	824
6	Ağın Merkez	14,51	9,16	723
7	Alacakaya Merkez	7,12	5,86	369
8	Kovancılar Merkez	11,75	8,18	594
9	Arıcak Merkez	14,10	10,22	717
10	Karakoçan Merkez	24,91	14,37	1227
11	Palu Merkez	12,91	8,46	646

Bİ ve BDT: Bina içi ve bina dışı toprak zemin üzerindeki ölçümler. YEDE: Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.



Şekil 7.10: Elazığ ili ortalama gama radyasyon doz hızı değerleri.



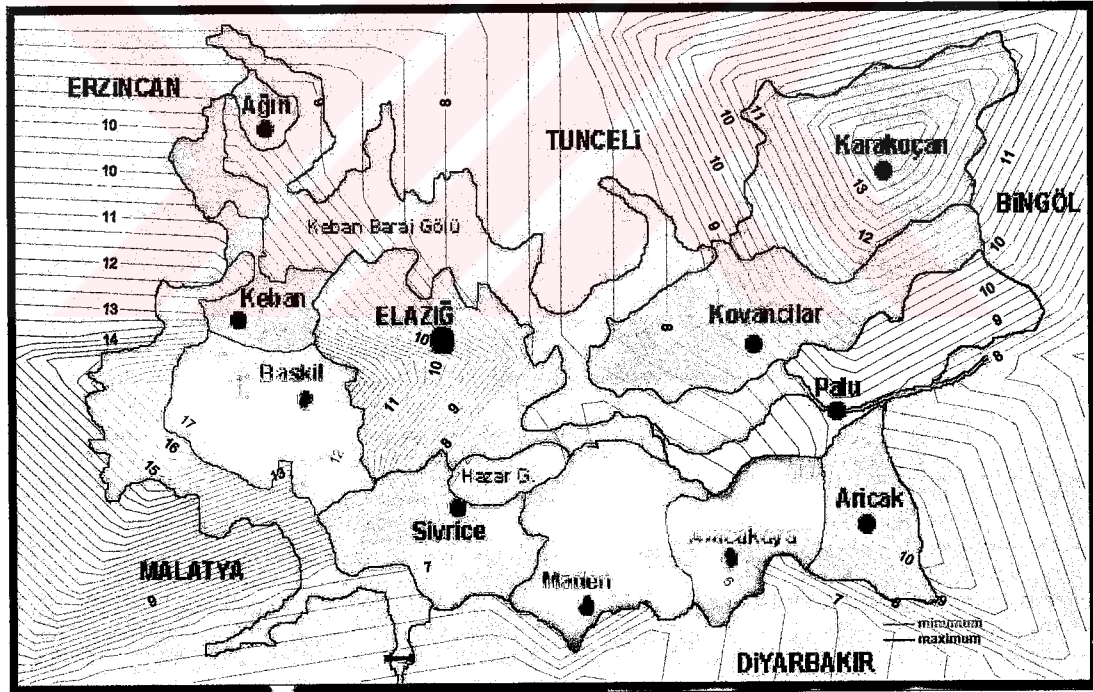
Şekil 7.11: Elazığ ili ortalama gama radyasyon doz hızı değerlerinin yıllık etkin doz eşdeğerine katkıları.

Tablo 7.5 ve Şekil 7.10 birlikte irdelendiğinde; bina içi (Bİ) ortalama gama radyasyon doz hızlarının 6,71 $\mu\text{R/saat}$ ile 24,91 $\mu\text{R/saat}$ değerleri arasında değiştiği görülür. En düşük Bİ gama doz hızı 6,71 $\mu\text{R/saat}$ değeri ile 1 numaralı bölge olan Elazığ il merkezinde, en yüksek Bİ gama doz hızı ise 24,91 $\mu\text{R/saat}$ değeri ile 10 numaralı bölge olan Karakoçan ilçe merkezinde ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, bina dışı toprak (BDT) ortalama gama radyasyon doz hızı değerleri 5,86 $\mu\text{R/saat}$ ile 18,17 $\mu\text{R/saat}$ arasında değişim gösterir. En düşük BDT gama doz hızı değeri 5,86 $\mu\text{R/saat}$ ile 7 numaralı bölge olan Alacakaya ilçe merkezinde, en yüksek BDT gama doz hızı değeri ise 18,17 $\mu\text{R/saat}$ ile 4 numaralı bölge olan Baskil ilçe merkezinde ölçülmüştür. Tablo 7.5’deki Bİ ve BDT gama radyasyon doz hızı değerleri UNSCEAR tarafından 7,0 $\mu\text{R/saat}$ (ev içi) ve 5,5 $\mu\text{R/saat}$ (ev dışı) olarak belirlenmiş olan gama doz hızı değerlerinin dünya ortalamaları ile karşılaştırıldığında ise; sadece 1 numaralı bölgede (Elazığ il merkezi) ölçülen Bİ gama doz hızının bu standartlar altında kaldığı görülür [29].

Tablo 7.5 ve Şekil 7.11 birlikte irdelendiğinde, gama radyasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerine katkılarının 369 μSv ile 1227 μSv arasında değişim gösterdiği görülür. Gama radyasyonlarından yıllık etkin doz eşdeğerine en küçük katkı 369 μSv ile 1 ve 7 numaralı bölgeler olan Elazığ il merkezi ve Alacakaya ilçe merkezinden, en büyük katkı ise 1227 μSv ile 10 numaralı bölge olan Karakoçan ilçe merkezinden gelmektedir. Gama radyasyonları için hesaplanmış olan yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri dünya ortalaması olan 410 μSv ile karşılaştırıldığında ise; sadece Elazığ il merkezi (1 numaralı bölge) ve Alacakaya ilçe merkezi

(7 numaralı bölge) için hesaplanmış olan değerlerin dünya ortalamasının altında kaldığı görülür [55].

Elazığ ili gama radyasyon doz hızı değerlerinin düzey haritası Şekil 7.12’de verilmiştir. Şekil 7.12 irdelendiğinde; Baskil ($> 17 \mu\text{R/saat}$), Karakoçan ($> 13 \mu\text{R/saat}$) ve Arıcak ($> 10 \mu\text{R/saat}$) bölgelerinde maksimum değerli radyasyon adacıklarının mevcut olduğu dikkat çeker. Baskil ilçesinden Keban, Ağın ve Sivrice ilçeleri ile Elazığ il merkezine doğru gidildikçe gama radyasyon doz hızı değerlerinin azaldığı görülür. Bunun yanı sıra, Karakoçan ilçesinden Kovancılar ve Palu ilçelerine doğru gidildikçe de gama radyasyon doz hızı değerlerinde bir azalma olduğu rahatlıkla söylenebilir. Maden, Alacakaya ve Palu ilçelerinden Arıcak ilçesine doğru gidildikçe ise gama radyasyon doz hızlarında artma görülür. Bunlara ek olarak; en düşük gama radyasyon doz hızı değerlerinin ($< 8 \mu\text{R/saat}$) Sivrice, Maden ve Alacakaya ilçelerinde olduğu rahatlıkla ifade edilebilir.



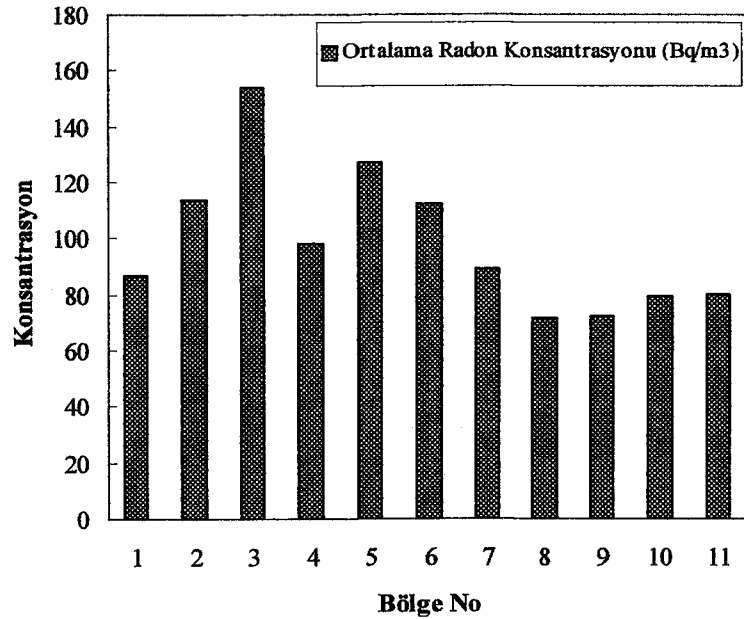
7.6 Elazığ İli Ev İçi Radon (^{222}Rn) Gazı Konsantrasyonları

Elazığ il merkezi ve ilçelerindeki ev içi ^{222}Rn gazı konsantrasyon değerlerinin aritmetik ortalamaları ve yıllık etkin doz eşdeğerine katkıları Tablo 7.6, Şekil 7.13 ve 7.14’de verilmiştir.

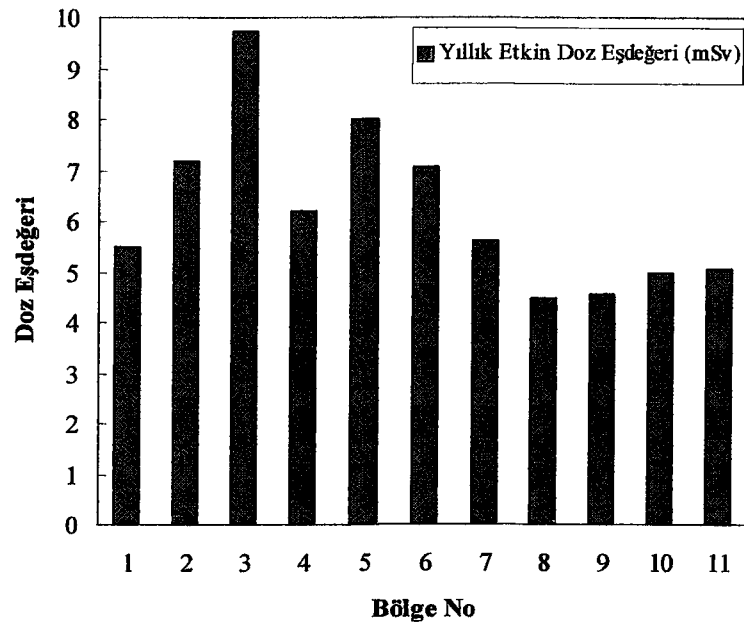
Tablo 7.6: Elazığ ili ev içi ortalama ^{222}Rn konsantrasyonları ve yıllık etkin doz eşdeğeri [93].

Bölge No	Bölge Adı	Ortalama Radon Gazı Konsantrasyonu (Bq/m^3)	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv)
1	Elazığ Merkez	87	5,49
2	Sivrice Merkez	114	7,19
3	Maden Merkez	154	9,71
4	Baskil Merkez	98	6,18
5	Keban Merkez	127	8,01
6	Ağın Merkez	112	7,06
7	Alacakaya Merkez	89	5,61
8	Kovancılar Merkez	71	4,48
9	Arıcak Merkez	72	4,54
10	Karakoçan Merkez	79	4,98
11	Palu Merkez	80	5,05

YEDE: Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri.



Şekil 7.13: Elazığ ili ev içi ortalama ^{222}Rn konsantrasyonları [93].



Şekil 7.14: Elazığ ili ortalama ^{222}Rn konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerine katkıları.

Tablo 7.6 ve Şekil 7.13 birlikte irdelendiğinde, ev içi ortalama radon gazı konsantrasyonlarının 71 Bq/m^3 ile 154 Bq/m^3 değerleri arasında değişim sergilediği görülür. En düşük ev içi ortalama radon konsantrasyonu 71 Bq/m^3 değeri ile 8 numaralı bölge olan Kovancılar ilçe merkezinde, en yüksek ev içi ortalama radon konsantrasyonu ise 154 Bq/m^3 değeri ile 3 numaralı bölge olan Maden ilçe merkezinde tespit edilmiştir. Uluslar arası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) tarafından evlerdeki radon konsantrasyonu için tavsiye edilmiş olan değer yılda $200\text{-}600 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. Bu komisyon tarafından evlerdeki ^{222}Rn konsantrasyonları için belirlenmiş olan sınırlar; halkın yaşadığı eski evlerde 400 Bq/m^3 , yeni evlerde ise 200 Bq/m^3 'tür [9, 10]. Tablo 7.6'daki ev içi ortalama ^{222}Rn konsantrasyonlarının hiçbirisi ICRP tarafından tavsiye edilmiş bu değerleri aşmamaktadır.

Tablo 7.6 ve Şekil 7.14 birlikte irdelendiğinde, ev içi ortalama radon konsantrasyonlarının yıllık etkin doz eşdeğerine katkılarının $4,48 \text{ mSv}$ ile $9,71 \text{ mSv}$ arasında değiştiği görülür. Ev içi ortalama radon gazı konsantrasyonlarından yıllık etkin doz eşdeğerine en küçük katkı $4,48 \text{ mSv}$ ile 8 numaralı bölge olan Kovancılar ilçe merkezinden, en büyük katkı ise $9,71 \text{ mSv}$ ile 3 numaralı bölge olan Maden ilçe merkezinden gelmektedir. Ev içi ortalama radon gazı konsantrasyonları için hesaplanmış olan yıllık etkin doz eşdeğeri değerleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından tüm vücut için 5 mSv olarak kabul edilmiş yıllık eşdeğer doz sınırı ile karşılaştırıldığında ise; sadece 8, 9 ve 10 numaralı bölgeler olan Kovancılar, Arıcak ve Karakoçan ilçe merkezlerindeki değerlerin bu sınırların altında kaldığı görülür. Bunun yanı sıra; 1, 7 ve 11 numaralı bölgeler olan Elazığ il merkezi, Alacakaya ve Palu

KAYNAKLAR

1. Valkovic, V., 2000, Radioactivity in the Environment. Elsevier Science B.V., Netherlands.
2. Al-Jundi, J., 2002, Population Doses from Terrestrial Gamma Exposure in Areas Near to Old Phosphate Mine, Russaifa, Jordan, Radiation Measurements, 35, 23-28.
3. Beck, H.L., 1982, The Natural Radiation Environment, II. USERDA Conf.-720805-P2, The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields, 101-104.
4. NCRP, 1977, Environmental Radiation Measurement. National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report No: 50, Washington.
5. Buchli, R., Burkart, W., 1989, Correlation Among The Terrestrial γ Radiation, The Indoor Air ^{222}Rn , and The Tap Water ^{222}Rn in Switzerland, Health Physics, 57, 5, 753-759.
6. NCRP, 1976, Environmental Radiation Measurement. National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report 50, Washington.
7. Sharaf, M., Mansy, M., El Sayed, A., Abbas, E., 1999, Natural Radioactivity and Radon Exhalation Rates in Building Materials Used in Egypt, Radiation Measurements, 31, 491-495.
8. Farid, M.S., 1997, Indoor and Soil Radon Measurements in Swaziland by Track Detectors, J. Environ. Radioactivity, 34, 1, 29-36.
9. ICRP, 1993, Protection Against Radon at Home and at Work. International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 65, Pergamon Press, Oxford.
10. ICRP, 1987, Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters. International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 50, Pergamon Press, Oxford.

11. Bilge, A.N., 1985, Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması. ÇNAEM Matbaası, İstanbul.
12. TAEK, 2002, Radyasyon Korunması Kurs Notları. ÇNAEM Matbaası, İstanbul.
13. Krane, K.S., 1988, Introductory Nuclear Physics. John Wiley and Sons, Singapore.
14. Yaşar, S., 1988, Temel Radyasyon Korunması, Standartları ve Uygulamaları. ÇNAEM Matbaası, İstanbul.
15. Göksel, A.S., 1973, Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması. İTÜ Matbaası, İstanbul.
16. Melissinos, A.C., 1966, Experiments in Modern Physics. Academic Press, New York.
17. Canberra Industries Inc., 1997, Product Catalog. Ed. Ten, Meriden, Connecticut 06450, USA.
18. Knoll, G.F., 1979, Radiation Detection and Measurement. John Wiley and Sons, New York.
19. Anderson, H.L., 1989, A Physicist's Desk Reference. American Institute of Physics, New York.
20. Leo, W.R., 1987, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
21. Durrani, A.S. and Ilic, R., 1997, Radon Measurements by Etched Track Detectors. Application in Radiation Protection, Earth Science and the Environment, World Scientific, Singapore.
22. Henshaw, D.L., Amin, S., Clapham, V.M., Fowler, P.H., Webster, D.J., Thompson, A. and O'Sullivan, D., 1982, The Form of the CR-39 Response Curve and its Effects on Particle Resolution and Areas of Applications, In Proc. 11th Int. Conf. on Solid State

- Nuclear Track Detectors (eds. P.H. Fowler and V.H. Clapham), 1981, Pergamon Press, Oxford, 115-118.
23. Beaumont, S.P., 1992, Gallium Arsenide Microstrip Detectors for Charged Particles. CERN-PPE, 92-51.
 24. Taylor, J.M., 1963, Semiconductor Particle Detectors. Butter Worth, New York.
 25. Tykva, R. and Sabol, J, 1995, Low Level Environmental Radioactivity. Technomic Publication, USA.
 26. Liden, K. and Holm, E., 1985, Measurement and Dosimetry of Radioactivity in the Environment, in the Dosimetry of Ionizing Radiation, Vol. 1, K.R. Kase, B.E. Bjarngard and F.H. Attix, eds., Academic Press, Orlando.
 27. Holm, E., Samuelson, C. and Peterson, R.B.R., 1981, Natural Radioactivity around a Prospected Uranium Mining Site in a Subarctic Environment, in Natural Radiation Environment, K.G. Vohra et al., eds., Wiley Eastern, New Delhi.
 28. Myrick, T.E., Berven B.A. and Haywood F.F., 1983, Determination of Concentrations of Selected Radionuclides in Surface Soil in the USA, Health Phys., 45, 631.
 29. UNSCEAR, 1993, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York.
 30. NCRP, 1987, Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report No: 93, Washington.
 31. NCRP, 1989 a, Control of Radon in Houses. National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report No: 103, Washington.

32. Gascoyne, M., 1982, Geochemistry of the actinides and their daughters, In: M. Ivanovich and R.S. Harmon (ed.), Uranium Series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems, Oxford University Press, Oxford.
33. Rogers, J.J.W. and Adams, J.A.S., 1969, Uranium, p. 92-A-1-92-G-7, In: K.H. Wedepohl (ed.), Handbook of Geochemistry, Springer –Verlag, New York.
34. Kiss, J.J., Dejong, E. and Bettany, J.R., 1988, The distribution of natural radionuclides in native soils of southern Saskatchewan, Canada, J. Environ. Qual., 17, 437-444.
35. Talibudeen, O., 1964, Natural Radioactivity in soils, Soils and Fertilizers, 27, 347-359.
36. Hansen, R.O. and Huntington, G.L., 1969, Thorium movements in morainal soils of the high Sierra, California, Soil Sci., 108, 257-265.
37. Hansen, R.O. and Stout, P.R., 1968, Isotopic distribution of uranium in soils, Soil Sci., 105, 44-50.
38. Preston, A., Jeffries, D.F. and Dutton, J.W.R., 1967, Water Research 1, 475-496.
39. Cambray, R.S., Lewis, G.N.J., Playford, K. and Eakins, J.D., 1983, Radioactive Fall-out in Air and Rain: Results to the end of 1982. AERE R10859, HMSO.
40. Scott, M.R., 1982, The chemistry of U- and Th-series nuclides in rivers, In: M. Ivanovich and R.S. Harmon (ed.), Uranium series disequilibrium: applications to the environmental problems, Oxford Univ. Press, Oxford, 181-201.
41. Duenas, C., Fernandez, M.C., Gonzalez, J.A., Carretero, J. and Perez, M., 1993, Ra-226 ve Ra-224 in Waters in Spain, Toxicological and Environmental Chemistry, 39, 1-2, 71-79.
42. Gilkeson, R.H., and Cowart, J.B., 1987, Radium, Radon and Uranium Isotopes in Ground Water from Cambrian Ordovician Sandstone Aquifer in Illinois, In: Proceedings of the NWWA Conference on Radon in Ground Water (Chelsea, MI: Lewis Publishers), Inc., 403-422.

43. King, P., Michel, J. and Moore, W.S., 1982, Groundwater Geochemistry of Ra-228, Ra-226 and Rn-222, *Cosmochim. Acta*, 46, 1173-1182.
44. Cothorn, C.R., 1987, Estimating the Health Risks of Radon in Drinking Water, *J. Am. Water Works Assoc.*, 49, 4, 153-158.
45. Olguin, M.T., Segovia, N., Tamez, E., Alcantara, M. and Bulbulian, S., 1993, Radon Concentration Levels in Groundwater from Toluca, Mexico, *The Science of the Total Environment*, 130, 43-50.
46. Krauskopf, K.B., 1979, *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill, New York.
47. Banks, D., Royset, O., Strand, T. and Skarphagen, H., 1995, Radioelement (U, Th, Rn) Concentrations in Norwegian Bedrock Groundwaters, *Environmental Geology*, 25, 165-180.
48. Drever, J.I., 1988, *The Geochemistry of Natural Waters*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey.
49. Ball, T.K., Cameron, D.G., Colman, T.B. and Roberts, P.D., 1991, Behaviour of Radon in the Geological Environment, *Q.J. Eng. Geol.*, 24, 169-182.
50. Zikovsky, L. and Chah, B., 1990, The Lognormal Distribution of Radon in Groundwater, *Ground Water*, 28, 5, 673-676.
51. Nelson, P.H., Rachiele, R. and Smith, A., 1983, Transport of Radon in Flowing Boreholes at Stripa, *J. Geophys Res* 88, Sweden, 2395-2405.
52. Tuncer, S. ve Tuğrul, B., 1991, Marmara Bölgesi İçme Sularında Radyoaktivite Seviyeleri Tayini, *III. Ulusal Medikal Fizik Kongresi*, 267-272.
53. WHO, 1993, *Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations*, Vol. 1, 2nd Ed., World Health Organization, Geneva.
54. ITS, 2003, *Institution of Turkish Standards. Annual Progress Report*.

55. UNSCEAR, 1988, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York.
56. FAO, 1960, Radioactive Materials in Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
57. Russel, R.S., 1966, Radioisotopes in Biosphere. The University of Minnesota Press. 1960, The Passage of Fissions Products Through Food Chains, Chap. 19.
58. Fisenne, I.M., 1982, Radon-222 Measurements at Chester, in EML-383, New York.
59. Fisenne, I.M., 1984, Radon-222 Measurements at Chester, in EML-422, New York.
60. UNSCEAR, 1982, Annex A Terrestrial Sources of Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR Report No: 82, United Nations, New York.
61. Heller H. and Poulheim K.F., eds., 1992, Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 19, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
62. Ramachandran, T.V. and Subba Ramu, M.C., 1994, Variation of equilibrium factor F between radon and its short-lived decay products in an indoor atmosphere, Nucl. Geophys., 8, 499-503.
63. Sabol, J., Weng, P.S. and Mao, C.H., 1993, Water-Borne Radon in Some Hot Springs in Taiwan, Nucl. Sci. J., 30, 2, 131-136.
64. Kathren, R.L., 1984, Radioactivity in the Environment: Sources, Distribution, and Surveillance. Harwood Academic Publishers, New York.
65. Staplex, 2003, Staplex Air Sampler Owner's Manual. The Staplex Company, Air Sampler Division, 777 Fifth Avenue, Brooklyn, New York 11232-1695, USA.

66. Littlemore Scientific Engineering (ELSEC), 1994, 7286 Low Level Alpha Counter User Manual. Railway Lane, Littlemore, Oxford OX4 4PZ, UK.
67. NE Technology Limited, 1994, Instruction Manual for Windowless Scintillation Counter (Type 6001). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
68. NE Technology Limited, 1994, Instruction Manual for Lead Castle (Type 710C). Bath Road, Beenham, Reading, Berkshire RG7 5PR, England.
69. NE Technology Limited, 1991, Instruction Manual for Gamma Assay Scintillation Counter (Type 8F8/DM1-2). Sighthill, Edinburgh EH11 4BY, Scotland, UK.
70. Eberline, 1995, ASP-2/2e Portable Radiation Monitor Technical Manual. PO Box 2108, Santa Fe.
71. Karahan, G., 1997, İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
72. Tuncer, S., 1991, Çeşitli İçme Sularında Radyoaktivite Seviyelerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
73. Alkan, H., 1989, İstanbul İçme Suyu Kaynaklarının Kirlilik Analizleri, Radyoaktivite ve Ağır Metal Kirliliği, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
74. Dogru, M. and Canbazoglu, C., 2002, Natural Gross Radioactivity in Various Surface and Tap Waters in Elazığ, Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 254, 2, 379-382.
75. Canbazoglu, C., Sahin, S., Dogru, M., 2000, Determination of The Gross Alpha and The Gross Beta Radioactivity Concentration in Some Medicinal Plants, Balkan Physics Letters, Special Issue, 59-63.
76. Dogru, M., Canbazoglu, C., Sahin, S., 2002, Determination of The Gross Alpha and Beta Radioactivity in Kangal Curative Water, Sivas-Turkey, Balkan Physics Letters, 10, 3, 130-134.

77. Yu, K.N., Guan, Z.J., Stokes, M.J. and Young, E.C.M., 1994, A Preliminary Study on the Radon Concentrations in Water in Hong Kong and the Associated Health Effects, *Appl. Radiat. Isot.*, 45, 7, 809-810.
78. Lawrence, E., 1994, The Determination of Radon Levels in Water, *An Environmental Chemistry Exprement*, 71, 6, 521-523.
79. Canbazoglu, C., Dogru, M., Yalcin, M., Baykara, O. ve Kulahci, F., 2000, Elazığ İli İçme ve Kullanma Sularındaki Toplam Alfa ve Beta Radyoaktivite Seviyelerinin Belirlenmesi, *F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, 12, 2, 125-133.
80. Dogru, M., Akkurt, A., Şahin, S., Canbazoglu, C., 2002, Determination of ^{129}I and Gross Beta Radioactivity in Karaçalı (Elazığ) Drinking Water, *Balkan Physics Letters*, 10, 4, 183-186.
81. ELESKAV, 1997, Elazığ Projesi (2000'li Yıllara Hazırlık Çalışmaları). T.C. Elazığ Valiliği ELESKAV Yayınları No:4, Elazığ.
82. Kulahci, F., Dogru, M., Gulel, S., Canbazoglu, C. and Baykara, O., 2000, Determination of The Natural Radioactivity in Cement Produced in Elazığ Cement Factory, Türkiye, *Balkan Physics Letter, Special Issue*, 242-245.
83. Robertson, D.S., 1974, Basel Proterozoic units as fossil time markers and their use in uranium prospection in formation of uranium ore deposits, *Proceedings of Symposium, Athens, Intl. Atom. Energy Agency, Vienna*, 495-512.
84. Schulz, R.K., 1965, Soil Chemistry of Radionuclides, *Health Phys.*, 11, 1317-1324.
85. İnceöz, M., 1994, Harput (Elazığ) Yakın Kuzeyi ve Doğusunun Jeolojik Özellikleri, *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.
86. Cowart, J.B. and Burnett, W.C., 1994, The Distribution of Uranium and Thorium Decay-Series Radionuclides in the Environment-A Review, *J. Environ. Qual.*, 23, 651-662.

87. Ghiassi-Nejad, M., Beitollahi, M.M., Asefi, M., Reza-Nejad, F., 2003, Exposure to ^{226}Ra from Consumption of Vegetables in The High Level Natural Radiation Area of Ramsar-Iran, *Journal of Environmental Radioactivity*, 66, 215-225.
88. Badran, H.M., Sharshar, T., Elnimer, T., 2003, Levels of ^{137}Cs and ^{40}K in Edible Parts of Some Vegetables Consumed in Egypt, *Journal of Environmental Radioactivity*, 67, 181-190.
89. Shenber, M.A., 1997, Measurement of Natural Radioactivity Levels in Soil in Tropoli, *Appl. Radiat. Isot.*, 48, 1, 147-148.
90. Maul, P.R., O'Hara, J.P., 1989, Background Radioactivity in Environmental Materials, *Journal of Environmental Radioactivity*, 9, 265-280.
91. Roca, M., Vallejo, V., Roig, M., Tent, J., Vidal, M., Rauret, G., 1997, Prediction of ^{134}Cs and ^{85}Sr Crop Uptake Based on Properties, *J. Environ. Quantity*, 26, 1354-1362.
92. Knatko, V.A., Ageets, V.U., Shmigelskaya, I.V., Ivashkevich, I.I., 2000, Soil-to-Plant Transfer of ^{137}Cs Deposition and Soil Characteristics, *Journal of Environmental Radioactivity*, 48, 171-181.
93. ÇNAEM, 2002, Elazığ Yöresindeki Evlerde Radon Gazı Konsantrasyon Seviyelerinin Belirlenmesi, ÇANEM Sağlık Fiziği Bölümü İle Ortak Araştırma Projesi, İstanbul.
94. Selçuk, A.B., 1996, Elazığ ve Yöresindeki Evlerde Radon Gazı Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
95. Jönsson, G., 1988, Indoor ^{222}Rn Measurements in Sweden with the Solid-State Nuclear Track Detector Technique, *Health Phys.*, 54, 271-281.
96. Othman, I., Raja, G., Hushari, M. and Sawaf, A., 1997, Variation of Radon Concentration in Different Sites in Syrian Typical Houses, *Radiation Measurements*, 28, 1-6, 721-724.

97. Karahan, G., Bayulken, A., 2000, Assessment of Gamma Dose Rates Around İstanbul (Turkey), *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, 213-221.
98. Tzortzis, M., Tsertos, H., Christofides, S., Christodoulides, G., 2003, Gamma-ray Measurements of Naturally Occurring Radioactive Samples from Cyprus Characteristic Geological Rocks, *Radiation Measurements*, 37, 221-229.
99. Cothorn, C.R. and Lappenbusch, W.L., 1986, Drinking Water Contribution to Natural Background Radiation, *Healthy Phys.*, 50, 33-45.
100. Aksoy, E., 1993, Elazığ Batı ve Güneyinin Genel Jeolojik Özellikleri, *Doğa Türk Yerbilimleri Dergisi*, Sayı: 2, 113-123.
101. Kathren, R.L., 1998, NORM Sources and Their Origins, *Appl. Radiat. Isot.*, 49, 3, 149-168.
102. Tonbul, S., 1985, Kuzova-Hasandağı ve Çevresinin (Elazığ Batısı) Fiziki Coğrafyası, Doktora Tezi, F.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
103. Çelebi, N., 1995, Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
104. Özdemir, M.A., 1989, Kovancılar Ovası ve Yakın Çevresinin Genel ve Uygulamalı Jeomorfolojisi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Sivas'ın Zara ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adana'nın Yumurtalık ilçesinde tamamladı. 1992 yılında Lisans öğrenimine başladığı Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1996 yılında mezun oldu. 1996-1998 yılları arasında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

