

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**TRABZON İLİNİN VE ŞEBİNKARAHİSAR İLÇESİNİN DOĞAL
RADYOAKTİVİTE DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ VE YILLIK ETKİN DOZ
EŞDEĞERLERİ**

DOKTORA TEZİ

Aslı KURNAZ

**EYLÜL 2009
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**TRABZON İLİNİN VE ŞEBİNKARAHİSAR İLÇESİNİN DOĞAL
RADYOAKTİVİTE DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ VE YILLIK ETKİN DOZ
EŞDEĞERLERİ**

Aslı KURNAZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor (Fizik)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 03.09.2009

Tezin Savunma Tarihi : 18.09.2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. N. Turan OKUMUŞOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Cüneyt ŞEN

Jüri Üyesi : Doç. Dr. A. Hakan YILMAZ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

Trabzon ilinin ve Şebinkarahisar ilçesinin gama radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlandı.

Tez çalışmam boyunca karşılaştığım bütün güçlüklerin aşılmasında beni yönlendiren, her türlü desteği ve imkanı sağlayarak değerli bilgilerinden yararlandığım, saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU'na en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU'na, lisansüstü eğitimim boyunca öğrencisi olduğum tüm KTÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyelerine, Jeoloji Mühendisliği Öğretim üyelerinden Prof. Dr. Cemil YILMAZ ve Yrd. Doç. Dr. Ali VAN'a, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretim üyelerinden Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU ve ekibine teşekkür ederim.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Dr. Nevzat DAMLA'ya, Arş. Gör. Y. Özkan YEŞİLBAG'a ve Ferhan ÖZDERYA'ya teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan Radon dedektörlerinin analizi ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi)'de yapıldı. Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi'nde yaptığım çalışmalarda yardımlarından dolayı başta Dr. Nilgün ÇELEBİ olmak üzere tüm kurum çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım süresince maddi ve manevi destekleriyle daima yanımda bulunan ve bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan aileme ve özellikle eşim Mehmet Altan KURNAZ'a en içten saygı ve sevgilerimi sunuyorum.

Ayrıca bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2007.111.01.5 nolu proje ile desteklenmiştir, desteklerinden dolayı K.T.Ü.Rektörlüğü'ne ve arazi çalışmaları sırasında araç tahsis edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Genel Sekreter Prof. Dr. Cüneyt ŞEN'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Aslı KURNAZ
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IX
SUMMARY.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XIX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Radyoaktivite	9
1.3. Radyoaktif Bozunma Şekilleri.....	11
1.3.1. Alfa Bozunması.....	12
1.3.2. Beta Bozunması.....	13
1.3.3. Gama Bozunması	17
1.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu	18
1.4.1. Radyoaktif Numunenin Yarı Ömrü ve Ortalama Ömrü.....	19
1.4.2. Peşpeşe Bozunma Kanunu	22
1.4.2.1. Geçici Denge	25
1.4.2.2. Sürekli Denge	25
1.5. Doğal Radyoaktivite ve Doğal Radyasyon Kaynakları	26
1.5.1. Kozmik Radyasyonlar	29
1.5.2. Karasal Radyasyonlar	29
1.5.2.1. Toprak ve Kayalardaki Radyoaktivite.....	34
1.5.2.2. Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite.....	35
1.5.2.3. Radon.....	35
1.6. Yapay Radyoaktivite ve Yapay Radyasyon Kaynakları	38
1.7. Radyasyon Dozu ve Ölçüm Birimleri.....	39
1.7.1. Radyoaktivite Birimleri.....	40
1.7.2. Işınlama Birimi.....	40

1.7.3.	Soğurulan Doz Birimi	41
1.7.4.	Eşdeğer Doz Birimi	41
1.8.	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)	42
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	43
2.1.	Trabzon ve Şebinkarahisar'ın Jeolojik Yapısı	43
2.1.1.	Trabzon İlinin Jeolojik Yapısı	43
2.1.2.	Şebinkarahisar İlçesinin Jeolojik Yapısı	46
2.2.	Toprak ve Kaya Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizleri	48
2.2.1.	Arazi Çalışmaları	48
2.2.2.	Örneklerin Analize Hazırlanması	49
2.2.3.	Deneysel Sistem	49
2.2.3.1.	Deneysel Yöntem	52
2.2.3.1.1.	Enerji Kalibrasyonu	52
2.2.3.1.2.	Verim Kalibrasyonu	53
2.2.4.	Spektrum Analizi	54
2.2.4.1.	Aktivite Hesabı	55
2.3.	Ev İçi Radon Konsantrasyonları	56
2.3.1.	Radon Dozimetrelerinin Evlere Dağıtımı	56
2.3.2.	Radon Dozimetrelerinin Analizi	57
2.3.2.1.	Deneysel Sistem ve Ölçüm İşlemleri	58
2.4.	Havadaki Radyoaktivite Ölçümleri	59
2.4.1.	Deneysel Sistem	59
2.4.2.	Deneysel Yöntem	60
2.4.2.1.	Enerji Kalibrasyonu ve Spektrum Analizi	60
2.5.	Radyometrik Haritaların Oluşturulması	62
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	63
3.1.	Trabzon İli ve Çevresinin Analiz Sonuçları	63
3.1.1.	Trabzon İl Merkezi Analiz Sonuçları	63
3.1.1.1.	Trabzon İl Merkezi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	63
3.1.1.2.	Trabzon İl Merkezinde Bina İçi -Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	66
3.1.1.3.	Trabzon İl Merkezindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	69
3.1.1.4.	Trabzon İl Merkezinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	72

3.1.2.	Akçaabat İlçesi Analiz Sonuçları	75
3.1.2.1.	Akçaabat İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	75
3.1.2.2.	Akçaabat İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	77
3.1.2.3.	Akçaabat İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	81
3.1.2.4.	Akçaabat İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	82
3.1.3.	Araklı İlçesi Analiz Sonuçları	85
3.1.3.1.	Araklı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	85
3.1.3.2.	Araklı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	88
3.1.3.3.	Araklı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	91
3.1.4.	Arsin İlçesi Analiz Sonuçları	93
3.1.4.1.	Arsin İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	93
3.1.4.2.	Arsin İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	96
3.1.4.3.	Arsin İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	99
3.1.5.	Beşikdüzü İlçesi Analiz Sonuçları	101
3.1.5.1.	Beşikdüzü İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	101
3.1.5.2.	Beşikdüzü İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	104
3.1.5.3.	Beşikdüzü İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	107
3.1.5.4.	Beşikdüzü İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	109
3.1.6.	Çarşıbaşı İlçesi Analiz Sonuçları	110
3.1.6.1.	Çarşıbaşı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	110
3.1.6.2.	Çarşıbaşı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	112
3.1.6.3.	Çarşıbaşı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	115
3.1.7.	Çaykara İlçesi Analiz Sonuçları	117
3.1.7.1.	Çaykara İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	117
3.1.7.2.	Çaykara İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	118

3.1.7.3.	Çaykara İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	121
3.1.8.	Dernekpazarı İlçesi Analiz Sonuçları.....	123
3.1.8.1.	Dernekpazarı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	123
3.1.8.2.	Dernekpazarı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	125
3.1.8.3.	Dernekpazarı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	128
3.1.9.	Düzköy İlçesi Analiz Sonuçları.....	130
3.1.9.1.	Düzköy İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	130
3.1.9.2.	Düzköy İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	132
3.1.9.3.	Düzköy İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	135
3.1.10.	Hayrat İlçesi Analiz Sonuçları	137
3.1.10.1.	Hayrat İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	137
3.1.10.2.	Hayrat İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	139
3.1.10.3.	Hayrat İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	142
3.1.11.	Köprübaşı İlçesi Analiz Sonuçları.....	144
3.1.11.1.	Köprübaşı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	144
3.1.11.2.	Köprübaşı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	146
3.1.11.3.	Köprübaşı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	148
3.1.12.	Maçka İlçesi Analiz Sonuçları	150
3.1.12.1.	Maçka İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	150
3.1.12.2.	Maçka İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	153
3.1.12.3.	Maçka İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	156
3.1.12.4.	Maçka İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	158
3.1.13.	Of İlçesi Analiz Sonuçları	160
3.1.13.1.	Of İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	160
3.1.13.2.	Of İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	163

3.1.13.3.	Of İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	166
3.1.13.4.	Of İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	167
3.1.14.	Sürmene İlçesi Analiz Sonuçları	170
3.1.14.1.	Sürmene İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	170
3.1.14.2.	Sürmene İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	173
3.1.14.3.	Sürmene İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	175
3.1.14.4.	Sürmene İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	177
3.1.15.	Şalpazarı İlçesi Analiz Sonuçları	179
3.1.15.1.	Şalpazarı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	179
3.1.15.2.	Şalpazarı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	182
3.1.15.3.	Şalpazarı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	184
3.1.16.	Tonya İlçesi Analiz Sonuçları	186
3.1.16.1.	Tonya İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	186
3.1.16.2.	Tonya İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	188
3.1.16.3.	Tonya İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	191
3.1.16.4.	Tonya İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	193
3.1.17.	Vakfikebir İlçesi Analiz Sonuçları.....	195
3.1.17.1.	Vakfikebir İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	195
3.1.17.2.	Vakfikebir İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	197
3.1.17.3.	Vakfikebir İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	200
3.1.17.4.	Vakfikebir İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	201
3.1.18.	Yomra İlçesi Analiz Sonuçları	203
3.1.18.1.	Yomra İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	203
3.1.18.2.	Yomra İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	206

3.1.18.3.	Yomra İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri.....	207
3.1.18.4.	Yomra İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	209
3.2.	Şebinkarahisar İlçesinin Radyoaktivite Seviyeleri	212
3.2.1.	Şebinkarahisar İlçesi Toprak ve Kaya Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri	212
3.2.2.	Şebinkarahisar İlçesi Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	217
3.2.3.	Şebinkarahisar İlçesi NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları	218
3.2.4.	Şebinkarahisar Evlerindeki Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri	220
4.	SONUÇLAR	224
4.1.	Radyometrik Analiz Sonuçları.....	224
4.2.	Bina İçi ve Bina Dışı Gama Dozu Ölçüm Sonuçları	232
4.3.	Ev İçi Radon Konsantrasyonları	237
4.4.	NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçümler	243
5.	ÖNERİLER.....	246
6.	KAYNAKLAR	247
7.	EKLER.....	254
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Trabzon ili ve Şebinkarahisar (Giresun) ilçesinden toplanan toprak ve kaya örneklerinde doğal (^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyoaktivite konsantrasyonlarını belirlemek, soğurulan doz oranını ve yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak ve radyolojik tehlikeleri belirlemektir. Çalışma bölgelerinde karasal ve kozmik radyonüklitlerden gelen havadaki gama radyasyonunun detaylı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, ev içi radon seviyelerinin mevsimsel değişimi belirlenmiştir.

Trabzon ve Şebinkarahisar'ın toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, $42,51\pm 1,48$ Bq/kg, $35,47\pm 1,88$ Bq/kg, $437,89\pm 10,96$ Bq/kg ve $21,29\pm 0,99$ Bq/kg ve $129,82\pm 2,10$ Bq/kg, $123,96\pm 3,99$ Bq/kg, $914,27\pm 18,44$ Bq/kg ve $26,37\pm 0,70$ Bq/kg olarak bulunmuştur. Şebinkarahisar kaya örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla, $110,95\pm 1,94$ Bq/kg, $109,69\pm 4,20$ Bq/kg ve $828,65\pm 13,94$ Bq/kg olarak belirlenmiştir.

Çalışma bölgelerinde nükleer iz dedektörleri (CR-39) kullanılarak ev içi radon gazı araştırması yürütülmüştür. Trabzon ve Şebinkarahisar'da yıllık ortalama ev içi radon konsantrasyonları sırasıyla, $112,60$ Bq/m³ ve $158,09$ Bq/m³ olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada bina içi ve bina dışı soğurulan gama doz ölçümleri yapılmıştır. Her bir noktada, ölçümler yerden 1 m yükseklikten alınmıştır. Trabzon için ortalama ev dışı ve ev içi gama doz değerleri sırasıyla, $58,94$ nGy/s ve $324,76$ nGy/s olarak belirlenmiştir ve ayrıca Şebinkarahisar için ortalama dış gama dozu değeri $205,25$ nGy/s olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Radyoaktivite, Gama Dozları, Ev içi Radon, Etkin Doz, Trabzon, Şebinkarahisar

SUMMARY

Determination of Natural Radioactivity Levels and Annual Effective Dose Equivalents of Trabzon Province and Şebinkarahisar County

The objective of this study is to determine natural (^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radioactivity concentrations in soil and rock samples collected from surroundings Trabzon province and Şebinkarahisar county of Giresun, to calculate the absorbed dose rates and the annual effective dose equivalents and to assess the radiological hazards. The gamma radiation coming from terrestrial and cosmic radionuclides detailed measurements in air were performed in the studied areas. In addition, the seasonal variation of the indoor radon levels were determined.

The average activity concentrations of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in soil samples of Trabzon and Şebinkarahisar were found to be 42.51 ± 1.48 Bq/kg, 35.47 ± 1.88 Bq/kg, 437.89 ± 10.96 Bq/kg and 21.29 ± 0.99 Bq/kg and 129.82 ± 2.10 Bq/kg, 123.96 ± 3.99 Bq/kg, 914.27 ± 18.44 Bq/kg and 26.37 ± 0.70 Bq/kg, respectively. The average activity concentrations of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in rock samples of Şebinkarahisar were determined to be 110.95 ± 1.94 Bq/kg, 109.69 ± 4.20 Bq/kg and 828.65 ± 13.94 Bq/kg, respectively.

The indoor radon (^{222}Rn) survey was performed in study areas, using nuclear track detector (CR-39). The annual average indoor radon concentrations in Trabzon and Şebinkarahisar were found to be 112.60 Bq/m³ and 158.09 Bq/m³, respectively.

In the study areas, the indoor and outdoor absorbed gamma dose measurements were performed. At each spot, a reading was taken at 1 m above ground level. The average outdoor and indoor gamma dose values were ascertained to be 58.94 nGy/h and 324.76 nGy/h for Trabzon and also, the average outdoor gamma dose value was found to be 205.25 nGy/h for Şebinkarahisar.

Key Words: Radioactivity, Gamma Doses, Indoor Radon, Effective Dose, Trabzon, Şebinkarahisar

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çekirdeklerdeki proton sayılarının nötron sayılarına göre değişim grafiği.....	11
Şekil 2. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi	19
Şekil 3. Aktifliğin zamana göre değişimi	22
Şekil 4. Peşpeşe bozunma grafiği	24
Şekil 5. Doğal radyasyon kaynakları	28
Şekil 6. Doğal radyoaktif ^{238}U bozunma serisi.....	30
Şekil 7. Doğal radyoaktif ^{235}U bozunma serisi.....	31
Şekil 8. Doğal radyoaktif ^{232}Th bozunma serisi	32
Şekil 9. Neptinyum radyoaktif bozunma serisi.....	33
Şekil 10. Radon gazının oluşum süreci (URL-1).....	36
Şekil 11. Radon gazının bina içine giriş yolları.....	37
Şekil 12. Yapay radyasyon kaynakları	39
Şekil 13. Trabzon ili jeoloji haritası (MTA, 2002).....	45
Şekil 14. Şebinkarahisar ilçesinin jeolojik haritası (MTA, 2002)	47
Şekil 15. Gama spektrometre sisteminin blok şeması	50
Şekil 16. Enerji kalibrasyon eğrisi.....	53
Şekil 17. Verim - enerji eğrisi.....	54
Şekil 18. Toprak örneği için sayım-enerji spektrumu.....	56
Şekil 19. CR-39 radon dozimetresi	57
Şekil 20. Dedektör çipi ve kazıma diski	58
Şekil 21. Radosys ölçüm sistemi ve alfa izlerinin görüntüsü	58
Şekil 22. Inspector 1000 portatif dedektör.....	59
Şekil 23. Inspector 1000 toplam gama dozu ölçüm ekranı.....	60
Şekil 24. Maçka ilçesinden alınmış spektrum örneği	61
Şekil 25. Trabzon il merkezi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	66
Şekil 26. Trabzon il merkezi gama dozlarının dağılımı.....	68
Şekil 27. Trabzon il merkezi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı.....	72
Şekil 28. Trabzon il merkezi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	74
Şekil 29. Akçaabat ilçesi topraklarının radyoaktivite seviyeleri	77

Şekil 30. Akçaabat ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	80
Şekil 31. Akçaabat ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı.....	82
Şekil 32. Akçaabat ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	84
Şekil 33. Araklı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	87
Şekil 34. Araklı ilçesi gama dozlarının dağılımı	90
Şekil 35. Araklı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	92
Şekil 36. Arsin ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	95
Şekil 37. Arsin ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	98
Şekil 38. Arsin ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı.....	99
Şekil 39. Beşikdüzü ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	103
Şekil 40. Beşikdüzü ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	106
Şekil 41. Beşikdüzü ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı	108
Şekil 42. Beşikdüzü ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı.....	110
Şekil 43. Çarşıbaşı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	112
Şekil 44. Çarşıbaşı ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	114
Şekil 45. Çarşıbaşı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	116
Şekil 46. Çaykara ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	117
Şekil 47. Çaykara ilçesi gama dozlarının dağılımı	120
Şekil 48. Çaykara ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	122
Şekil 49. Dernekpazarı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri	125
Şekil 50. Dernekpazarı ilçesi gama dozlarının dağılımı	127
Şekil 51. Dernekpazarı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı.....	130
Şekil 52. Düzköy ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri	131
Şekil 53. Düzköy ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	134
Şekil 54. Düzköy ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı.....	136
Şekil 55. Hayrat ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	139
Şekil 56. Hayrat ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	141
Şekil 57. Hayrat ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı.....	143
Şekil 58. Köprübaşı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri	144
Şekil 59. Köprübaşı ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	148
Şekil 60. Köprübaşı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı.....	149
Şekil 61. Maçka ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	152
Şekil 62. Maçka ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	155
Şekil 63. Maçka ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı	158

Şekil 64. Maçka ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı.....	160
Şekil 65. Of ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	161
Şekil 66. Of ilçesi gama dozlarının dağılımı	165
Şekil 67. Of ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı.....	167
Şekil 68. Of ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	169
Şekil 69. Sürmene ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	172
Şekil 70. Sürmene ilçesi gama dozlarının dağılımı	175
Şekil 71. Sürmene ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı.....	177
Şekil 72. Sürmene ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	178
Şekil 73. Şalpazarı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	181
Şekil 74. Şalpazarı ilçesi gama dozlarının dağılımı.....	183
Şekil 75. Şalpazarı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	185
Şekil 76. Tonya ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	186
Şekil 77. Tonya ilçesi gama dozlarının dağılımı	190
Şekil 78. Tonya ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı.....	191
Şekil 79. Tonya ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	194
Şekil 80. Vakfikebir ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri	197
Şekil 81. Vakfikebir ilçesi gama dozlarının dağılımı	199
Şekil 82. Vakfikebir ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı.....	201
Şekil 83. Vakfikebir ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	203
Şekil 84. Yomra ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri.....	204
Şekil 85. Yomra ilçesi gama dozlarının dağılımı	207
Şekil 86. Yomra ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı.....	209
Şekil 87. Yomra ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı	211
Şekil 88. Şebinkarahisar ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı.....	220
Şekil 89. Şebinkarahisar ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı	221
Şekil 90. Trabzon ilinde ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	226
Şekil 91. Trabzon ilinde ^{233}Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	226
Şekil 92. Trabzon ilinde ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	227
Şekil 93. Trabzon ilinde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	227
Şekil 94. Şebinkarahisar’da ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	228
Şekil 95. Şebinkarahisar’da ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	229
Şekil 96. Şebinkarahisar’da ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	229
Şekil 97. Şebinkarahisar’da ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı	230

Şekil 98. Trabzon ilinde bina dışı gama dozlarının dağılımı	234
Şekil 99. Trabzon ilinde bina içi gama dozlarının dağılımı.....	234
Şekil 100. Şebinkarahisar’da bina dışı gama dozlarının dağılımı	235
Şekil 101. Trabzon’da ev içi mevsimsel radon değişiminin ilçelere göre dağılımı.....	238

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ağır elementlerin bozunma serilerinin bazı özellikleri	26
Tablo 2. Bazı kayaç türlerindeki ve topraklardaki ortalama radyoaktivite konsantrasyonları.....	34
Tablo 3. Yapay radyoaktif çekirdekler	38
Tablo 4. Standart kaynağın özellikleri	52
Tablo 5. Aktivitesi hesaplanan elementler ve bozunma olasılıkları	55
Tablo 6. Kalibrasyon kaynağı	60
Tablo 7. Trabzon il merkezi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	65
Tablo 8. Trabzon il merkezi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	67
Tablo 9. Trabzon il merkezi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	71
Tablo 10. Trabzon il merkezinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları.....	73
Tablo 11. Akçaabat ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	76
Tablo 12. Akçaabat ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	79
Tablo 13. Akçaabat ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	81
Tablo 14. Akçaabat ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	83
Tablo 15. Araklı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	86
Tablo 16. Araklı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	89
Tablo 17. Araklı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	91
Tablo 18. Arsin ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	94
Tablo 19. Arsin ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	97
Tablo 20. Arsin ilçesinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları.....	100
Tablo 21. Beşikdüzü ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	102
Tablo 22. Beşikdüzü ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	105
Tablo 23. Beşikdüzü ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	107

Tablo 24.	Beşikdüzü ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	109
Tablo 25.	Çarşıbaşı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	111
Tablo 26.	Çarşıbaşı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	113
Tablo 27.	Çarşıbaşı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	115
Tablo 28.	Çaykara ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	118
Tablo 29.	Çaykara ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	119
Tablo 30.	Çaykara ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	121
Tablo 31.	Dernekpazarı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları...	124
Tablo 32.	Dernekpazarı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	126
Tablo 33.	Dernekpazarı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları.....	129
Tablo 34.	Düzköy ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	132
Tablo 35.	Düzköy ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	133
Tablo 36.	Düzköy ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları.....	135
Tablo 37.	Hayrat ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	138
Tablo 38.	Hayrat ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	140
Tablo 39.	Hayrat ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	142
Tablo 40.	Köprübaşı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	145
Tablo 41.	Köprübaşı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	147
Tablo 42.	Köprübaşı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları.....	149
Tablo 43.	Maçka ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	151
Tablo 44.	Maçka ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	154
Tablo 45.	Maçka ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	157
Tablo 46.	Maçka ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	159
Tablo 47.	Of ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	162
Tablo 48.	Of ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	164
Tablo 49.	Of ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	166
Tablo 50.	Of ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	168

Tablo 51.	Sürmene ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	171
Tablo 52.	Sürmene ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	174
Tablo 53.	Sürmene ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	176
Tablo 54.	Sürmene ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	178
Tablo 55.	Şalpaazarı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları.....	180
Tablo 56.	Şalpaazarı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	182
Tablo 57.	Şalpaazarı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	184
Tablo 58.	Tonya ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	187
Tablo 59.	Tonya ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	189
Tablo 60.	Tonya ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	192
Tablo 61.	Tonya ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	193
Tablo 62.	Vakfikebir ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	196
Tablo 63.	Vakfikebir ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	198
Tablo 64.	Vakfikebir ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	200
Tablo 65.	Vakfikebir ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	202
Tablo 66.	Yomra ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları	205
Tablo 67.	Yomra ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	206
Tablo 68.	Yomra ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	208
Tablo 69.	Yomra ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	210
Tablo 70.	Şebinkarahisar ilçesi toprak örneklerindeki radyonüklit aktivite konsantrasyonları, gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	212
Tablo 71.	Şebinkarahisar ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları	219
Tablo 72.	Şebinkarahisar ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri	222
Tablo 73.	Trabzon ili toprak örneklerinin radyometrik analiz sonuçları	225
Tablo 74.	Türkiye ve dünya’da bazı bölge topraklarında radyoaktivite düzeyleri	231
Tablo 75.	Trabzon ilinde ortalama bina dışı ve bina içi gama dozları.....	233
Tablo 76.	Türkiye’de ve diğer ülkelerde yapılmış bina dışı gama dozu ölçümleri	236
Tablo 77.	Trabzon’da ilçelere göre ev içi radon konsantrasyonları.....	238

Tablo 78. Trabzon’da evlerin kat sıralamasına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı.....	240
Tablo 79. Şebinkarahisar’da evlerin kat sıralamasına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı	241
Tablo 80. Türkiye’de ve dünya’da ev içi radon konsantrasyonları	242
Tablo 81. Trabzon’da ilçelere göre yerinde yapılan ölçüm sonuçları	244

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Aktiflik
BEIR	: Biological Effects of Ionizing Radiation
Bq	: Becquerel
Ci	: Curie
D	: Soğurulan doz
Gy	: Gray
Sv	: Sievert
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EPA	: Environmental Protection Agency
IAEA	: International Atomic Energy Agency
IARC	: International Agency for Research on Cancer
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
ICRU	: International Commission on Radiation Units
NRPB	: National Radiological Protection Board
TAEK	: Türkiye Atom Enerji Kurumu
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
$T_{1/2}$: Yarı ömür
λ	: Bozunma sabiti
τ	: Ortalama ömür

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu varoluşundan beri sürekli ve kaçınılmaz olarak radyasyon etkisi altında kalmakta ve hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yerkabuğunda bulunan radyonüklitler dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ve buna ilave olarak da yapay kaynaklardan ışınlanmaktadır.

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmaktadır. Radyasyon dozu değerlendirmelerinde doğal kaynaklar oldukça önemli yer tutar. Çünkü insanlar yaşamları boyunca doğal kaynaklardan yayınlanan radyasyonlardan azımsanmayacak oranlarda doz almaktadırlar.

Doğal radyasyona maruz kalma seviyesini belirleyen iki ana katkı vardır. 1- Dünya'nın atmosferine gelen yüksek enerjili kozmik ışınlar, 2- Çevremizde her yerde bulunup hatta insan vücudunda bile olan dünyanın kabuğunda oluşan radyoaktif elementlerdir. İnsanlar bu kaynaklardan dolayı hem iç ve hem de dış radyasyona maruz kalmaktadırlar. Kozmik ışınlar ile yer kabuğunda, yapı malzemelerinde ve havada doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar dış ışınlamalara, havada ve gıda maddelerinde bulunan doğal radyoaktif atomların solunum ve sindirim yoluyla vücuda girerek iç ışınlamaya sebep olmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Doğal radyasyona en büyük katkı tabiatta doğal olarak bulunan ^{238}U , ^{232}Th ile bunların bozunma ürünleri olan ^{226}Ra , ^{222}Rn ve ^{235}U , ^{40}K gibi radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. Kozmik ışınların doğal radyasyona katkısı yükseklikle değişmekte ve deniz seviyesinden yukarılara çıkıldıkça belirli enlem değerlerinde sabit alınmaktadır (UNSCEAR, 2000).

İnsanlar; yaşam standartları, yaşadıkları ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlara bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, doğal kaynaklardan dolayı yaklaşık 2,4 mSv yıllık doza maruz kalmaktadır. Bu dozun büyük bir kısmını (yaklaşık yıllık doz miktarı 1,3 mSv) radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000). Radon; uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere

yayılmaktadır. Radon solunum yoluyla akciğerlere girmekte ve bozunması sonucunda akciğer kanseri oluşma riskini artırmaktadır (IARC, 1988). Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP, 1990) toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemektedir (Enflo, 2002).

İnsanlar genel olarak zamanlarının ortalama % 90'ını kapalı ortamlarda geçirdikleri için radona maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binaların yapıldığı arazilerde bulunan doğal uranyum miktarı ile uranyumun bozunması sonucu oluşan radonun bina içine sızması ve yapı malzemelerinden kaynaklanan radonun da havaya karışması ortamdaki radon miktarını etkilemektedir. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır.

Ev içi radon konsantrasyonu ülkeler arasında ve hatta aynı ülkenin farklı bölgeleri arasında bile büyük değişiklik göstermektedir (Köksal vd., 2004). Bu farklılıklar, toprağın jeolojik yapısına, iklim parametrelerine ve yapı karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir.

Doğal radyoaktiviteye ek olarak 1945'den günümüze kadar yeryüzünde yapılan nükleer silah denemeleri ve 1986 yılında meydana gelen Chernobyl nükleer kazası da çevreye radyoaktif elementlerin yayılmasına neden olmuştur. Bununla beraber bu radyasyonlar taban seviye (background) radyasyonu olarak da adlandırılabilirler ve bölgenin jeolojik ve coğrafik, dolayısıyla toprak ve kayaların mineralojik yapısı ile coğrafi yükseklik, taban seviye radyasyon seviyesini etkilemektedirler (Bozkurt vd., 2007; Tzortzis vd., 2004).

Çevresel radyasyon ölçümlerindeki temel amaç, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon türü ile dozunun belirlenmesi ve oluşturacağı riskin değerlendirilmesidir. Bunun içinde, doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklitlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ile radyasyonun özellikle insanda olmak üzere, biyolojik sistemler üzerindeki tesirinin tayin edilmesi gerekir. Ayrıca çevresel ortamda bulunan radyonüklitler ile insanların bu kaynaklardan aldıkları radyasyon dozu arasındaki ilişkinin de belirlenmesi gerekir. Ancak böyle bir araştırmadan sonra bir bölgenin doğal radyasyon açısından sağlıklı yaşamaya uygun olup olmadığına karar verilebilir. Bu amaçla yapılan araştırmalar; Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu

(ICRP), Amerika Birleşik Devletleri Radyasyon Korunması ve Ölçümü Milli Komitesi (UNSCEAR) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (TAEK-ÇNAEM) ve benzeri milli ve uluslararası kuruluşlar tarafından yapılmaktadır.

Literatürde doğal radyasyon düzeylerini belirlemeye yönelik yapılmış bir çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu tür çalışmaların bazıları bölgesel bazıları da ülkeler bazında olabilmektedir. Bölgenin jeolojik yapısına ve iklimi şartlarına bağlı olarak radyoaktivite düzeyinde büyük değişiklikler görülebilmektedir.

Ülkemizde doğal radyasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik çalışmalara örnek vermek gerekirse; İstanbul ilinde ev içi radon konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yapılan çalışmada toplam 524 eve radon dozimetreleri dağıtılmış olup bu çalışmanın sonucunda evlerdeki ortalama radon konsantrasyonu 50 Bq/m^3 olarak tayin edilmiştir (Köksal vd., 1993). Çanakkale’de (Kestanbol) doğal radyasyonların belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada ev içi ve ev dışında havadaki radon konsantrasyonları ortalama 65 Bq/m^3 ve 28 Bq/m^3 olarak, havadaki absorbe olmuş doz oranları yine sırasıyla ev içinde $0,27 \mu\text{Gy/s}$ ve dışarıda $0,48 \mu\text{Gy/s}$ olarak bulunmuştur (Çelebi ve Alkan, 1997). İstanbul ilinin toprağında bulunan doğal radyonüklidlerin 0-10 cm derinlikteki konsantrasyonları ^{238}U için 21 Bq/kg , ^{232}Th için 37 Bq/kg , ^{40}K için ise 342 Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ortalama dış gama doz oranı 65 nGy/s olarak bulunmuştur (Karahan ve Bayülken, 2000). Kocaeli’nde 27 farklı bölgeden alınan toprak örneklerinde doğal radyoaktivite değerleri belirlenmiş ve ^{137}Cs , ^{238}U , ^{40}K , ^{226}Ra ve ^{232}Th için aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla $2-25 \text{ Bq/kg}$, $11-49 \text{ Bq/kg}$, $161-964 \text{ Bq/kg}$, $10-58 \text{ Bq/kg}$ ve $11-65 \text{ Bq/kg}$ değerleri arasında değişim gösterdiği bulunmuştur (Karakelle vd., 2002). Eskişehir’de doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada aktivite konsantrasyonunun ^{238}U için $43,59$ ile $651,80 \text{ Bq/kg}$ arasında, ^{232}Th için $51,16$ ile $351,94 \text{ Bq/kg}$ arasında ve ^{40}K için $418,50$ ile $1618,03 \text{ Bq/kg}$ arasında değişiklik gösterdiğini belirlenmiştir (Örgün vd., 2005). Manisa’da toprak örneklerindeki radionüklit doz oranları ile evlerdeki radon ölçümleri yapılmıştır. Toprak örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama değerler sırasıyla $28,5 \text{ Bq/kg}$, 27 Bq/kg ve 340 Bq/kg olarak ve ayrıca ev içi radon konsantrasyonunun $47-146 \text{ Bq/m}^3$ değerleri arasında değiştiği bulunmuştur (Ereeş vd., 2006). Kastamonu’da ev içi radon konsantrasyonu, ev içinde ve ev dışında havadan soğurulan gama doz oranları ve toprak ile içme suyundaki radionüklit konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışma neticesinde, ev içi radon

konsantrasyonu ortalama $98,4 \text{ Bq/m}^3$ olarak bulunmuş ve buna bağlı olarak yıllık etkin doz eşdeğeri $2,48 \text{ mSv}$ olarak hesaplanmıştır. Yine ev içi ve ev dışında soğurulan gama doz oranları sırasıyla ortalama $54,81$ ve $48,03 \text{ nGy/s}$ olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinin analizinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs 'un aktivite konsantrasyonları sırasıyla $32,93$, $27,17$, $431,43$ ve $8,02 \text{ Bq/kg}$ olarak belirlenmiştir (Kam ve Bozkurt, 2006). Çanakkale iline bağlı Kestanbol'de toprak örneklerinde doğal ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K ve yapay ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonları belirlenmiş ve ayrıca radyum eşdeğer aktivitesi, dış tehlike indeksi ve karasal absorbe olmuş doz oranları sırasıyla 498 Bq/kg , $1,4 \text{ nGy/h}$ ve 219 nGy/h olarak bulunmuştur. Yıllık etkin doz eşdeğeri de $269 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplanmıştır (Merdanoğlu ve Altınsoy, 2006). Şanlıurfa'da taban seviye radyasyonu belirlemek amacıyla yapılan çalışmada toplanan 45 toprak örneğindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama $20,8$, $24,95$, $298,6$ ve $9,08 \text{ Bq/kg}$ olarak belirlenmiştir ve bu sonuçlar kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri $46,9 \mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca portatif dedektörle yapılan ölçümler sonucu dış gama radyasyon seviyesi ortalama $60,9 \text{ nGy/s}$ olarak belirlenmiş ve bu sonuçlar ışığında yıllık etkin doz eşdeğeri ortalama $74,7 \mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır (Bozkurt vd., 2007). Gaziantep'te toprak örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs için aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama $25,2$, $23,7$, $289,2$ ve $8,02 \text{ Bq/kg}$ olarak belirlenmiş ve bu sonuçlardan yararlanarak dış gama dozu ortalama $38,2 \text{ nGy/s}$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 94 noktada yapılan ölçümlerde dış gama radyasyon seviyesi ortalama $50,1 \text{ nGy/s}$ ve yıllık etkin doz eşdeğeri ortalama $61,5 \mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmiştir (Osmanlıoğlu vd., 2007). Adana'da yapılan çalışmada toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs konsantrasyonları sırasıyla $17,6$, $21,1$, $297,5$ ve $11,7 \text{ Bq/kg}$ olarak tayin edilmiş ve yerden 1m yükseklikte yapılan dış gama doz ölçümlerinde ortalama dış gama dozu 67 nGy/s olarak belirlenmiştir (Değerlier vd., 2008).

Dünyada yapılmış olan çalışmalara örnek vermek gerekirse; İsveç'te yapılan çalışmada farklı malzemelerle yapılmış 1300 evde ev içi gama radyasyon seviyesini ve absorbe olmuş doz oranları belirlenmiş ve ortalama değer $0,65 \text{ mGy/yıl}$ olduğu bulunmuştur (Mjönes, 1986). Norveç'te ev içi ve ev dışı gama radyasyon seviyelerini belirlemeye yönelik yapılmış olan çalışmada ortalama gama doz oranları ev içi için 230 nGy/s ve ev dışı için 670 nGy/s olarak bulunmuştur. Ayrıca yıllık etkin doz eşdeğeri de $2,1 \text{ mSv/yıl}$ olarak hesaplanmıştır (Stranden ve Strand, 1986). Almanya'da Çernobil kazasının sonuçlarını görmek amacıyla havada, sütte, süt ürünlerinde, bitkilerde ve etlerde aktivite

konsantrasyon ölçümleri yapılmış ve belirli aralıklarla ^{131}I ve ^{137}Cs aktivitesindeki değişiklikler gözlenmiştir. Ayrıca bu radyonüklitlerin yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır (Doerfel ve Piesch, 1987).

Çin'in çeşitli bölgelerinde karasal gama radyasyonunu belirlemeye yönelik yapılan bir çalışmada toprakta, ev içi, ev dışı ve yol üzerlerinde ölçümler alınmış, ayrıca ev içi radon seviyesi de belirlenmiştir. Toprak için ortalama ^{238}U konsantrasyonu 39,75 Bq/kg, ^{232}Th için 46,85 Bq/kg ve ^{40}K için 567 Bq/kg olarak bulunmuştur. Farklı malzemelerden yapılmış evlerde bina içi radon seviyesini ortalama 119,75 nGy/s olarak, ortalama ev içi, ev dışı ve yol üzeri gama radyasyon seviyelerini sırasıyla 103,2 nGy/s, 69,42 nGy/s ve 61,17 nGy/s olarak belirlenmiştir (Ziqiang vd., 1988). Çin'de yıllık ortalama ev içi ve ev dışı radon konsantrasyonları ise sırasıyla 30 Bq/m^3 ve $9,7 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir (Wenbin vd., 1990).

Bangladeş'te rastgele seçilen 30 evde, ev içi gama radyasyon seviyeleri belirlenmiş ve yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Ortalama ev içi gama radyasyon seviyesi 357 nGy/s olarak bulunmuş ve yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 1,75 mSv/yıl olarak hesaplanmıştır (Mollah vd., 1989). Hindistan'ın 5 ayrı bölgesinde ev içi radon gazı ölçümlerinde ortalama radon konsantrasyonu $63,2 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir (Subba Ramu vd., 1990).

Hindistan'ın Himachal Pradesh bölgesinde evlerdeki radon konsantrasyonunu ve bölgedeki uranyum ve radyum elementleriyle olan ilişkisini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada radon konsantrasyonu belirlemek için LR-115 tipi radon dedektörler kullanılmış ve 18 köyde 80 eve 3 aylık periyotlarla 1 yıl boyunca bırakılmıştır. Ortalama radon konsantrasyonunu minimum değeri 123 Bq/m^3 ve maksimum değeri ise 658 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Radon konsantrasyonunun toprak da uranyum ve radyum elementlerinin değişiminden ve yapı malzemelerinden kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır (Singh vd., 2002). Padubidri (Hindistan)'de ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla toprak örnekleri toplanmış ve bu konsantrasyonların sırasıyla 66, 53,5 ve 419,3 Bq/kg olduğu btespit edilmiştir. Bu konsantrasyonlar kullanılarak radyum eşdeğer aktivitesi ve yerden 1 m yükseklikteki dış gama dozları hesaplanmıştır ve ortalama değerleri sırasıyla 180,2 Bq/kg ve 83,1 nGy/h olarak belirlenmiştir (Prakash vd., 2006). Yine Hindistan'da Kudankulan nükleer santrali bölgesinde yapılan çalışmada 30 km^2 'lik bir alanda ev içi gama doz oranlarını ölçülmüştür. Farklı türdeki inşaat malzemeleriyle yapılmış olan bu evlerde gama doz oranlarının mevsimsel değişimi izlenmiş yaz, ilkbahar,

kış ve sonbahar mevsimleri için ortalama gama dozları sırasıyla 397,7, 228,1, 201,4 ve 285 nGy/s olarak belirlenmiştir (Malathi vd., 2008). Hindistan'ın Bangalore bölgesinde ise 33 farklı yerleşim yerinde topraktaki ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin ortalamalarını sırasıyla 26,2 Bq/kg, 53,1 Bq/kg ve 635,1 Bq/kg olduğu belirlenmiştir. Ayrıca topraktaki doğal radyonüklitlerden dolayı havadaki ortalama dış gama doz hızı ve yıllık ortalama etkin doz değeri sırasıyla 73,9 nGy/s ve 90,6 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur (Prasad Shiva vd., 2008).

İspanya'nın Barcelona ve Madrid şehirlerinde 3 aylık iki farklı mevsimde ev içi radon konsantrasyonu belirlemek için 337 adet pasif dozimetreleri dağıtılmış ve yıllık ortalama radon konsantrasyonu değerleri sırasıyla Madrid ve Barcelona şehirlerinde 68,5 Bq/m³ ile 40,2 Bq/m³ olarak tayin edilmiştir (Gutierrez vd., 1992). İspanya'da yapılan bir diğer çalışmada toplam 1500 toprak örneğinde radyonüklit tayini yapılmıştır. Bu ölçümlerin bir kısmı yerinde (in situ) ölçülmüş bir kısmı ise toprak örneklerinin lab.'da HPGe dedektörüyle analiz edilmesi sonucu elde edilmiştir. ^{40}K , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{212}Bi , ^{212}Pb , ^{208}Tl ve ^{228}Ac radyonüklitleri için aktivite konsantrasyonları sırasıyla 578, 38,5, 39,1, 37,6, 38,2, 13,3 ve 40,6 Bq/kg olarak belirlenmiştir (Quindos vd., 2003).

Nil Deltası ve Mısır'ın orta bölgesi topraklarından, 162 numune içindeki doğal radyonüklit konsantrasyonları yüksek saflıkta Ge spektrometrede ölçülerek ortalama aktivite konsantrasyonları; ^{238}U için 16,6 Bq/kg, ^{226}Ra için 18,1 Bq/kg ve ^{40}K için 316 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Ibrahiem, 1993). Mısır'ın güneyinde ise 6 farklı bölgede topraktaki doğal radyonüklit seviyeleri belirlenmiş olup, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri sırasıyla 5-24 Bq/kg, 2-10 Bq/kg ve 293-660 Bq/kg aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Sroor vd., 2001). Mısır'ın değişik bölgelerindeki granit örneklerinde aktivite konsantrasyonlarını da belirlenmiş ve tüm çalışma bölgeleri için radyum eşdeğeri, toplam absorbe olmuş doz, tehlike indeksleri hesaplamıştır (Arafa, 2004).

Libya'da yapılan çalışmada topraktaki doğal radyoaktivite incelenmiş ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama radyoaktivite konsantrasyonları sırasıyla 10,5 Bq/kg, 9,5 Bq/kg ve 270 Bq/kg ve toplam absorbe olmuş doz oranını ortalama 23 nGy/s olarak bulunmuştur (Shenber, 1997). Venezuela'da çevresel radyasyon ve radon ölçümleri yapılmıştır. Mineral sulara alfa aktivitesi yaklaşık 0,45 Bq/l, havadaki doz oranı içerisinde ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th için sırasıyla ortalama 17,12 nGy/s, 15,4 nGy/s ve 39,15 nGy/s, dışarıda ise yine sırası ile 19,77 nGy/s, 18,52 nGy/s ve 39,84 nGy/s olarak bulunmuştur. Ayrıca toprakta ^{137}Cs aktivitesinin 0,5 ve 10 Bq/kg arasında değiştiği gözlenmiştir (Sajo-Bohus vd., 1999).

Meksika’da 416 evde LR-115 tipi radon dedektörleri ile uzun dönem, Alphaguard radon dedektörü ile de kısa dönemli radon konsantrasyonu araştırması yapılmıştır. Ortalama radon konsantrasyonu 145 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Evlerin % 97’sinin IAEA’nın 1996 yılında belirlemiş olduğu $200\text{-}600 \text{ Bq/m}^3$ izin verilebilir seviyeyi aşmadığını bulunmuştur (Franco-Marina vd., 2001). Meksika’nın Zacatecas şehrinde de 228 evde yaz döneminde radon konsantrasyonunu belirlemeye yönelik yapılan çalışmada ortalama radon konsantrasyonu 67 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir. Evlerin % 2,7 sinin EPA (Environmental Protection Agency)’nın tavsiye ettiği değeri (148 Bq/m^3) geçtiği bulunmuştur (Quirino vd., 2007).

Yunanistan’ın Patras şehrinde LR-115 radon dedektörlerini kullanarak radon konsantrasyonunun hem mevsimsel hem de ev tipine göre değişimi araştırılmıştır. Müstakil, apartman ve tüm evlerin ortalama radon konsantrasyonları sırasıyla 41 Bq/m^3 , 28 Bq/m^3 ve 38 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir (Papaefthymiou vd., 2002). Yunanistan’da portatif dedektörle yerinde ölçümler alınarak dış gama doz oranlarını da belirlenmiş ve ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama doz oranları sırasıyla 10 nGy/s , 50 nGy/s ve 25 nGy/s olarak bulunmuştur (Petalas vd., 2005). Yunanistan’da yapılan başka bir çalışmada ise toprak örnekleri toplanmış ve bunların analizleri sonucunda ortalama ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K konsantrasyonları sırasıyla 42 , 26 , 36 ve 496 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Yine aynı çalışmada 66 eve CR-39 radon dozimetreleri yerleştirilmiş ve radon konsantrasyonunun 12 ile 139 Bq/m^3 arasında değişim gösterdiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 36 Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir (Psichoudaki ve Papaefthymiou, 2008).

Suudi Arabistan’ın Yemen şehrinde CR-39 radon dedektörlerini kullanarak 241 evde radon konsantrasyonunu araştırması yapılmış olup radon konsantrasyonunun 3 ile 270 Bq/m^3 arasında değiştiği ve ortalama değerinin ise 42 Bq/m^3 olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca radon konsantrasyonunun deniz seviyesinden yükseklerle çıkıldıkça arttığını tespit edilmiştir (Khayrat vd., 2003). Suudi Arabistan’ın Al-Jauf bölgesinde de ev içlerine toplam 318 pasif radon dozimetreleri dağıtılmış ve radon konsantrasyonunun $7\text{-}168 \text{ Bq/m}^3$ değerleri arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 35 Bq/m^3 olduğu belirlenmiştir (Al-Jarallah ve Rehman, 2006). Ayrıca Suudi Arabistan’ın Riyad şehrinde Ekim 2004 ile Haziran 2005 yılları arasında CR-39 tipi radon dedektörünü kullanarak ev içi radon konsantrasyonunun $2\text{-}69 \text{ Bq/m}^3$ arasında değiştiği ve ortalama değerinin 18 Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir (Al-Saleh, 2007).

Nijerya’da yerinde ölçümler olarak 32 farklı bölgede topraktaki doğal radyonüklit konsantrasyonlarını belirlenmiş olup ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için sırasıyla ortalama aktivite konsantrasyonları 16,2 Bq/kg, 24,4 Bq/kg ve 34,8 Bq/kg olarak tayin edilmiştir. Topraktaki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K sebebiyle havadaki dış gama doz oranları sırasıyla 6,9, 16,3 ve 1,5 nGy/s olarak bulunmuştur (Arogunjo vd., 2004). Nijerya’da toprak örneklerindeki radyoaktiviteyi ve kanserle olan bağlantısını incelemek amacıyla yapılmış olan başka bir çalışmada ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 51,3 μSv olarak hesaplanmıştır (Farai vd., 2006). Nijerya’da trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerin toprak örneklerinde ise ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 20,3 Bq/kg, 21,2 Bq/kg ve 219,8 Bq/kg ve toplam soğurulmuş doz oranı ortalama 32 nGy/s olarak bulunmuştur (Jibiri ve Bankole, 2006).

Malezya’nın Melaka eyaletinde dış gama dozları ölçülmüş ve dış gama dozlarının 54-378 nGy/h arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak Melaka için izodoz haritaları oluşturulmuştur (Ramli vd., 2005). Pakistan’da da toprak örneklerindeki doğal ve yapay radyoaktivite seviyelerini belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{137}Cs için radyonüklit konsantrasyonları sırasıyla 307 Bq/kg, 10,2 Bq/kg, 24,6 Bq/kg ve 2,8 Bq/kg olarak tayin edilmiştir (Younis vd., 2005). Pakistan’ın Kuzey-batı illerinde ise 200 evde radon konsantrasyonu CR-39 radon dedektörleri kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada yıllık ortalama, maksimum ve minimum radon konsantrasyonu değerleri sırasıyla 72 Bq/m³, 189 Bq/m³, 47 Bq/m³ olarak tespit edilmiştir (Rahman vd., 2007).

Hormozgan kıyılarında (İran) yapılan çalışmada 50 adet toprak ve sediment örneği toplanmış ve bu örneklerin gama spektrometresinde analizleri yapılmıştır. ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs ve ^{226}Ra aktivite konsantrasyonları sırasıyla ortalama 70, 33, 510, 10 ve 72 Bq/kg olarak bulunmuş ve bu veiller ışığında radyum eşdeğer aktivitesi, havadan soğurulan doz oranı ve dış tehlike indeksi yine sırasıyla 146,7 Bq/kg, 60 nGy/s ve 0,41 olarak hesaplanmıştır (Abdi vd., 2006).

Macaristan’da 1994 ve 2004 yılları arasında 15277 tek katlı evde, 325 de daha fazla kata sahip olan evde yapılan radon konsantrasyonu araştırması CR-39 radon dedektörleri kullanarak yapılmıştır. Minimum ve maksimum radon konsantrasyon değerleri sırasıyla 10 Bq/m³ ve 5800 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. Değerlerin lognormal dağılımı oluşturulduğunda geometrik ortalama değeri 58 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Hamori vd., 2006).

Sırbistan'nın Niska Banja bölgesinde 2007 yılında ev içi radon konsantrasyonunu belirlemek için 65 evin oturma ve yatak odasına toplam 102 tane CR-39 radon dedektörleri dağıtılmış, yıllık ortalama radon konsantrasyonu traverten bölgede 1500 Bq/m^3 , alüvyon sediment oluşumunun olduğu bölgede 650 Bq/m^3 , maksimum değeri ise 6000 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir (Zunic vd., 2007). Kamerun'da ise 30 toprak örneğinin HpGe dedektörü ile radyonüklit konsantrasyonları incelenmiş ve ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K için aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 11-17 Bq/kg, 22-36 Bq/kg ve 43-201 Bq/kg arasında değiştiği bulunmuştur (Ngachin vd., 2008).

Bu çalışmadaki temel amaç Trabzon ili ve Giresun ili Şebinkarahisar ilçesi ile çevrelerindeki taban seviye radyasyon düzeyini belirlemektir. Çalışmada Trabzon ili ile birlikte Şebinkarahisar bölgesinin seçilmesinin nedeni, MTA tarafında Şebinkarahisar bölgesinde daha önce saptanmış olan uranyum ve toryum anomalilerinin etkilerinin incelenmesidir (Örgün, 1972). Bu amaçla, çalışma bölgelerinden toplanan toprak örneklerindeki radyonüklit konsantrasyonları (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs) ve havadaki kozmik ışınlardan ve karasal kaynaklardan yayınlanan toplam gama düzeyleri belirlenmiştir. Ayrıca, evlerde radon gazı ölçümü projesi kapsamında radon haritasının çıkarılmasına katkı sağlamak amacıyla, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi ile yürütülen ortak proje çerçevesinde Trabzon ve Şebinkarahisar bölgelerindeki evlerde radon gazı aktivite konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri incelenmiştir. Bütün bu incelemeler ışığında elde edilmiş olan veriler değerlendirilerek çalışma bölgelerinin taban seviye radyasyon düzeyleri belirlenip bölgelerde yaşayan insanların çevreden aldıkları radyasyon türü ile yıllık etkin doz eşdeğerinin hesabı yapılarak ulusal ve uluslararası standartlar karşılaştırılıp oluşturacağı sağlık riskleri değerlendirilmiştir.

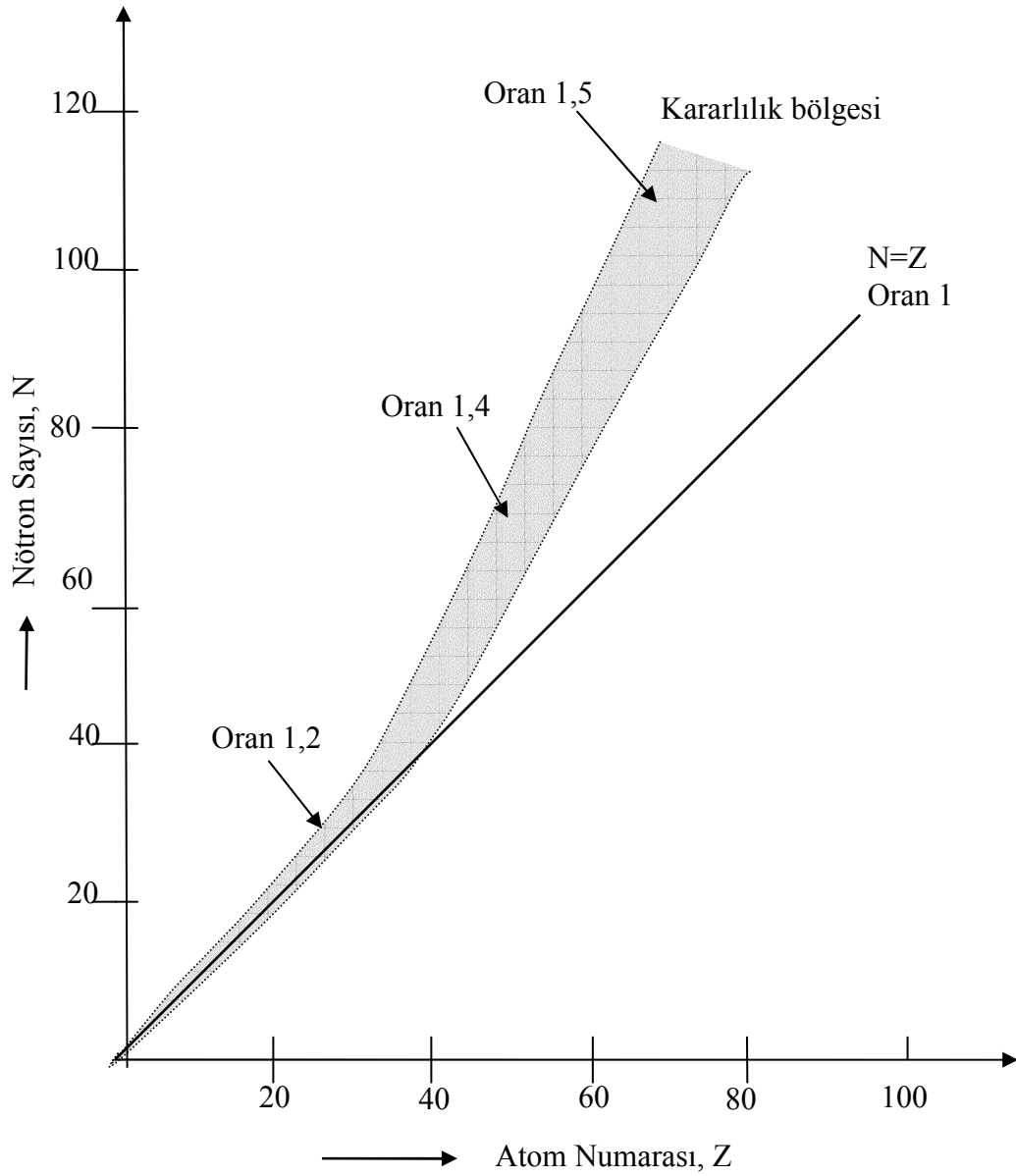
1.2. Radyoaktivite

Radyoaktiflik, Rontgen'in 1895 yılında x-ışınlarını keşfetmesinin ardından 1896 yılında Henry Becquerel'in uranyumun bazı tuzlarının kendiliğinden girici ışınlar yaydığını ve bu ışınların kağıttan, camdan ve bazı başka maddelerden de geçerek fotoğraf filmi üzerine etki ettiğini belirlemesiyle keşfedilmiştir. Radyoaktiflik, atom çekirdeklerinin elektromagnetik radyasyonlar, α ve β parçacıkları yayınlarken kendiliğinden bozunması olayıdır ve çekirdek kararlı hale gelinceye kadar bu olay devam eder.

En basit çekirdek olan hidrojen haricindeki diğer tüm çekirdekler nükleon adı verilen, doğadaki temel yük birimi olan +e yüküne sahip proton (p) ve yüksüz nötronlardan (n) oluşurlar. Nükleonlar çekirdek içerisinde Coulomb ve çekirdek etkileşimleri ile bir arada bulunurlar. Coulomb kuvvetleri hesaba katılmadığı takdirde, bir çekirdek içinde optimum kararlılığa proton ve nötron sayıları yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu zaman erişecektir. Coulomb itme kuvvetlerinin kısa menzilli nükleer kuvvetlere göre önemsiz olduğu hafif çekirdeklerde durum böyledir. Coulomb kuvvetleri atom numarasının 20'den fazla olması halinde gittikçe önem kazanır. Çekirdek içindeki bu itme kuvvetlerindeki önemli artışlar çekirdek içi kararlılık durumunu bozacak ve atom numarasının artması ile çekirdeğin kararlı kalabilmesi için bir nötron fazlalığına ihtiyaç duyulacaktır. Herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı protonlarından fazla ise, bu çeşit bir madde kararsızlık göstermektedir. Kararsız çekirdekler radyonüklit olarak adlandırılırlar ve bu fazla enerjiye sahip çekirdekler ışınlar salarak parçalanırlar.

Periyodik tabloda, nötron sayılarının (N) proton sayılarına (Z) oranları (N/Z oranı) yaklaşık 1'e eşit olan elementler kararlı olacaktır. Atom numarası 20'nin üstüne yükseldikçe kararlılık için gerekli olan N/Z oranı da yavaş yavaş artar ve atom numarası 83 olduğunda 1,5 değerini alır. Bu atom numarasının üstünde periyodik tabloda kararlı çekirdek yoktur yani $N/Z > 1,5$ olan tüm çekirdekler kararsızdır. Kararsız olan bir element parçacıklar salarak veya ışınım yaparak bozunacak ve bu olay çekirdek kararlı hale gelene kadar devam edecektir. Her çekirdek kararsız olmadığından radyoaktivite ayırt edici bir fiziksel özelliktir.

Şekil 1'de bilinen çekirdeklerin nötron ve proton sayılarının dağılımı görülmektedir. Bu şekilde, proton ve nötron sayıları eşit olan ($N=Z$) hafif çekirdekler kararlılık eğrisi ve etrafındaki dar kararlılık bölgesi ile temsil edilirken, daha ağır çekirdeklerde $N/Z > 1$ olan bölge ile temsil edilirler. Atom numarası arttıkça elementlerin kararlılık bölgesinden uzaklaştığı görülmektedir ve kararlı en ağır çekirdek için bu oranın yaklaşık 1,5 olduğu düşünülürse $N/Z > 1,5$ olan tüm çekirdeklerin kararsız olacakları anlaşılacaktır (Krane, 2001).



Şekil 1. Çekirdeklerdeki proton sayılarının nötron sayılarına göre değişim grafiği

1.3. Radyoaktif Bozunma Şekilleri

Radyoaktif bozunma, kararsız bir atom çekirdeğinin daha kararlı bir duruma geçebilmek için radyasyon yayması olayıdır. Çekirdekler, alfa parçacıkları (helyum çekirdekleri), beta parçacıkları ve gamma ışınları yayımlayarak daha kararlı hale dönmeye

çalışırlar. Gama ışınları genellikle beta parçacıkları ile bazen de alfa parçacıkları ile beraber yayınlanırlar.

1.3.1. Alfa Bozunması

Alfa parçacıkları (${}^4_2\text{He}_2$), iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeğidir.

α -parçacığının kendiliğinden yayınlanması aşağıdaki reaksiyonla ifade edilebilir.



Burada A, çekirdeğin kütle numarasını, Z, atom numarasını göstermektedir. X, ana çekirdeği ve Y ise ürün çekirdeği temsil etmektedir. α bozunmasına bir örnek,



dır.

E_i ve E_f sistemin bozunmadan önceki ve sonraki toplam enerjileri olsun. Enerjinin korunumu yasasından,

$$E_i = E_f$$

olmalıdır. Buradan sistemin bozunma enerjisi (Q),

$$Q = [M(A,Z) - M_Y(A-4,Z-2) - M_\alpha(4,2)] c^2 \quad (3)$$

bağıntısı ile verilir. Burada $M(A, Z)$ bozunan, $M_Y(A-4, Z-2)$ ürün çekirdeğin, $M_\alpha(4, 2)$ ise α parçacığının kütlesidir. Kendiliğinden bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gereklidir. Ayrıca Q değeri kinetik enerjideki artışa da eşit olduğundan (3) ifadesi,

$$Q = K_U + K_\alpha \quad (4)$$

şeklinde olup sırasıyla K_U ve K_α ürün çekirdeğin ve α -parçacığının kinetik enerjileridir.

Enerji ve momentumun korunumundan yola çıkarak A, ana çekirdeğin, A-4, ürün çekirdeğin kütle numaraları olmak üzere α -parçacıklarının kinetik enerjileri için,

$$K_{\alpha} = \frac{M}{M+m} Q \quad (5)$$

ifadesini yazabiliriz. Büyük A'larda $\frac{A-4}{A}$ ifadesi 1'e yakın olacağından α -parçacığı Q bozunma enerjisinin büyük bir kısmını alacaktır.

Alfa parçacığı yayınlanması, atom numarası büyük olan izotoplarda görülen bir olaydır. Alfa parçacıkları bir madde içinden geçerken sahip oldukları elektrik yükleri dolayısıyla, madde içinde iyonlaşmaya sebep olurlar ve bundan dolayı enerjilerini çabuk kaybederler. Yine alfa parçacıkları, radyoaktif bir çekirdekten $1,6 \times 10^7$ m/sn gibi büyük bir hızla dışarı fırlatıldıkları için enerjileri fazla olmasına rağmen kütleleri diğer parçacıklara oranla büyük olduğundan erişim mesafeleri düşüktür. Ayrıca, doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerin yayınladıkları alfa parçacıklarının enerjileri 9 MeV'in altında ve dalga boyları küçük olması sebebiyle bunları çok küçük kalınlıktaki bir madde ile durdurmak mümkündür. Bu sebeple bir dış radyasyon tehlikesi yaratmamaktadırlar. Ancak bu parçacıkların sindirim, solunum v.s yollarıyla vücuda girmeleri halinde oluşturacakları iyonizasyon, önemli bir iç radyasyon tehlikesi yaratabilmektedir (BEIR VI, 1999).

1.3.2. Beta Bozunması

Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem 3 farklı şekilde gerçekleşebilir. Her üçünde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir (başlangıçta β parçacığı olarak adlandırılan yüklü parçacığın bilinen elektronla özdeş olduğu daha sonra gösterilmiştir.). Beta parçacıkları belli bir yük ve kütleyle sahip olduklarından madde ile etkileşimleri esnasında iyonizasyona sebep olurlar. Fakat beta parçacıkları alfa parçacıklarına oranla daha hafif ve giricilikleri fazla olduğundan, oluşturdukları iyonizasyon alfa parçacıklarının oluşturduğundan daha azdır. Bu parçacıklar alfa parçacıklarına oranla küçük olan kütleleri ve sahip oldukları yükleri sebebiyle, durdurulmaları alfa parçacıkları kadar olmasa bile, çok yüksek enerjilere sahip değillerse madde içine çok fazla nüfuz edemezler. Giricilikleri, enerjilerine ve etkileştikleri

maddenin özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Madde içindeki erişim mesafeleri çok fazla olmasa bile havada oldukça uzun mesafelere kadar yayılabilirler. Beta parçacıkları yayınlayan radyoizotoplar dış radyasyon tehlikesi oluşturabileceği gibi, vücut içine alınması halinde ciddi iç radyasyon tehlikesi de oluştururlar.

1. β^- Bozunumu

β^- ışınması kararsız bir çekirdekten elektron fırlatılması olayıdır. Bu işlem negatif beta bozunumu olarak bilinir ve bir elektronun yaratılıp yayınlanmasını kapsar. Atom çekirdeğinde elektron olmamasına rağmen, β^- yayınlanması işlemi elektrik yükünün korunumu kararsız çekirdekteki fazla olan bir nötronun bir protona ve elektrona dönüşmesini, yani atom numarasının bir artmasını gerektirir. β^- bozunmasında proton çekirdekte kalırken elektron dışarı atılır. Bu bozunmada; atom numarası bir artarken, kütle numarası değişmez. β^- ışınları elektronlardan meydana gelir. Bu nedenle β^- ışınları negatif yüklü tanecikler olduğundan, elektrik ve magnetik alanda sapma gösterirler. Bozunma denklemi,



şeklinindedir. Bu ifade, nötronun bozunarak bir proton, bir elektron ve bir antinötrino parçacığının meydana geldiğini göstermektedir. Nötrinin elektrik yükü olmadığından, varlığı diğer son parçacıkların kimliğini etkilemez (Krane, 1998).

Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^-} = [M(A,Z) - M(A,Z+1)] c^2 \quad (8)$$

şeklinde yazılır. K_0 kinetik enerjideki net artış olmak üzere,

$$K_0 = (K_{\beta^-})_{\max} + K_{\gamma} \quad (9)$$

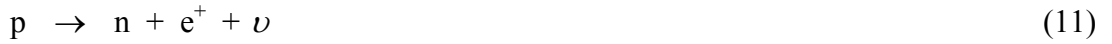
şeklindedir ve K_0 , bozunma enerjisine eşittir. β^- bozunumuna bir örnek,



dir.

2. β^+ Bozunumu

Bu işlem pozitif beta bozunumu veya pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır. β^+ bozunması bir protonun bir nötrona dönüşmesi olayıdır. Çekirdekdeki proton sayısı fazla ise protonlardan biri, bir nötrona, pozitif yüklü bir elektrona (pozitron) ve bir nötrinoya dönüşür. Pozitron çekirdekten dışarı atılırken, nötron çekirdekte kalır. Böylece çekirdeğin atom numarası bir azalır ve bozunma denklemi,



şeklindedir. Bozunma enerjisi,

$$Q_{\beta^+} = [M(A,Z) - M(A,Z-1)] c^2 = 2 m_e c^2 + K_0 \quad (13)$$

dır. Burada K_0 ,

$$K_0 = (K_{\beta^+})_{\max} + K_\gamma \quad (14)$$

olarak kinetik enerji artışlarının toplamıdır. Bu bozunmanın olabilmesi için $Q > 0$ olması gerekir. Bu şart ancak, ana çekirdek ile ürün çekirdeğin durgun kütle farklarının iki elektronun durgun kütlelerinden büyük olduğu durumlarda sağlanır. β^+ bozunumuna bir örnek,



dir.

3. Elektron Yakalama

Protonu nötronundan çok olan çekirdeklere [$n/p < 1$] çekirdeğe en yakın olan orbitalinden (1S) bir elektron çekirdek tarafından yakalanır ve bir proton bir nötrona dönüşür. Pozitron yayınlamanın alternatifi olarak da adlandırılır. Atom numarası 1 azalırken, kütle numarası değişmez. Bu olayda elementin izobarı oluşur.

Bozunma denklemi,



şeklindedir. Bu durumda bozunma enerjisi,

$$Q = [M(A,Z) - M(A,Z-1)] c^2 = K_0 \quad (18)$$

şeklindedir. Burada K_0 ,

$$K_0 = K_\nu + K_\gamma \quad (19)$$

şeklindedir. Burada $M(A, Z-1)$, oluşan çekirdeğin kütleini, K_ν ve K_γ saçılan nötrino ve gama ışınlarının kinetik enerjileridir. Elektron yakalama olayında da $Q > 0$ olması gerekir.

1.3.3. Gama Bozunması

Radyoaktif gama yayınlanması, optik veya x-ışını geçişleri gibi atomik radyasyon yayınlanmasına benzer. Bir çekirdekte α veya β parçacığı gibi bir parçacık yayınlanması genellikle çekirdeği uyarılmış durumda bırakır. Uyarılmış bir durum daha düşük bir uyarılmış duruma veya taban duruma nükleer durumlar arasındaki farka eşit bir enerjiyle bir gama ışını yayınlayarak geçer (yayınlanan çekirdeğin geri tepme enerjisi kadar eksik) (Krane, 2001). Gama ışını yayınlanmasından sonra atom, başka bir atoma dönüşmez. Bozunmanın denklemi,



Kısa dalga boylu elektromanyetik radyasyon olarak bilinen gama ışınları, elektriksel yükleri olmadığı için yüklü parçacıklarda olduğu gibi Coulomb kuvvetine maruz kalmazlar. Bu durum, madde içerisindeki atomları iyonlaştırmadığı anlamına gelmemektedir. Gamma ışınları doğrudan doğruya iyonlaştırıcı değildirler fakat elektromanyetik kuvvet taşıyıcılarıdır ve madde ile iyonlaşmayla ve ortama enerji depolamayla etkileşme yaparlar. Kısacası gama ışınlarının madde içerisindeki davranışları yüklü parçacıklarınkinden oldukça farklıdır. Özellikle, atomun elektronları ile etkileştiklerinde enerjilerinin büyük bir kısmını hatta tamamını kaybedebilirler. Gama ışınlarının yüklü parçacıklarınki gibi menzilleri yoktur. Alfa ve beta ışınlarından daha fazla giricidirler ve yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.

Gama ışınları madde içerisinde geçerken çoğunlukla aşağıdaki etkileşmeleri yaparlar;

- Fotoelektrik olay
- Compton saçılması (Thomson ve Rayleigh Saçılmasını içeriyor)
- Çift oluşum

Bu etkileşmeler gama ışınlarının iki önemli özelliklerini açıklamaktadır. Birincisi gama ışınları madde içerisinde yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında daha uzun mesafelere nüfuz edebilirler, ikincisi ise gama ışınları belli bir kalınlıktaki malzemeyi geçince enerjilerinde bir azalma meydana gelmez, yalnızca şiddetlerinde bir azalma olur

Özetle, fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu gama ışınlarının madde ile etkileşmesinde katkıda bulunurlar.

γ -yayınlanmasının yarı-ömrü çok kısadır, genellikle 10^{-9} sn'den daha küçüktür, ancak saat ve hatta gün mertebesinde yarı-ömürlü γ -yayınlanması da vardır. Bu geçişler, *izomerik geçişler* olarak bilinir.

1.4. Radyoaktif Bozunma Kanunu

Bir atomun çekirdeğinin bir alfa parçacığı, bir beta parçacığı, bir gama ışını veya başka herhangi bir parçacık yayınlanması ya da çekirdek kabuğundan bir elektron yakalaması işlemine *radyoaktif bozunma* adı verilir.

Fiziksel açıdan, bir radyoaktif numune içindeki herhangi bir çekirdeğin ne zaman bozunacağını bilmek mümkün değildir. Radyoaktif bozunma zamana göre gelişini güzel ve rastgele gerçekleştirir ve ancak istatistik ve olasılık kuramları çerçevesinde bazı özellikleri bulunabilir. Önemli bir yaklaşım çekirdeklerle tek tek ilgilenmek değil zamana göre daima sabit kalan bir nicelik olan bir kavramı, bir radyoaktif çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığını incelemektir. Bu olasılık radyoaktif bozunma sabiti olarak adlandırılmakta ve genellikle λ ile gösterilmektedir. Radyoaktivitenin bozunma yasasına göre, radyoaktif çekirdeğin yaşı ne olursa olsun bozunma olasılığı λ sabittir.

Radyoaktif bir çekirdekte birim zaman aralığında meydana gelen bozunma sayısı çekirdeğin *bozunma hızı* veya *aktivitesi* olarak tanımlanır.

Eğer bir t anında N tane radyoaktif çekirdek varsa ve numuneye yeni çekirdekler ilave edilmiyorsa dt süresi içinde bozunan dN çekirdek sayısı, N ile orantılıdır.

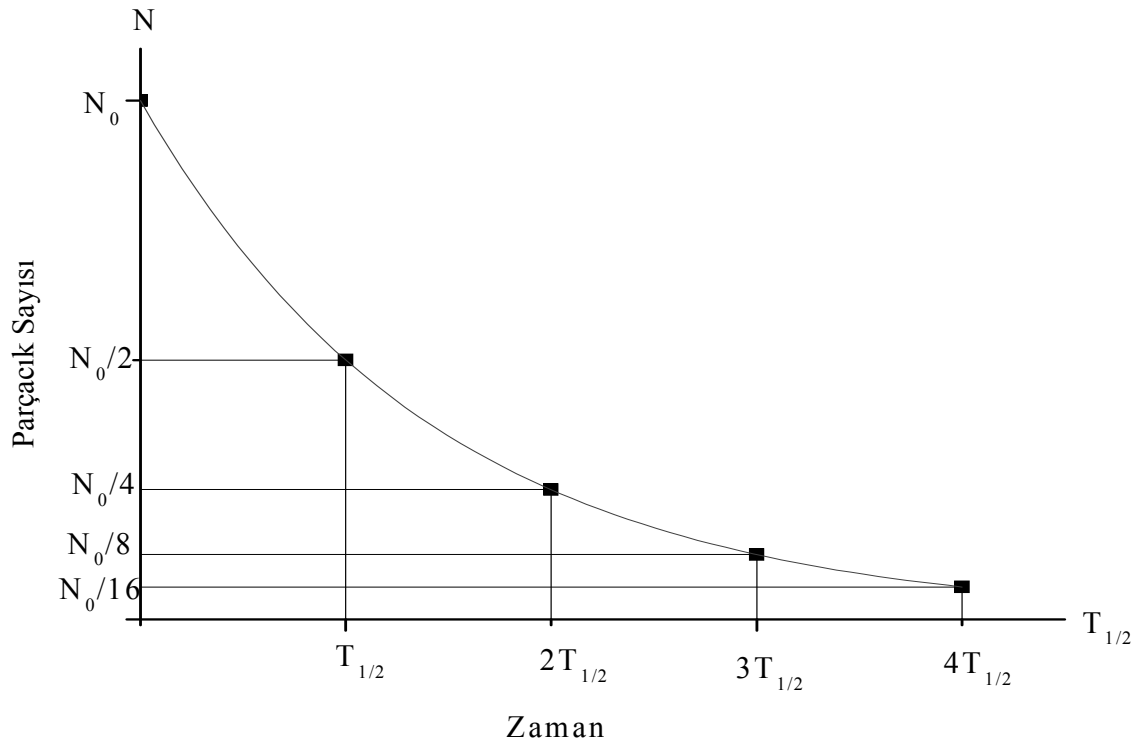
$$\lambda = - \frac{(dN / dt)}{N} \quad (21)$$

Denklem (21)'in sağ tarafı bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığıdır, yani bu olasılık, çekirdeğin yaşı ne olursa olsun sabit olup radyoaktif bozunmanın istatistiksel teorisinin temel varsayımıdır. Denklem (21)'in integrali alınır,

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad \int \frac{dN(t)}{N(t)} = -\int \lambda dt \quad (22)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (23)$$

üstel radyoaktif bozunma kanunu elde edilir. Burada, N_0 , $t=0$ 'da henüz bozunmamış, $N(t)$ ise t süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısıdır (Krane, 2001). Şekil 2'de radyoaktif bir numunenin miktarının zamanla değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2. Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi

1.4.1. Radyoaktif Numunenin Yarı Ömrü ve Ortalama Ömrü

Radyoaktif bozunma yasasını ifade eden denklem (23) herhangi bir t anında bozunmadan kalabilen çekirdek sayısını vermektedir. Radyoaktif izotopların yarı ömürleri çok değişiktir. Bilinen en kısa yarı ömürlü çekirdek 10^{-21} sn ile He, en uzun yarı ömürlü çekirdek ise 10^{17} yıl ile ^{204}Pb 'dür.

Radyoaktivitenin istatistiksel karakteri nedeni ile radyoaktif bir çekirdeğin ömrü, sıfır ile sonsuz arasında herhangi bir değer olabilir. Buna göre bir çekirdeğin ne kadar var olacağı bilinmez, ancak ortalama ömründen söz edilebilir.

Teorik açıdan bakıldığında numunedeki tüm çekirdeklerin bozunması için sonsuz zaman geçmesi gerekir. Yani ancak $t \rightarrow \infty$ için $N(t) = 0$ olur. Bu durumda radyoaktif numunenin ayırt edici bir özelliği olan yarı ömür kavramı ortaya çıkar. Yarı ömür, radyoaktif bir çekirdeğin başlangıçtaki sayısının yarıya inmesi için geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. $t_{1/2}$ ile gösterilen yarı ömrü bulmak için denklem (23)'de $N = \frac{N_0}{2}$ olarak alınırsa;

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \longrightarrow e^{-\lambda t} = \frac{1}{2}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (24)$$

elde edilir. τ ortalama ömür de bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre olarak tanımlanır. t süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısı $N(t)$ 'dir ve t ile $t + dt$ aralığında bozunanların sayısı $|dN / dt| dt$ 'dir. Bu durumda ortalama ömür,

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t |dN / dt| dt}{\int_0^{\infty} |dN / dt| dt} \quad (25)$$

dir. Paydadaki terim toplam bozunma sayısıdır. İntegral alınırsa,

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (26)$$

bulunur. Ortalama ömür basit olarak bozunma sabitinin tersidir. Denklem (23) ile ancak t süre sonra bozunmamış belirli bir türdeki çekirdeklerin sayısı kestirilebilir. Bir

numunedeki bozunmamış çekirdeklerin sayısını ölçmek yerine t_1 ve t_2 arasındaki bozunumların sayısını ölçmek (yayınlanan radyasyonları gözleyerek) daha kolaydır. Eğer t ve $t + \Delta t$ arasındaki çekirdeklerin sayısındaki değişiklik ΔN ile gösterilirse,

$$|\Delta N| = N(t) - N(t + \Delta t) = N_0 e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (27)$$

dir. Sayımın yapıldığı Δt aralığı λ^{-1} 'den çok daha küçük ise (yani $\Delta t \ll t_{1/2}$) ikinci üstel ifadenin açılımındaki yüksek mertebeli terimleri ihmal edebiliriz ve

$$|\Delta N| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t \quad (28)$$

sonsuz küçük limitinde,

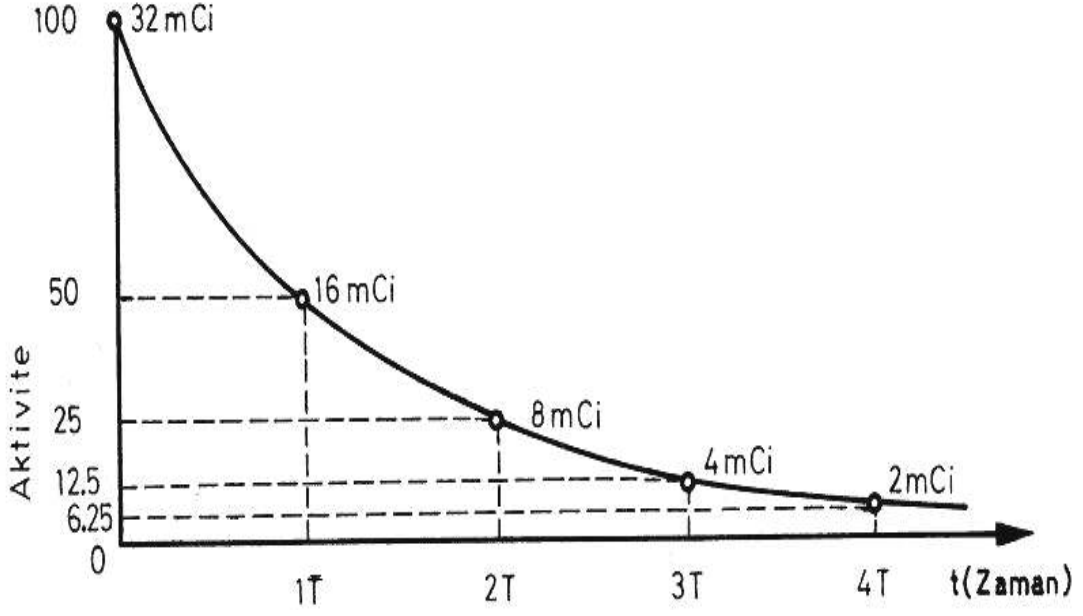
$$\left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (29)$$

elde ederiz. Aktiflik A , numunede birim zamanda bozunma sayısı, yani bozunma hızı olarak tanımlanır.

$$A(t) \equiv \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (30)$$

$t = 0$ 'daki başlangıç aktifliği $A_0 = \lambda N_0$ 'dır (Krane, 2001).

Radyoaktif bir numunenin aktifliği numunede birim zamandaki bozunma sayısıdır ve birimi bozunma/sn'dir. Aktiflik sadece saniyedeki parçalanma sayısını vermekte, yayınlanan radyasyonun türü ve enerjileri ile ilgili hiçbir bilgi vermemektedir. Şekil 3'de aktifliğin zamana göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3. Aktifliğin zamana göre değişimi

Denklem (30) aktifliğin zamanla üstel olarak azaldığını göstermektedir. Böylece, Δt kısa zaman aralıkları içindeki bozunmaları ard arda sayarak aktifliği zamanın fonksiyonu olarak ölçebiliriz. Bu verileri yarı logaritmik olarak çizersek (yani t 'ye göre $\ln A$) eğimi, $-\lambda$ olan düz bir doğru elde ederiz. Bu şekilden yararlanarak bir radyoaktif bozunmanın yarı ömrünü tespit edebiliriz.

Bu ölçme yöntemi, çok kısa ve çok uzun yarı ömürler için yararlı değildir. Yarı-ömür, numunenin bozunması fark edilebilecek kadar kısa olmalıdır. İnsan ömründen büyük yarı-ömürler için aktiflikte kayda değer herhangi bir azalma gözlenmez. Böyle durumlar için dN/dt 'nin ölçülmesi (bu bozunmanın aktifliğidir) ve atom sayısının tespit edilmesiyle (kimyasal yapısı kesin olarak bilinen numunenin tartılmasıyla) denklem (1) doğrudan doğruya kullanılabilir.

1.4.2. Peşpeşe Bozunma Kanunu

Hem doğal olarak bulunan radyoaktif çekirdeklerde hem de yapay olarak üretilen radyoaktif çekirdeklerde bozunma peşpeşe parçalanmalar şeklinde meydana gelebilir. Ana radyoaktif çekirdek başka bir ürüne bozunur ve eğer bu ürün de radyoaktif ise o da başka

çekirdeğe bozunur. Birçok durumlarda bu peşpeşe bozunma, ana çekirdeğin ürüne ve ürünün de kararlı bir radyoaktif çekirdeğe bozunmasıyla sınırlıdır. Verilen herhangi bir zamanda bozunma ürününün sayısı şu şekilde hesaplanabilir.

Herhangi bir t anında, λ_1 katsayısı ile ürüne bozunacak olan ana çekirdeğin sayısı N_1 olsun. Ürün çekirdeğin sayısını N_2 ile gösterelim. Bunlarda λ_2 bozunma katsayısı ile bir çekirdeğe bozunacaklardır. Bu kararlı çekirdeklerin sayısı ise N_3 olsun. Bunlara ek olarak $t = 0$ iken $N_1 = N_{10}$, $N_2 = N_{20}$ ve $N_3 = N_{30}$ olduğunu varsayalım. Aktifliğin saniyedeki bozunma sayısı şeklindeki tarifinden şu eşitlikleri yazabiliriz.

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (31)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (32)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 \quad (33)$$

Denklem (31), N_1 'in bozunma hızını verir. Denklem (32), N_2 tipindeki çekirdeklerin $\lambda_1 N_1$ hızıyla üretildikleri ve $\lambda_2 N_2$ hızıyla ortadan kaybolduklarını göstermektedir. (33) bağıntısıyla N_3 çekirdeklerinin üretim hızı elde edilir. (31) denkleminin $t = 0$ 'da $N_1 = N_{10}$ şartıyla integrali alınırsa,

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (34)$$

elde edilir. Bu değer (32) bağıntısında yerine konursa,

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (35)$$

veya

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} \quad (36)$$

elde edilir. Bu bağıntının her iki tarafı $e^{\lambda_2 t}$ ile çarpılırsa,

$$\frac{d}{dt} (N_2 e^{\lambda_2 t}) = \lambda_1 N_{10} e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \quad (37)$$

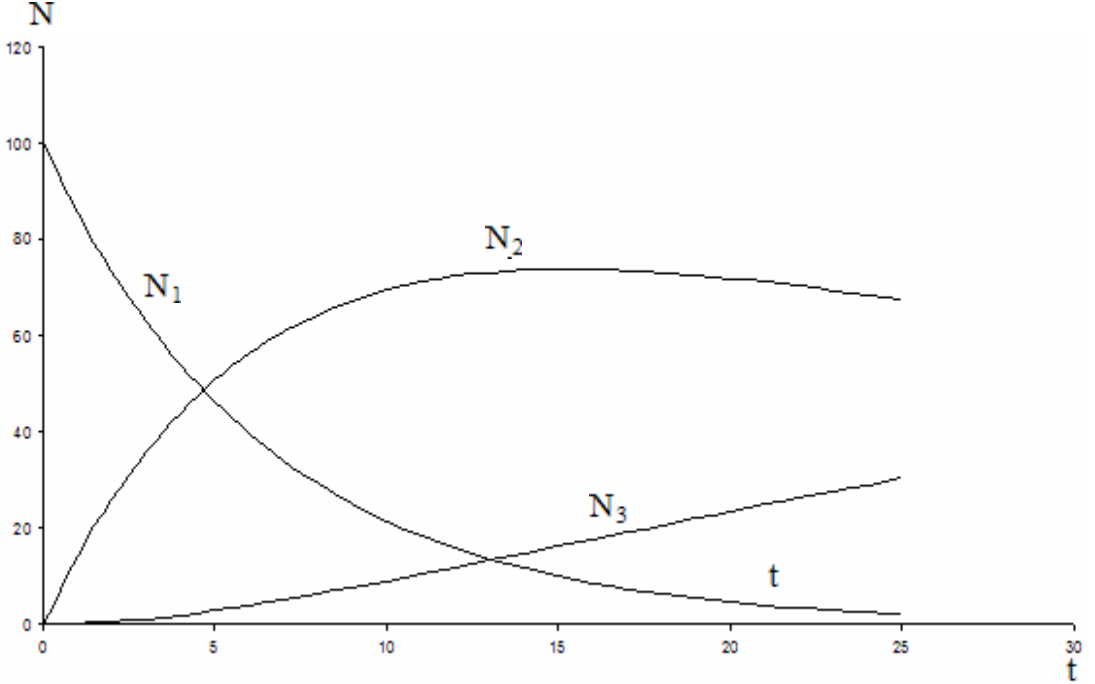
bulunur. Gerekli işlemler yapılırsa,

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t}) \quad (38)$$

bulunur. Benzer şekilde (33) bağıntısı da çözülürse,

$$N_3 = N_{10} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \quad (39)$$

elde edilir. (34), (38), (39) eşitlikleri yardımıyla herhangi bir t anında mevcut olan çekirdeklerin sayısı bulunabilir. $t=0$ iken $N_{10} = 100$ ve $N_{20} = N_{30} = 0$ şartları altında oluşan bir bozunmada oluşan N_1, N_2 ve N_3 'ün t'ye göre değişimi Şekil 4'de verilmektedir (Arya, 1999).



Şekil 4. Peşpeşe bozunma grafiği

1.4.2.1. Geçici Denge

Bir ana çekirdeğin λ_1 bozunma sabitiyle birinci ürüne bozunduğunu ve bunun da λ_2 bozunma sabitiyle bozunduğunu düşünelim. Denklem (38),

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t})$$

ifadesinde $\lambda_2 < \lambda_1$ olduğunda yeterli derecede uzun bir zaman sonunda $e^{-\lambda_1 t}$ terimi $e^{-\lambda_2 t}$ 'ye göre ihmal edilebilir olduğundan,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \quad (40)$$

elde edilir. Bu ise belli bir zamandan sonra birinci ürün çekirdeğin kendisi için belirlenmiş olan λ_2 bozunma sabitiyle bozunacağı anlamına gelir.

1.4.2.2. Sürekli Denge

Eşitlik (38)'de $\lambda_1 \ll \lambda_2$ durumunu ele alalım. $e^{-\lambda_1 t} \approx 1$ ve $\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2$ yazabiliriz. Böylece bu ifade,

$$N_2 = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (41)$$

olarak elde edilir. Ürün çekirdeğin miktarı, zamanın artmasıyla $e^{-\lambda_2 t}$ terimi sıfıra gideceğinden bir denge durumuna yaklaşacak ve denge durumunda,

$$\lambda_1 N_{10} = \lambda_2 N_2 \quad (42)$$

elde edilir. λ_1 çok küçük olduğundan $\lambda_1 N_1 \approx 0$ olacaktır. Buradan ana çekirdeğin çok büyük yarı ömre sahip olduğu anlaşılır.

1.5. Doğal Radyoaktivite ve Doğal Radyasyon Kaynakları

Büyük patlamadan güneş sisteminin yoğunlaşmasına kadar geçen 10×10^9 yıl boyunca hidrojen ve helyum, yıldızlar, novalar ve süper novalardaki ağır elementler oluşmuşlardır. Oluşan elementlerin büyük bir kısmı radyoaktiftir ve o zamandan beri kararsız çekirdekler bozunmaktadırlar. Birkaç radyoaktif elementin yarı ömrü dünyanın yaşına kıyasla çok uzun olup bugün hala bunların radyoaktiflikleri gözlenebilmektedir. Buna doğal radyoaktiflik denmektedir. Proton sayısı 83'den büyük olan bütün elementler radyoaktif özelliğe sahip olup doğada bilinen radyoaktif çekirdek sayısı yaklaşık 340 civarındadır.

Günümüzde gözlenen doğal radyoaktif elementlerin çoğu çok ağır çekirdeklerden oluşmuşlardır ve hiç kararlı izotopları yoktur. Bu çekirdekler kararlı ve hafif bir çekirdeğe ulaşmaya kadar α ve β yayınlarak Z ve A sayılarını azaltırlar. Alfa bozunumu A'yı dört birim değiştirir, β bozunumu ise A'yı değiştirmez ve böylece n bir tam sayı olmak üzere, kütle numaraları $4n$, $4n+1$, $4n+2$, $4n+3$ olan dört bağımsız bozunma serisi elde ederiz. Bozunma işlemi çekirdeği, zincirin en uzun ömürlü üyesine götürme eğilimindedir ve eğer bu çekirdeğin ömrü en azından dünyanın yaşı mertebesinde ise bu aktiflik bugün de gözlenecektir. Bu dört seri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ağır elementlerin bozunma serilerinin bazı özellikleri

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek (Kararlı)	En Uzun Ömürlü Üyesi	
			Çekirdek	Yarı Ömür (Yıl)
Toryum	$4n$	^{208}Pb	^{232}Th	$1,41 \times 10^{10}$
Neptinyum	$4n + 1$	^{209}Bi	^{237}Np	$2,14 \times 10^6$
Uranyum	$4n + 2$	^{206}Pb	^{238}U	$4,47 \times 10^9$
Aktinyum	$4n + 3$	^{207}Pb	^{235}U	$7,04 \times 10^8$

İnsanların maruz kaldıkları radyasyon işinlamalarına en büyük katkı doğal radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. Doğal radyoaktiflik çevremizde, toprakta, havada, suda ve bitkilerde yaygın miktarda bulunmaktadır. Doğal radyoaktif elementler genel olarak kara

ve uzay kökenli olmak üzere iki grupta toplanırlar. Kozmik ışınlar, tüm uzayda olup güneş sisteminin dışında bulunan kaynaklardan gelmektedir. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv/yıl'dır.

Karasal kökenli gama radyasyonun ana kaynağı ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th ve ^{40}K kökenlidir. Doğadaki radyonüklidlerin büyük çoğunluğu ^{238}U bozunma zincirinde yer alır. Şekil 5'de doğal radyasyon düzeyini belirleyen etkenler görülmektedir. ^{238}U elementinin bozunma ürünü olan radon (^{222}Rn) gazı olup %55 lik bir oranla en büyük etkiye sahiptir.

Fosil yakıtlar doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olur. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla topraktan maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıl'dır.

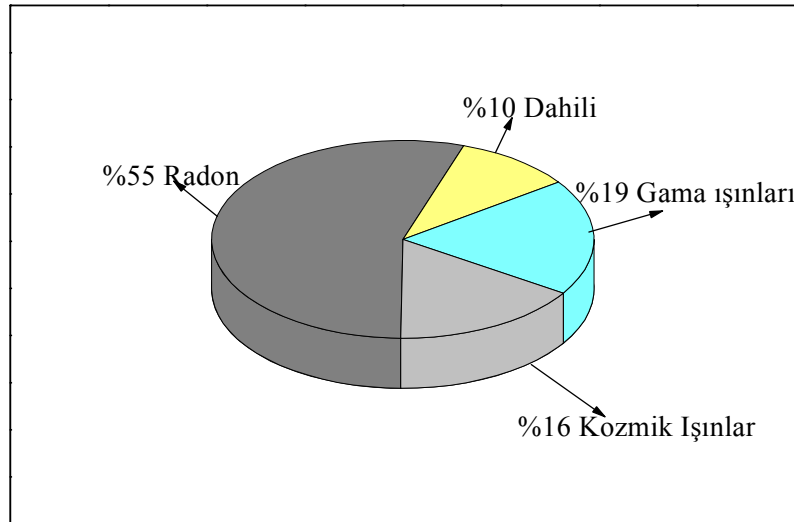
Doğal radyasyonlar, hem vücudun dışında bulunan kaynaklardan hem de bizzat vücudun içinde bulunan doğal radyoaktif maddelerden meydana gelmektedir. Dış radyasyon kaynakları, uzaydan yeryüzüne ulaşan kozmik ışınlar, yerkabuğunda bulunan uranyum ve toryum gibi radyoaktif maddeler ile solunan havadaki radon gazı ve yapı malzemelerinden yayınlanan gama ışınlarıdır. İç radyasyon kaynakları ise başlıca potasyum ve radyumdur. İç radyasyon vücut içerisinde bulunan ^{40}K ve ^{14}C ile solunum yoluyla akciğerlere alınan radon ve bozunma ürünlerinden kaynaklanır.

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle ^{40}K radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç (dahili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv kadardır.

Yapı malzemeleri yeryüzünden sağlandığı için, bu radyoaktif maddeleri ihtiva eder. Yapı malzemesi dış radyasyonlara karşı bir miktar zırhlanma etkisi meydana getirirse bile, genellikle, bu malzemelerden yapılan binalar içindeki radyasyon seviyesi dış radyasyon seviyesinden daha fazladır. Tuğla veya betondan yapılan bir bina içerisindeki ortalama radyasyon dozu yılda 80 mrad civarında olduğu halde granit tipi yapı içindeki doz şiddeti yılda 100 mrad kadardır.

Radon ve toron, uranyum ve toryum bozunma zincirinden meydana gelen gaz ürünler olup bir miktar hava içinde yayılırlar. Yarı ömrünün çok kısa olması sebebiyle toron fazla önemli değilse de 3,8 günlük yarı ömrüyle radon, havada önemli bir konsantrasyon meydana getirmeye yetecek oranda yayınlanabilir. Sıva ve diğer yapı malzemelerinden yayınlanan radon nedeniyle bina içi radon konsantrasyonları dış radon konsantrasyonundan genellikle yüksektir.

Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık 0,25 mSv/yıl'dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar. Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (^{226}Ra) bozunması sırasında salınan *radon gazı*'dır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken maalesef radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Eğer bu gaz, yayılmalar sonucu seyrelirse herhangi bir sorun oluşturmaz. Ancak, radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Böyle bir havalandırma yoksa radon gazı evin içinde dışarıdakinden yüz kat hatta bin kat daha fazla olacaktır. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilir. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv/yıl'dır.



Şekil 5. Doğal radyasyon kaynakları

1.5.1. Kozmik Radyasyonlar

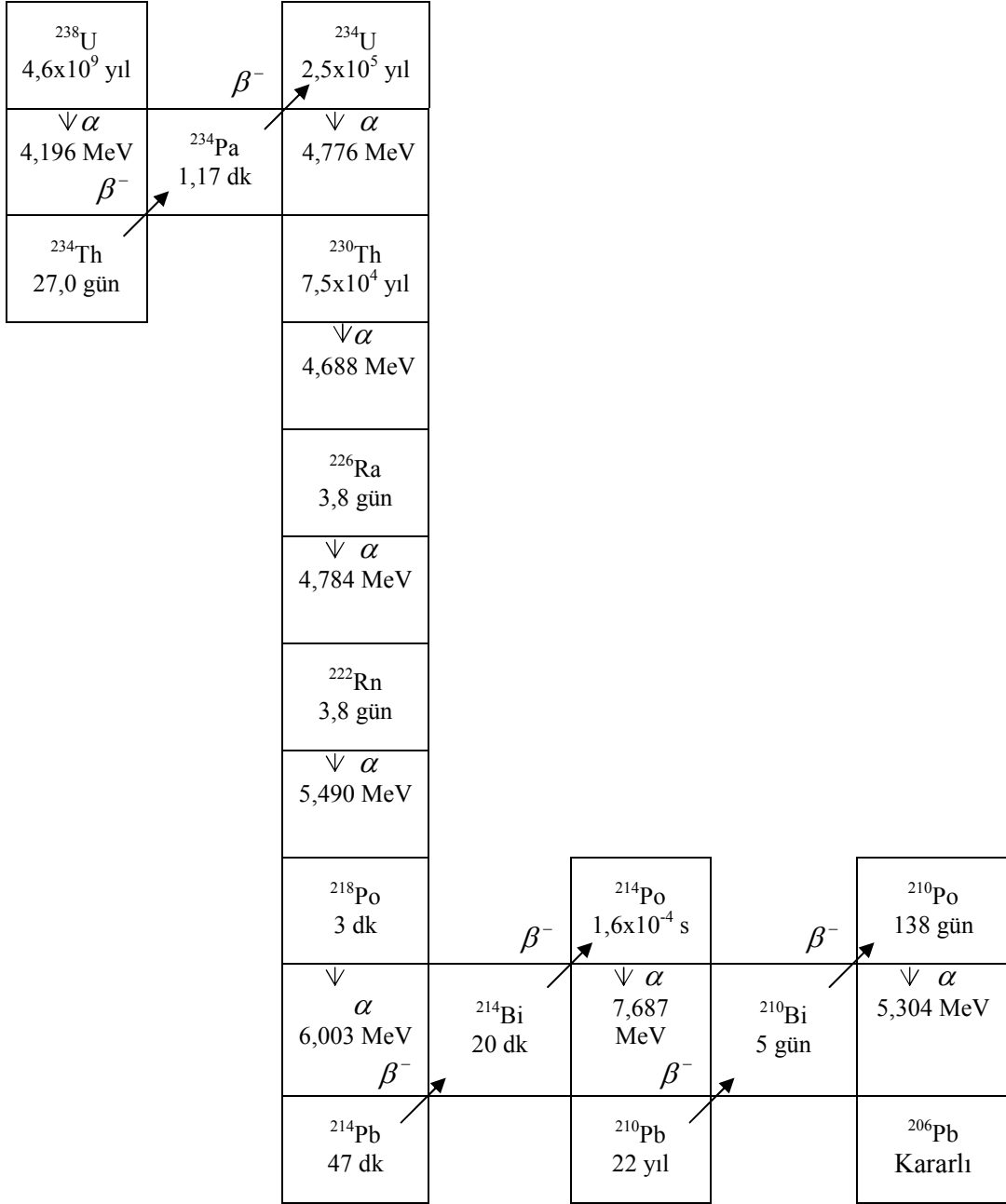
Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar, daha çok (%93) hızlı protonlardan (hidrojen atomu çekirdeklerinden) ve daha az da (%6,3) alfalardan (helyum atomu çekirdeklerinden) ve bir miktar da trityum (^3H) ve karbon-14 (^{14}C) çekirdeklerinden oluşmaktadırlar (Atakan, 2006). Bu parçacıklar dünya atmosferine girdiğinde ortamda bulunan atom çekirdekleri (N, O, Ar, v.s.) ile reaksiyona girerek nötron, proton ve pionların yanı sıra ^3He , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na ve ^{24}Na gibi radyoaktif çekirdekler de üretirler.

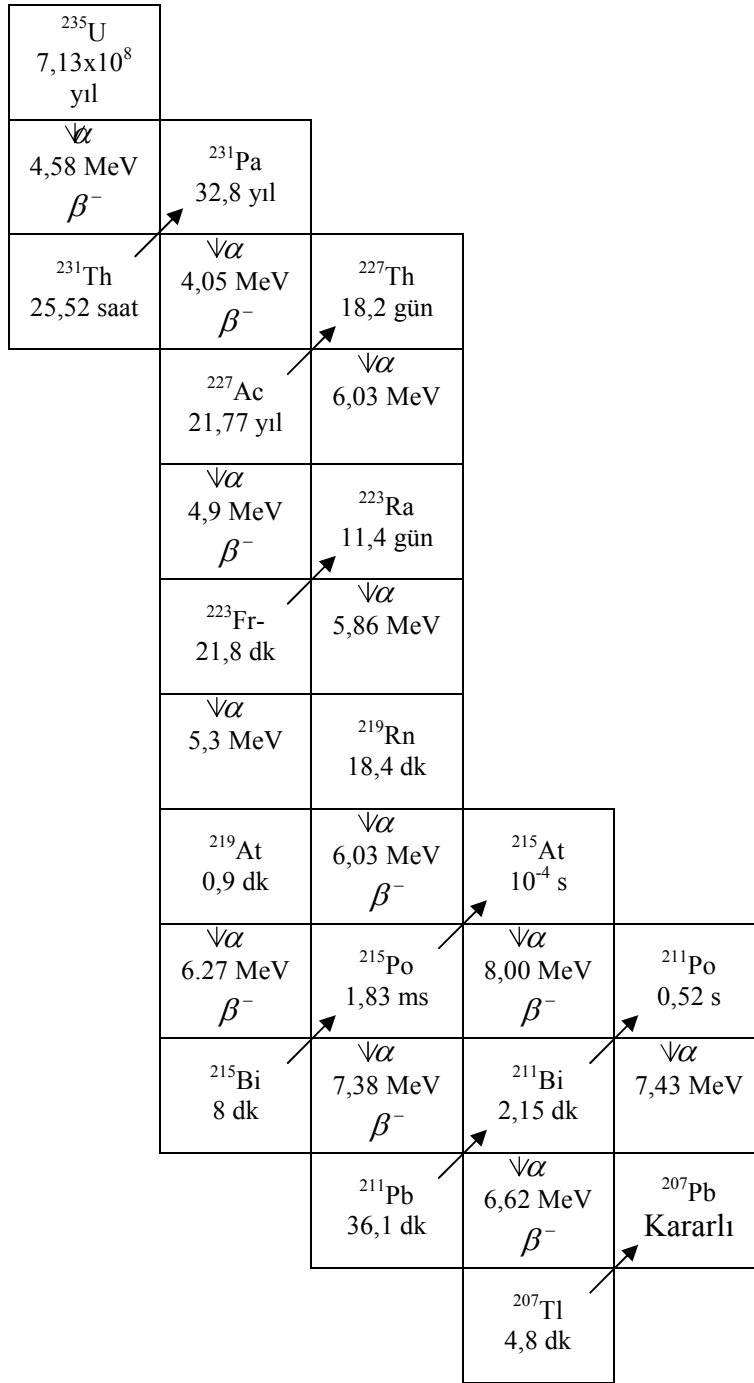
Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlardır. Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girerler. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvator dan kutuplara gidildikçe artar. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferi tarafından tutulurlar. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu azalır.

1.5.2. Karasal Radyasyonlar

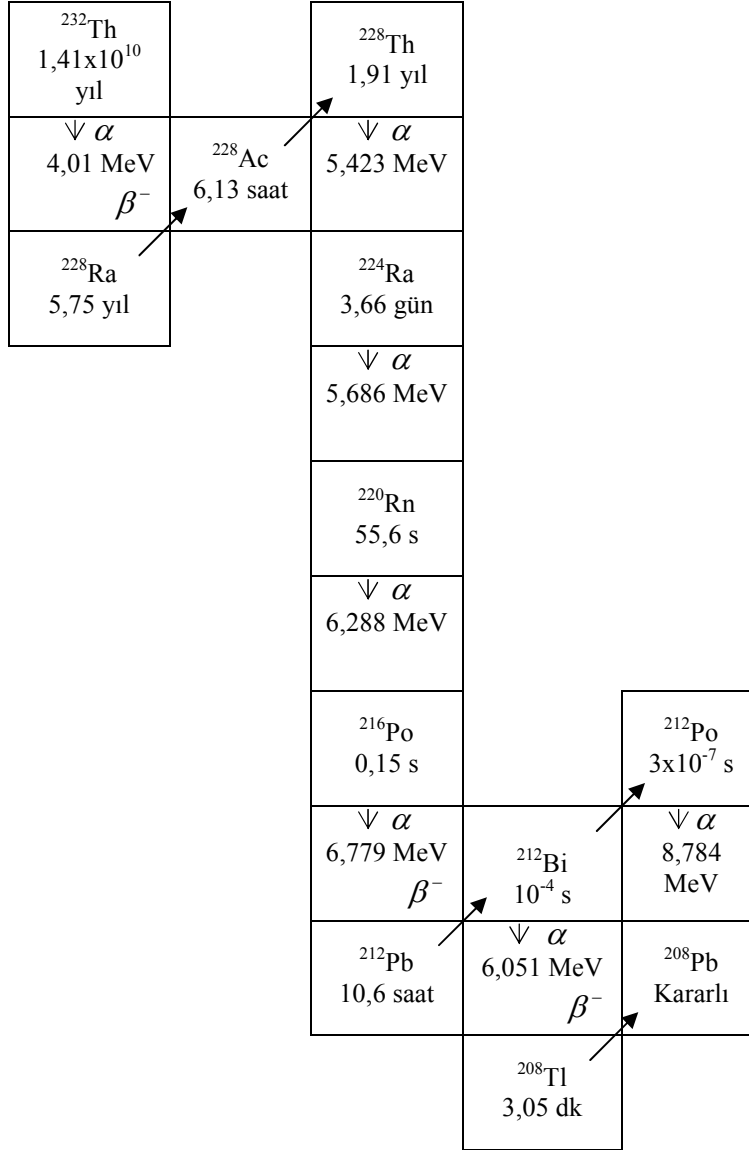
Karasal radyasyon, dünyanın oluşumundan beri varolan çok uzun ömürlü radyonüklitlerden kaynaklanmaktadır. Kara kökenli radyoaktif çekirdekler, ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{237}Np ve bunların bozunma ürünleri ve tek izotoplu radyoaktif çekirdek olan ^{40}K 'dir.

Kararsız ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th radyoaktif çekirdekleri, doğal olarak halen tabiatta bulunan üç radyoaktif serinin ana çekirdekleridir. Bu üç seriye oranla yarı ömrü daha kısa olan ^{237}Np ile başlayan dördüncü bir seri daha vardır. ^{237}Np serisi bozunma ürünlerinin yarı ömürleri, dünyanın yaşı ile kıyaslandığında küçük olduğundan doğal olarak tabiatta bulunmazlar. Bu serinin halen gözlenebilen tek izotopu ^{209}Bi 'dir. Şekil 6-9'da sırasıyla Uranyum (^{238}U), Aktinyum (^{235}U), Toryum (^{232}Th) ve Neptinyum (^{237}Np) serisine ait yarı ömürler, bozunma çeşitleri ve maksimum bozunma enerjileri göstermektedir.

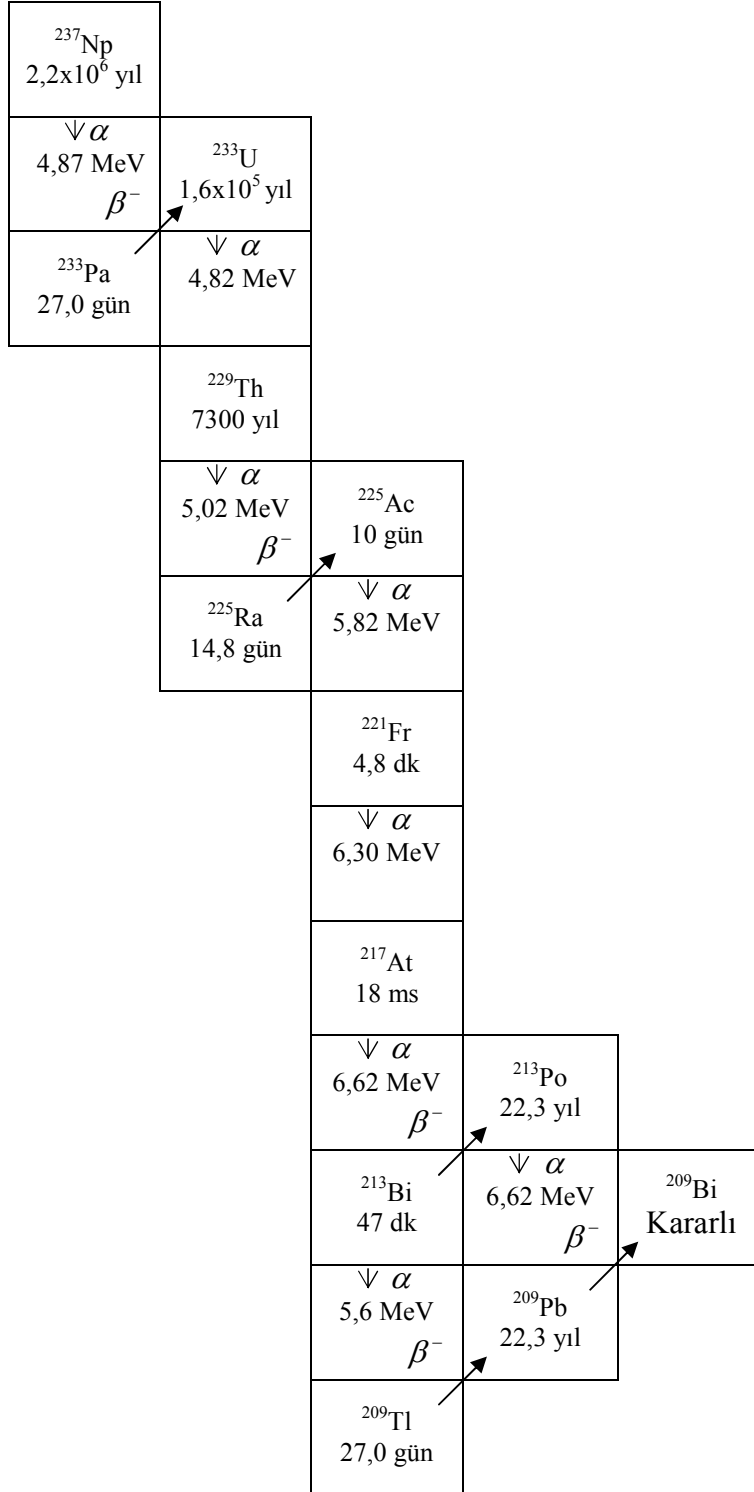
Şekil 6. Doğal radyoaktif ^{238}U bozunma serisi



Şekil 7. Doğal radyoaktif ^{235}U bozunma serisi



Şekil 8. Doğal radyoaktif ^{232}Th bozunma serisi



Şekil 9. Neptinyum radyoaktif bozunma serisi

1.5.2.1. Toprak ve Kayalardaki Radyoaktivite

Toprakta bulunan ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi çok uzun yarı ömürlü doğal radyonüklitler toprağın radyoaktif olmasına yol açmaktadır. Radyoaktiviteye, ^{238}U bozunma zincirinden en büyük katkı (yaklaşık %99) ^{214}Pb ve ^{214}Bi 'den gelirken, ^{232}Th bozunma zincirinden ^{228}Ac ve ^{208}Tl 'den gelmektedir. Doğal radyonüklitler daha çok granit, ufalanarak toprağa karışırlar ve topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına sebep olurlar. Bir bölgenin doğal radyoaktivitesi bölgenin jeolojik yapısına göre değişiklik gösterir. Dünyanın yapısına bakıldığında belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarına rastlanmaktadır. Özellikle gama radyasyonlarının önemli bir kısmının 0-25 cm derinliğindeki toprak tabakasından kaynaklandığı bilinmektedir (Karahan, 1997). Bazı bölgelerde geniş alanlara yayılmış olan granit kayalar önemli miktarda toryum içermektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki bu tip kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyonları oldukça yüksektir. Tablo 2'de bazı kayaç türlerinin (Canbazoglu, 2004) ve toprakların (UNSCEAR, 2000) içerdiği radyoaktivite düzeyleri fosfat, volkanik ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar.

Tablo 2. Bazı kayaç türlerindeki ve topraklardaki ortalama radyoaktivite konsantrasyonları

	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)
Kayaç Türü			
Granit	35	70	1200
Bazalt	12	15	230
Kireçtaşı	25	8	70
Toprak	35	30	400

1.5.2.2. Atmosferdeki Doğal Radyoaktivite

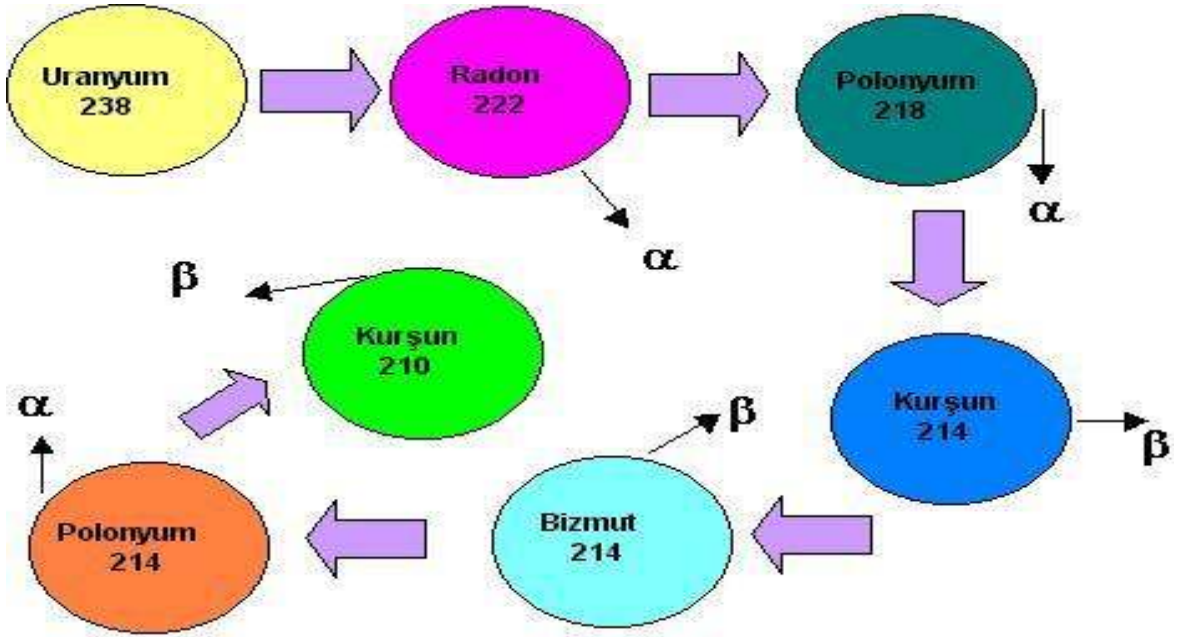
Yüzeye yakın atmosferde hem doğal kaynaklardan yayılan hem de insan yapımı radyoaktif maddeler bulunmaktadır. Halen yapılmakta olan nükleer denemeler atmosfere çok miktarda radyoaktif zerreciklerin atılmasına neden olmaktadır. Bu zerrecikler atmosferik şartlarda kirlenen hava yere yaklaştığı zaman insanlar tarafından teneffüs edilebilmekte ve böylece radyasyona maruz kalınmasına neden olmaktadır. Uzay kaynaklı kozmik ışınlar veya yüklü partiküller de dünya atmosferine girdiklerinde iyonizasyona sebep olmaktadır.

1.5.2.3. Radon

Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon, renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan; ^{119}Rn - ^{226}Rn arasında toplam 28 izotopu bulunan bir kimyasal elementtir. Radon, kaya, toprak ve suda değişik oranlarda bulunan ^{238}U 'nun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur.

^{222}Rn bir seri bozunumu ile yine radyoaktif olan kısa ömürlü bozunma ürünlerini üretir. ^{222}Rn ve bozunma ürünleri, doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun yaklaşık % 50' sini oluşturmaktadır (BEIR VI, 1999). ^{222}Rn ve bozunma ürünlerinin solunması ve sindirim sistemine alınması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Bozunma ürünleri (^{218}Po , ^{214}Bi , ^{214}Po ve ^{214}Pb radyoizotopları) gaz olmayıp, havadaki toz ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosollerini oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğerlere, ^{222}Rn ve bozunma ürünleri içeren suların içilmesiyle de sindirim sistemine alınmaktadır. Bu aerosollerin kararlı hale gelinceye kadar bozunmaları, sürekli radyasyona maruz kalınmasına neden olmaktadır. Bu durum ise, akciğer dokusunda hasar oluşturarak zaman içerisinde kansere sebep olabilmektedir. ^{222}Rn ve bozunma ürünlerinin solunması akciğer kanseri oluşumunda sigaradan sonra ikinci faktör olarak bilinmektedir (BEIR VI, 1999; EPA, 1992).

Bu bozunma zincirinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bu yüzden radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır. Radyoaktif radon gazının yarı ömrü 3,8 gündür. Şekil 10'da radonun oluşum şeması görülmektedir.



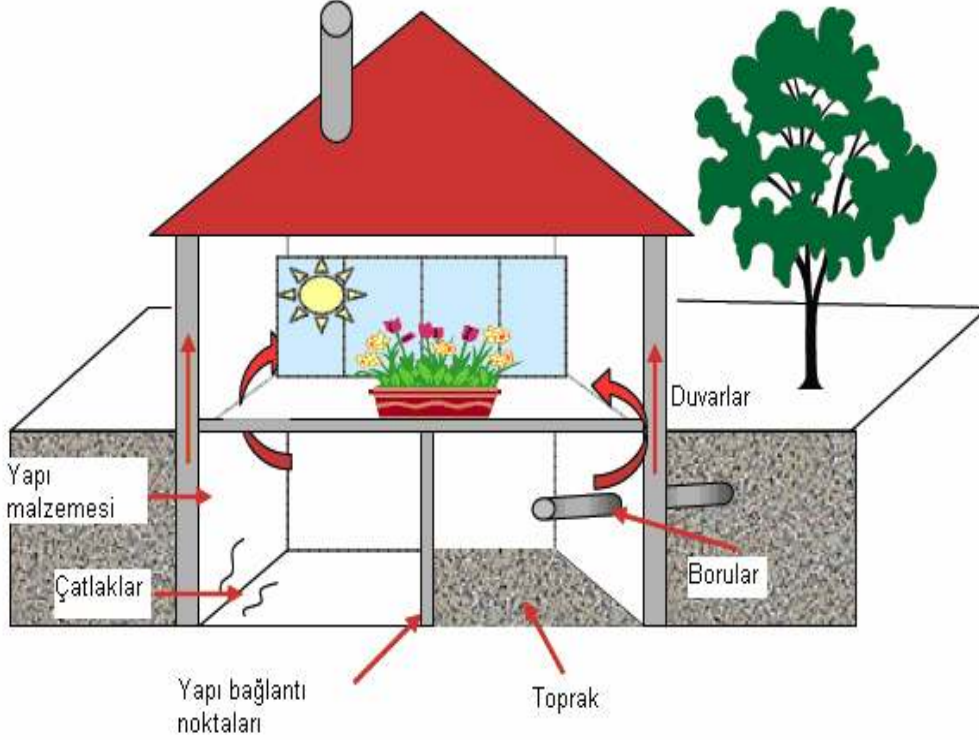
Şekil 10. Radon gazının oluşum süreci (URL-1)

Radonun toplum ile ilgisi günlük yaşamda karşılaşılan ve özellikle ev yapım malzemesi olarak kullanılan taş, toprak, çimentoda doğal olarak bulunması ve sürekli olarak ortama serbest olarak yayılması ve nefes yoluyla akciğerlerimize ulaşmasıdır. Sonuçta radon akciğer kanseri riski oluşturmakta veya mevcut riski arttırmaktadır. USA Çevre Koruma Ajansı (EPA-Environmental Protection Agency) yılda 20.000 akciğer kanseri vakasının radon gazına bağlı olduğunu söylemektedir (EPA, 1992).

Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radonun büyük kısmı, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girer. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar Şekil 11’de görüldüğü gibi radon gazı, zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, asma kat boşlukları, tesisat boru boşlukları, duvarlar arası boşlukları ve içme suları ile bina içlerine sızarlar.

Radon gazının havadaki miktarı bölgeden bölgeye ve ülkeden ülkeye göre değişim gösterir. Kışın özellikle soğuk iklime sahip bölgelerde, evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az ve dışarıdaki basınç fazla olur ve bu nedenle içerdeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgarlı havalarda için de geçerli olduğu için radon oranı içerde artar. Yaz aylarında

ise iyi havalandırılmış işyeri ve evlerde dışarı ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki radon seviyesi azalır (Papaefthymiou, 2003).



Şekil 11. Radon gazının bina içine giriş yolları

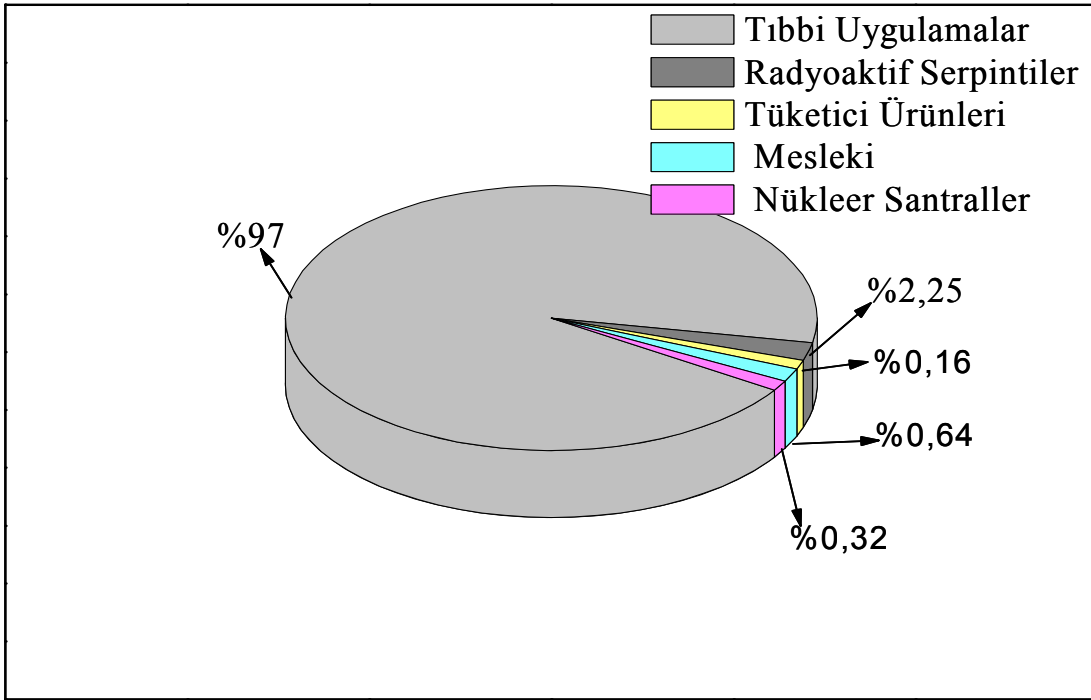
Kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonunun kontrolü amacıyla gerek ülkeler gerekse uluslararası kuruluşlar tarafından limit değerler belirlenmiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilmektedir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler $200-600 \text{ Bq/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise 400 Bq/m^3 'tür. İngiltere'de NRPB (The National Radiological Protection Board) radon miktarını dışarda ortalama 4 Bq/m^3 , evlerde ortalama 20 Bq/m^3 olarak belirlemiş eğer radon miktarı evlerde 200 Bq/m^3 'ün üzerine çıkar ise müdahale edilmesi gerektiğini (action level) ifade etmiştir. USA Çevre Koruma Ajansı (EPA)'da benzer bir limit koymuştur. EPA'ya göre saptanan maksimum limit 148 Bq/m^3 'tür.

1.6. Yapay Radyoaktivite ve Yapay Radyasyon Kaynakları

Kararlı ya da kararsız elementlerin nükleer reaktör veya hızlandırıcılarda, alfa, nötron, proton gibi tanecikler ile bombardımanında oluşan yeni elementler de radyoaktiftir. Bombardıman yolu ile elde edilen radyoaktif elementlerin bu özelliğine yapay radyoaktivite denir. Bazı yapay radyoaktif çekirdekler Tablo 3’de verilmiştir. Yapay radyasyon kaynakları da, doğal radyasyon kaynaklarında olduğu gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Fakat bu doz, kullanım şekli ve miktara bağlı olarak artsa da doğal kaynaklardan alınan doza göre çok düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine kontrol altında tutulabilir olmaları da maruz kalınacak doz miktarını açısından önemlidir (TAEK, 2002). Bazı yapay radyasyon kaynakları ve bu kaynaklardan yayınlanan radyasyonların oransal dağılımları Şekil 12’de verilmiştir (IAEA, 1996).

Tablo 3. Yapay radyoaktif çekirdekler

Radyoaktif Çekirdek	Yarı ömür	Yayınladığı Radyasyon Türü
⁶⁰ Co	5,3 yıl	β, γ
⁶⁵ Zn	244 gün	γ
⁹⁰ Sr	28,78 yıl	β
⁹⁰ Y	64 saat	β
¹³¹ I	8,04 gün	β, γ
¹³⁷ Cs	30,17 yıl	β, γ
¹⁵⁵ Eu	4,96 yıl	β, γ
²³⁸ Pu	87,7 yıl	α
²³⁹ Pu	$2,4 \times 10^2$ yıl	α, γ



Şekil 12. Yapay radyasyon kaynakları

1.7. Radyasyon Dozu ve Ölçüm Birimleri

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan ya da tüketilen miktarı demektir. Radyasyonun dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Bütün zararlı maddeler genellikle, vücutta bir takım biyolojik hasarlara neden olurlar. Bu hasarların büyüklüğü ise, o maddenin cinsinin yanı sıra, vücuda alınış şekli, süresi ve miktarına bağlı olarak değişir. Bunun yanı sıra, yaşam boyu alınan toplam miktar da oluşabilecek zararı belirleyen önemli bir unsur olacaktır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, belli bir sürede belli bir miktarın üzerinde radyasyon enerjisi soğuran yani radyasyon dozu alan canlılarda da bazı zararlı etkilerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu etkinin büyüklüğü ise ancak radyasyonun çeşidi, soğurulmayan ve soğurulan radyasyonun miktarı bilindiği zaman mümkündür. Bütün bu faktörler bilindiğinde radyasyonun insan sağlığı veya diğer canlı ve cansız varlıklar üzerinde bırakacağı etki kolayca belirlenebilir.

1896 yılında Henrie Becquerel tarafından radyoaktivitenin keşfinden beri, radyoaktivite ve uygulamaları konusuna gitgide artan ilgi, insanların radyasyondan ne

kadar doz aldıklarının bilinmesinin önemini ortaya koymuştur. Radyasyondan alınan dozun hesaplanabilmesi için, öncelikle doğal radyoaktivitenin incelenmesinin zorunlu olduğu anlaşılmıştır.

Radyasyonun etkisi geçtiği ortamda oluşturduğu iyonlaşmaya, iyonlaşma da bu ortam tarafından soğurulan radyasyonun enerjisine bağlıdır. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU), aktivite, ışınlama dozu, soğurulan doz ve doz eşdeğeri için sırasıyla Curie (Ci), Röntgen (R), Rad ve Rem birimlerini tanımlamışlardır. Bu özel birimler, 1986 yılından itibaren bırakılmaya başlanmış ve yerine tüm dünyada kullanılan birimlerin aynı olması düşüncesi ile M.K.S. sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (SI) kullanılmıştır. Aynı kavramlar için SI birimleri sırasıyla Becquerel (Bq), Coulomb/kg (C/kg), Gray (Gy), ve Sievert (Sv) olarak seçilmiştir.

1.7.1. Radyoaktivite Birimleri

Radyoaktif maddenin saniye başına gerçekleştirdiği bozunma sayısına aktivite denir. Aktivitenin SI birimi Becquerel olarak adlandırılır ve kısaca (Bq) ile sembolize edilir. Eski birim sisteminde Curie olarak kullanılan radyoaktivite birimi (Ci), bir gram radyumun saniyede uğradığı bozunma sayısı ($3,7 \times 10^{10}$ bozunma/saniye) olarak tanımlanmış ve bu sayıda aktivite gösteren tüm diğer radyoaktif maddelerin aktivitesi 1 Curie olarak belirtilmiştir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunma/saniye}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

1.7.2. Işınlama Birimi

Işınlama birimi Röntgen, normal hava koşullarında (0°C ve 1 atm basınç) havanın 1 kilogramında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar meydana getiren x veya γ radyasyon miktarıdır. Yeni radyasyon birimi Coulomb/kg olarak belirlenmiştir.

$$1 \text{ Coulomb/kg} = 3876 \text{ R veya}$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg dır.}$$

1.7.3. Soğurulan Doz Birimi

Nükleer teknolojinin ilerlemesi ile elde edilen yüksek enerjili x ışınlarının α , β ve nötron gibi radyasyonlardan herhangi bir cisimde soğurulan enerjisinin ölçümünde coulomb/kg veya röntgen yetersiz kalmıştır. Bu nedenle her çeşit radyasyon ve madde için soğurulan doz birimi olarak Gray tanımlanmıştır. Radyoaktif bir madde tarafından salınan radyasyon etkileştiği maddelere enerji bırakmaktadır. Soğurulmuş doz, ışınlanan maddenin 1 kilogramında 1 Joule'lük enerji soğurması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır ve Gy ile sembolize edilir.

Soğurulmuş dozun eski birimi rad olup,

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/gr}$$

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-5} \text{ J/gr}$$

$$100 \text{ rad} = 1 \text{ gray}$$

$$1 \text{ gray} = 1 \text{ J/kg'dır.}$$

1.7.4. Eşdeğer Doz Birimi

Radyasyona maruz kalan insanlarda meydana gelebilecek zararlı biyolojik etkilerin belirlenebilmesi açısından, ölçülebilen bir radyasyon dozu birimine ihtiyaç duyulmuştur. Işınım sonucu fırlatılan enerji paketleri ve parçacıklar canlı hücrelere çarptığında, enerjisini bu hücrelere bırakmaktadır. Fakat farklı ışınım parçacıkları aynı miktarda enerji bıraksalar dahi, canlı hücrelere olan biyolojik etkileri farklı olmaktadır. Zira soğurulan dozun meydana getirdiği zararlı biyolojik etkiler, hem iyonizasyon yoğunluğuna hem de radyasyonun türüne (α , β , γ vs.) göre farklılık göstermektedir. Yani oluşacak biyolojik etki, iyonlaştırıcı radyasyonların geçtikleri ortamın birim uzunluğunda kaybettikleri enerji miktarına (Lineer Enerji transferi) bağlı olarak değişim göstermekte ve LET arttıkça artmaktadır. Bu nedenle eşdeğer doz birimi, radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsü olmalıdır.

Doz eşdeğerinin SI birimi Sievert (Joule/kg) dir ve kısaca "Sv" ile sembolize edilir ve soğurulan dozun ile kalite faktörünün çarpımı olarak tanımlanır.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

1.8. Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (AEDE)

Bu değer, insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayılan ışınlarla gerek dışarıdan maruz kaldığı gerekse yediği gıdalar ve soluduğu havada bulunan değişik radyonüklitlerden yayınlanan ışınlarla içeriden maruz kalmak suretiyle bir yıl içerisinde alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır ve birimi Sievert'tir. Her radyonüklitin yayınladığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılarak, her radyonüklit için birim aktivite başına yayınladığı radyasyonun doz dönüşüm faktörleri belirlenir ve birim hacim veya ağırlık başına tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörleri çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur.

$$AEDE = \text{Dönüşüm faktörü} \times \text{Aktivite konsantrasyonu}$$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma bölgelerimiz olan Trabzon ili ve Şebinkahisar ilçelerinde örnek toplama işlemi araştırmalarımızın en önemli kısımlardan birini oluşturmaktadır. Bu aşamada yapılan çalışmalarda örnek dağılımının düzenli olması gerekir. Bu şekilde çalışma alanlarımız sistematik şekilde değerlendirilmiş olur. Herhangi bir çevreden alınan örnek o çevreyi mümkün olan en iyi şekilde temsil etmelidir. Doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılacak olan arazi çalışmalarına geçmeden önce örnekleme yapılacak bölgenin jeolojik yapısının incelenerek haritasının oluşturulması ve harita üzerinde örnek alınacak noktaların belirlenerek işaretlenmesi ve çalışmaların planlanması gerekir.

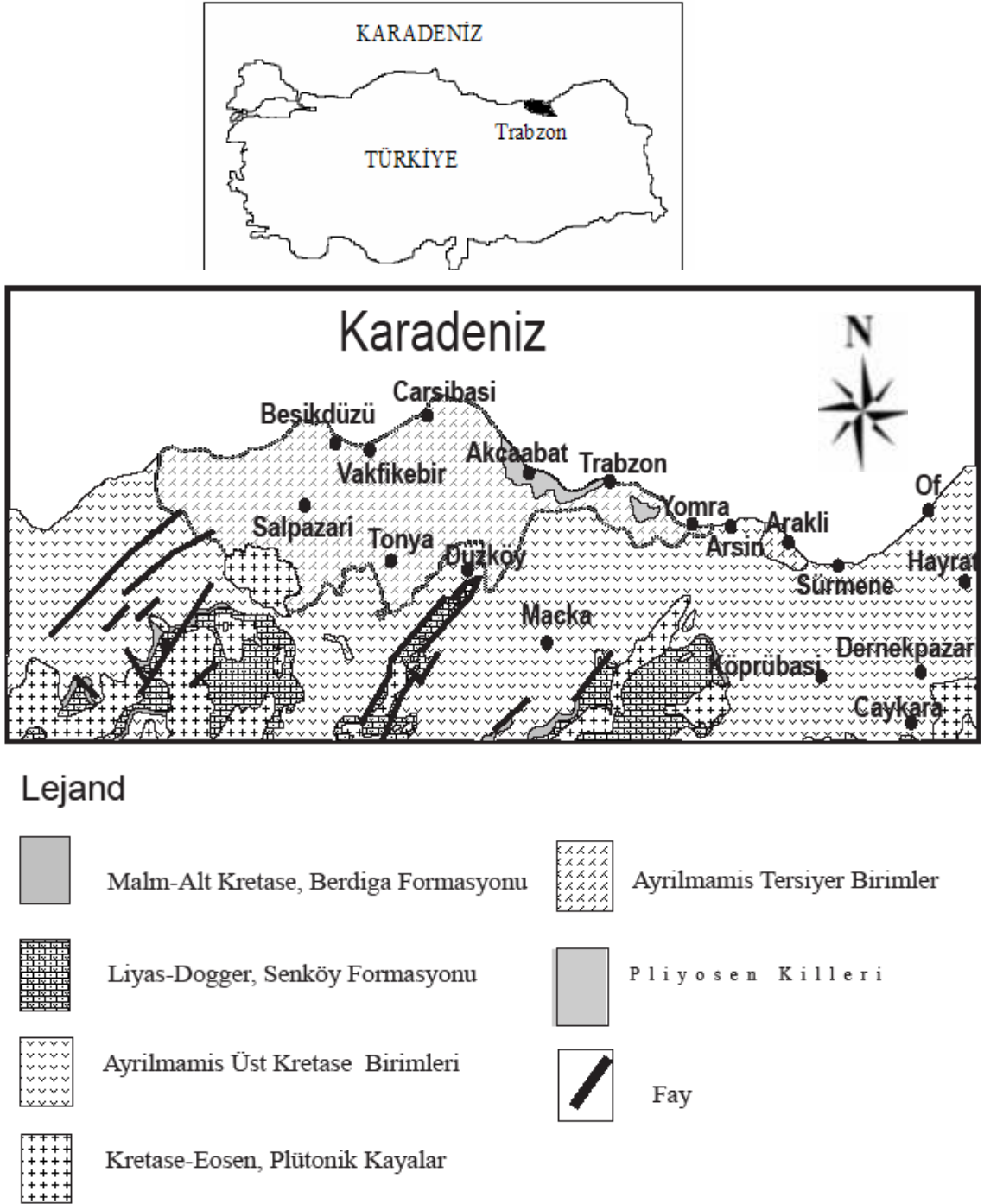
2.1. Trabzon ve Şebinkarahisar'ın Jeolojik Yapısı

2.1.1. Trabzon İlinin Jeolojik Yapısı

4664 km² yüzölçüme sahip Trabzon ili, Doğu Karadeniz Dağlarının oluşturduğu yayın ortasındaki Kalkanlı dağlık kütesinin kuzeye bakan yamaçlarında 38° 30' - 40° 30' doğu meridyenleri ve 40° 30' - 41° 30' kuzey paralelleri arasında yer almakta olup güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, batısında Giresun, doğusunda Rize illeri ile çevrili ve kuzeyinde Karadeniz'e kıyıdır. Yerleşim yoğunluğu daha çok sahil kesimlerinde görülmekte olup deniz seviyesinden başlayarak güneye doğru artan yükseklik bölgede hemen hemen 3400 m'ye kadar ulaşmaktadır. Yüksek kesimlerde dağlar, tepeler ve yaylalar yer almaktadır (URL-2). Genel itibarıyla yayla vasfında olan Trabzon ili, Çoruh Vadisi ile Melet Çayı arasında sahile paralel olarak uzanan dağlardan oluşan, yaklaşık olarak 325 km uzunluğundaki çok engebeli platformun kuzey kısmını kaplar.

Trabzon yöresinde stratigrafi olarak alttan üste doğru Üst Kretase yaşlı tortul ara katkılı volkanik seriler konglomera kumaşı marn kil ve kireç taşı denizsel Üst Miosen ve serileri; lagüner gölsel Pliyosen killeri, çakıllı kumlu siltli ve killi Kuaterner yaşlı taraça dolguları ile çakıllı kumlu siltli killi killi akarsu ve kıyı alüvyonları bulunmaktadır. Şekil 13'de bölgenin jeolojik haritası verilmektedir.

Yörenin nemli iklim karakteri havzaların hızlı akışlı olması ve fazla yük taşımaları derine aşındırmada başlıca rolü oynamıştır. Aşınmaya karşı dayanıksız olan tuf aglomera ve kalkerli yapılarda derine aşındırma hızlanarak bir taraftan konsekant kollar gelişirken dik "V" şekilli vadiler oluşmuş diğer taraftan da bu vadilerin yamaçlarında meydana gelen tali kollar arttırdıkları aşındırma faaliyetleri ile yamaçları iyice parçalamışlardır. Böylece sahada bugün görülen dentritik drenaj ağının oturduğu muntazam denize doğru alçalan vadi sistemi meydana gelmiştir. Dar bir alana sahip olsa bile erozyonla taşınan molozların vadi tabanına yakın alçak yamaçlarda birikmesiyle düşük eğimli kısmi düzlükler oluşmuştur. Yamaçların farklı kayalardan meydana gelmesi de engebeyi kuvvetlendiren diğer bir faktördür. Tortul ve volkanik sediman karakteri taşıyan yüzeyler kolay aşınırken volkanik kayalar yamaç boyunca yer yer ortaya çıkarak normal yamaç seviyesinden yüksek sathları oluşturmuşlardır. Trabzon ilindeki en gelişmiş vadiler batıda güney-kuzey yönünde uzanan Foldere Vadisi; Değirmendere akarsularının kurulu olduğu güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda; Karadere Vadisi ve doğudaki güney-kuzey uzanış gösteren Solaklı Deresi vadisidir.

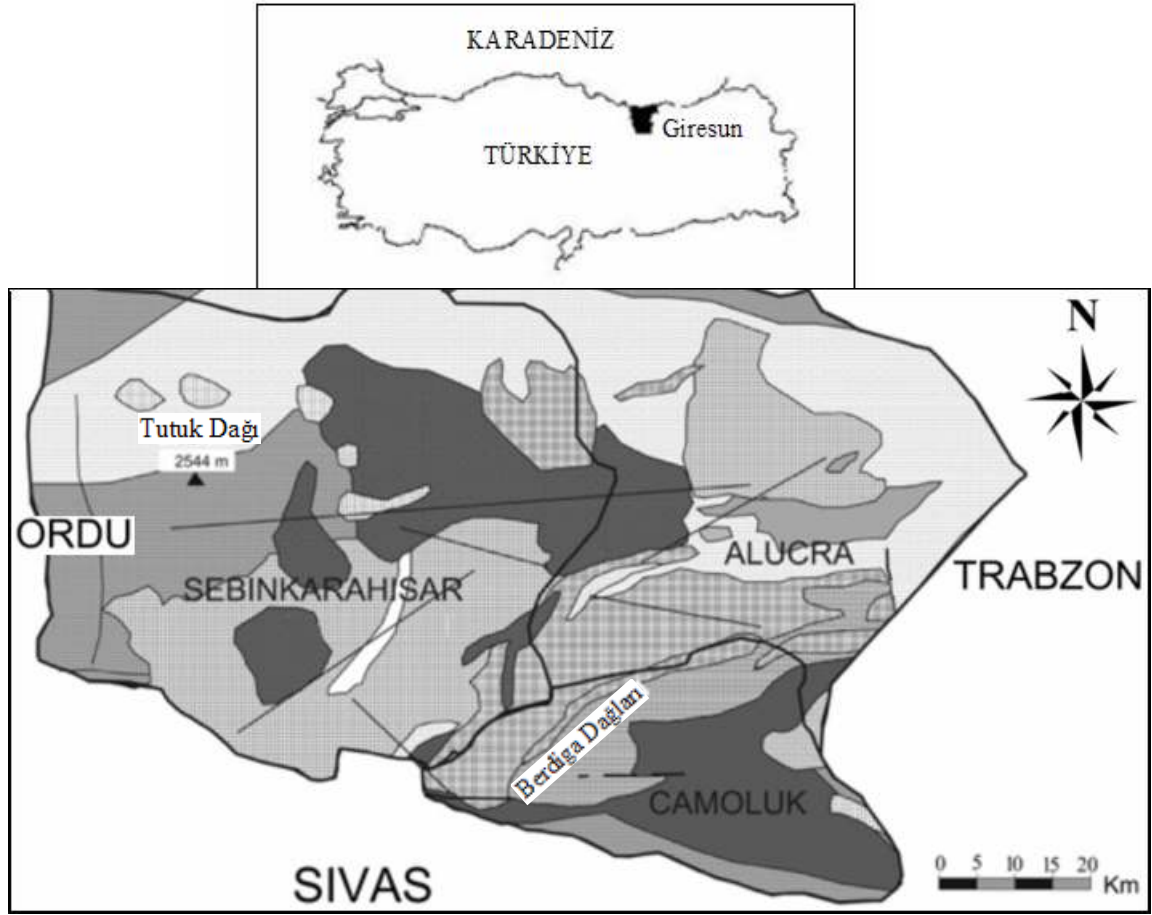


Şekil 13. Trabzon ili jeoloji haritası (MTA, 2002)

2.1.2. Şebinkarahisar İlçesinin Jeolojik Yapısı

Şebinkarahisar; Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü içerisinde, Giresun İli sınırlarında yer alan, 1394 km² yüzölçüme sahip bir ilçedir. İlçenin merkezi, 40° 17' kuzey enlemi ile 35° 26' doğu boylamında Giresun Dağları'nın güney eteklerinde, Avutmuş Çayı vadisinin kuzey yamaçlarında kurulmuştur. İlçenin kurulduğu bölge, 2008 m. rakımlı Meryem Dağı ile 1568 m. rakımlı Kale Tepe arasındaki boyun noktasında ve Kale Tepe eteklerinde yer almaktadır. Giresun'a 118 km uzaklıkta yer alan ilçe merkezinin rakımı 1350 metredir.

Yörede en yaşlı kayaç olarak granitoidler mevcuttur. Esas olarak ortoklas-mikrolin, kuvars ve biyotit ihtiva etmektedirler. İlçenin çevresini oluşturan dağlık alanlarda Kretase ve Eosen yaşlı fliş ve volkano sedimanter kayaçlar, merkezi kısımda ise Miyosen yaşlı sığ denizel tortul kayaçlar ile bunları kesen Pliyosen yaşlı volkanik kayaçlar yörenin başlıca jeolojik elemanlarını meydana getirirler. Şebinkarahisar ilçesinde Oligosen-Miyosen devrine ait jipsli killere de rastlanır. Dik eğimlerin, güçlü akarsu aşındırmasının, killi katmanların yaygınlığına bağlı olarak saha, yer yer kütle hareketlerine maruz kalmaktadır (MTA, 2008). Bölgenin jeolojik haritası Şekil 14'de verilmektedir. Yaşlı kayaçları genelde örten bazalt ve bazaltik tüfler en genç volkanik kayaçlardır. Karasal fasiyes durumunda oluşan sedimanter kayaçlar vardır. Sedimanter kayaçları yer yer kömürlü seviyeler izler. Bu seviyeler uranyum konsantrasyonunun bakımından önemlidir. Bunların üzerinde andezitik lav akıntısı bulunmaktadır. En eski kayaçların da granit olması, uranyum yönünden önemli potansiyel olabileceklerini göstermektedir (MTA, 2008).



LEJAND

	Jura-Kretase		Eosen Fliş		Pliosen
	Alt Kretase		Eosen Volkanik Yapılar		Quaternary
	Üst Kretase Volkanik Yapılar		Oligo-Miosen Jipsli Yapılar		Fay
	Üst Kretase, Fliş		Paleosen-Eosen Granitoit		Bölge Sınırı
	Üst Kretase Volkanik Kayalar		Pliosen Bazalt-Andezit		Yükseklik

Şekil 14. Şebinkarahisar ilçesinin jeolojik haritası (MTA, 2002)

Şebinkarahisar ilçe sınırları içerisindeki arazide en yaygın olan toprak türleri kahverengi topraklar, kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi orman toprakları ve yüksek dağ çayırı topraklarıdır. Bunlar dışında çıplak kayalık ve molozlar, dar alanlı olarak gri-kahverengi podzolik topraklar, alüvyal ve kolüvyal topraklar görülmektedir.

Tüm bunların yanı sıra, Giresun-Şebinkarahisar yöresi uranyum yönünden çeşitli çalışmacılar tarafından potansiyel bir saha olarak değerlendirilmektedir. Şebinkarahisar'da uranyum araştırmalarına ilişkin bilimsel verilerin alınmaya başlanması ise yaklaşık yarım asır öncesine kadar dayanmaktadır. MTA tarafından yürütülen bu çalışmalarda, Şebinkarahisar yöresinde yaklaşık 300 ton kapasiteli uranyum yataklarının olduğu saptanmıştır. Çalışmalarda Saydere, Çatakhandamları, Tamdere, Asarcık, Çamağzı, Çukurovası ve Eskine Yayla bölgelerinde Uranyum zuhuru bulunduğu ve uranyumun kaynak kayacının da granitler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca granitlerde çeşitli kesimlerde nokta anomalileri şeklinde radyoaktivite görülmüştür (Örgün, 1972). Bu nedenlerden dolayı, yaptığımız çalışmada da bu bölgelerden alınan toprak ve kaya örneklerinin gama spektrometrik analizleri yapılarak ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Bölge için elde edilen sonuçların insan sağlığını etkileyip etkilemediği ilgili kuruluşların önerilen referans değerleri ile karşılaştırılarak radyasyon güvenliği açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

2.2. Toprak ve Kaya Örneklerinin Gama Spektrometrik Analizleri

2.2.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma bölgelerimiz olan Trabzon İli ve Şebinkarahisar ilçesi için yapılan arazi çalışmaları kapsamında toprak ve kaya örnekleri alınmıştır. Toprak numunelerinin toplanması yüzeyden 15-20 cm derinliğe inilerek yapılmıştır. Numuneler alınırken rastlanan bitki ve kök artıkları, çürümüş ağaç yaprak ve dalları gibi biyolojik kalıntılar ayrılmış ve örneğe sokulmamıştır. Yalnız toprak almaya dikkat edilerek çakıl ve taşlar da numune dışına bırakılmıştır. Toprak numuneleri radyoaktif sayımlara yetecek miktarda (1-1,5 kg) alınmıştır. Kaya örnekleri toplanırken de, bir bölgeden alınan kaya örneğinin o bölgenin jeolojik yapısını en iyi temsil edebilecek örnek olmasına, bölgeye sonradan

getirilmiş olmamasına dikkat edilmiştir. Numuneler önceden etiketlenmiş temiz, ağızları kapanabilen naylon torbalara konulup laboratuara getirilmiştir.

2.2.2. Örneklerin Analize Hazırlanması

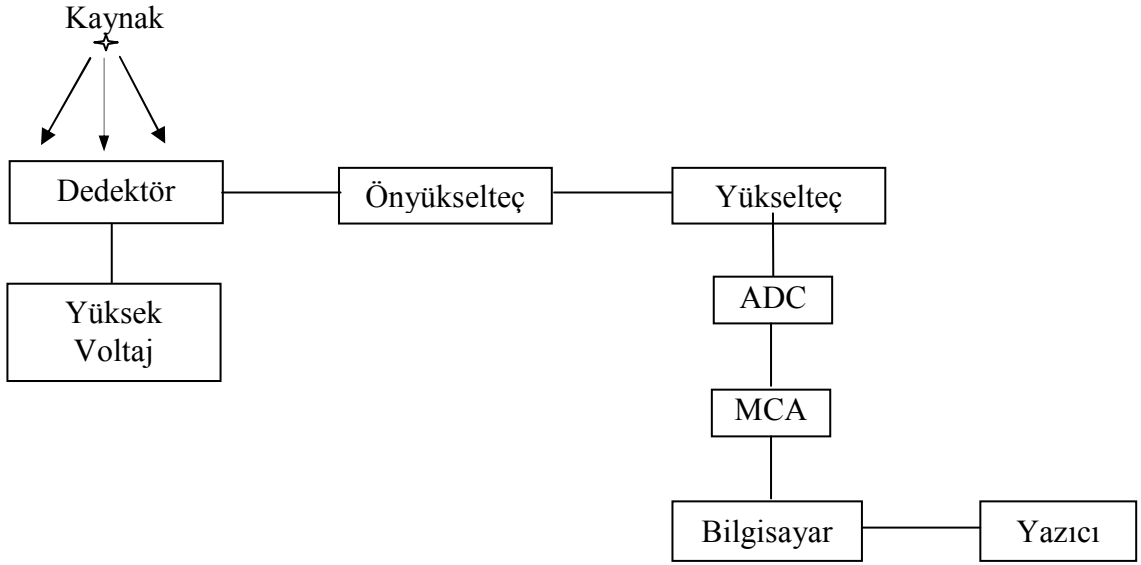
Toplanan numuneler öncelikle sınıflandırılmış ve oda sıcaklığında kurutulmuşlardır. Daha sonra, numunelerin öğütme ve eleme işlemleri yapılmıştır. Toprak örnekleri homojen olması için 80 Mesh'lik elekten geçirilerek neminin alınması için 80 °C' de bir etüve konulmuştur. Etüvde bir kaç gün kaldıktan sonra deney geometrisine uygun biçimde hazırlanan, çapı 6 cm ve yüksekliği 5 cm olan plastik kutuların içine konulmuş ve kutuların ağızları sıkıca kapatılarak 1 ay süreyle bekletilmiştir. Böylece, ^{238}U ve ^{232}Th ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması sağlanmış ve numuneler sayıma hazır hale getirilmiştir.

Kaya örnekleri ise K.T.Ü. Maden Mühendisliğinde bulunan kırıcılar yardımıyla kırılıp öğütüldükten sonra toprak numunelerinde olduğu gibi numune kaplarına konulmuş ve 1 ay süreyle bekletildikten sonra ölçüm için hazır hale getirilmiştir.

Gamma spektroskopik ölçümler 1332,5 keV'de 1,9 keV rezülüsyoyna ve % 15' lik relatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial Ge dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Bekleme süresi dolan örneklerin çok kanallı gama dedektörü ile ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ölçümlerin tamamlanmasının ardından örneklerden elde edilen spektrumların bilgisayar ortamında analizlerinin yapılp aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır.

2.2.3. Deneysel Sistem

Çalışmada toprak ve kaya numunelerinin radyoaktivite analizleri için, K.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Laboratuvarında bulunan çok kanallı gama spektroskopisi kullanılmıştır. Gamma spektroskopik ölçümler 1332.5 keV'de 1.9 keV rezülüsyoyna ve % 15' lik relatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial Ge dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır. Şekil 15'de sistemin blok şeması verilmektedir.



Şekil 15. Gama spektrometre sisteminin blok şeması

Bu sistemde bulunan üniteler aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

a) *Dedektör*

Gama ışınlarının ölçülmesinde kullanılan dedektörlerde, gelen foton kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda, kristalde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir ve dedektöre uygulanan yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanı ile diotlara sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük, analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu meydana getirir.

b) *Yüksek Voltaj Ünitesi*

Dedektörün yük birikimi için gerekli elektrik alanı oluşturmak üzere, (-) veya (+) 5000 V 'a kadar gerilim sağlayan ünitelerdir.

c) *Önyükselteç*

Önyükselteç, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için pulsları şekillendirir ve büyütür. Dedektör ile elektronik devre arasında empedans uyumu sağlar. Önyükselticinin ilk devresi dedektöre çok yakın yerleştirilmiş bir alan etki transistörü (FET)'tir. Hemen hemen bütün dedektörler çok düşük genlikte pulslar ürettiklerinden ve uzun kablo durumunda sinyal kapasitif yüklenme gürültüsü arasında kaybolabileceğinden düşük gürültülü gerçek sinyalleri elde edebilmek için önyükselteçler dedektöre çok kısa kablolarla bağlanmışlardır ve ön

yükselticinin girişi dedektörle aynı tarzda soğutulur, yani sıvı azot sıcaklığında muhafaza edilir.

d) Yükselteç

Önyükselteçten gelen pulsların, puls yüksekliği analizi yapılabilecek kadar yükseltilmesini ve en iyi enerji ayrılmasını sağlayacak şekillendirmeyi sağlar. Modern sistemler için maksimum çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu yükselticiler hem unipolar çıkış (yani, sinyalin pik kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (yani, sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal- gürültü oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir. Kullanıcının bilerek seçmesi gereken başka bir yükseltici denetimi puls genişliğini belirleyen "Shaping time" sabitidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi rezülasyon genellikle sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabileceği için daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri daha fazla rastgele toplanmaya neden olur. Bundan dolayı, eğer sistem 2.000 s'lik sayma hızlarında çalıştırılabilecekse daha kısa zaman sabitleri kullanılabilir.

e) Analog Dijital Çevirici (ADC)

Spektroskopi yükseltecinden gelen sinyalleri genlikleri ile orantılı olarak sayısal sisteme dönüştürür. Burada ölü zaman (dead time) çok önemlidir. Ölü zaman, birim zaman başına kazanç veya dönüşümün artmasıyla orantılı olarak artar. Yani ADC'nin meşgul olduğu zamandır. ADC genellikle puls yüksekliği analizinde kullanılır.

f) Çok Kanallı Analizör (MCA)

Çok kanallı analizörler, genellikle puls yüksekliği yapan cihazlardır, MCA'da en önemli devre veya bileşen, örneksel/sayısal dönüştürücüdür (analog to digital converter (ADC)). Burada, gelen her puls, sayısal hale çevrilir ve genliği ile orantılı olarak bir hafıza kanalına yerleştirilir. Her kanal belli bir enerjiye karşılık gelir ve sayım süresince gelen pulsların birikmesiyle pikler oluşur.

2.2.3.1. Deneysel Yöntem

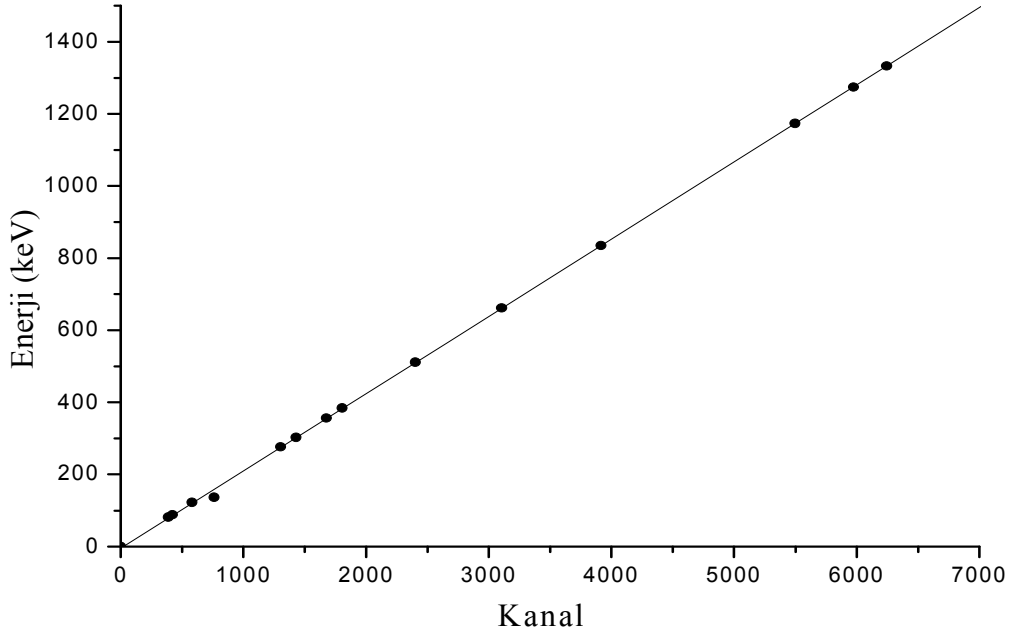
2.2.3.1.1. Enerji Kalibrasyonu

Bilgisayar hafızasında toplanan spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Böylece numunede bulunan radyoaktif çekirdek türleri bulunabilir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen çekirdeklerden oluşmuş standart bir kaynağa (kaynaklara) ihtiyaç vardır. Enerji ve verim kalibrasyonu için enerjileri 80–1400 keV arasında değişen ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ve ^{60}Co 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanıldı. Tablo 4'de kalibrasyon için kullanılan standart kaynağa ait bilgiler verilmektedir.

Tablo 4. Standart kaynağın özellikleri

İzotoplar	Enerji (keV)	Yarı-ömür (gün)	Bolluk (%)
^{133}Ba	81	3830	33
^{109}Cd	88	464	3,72
^{57}Co	122,1	271	86
^{57}Co	136,5	271	11
^{133}Ba	276,4	3830	6,9
^{133}Ba	302,8	3830	19
^{133}Ba	356	3830	62
^{133}Ba	383,8	3830	8,7
^{22}Na	511	946	180
^{137}Cs	661,6	11022	85
^{54}Mn	834,8	313	100
^{60}Co	1173,2	1922	100
^{22}Na	1274,5	946	100
^{60}Co	1332,5	1922	100

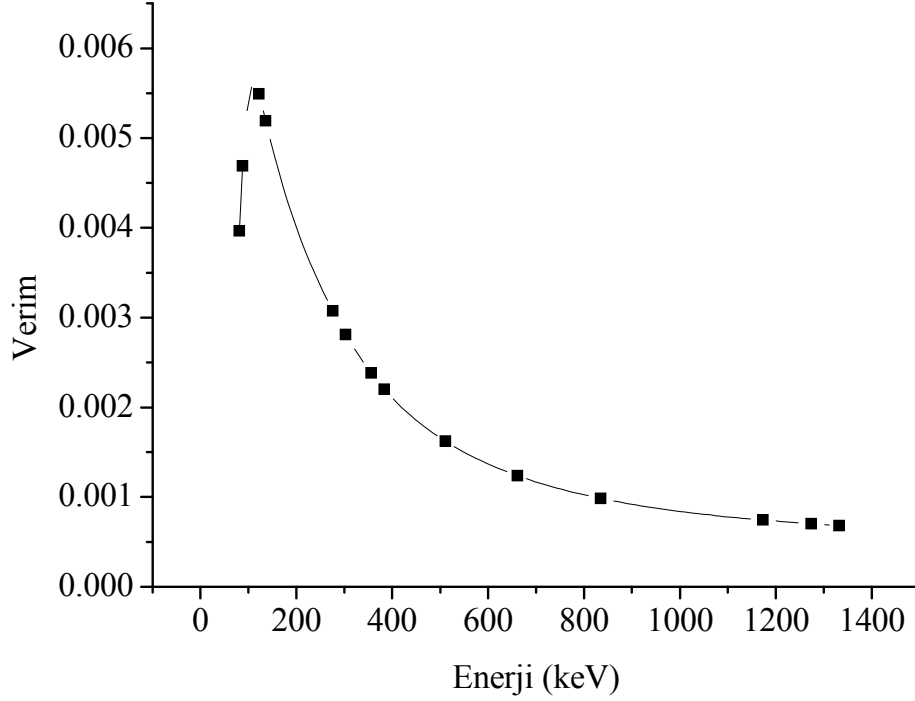
Enerji kalibrasyonu için dedektöre belli bir mesafede konulan standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara geldiği tespit edildi. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. Enerji kalibrasyon eğrisi

2.2.3.1.2. Verim Kalibrasyonu

Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Verim tayini için genelde standart kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynak homojen olarak foton yayımlayamayacağından bu durum dedektör verimine etkiler. Bunun için kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir. Ölçümlerde kullanılacak enerji-verim eğrisi Şekil 17’de gösterilmektedir.



Şekil 17. Verim - enerji eğrisi

2.2.4. Spektrum Analizi

Alınan spektrumlardaki ^{238}U bozunma ürünü olan ^{226}Ra (186,21 keV), ^{214}Pb (351,9 keV), ^{214}Bi (609,3 keV), ^{232}Th serisinin bozunma ürünü olan ^{208}Tl (583,2 keV) ve ^{228}Ac (911,2 keV), ^{40}K (1460,8 keV) ve ^{137}Cs (661,6 keV) pikleri dikkate alınmış ve her bir pik için ilgili alan (ROI) bölgeleri seçilmiştir. Yine her bir pik için piklerin alanları, en büyük alan ve en küçük hatayı verecek şekilde işaretlenmiştir. Yapılan enerji kalibrasyonundan yararlanılarak, çıkan bu piklerin hangi enerji değerlerine karşılık geldiği belirlenmiş olup bu enerjilere karşılık gelen radyoizotoplar tespit edilmiştir.

2.2.4.1. Aktivite Hesabı

Ölçümler sonucu elde edilen radyonüklitlerin aktivitelerini hesaplamak için dedektör verimini de hesaba katarak,

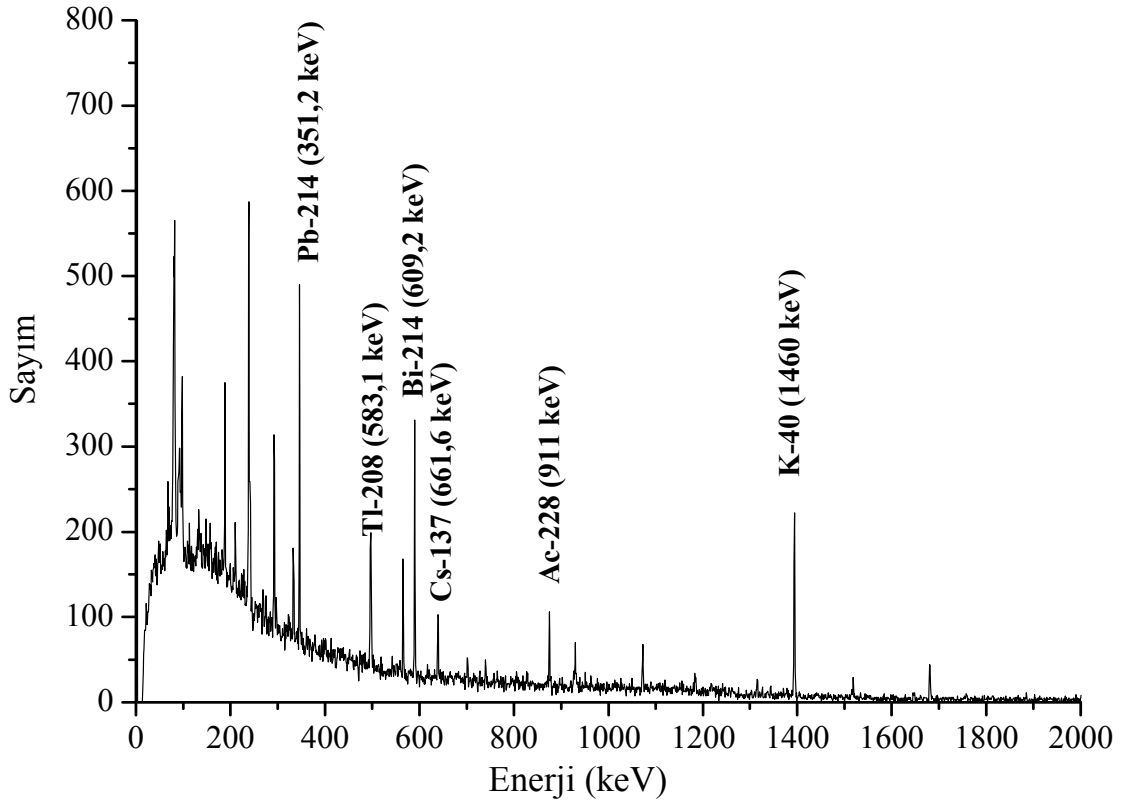
$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım Süresi} \times \text{Numune Miktarı} \times \text{Bolluk} \times \text{Verim}} \quad (43)$$

ifadesinden yararlanılmıştır. Piklerin altındaki net alanlar, toplam alandan background çıkarılarak elde edilmiştir.

Tablo 5’de aktivite hesaplamalarında kullanılan radyonüklitlerin bozunma olasılıkları verilmektedir. Şekil 18’de örnek olması açısından, Trabzon ilinden alınan bir toprak numunesinin aktivitesi hesaplanırken alınan pikler gösterilmektedir.

Tablo 5. Aktivitesi hesaplanan elementler ve bozunma olasılıkları

Element	Bozunma Olasılığı (%)
²²⁶ Ra (186,2 keV)	3,29
²¹⁴ Pb (351,9 keV)	35,8
²⁰⁸ Tl (583,2 keV)	85,1
²¹⁴ Bi (609,3 keV)	45,0
¹³⁷ Cs (661,6 keV)	85,2
²²⁸ Ac (911,1 keV)	27,8
⁴⁰ K (1460,8 keV)	10,7



Şekil 18. Toprak örneği için sayım-enerji spektrumu

2.3. Ev İçi Radon Konsantrasyonları

Çalışmanın yürütüldüğü bölgelerde ev içi ^{222}Rn (radon) konsantrasyon ölçümleri, ticari adı CR-39 ve yapısı “allil diglikol karbonat” olan nükleer iz dedektörleri kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede evlerde radon konsantrasyonunun mevsimlere bağlı olarak değişimi incelenmiş ve yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır.

2.3.1. Radon Dozimetrelerinin Evlere Dağıtımı

Çalışma bölgelerimizden Trabzon’da 97, Şebinkarahisar’da ise 30 eve radon dozimetreleri yerleştirilmiştir ve dağıtılan dozimetrelerin sayısı, bölgelerin yüzölçümü ve nüfus dağılımları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu dozimetreler evlerde 3 ay süreyle bekletilmiş ve 3 ayın sonunda toplanarak yerine yeni dozimetreler yerleştirilmiştir. Bu

işlem 1 yıl boyunca tekrarlanmak suretiyle, ev içi radon gazının mevsimsel değişimi takip edilmiştir.

2.3.2. Radon Dozimetrelerinin Analizi

Bu çalışmada kullanılan radon dozimetreleri RadoSys şirketi tarafından üretilmektedir ve CR-39 radon dozimetresi Şekil 19'da gösterilmektedir. Dozimetre, 35x55 mm silindirik şekilde olup dedektör çipi plastik kutunun iç alt tarafında, yüzey alanı 10x10 mm ve kalınlığı 1 mm'dir. Dozimetrenin yüzeyi polypropylene madde ile kaplanmıştır. Polypropylene madde alfa parçacıklarına duyarlı olup, ^{220}Rn (Toron) ve toz parçacıklarının girmesini engellemektedir. Sadece radon gazı dozimetre içerisine difüzyon yoluyla girmektedir. Radonun bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları dedektör çipin üzerine izler bırakmaktadır. CR-39 radon dozimetreleri kullanılarak aynı anda birçok evde radon konsantrasyonu ölçümü yapılabilmektedir.



Şekil 19. CR-39 radon dozimetresi

Üç ay boyunca radon gazına maruz kalan dozimetrelerin analizleri ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi)'de RadoSys otomatik iz sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu sistem, bilgisayara bağlı gelişmiş bir optik mikroskop, banyo ünitesi ve radon dedektörlerinden oluşmaktadır.

Dedektör çipleri plastik kutuların içinden dikkatlice çıkarılıp her biri Şekil 20'deki gibi slaytlara yerleştirilmiştir. Her bir slayt 12 tane dedektör çipi almaktadır. Daha sonra banyo (etching) işlemi yapılmıştır.



Şekil 20. Dedektör çipi ve kazıma diski

Radon gazına maruz kalan CR-39 dozimetreleri üzerinde oluşan alfa izlerinin görünür hale getirilmesi için kimyasal iz kazıma yöntemi kullanılmıştır. Kazıma diskine 36 tane slayt takılabilmekte ve bu, aynı anda 432 tane dedektör çipinin etching yapılmasını sağlamaktadır.

2.3.2.1. Deneysel Sistem ve Ölçüm İşlemleri

Bilgisayarda yazılım olarak Linux işletim sistemi kullanılmaktadır. Her bir slayt sayım ünitesine yerleştirerek okutma işlemi yapılmıştır. CR-39 dozimetresinde, cm^2 başına düşen alfa izlerinin yoğunluğu, (200x) optik mikroskop kullanılarak sayılmıştır. Şekil 21'de ölçüm sistemi ve alfa izlerinin dedektör çipi üzerine bıraktığı izler görülmektedir. Daha sonra her bir dozimetrenin evlere dağıtılış ve evlerden toplanış tarihleri bilgisayara girilerek kayıtlı olan sistem sayesinde aktiviteler Bq/m^3 cinsinden bulunmuştur.



Şekil 21. Radosys ölçüm sistemi ve alfa izlerinin görüntüsü

2.4. Havadaki Radyoaktivite Ölçümleri

Çalışma bölgelerimizde toprak örneklerinin alındığı noktalarda, yerinde ölçümlerle yerden 1m yüksekteki toplam gama dozları ve radyonüklit konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla çok kanallı analizöre sahip portatif Inspector 1000 portatif gama (3x3 NaI) dedektörü ile 10000 sn'lik sayımlar alınmıştır. Elde edilen spektrumlar Genie-2000 programı yardımıyla radyonüklit konsantrasyonlarının belirlenebilmesi için bilgisayara aktarılmıştır. Yine toprak örneklerinin alındığı yerlerde, yerden 1 m yükseklikte ev içi ve ev dışındaki toplam gama dozu ölçümleri yapılmıştır. Her bir ölçüme 300 sn ayrılmış ve her bir ölçüm 6 kez tekrarlanarak ortalama bir gama dozu değeri belirlenmiştir.

2.4.1. Deneysel Sistem

Bu çalışmada kullanılan Inspector 1000 portatif gama (NaI) dedektörü Canberra şirketi tarafından üretilmektedir ve cihaz Şekil 22'de gösterilmektedir.



Şekil 22. Inspector 1000 portatif dedektör

Bu cihaz, ölçüm yapılan noktadaki toplam gama dozu değerini hızlı bir biçimde ölçebilmektedir ve cihazın ekranında bu toplam doz değerleri hem sayısal hem de grafik olarak sunulmaktadır. Herhangi bir veri toplama işlemi sırasında, grafikler ve sayısal sunum gerçek zamanlı olarak güncellenmekle birlikte ölçüm yapılan ortamdaki radyasyon seviyesinin belli değerleri aşması durumunda cihaz uyarı yapmaktadır. Şekil 23’de cihazın toplam gama dozunu gösteren ekran görüntüsü verilmektedir. Çok kanallı analizöre sahip bu cihaz ile yerinde ölçümler yapılarak spektrumlar alınabilmekte ve radyonüklit konsantrasyonlarının belirlenebilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 23. Inspector 1000 toplam gama dozu ölçüm ekranı

2.4.2. Deneysel Yöntem

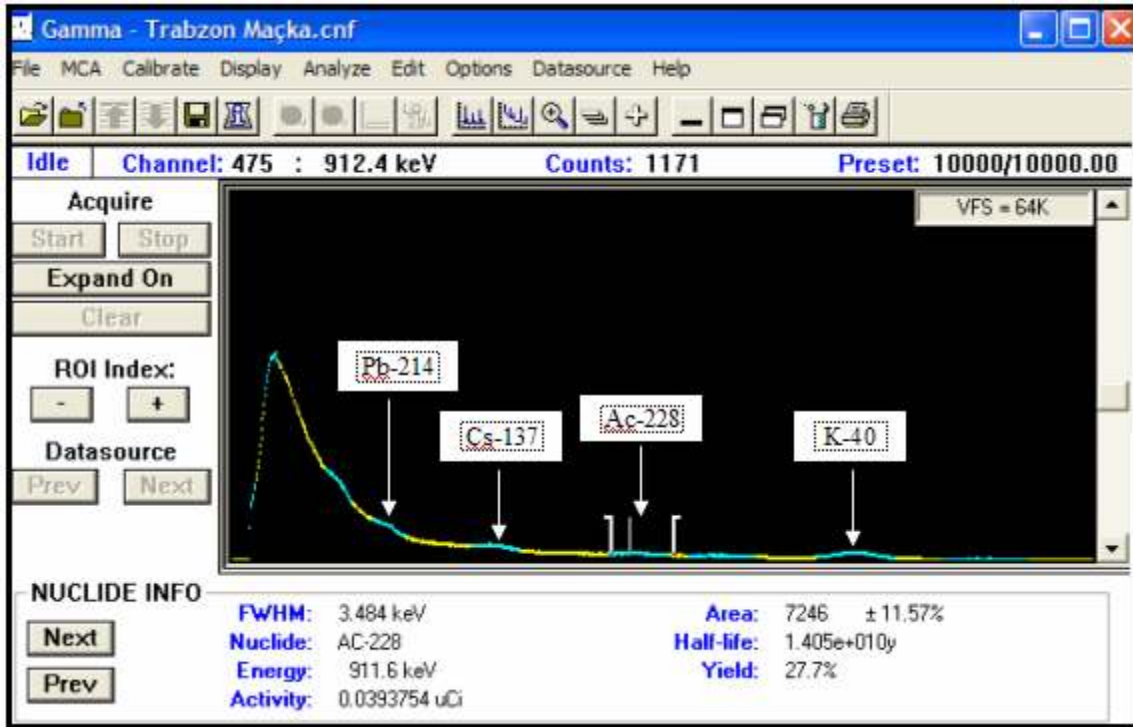
2.4.2.1. Enerji Kalibrasyonu ve Spektrum Analizi

Spektrum analizlerinin yapılabilmesi için her kanalın hangi enerji değerine karşılık geldiğinin bilinmesi gerekir. Bunun yapılabilmesi için de enerjileri bilinen radyonüklitlerden oluşmuş standart bir kaynağa ihtiyaç vardır. Enerji kalibrasyonu için kullandığımız standart kaynağın özellikleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Kalibrasyon kaynağı

İzotop	Enerji (keV)	Gama/s	Yarı ömür
¹³⁷ Cs	662	2441	30,17 yıl

Alınan spektrumların analizleri Genie-2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Bu spektrumlarda tüm piklerin sınırları, piklerin altında kalan alan en büyük ve hatalar en küçük olacak şekilde belirlenmiştir. Belirlenen bu piklerin merkezlerinin hangi kanala karşılık geldiği tespit edilmiş ve kalibrasyon işlemi yapıldığı için bu kanallara karşılık gelen enerji değerleri belirlenebilmiştir. Kataloglardan bu enerjilere karşılık gelen radyonüklitler tespit edilmiştir. Şekil 24’de Trabzon/Maçka’dan alınmış bir spektrum örneği gösterilmektedir.



Şekil 24. Maçka ilçesinden alınmış spektrum örneği

Piklerin altında kalan net alanlar, toplam alandan zemin çıkarılarak elde edilmiştir. tespit edilmiş olan radyonüklitlerin bozunma olasılıkları hesaba katılarak, dedektörün verimi,

$$\text{Aktivite} = \frac{\text{Net Alan}}{\text{Sayım Süresi} \times (3,7 \times 10^4) \times \text{Bolluk} \times \text{Verim}} \quad (44)$$

ifadesi kullanılarak elde edilmiştir.

2.5. Radyometrik Haritaların Oluşturulması

Radyoaktivite değerlerinin ölçüldüğü noktalarda El-GPS aleti kullanılarak nokta koordinat bilgileri de elde edilmiştir. Ölçülen koordinat bilgileri ED50 (European Datum 1950) datumunda ve DUTM (Değiştirilmiş Universal Transversal Mercator) koordinat sistemindedir.

Haritaların üretilmesi işleminde, ilk olarak ölçülen noktalar koordinat değerleri kullanılarak haritaya aktarılmıştır. Bu noktalarda ölçülen radyoaktivite değerleri de birer öznitelik (tablosal) bilgi olarak harita ile ilişkilendirilmiştir. Bunun ardından, ölçüm yapılan bölgedeki idari birimler gerekli veriler temin edilerek harita ile aynı koordinat sisteminde bütünleştirilmiştir. Daha sonra ölçülen farklı radyoaktivite değerlerinin farklı haritalarda temsil edilebilmesi için aynı veri seti kopyalanmış ve her radyoaktivite değerinin ayrı dosyada tutulabilmesi için düzenlenmiştir. Son olarak, ölçüm yapılan noktalar “kriging” yöntemi ile enterpolasyona tabi tutularak noktalarla temsil edilen radyoaktivite değerleri süreklilik arz eden hücre (raster) veri yapısına dönüştürülmüştür. Kriging yönteminde Universal Kriging ve Precision Map seçenekleri kullanılmıştır. Haritaların üretilmesi ve enterpolasyon işleminde ArcGIS 9.2 yazılımının sunduğu olanaklardan faydalanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Trabzon İli ve Çevresinin Analiz Sonuçları

3.1.1. Trabzon İl Merkezi Analiz Sonuçları

3.1.1.1. Trabzon İl Merkezi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Trabzon il merkezinden alınan toprak örneklerinin yapılan spektrometrik analizleri sonucunda, toprak örneklerinde bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 7’de verilmektedir. Şekil 25’de ise bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir. Tablo 7 incelendiğinde, radyonüklit konsantrasyonlarının düzgün bir dağılım göstermediği hatta bir birine çok yakın olan örnek noktalarında bile aktivite değerlerinin farklılık gösterdiği gözlenmiştir.

Topraktaki radyonüklitlerin aktiviteleri biliniyorsa, yerden bir metre yükseklikte soğurulan doz hızı belirlenebilmektedir. Bu çalışma için toprak örneklerinin analizinden elde edilen radyonüklit aktivitelerinden yararlanılarak, toprak örneklerindeki gama dozu (D) değerleri (45) numaralı eşitlikten (UNSCEAR, 2000) yararlanılarak hesaplanmış ve her bir toprak örneği için hesaplanan gama dozu değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

$$D \text{ (nGy/s)} = (0,462 \times {}^{238}\text{U}) + (0,604 \times {}^{232}\text{Th}) + (0,0417 \times {}^{40}\text{K}) \quad (45)$$

Bulunan gama dozları kullanılarak ise yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) yani insanın bir yılda maruz kaldığı, farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyasyonlardan alacağı doz miktarı bulunabilmektedir. Eşitlik (46) kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmaktadır (UNSCEAR, 2000).

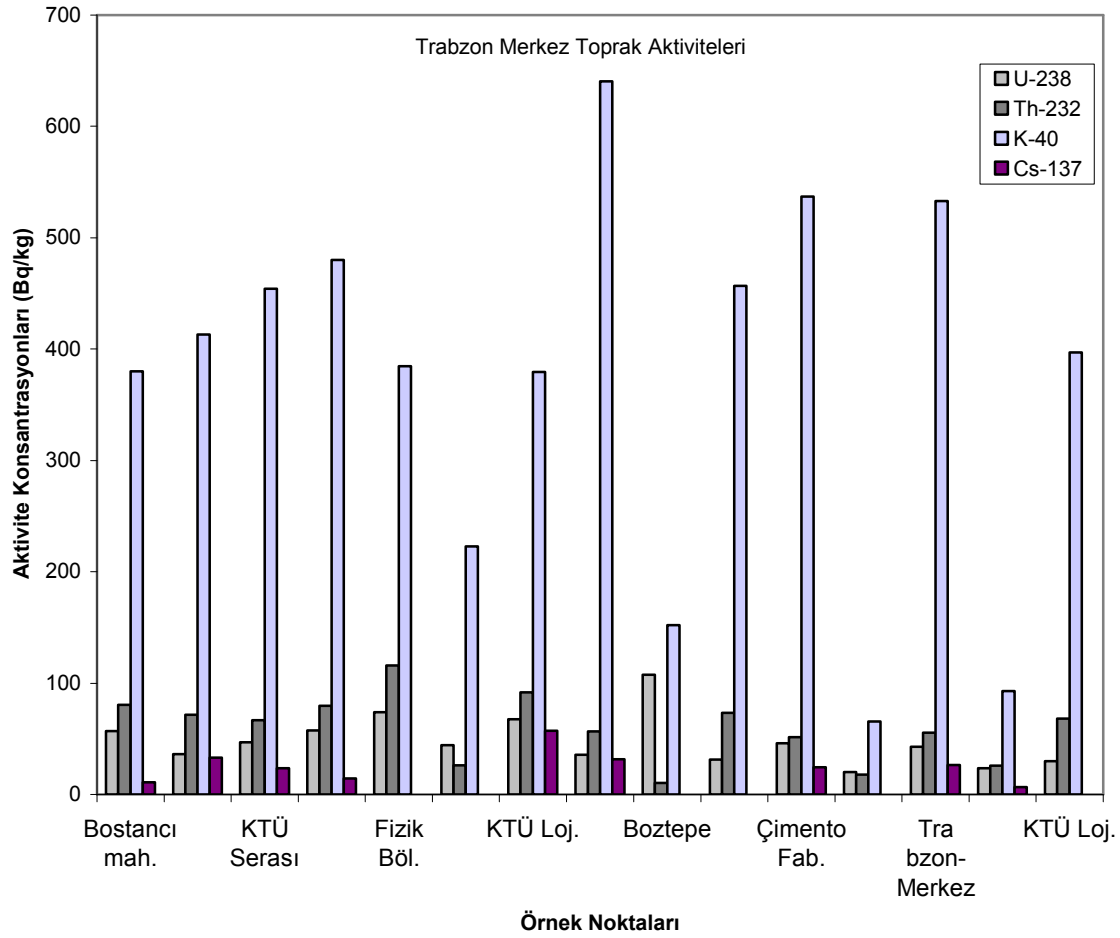
$$\text{AEDE } (\mu\text{Sv/y}) = \text{Soğurulan Gama Dozu} \times \text{Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü} \times \text{Meşguliyet Faktörü} \times \text{Zaman} \quad (46)$$

Bu eşitlikte Çevresel Gama Dozu Dönüşüm Faktörü 0,7 Sv/Gy olarak belirlenmiştir ve bu değer hem ev içinde hem de ev dışında yapılan ölçümlerde değişmemektedir. Yine bu eşitlikte bilinmesi gereken diğer bir faktör, Meşguliyet Faktörü yani insanların bu ışınlara maruz kaldıkları süredir. Bu çalışmada yapılan hesaplarda, insanların zamanlarının % 20'sini açık alanlarda ve % 80'ini kapalı alanlarda geçirdikleri göz önüne alınmıştır (Meşguliyet faktörü ev içi için 0,8 ve ev dışı için ise 0,2 olarak alınır). Zaman ise, bir yıldaki saat sayısıdır (8760 s/y). Trabzon il merkezi için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 7'de verilmektedir.

Alınan toprak örneklerindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, bu 15 örneğin büyük çoğunluğunda ^{232}Th aktivitesinin ^{238}U 'den fazla çıktığı görülmüştür. İl merkezinde, en büyük ^{238}U konsantrasyonunun 107,27 Bq/kg değeri ile Boztepe bölgesinden alınan toprak örneğinde ve en büyük ^{232}Th konsantrasyonunun 115,71 Bq/kg değeri ile 5 nolu ölçüm bölgesinden alınan toprak örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Toprakta oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunan ^{40}K konsantrasyonu açısından Tablo 7 ve Şekil 29 incelendiğinde, en düşük konsantrasyonun 65,64 Bq/kg değeri ile 8 nolu ve en yüksek konsantrasyonun 640,39 Bq/kg değeri ile 10 nolu örnek noktasında bulunduğu görülmektedir. Toprak örneklerinin bazılarında fisyon ürünü olan ve tabiatta doğal olarak bulunmayan ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmıştır. İl merkezi için ^{137}Cs konsantrasyonu ortalama 25,43 Bq/kg olarak bulunmuştur. En yüksek konsantrasyona ise 7 nolu örnek noktasından alınan toprak örneğinde rastlanılmış olup değeri 57,29 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Literatürde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu için dünya ortalama değerleri sırasıyla 35, 30 ve 400 Bq/kg olarak verilmektedir (UNSCEAR, 2000). Trabzon il merkezinden alınan toprak örneklerinin ortalama değerleri bu literatür bilgisi ile kıyaslandığında, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalamasından büyük fakat ^{40}K aktivite konsantrasyonunun dünya ortalamasından küçük olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 7. Trabzon il merkezi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Bostancı mah. 1	57,12±4,51	80,6±8,99	11,05±2,94	380,01±21,47	90,92	111,50
2	Bostancı mah. 2	57,68±5,18	79,66±4,59	14,53±2,69	480,09±18,47	94,78	116,24
3	Tıp Fak.	36,25±3,12	71,62±7,91	33,23±3,29	412,95±21,26	77,23	94,71
4	KTÜ serası	47,05±3,89	66,66±6,81	23,58±3,64	454,06±17,52	80,93	99,26
5	Fizik Böl.	74,04±5,29	115,71±10,87	-	384,53±21,18	120,13	147,33
6	Kimya Böl.	44,29±3,67	26,18±5,83	-	222,77±13,38	45,56	55,88
7	KTÜ Loj. 1	67,65±4,92	91,89±8,97	57,29±4,22	379,41±20,56	102,58	125,80
8	KTÜ Loj. 2	20,28±2,17	17,75±3,99	-	65,64±4,31	22,83	28,00
9	KTÜ Loj. 3	29,96±2,50	68,34±4,01	-	396,91±12,56	71,67	87,90
10	Meydan parkı	35,57±3,24	56,77±7,36	31,61±3,28	640,39±30,80	77,43	94,96
11	Boztepe	107,27±5,74	10,48±3,26	-	151,91±9,52	62,22	76,31
12	KTÜ-kızıyurdu	31,5±2,94	73,51±7,55	-	456,91±22,98	78,01	95,67
13	Çimento Fab.	45,92±4,27	51,52±8,10	24,57±3,51	537,21±27,18	74,73	91,65
14	Trabzon Merkez	43,03±3,39	55,56±6,74	26,48±2,95	533,15±25,96	75,67	92,80
15	Atatürk köşkü	23,61±2,54	25,97±5,29	6,57±2,41	92,95±6,03	30,47	37,37
ORT:		48,08±1,12	59,48±2,17	25,43±0,54	372,59±7,69	73,68	90,36



Şekil 25. Trabzon il merkezi topraklarındaki aktivite seviyeleri

3.1.1.2. Trabzon İl Merkezinde Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Trabzon il merkezinde portatif NaI dedektörü (InSpector 1000) ile 15 farklı bölgede yerden 1 m yükseklikte yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları ve bu değerlerden kullanılarak hesaplanan, insanların bir yıl süresince maruz kaldıkları radyasyon dozları (yıllık etkin doz eşdeğerleri) Tablo 8'de verilmektedir. Portatif dedektör ile ölçüm yapılan bölgeler toprak örneklerinin alındığı noktalardır. Gama doz değerlerinin belirlenmesi sırasında ölçüm hatalarını en aza indirgeyebilmek amacıyla, her bir ölçüm noktasında altışar okuma yapılmış ve bu altı değerlerin ortalaması alınarak her bir ölçüm bölgesi için gama doz değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar hem karasal kaynaklı radyonüklitlerden hem de kozmik ışınlardan gelen katkıları

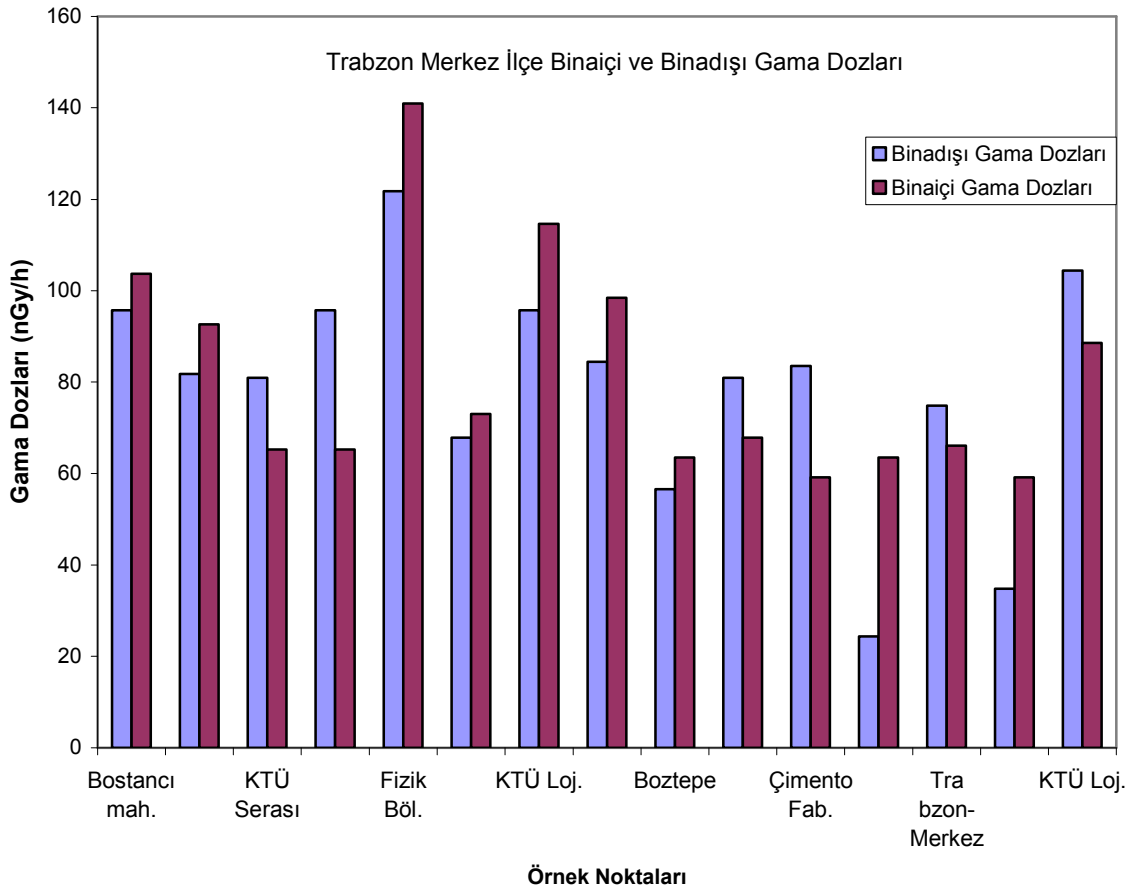
içermektedir. Ölçümlerde kullanılan portatif dedektör ölçüm sonuçlarını $\mu\text{R/h}$ biriminde göstermektedir fakat literatürle kıyaslanabilmesi açısından bu veriler, Röntgen'in tanımından gelen bir dönüşüm faktörü kullanılarak ($8,7 \text{ nGy}/\mu\text{R}$) nGy/s 'ye dönüştürülmüştür. Şekil 26'da Trabzon il merkezi için bina içi ve bina dışında ölçülen gama dozlarının dağılımı görülmektedir.

Tablo 8. Trabzon il merkezi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE ($\mu\text{Sv/y}$)	D (nGy/s)	AEDE ($\mu\text{Sv/y}$)
1	Bostancı mah. 1	95,7	117,37	103,71	508,76
2	Bostancı mah. 2	95,7	117,37	65,25	320,09
3	Tıp Fak.	81,78	100,29	92,63	454,41
4	KTÜ serası	80,91	99,23	65,25	320,09
5	Fizik Böl.	121,8	149,38	140,91	691,25
6	Kimya Böl.	67,86	83,22	73,08	358,50
7	KTÜ Loj. 1	95,7	117,37	114,67	562,53
8	KTÜ Loj. 2	24,36	29,88	63,51	311,55
9	KTÜ Loj. 3	104,4	128,04	88,57	434,49
10	Meydan parkı	84,39	103,50	98,43	482,86
11	Boztepe	56,55	69,35	63,51	311,55
12	KTÜ kızyurdu	80,91	99,23	67,86	332,89
13	Çimento Fab.	83,52	102,43	59,16	290,22
14	Trabzon-Merkez	74,82	91,76	66,12	324,36
15	Atatürk köşkü	34,8	42,68	59,16	290,22
ORT:		78,88	96,74	81,45	399,58

Tablo 8 ve Şekil 26'daki bina dışında yapılan ölçüm sonuçları irdelendiğinde en yüksek gama dozu hızının 5 nolu ölçüm bölgesinde $121,8 \text{ nGy/s}$ olarak ve en düşük değerinde $34,8 \text{ nGy/s}$ olarak 15 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. 15 nolu örnek bölgesi rakım olarak diğer örnek bölgelerinden daha yüksek olmasına rağmen gama dozu hızının en küçük değeri bu noktada ölçülmüştür. Tablo 7'ye bakılacak olursa 15 nolu

örnek noktasından alınan toprak örneklerindeki radyonüklit konsantrasyonlarının da düşük olduğunu görülecektir. Bu sonuçlar ışığında bu noktadaki gama dozu belirlenirken kozmik ışınlardan gelen katkının karasal kaynaklı katkıdan daha fazla olduğu söylenebilir. Trabzon il merkezinde 15 farklı bölgede yapılan bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 78,88 nGy/s ve standart sapması 25,30 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 96,74 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 μ Sv/y (UNSCEAR, 2000) değerinin 1,21 katıdır. Fakat bulunan bu ortalama değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçüktür (ICRP, 1990). Bu sonuçlar ışığında, Trabzon il merkezinde dış gama dozundan kaynaklanan radyasyon miktarının insan sağlığını tehdit edebilecek boyutta olmadığını söylemek mümkündür.



Şekil 26. Trabzon il merkezi gama dozlarının dağılımı

Tablo 8 ve Şekil 26'daki bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında yine en yüksek gama dozu hızının 5 nolu ölçüm bölgesinde 140,91 nGy/s olarak ve en düşük değerin ise 59,16 nGy/s olarak 15 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. 5 nolu örnek noktasındaki dış gama dozu da toprak ölçümünden elde edilen aktivite konsantrasyonları da diğer noktalarda ölçülen sonuçlardan yüksek bulunmuştur. Bu verilerden yola çıkılarak 5 nolu örnek noktasındaki bina içi gama dozu belirlenirken karasal kaynaklı ışınlardan gelen katkının kozmik ışınlardan gelen katkıdan daha fazla olduğu söylenebilir. Trabzon il merkezinde farklı bölgelerde yapılan bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 81,45 nGy/s ve standart sapması 24,28 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina içinde belirlenen ortalama gama doz hızı kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 399,58 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu değer, bina dışı gama dozu hızından elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerinin 4,13 katıdır. Aynı zamanda bu ortalama değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden küçüktür. Bu veriler sonucunda, Trabzon il merkezinde bina içi gama dozundan kaynaklanan radyasyon miktarının insan sağlığını tehdit edebilecek boyutta olmadığı ve insanların zamanlarının % 80'inin kapalı ortamlarda geçirdiği göz önüne alındığında toplam gama dozundan kaynaklı radyasyona bina içinde daha fazla maruz kaldığı söylenebilir.

3.1.1.3. Trabzon İl Merkezindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

^{238}U 'ün bozunma zincirinde bulunan ve radyoaktif bir gaz olan radon (^{222}Rn) bina içine, bina zeminindeki çatlaklardan, yapıların bağlantı noktalarından, duvar çatlaklarından, asma kat boşluklarından, tesisat boru boşlukları, duvarlar arası boşlukları ve içme suları ile sızarlar. Radon konsantrasyonu kapalı odalarda zaman zaman insan sağlığı açısından zararlı seviyelere ulaşabilmektedir. Ev içi radon konsantrasyonunu, bina yapılan bölgenin jeolojik yapısı, binanın tipi, yapı malzemesinin cinsi, sıcaklık, basınç, nem, evlerin havalandırma şekli, rüzgar hızı ve hatta insanların yaşam şekli bile büyük oranda etkileyebilen faktörlerdir. Hatta aynı ülkenin değişik bölgelerindeki ev içi radon konsantrasyonu, iklim şartları, bina karakteristiği ve toprağın yapısı sebebiyle önemli ölçüde değişiklik gösterebilmektedir (Mireles et al., 2007).

Kapalı mekanlarda radon konsantrasyonundan dolayı insanların maruz kaldıkları yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanırken Denklem (47)'den yararlanılmıştır (UNSCEAR, 2000).

$$AEDE \text{ (mSv/y)} = A \times E \times F \times T \times D \quad (47)$$

Bu ifadede A, radonun aktivite konsantrasyonunu (Bq/m^3), E, ev içi denge faktörü olarak belirlenen 0,4 değerini, F, meşguliyet faktörü olarak adlandırılan ve insanların kapalı ortamlarda geçirdikleri zamanı (0,8), T, bir yıllık zamanı (8760 s/y), D ise doz dönüşüm faktörü olarak belirlenen $9 \times 10^{-6} \text{ mSv.}(\text{Bq/m}^3 \cdot \text{s})^{-1}$ değerini göstermektedir.

Trabzon il merkezi için ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi Tablo 9'da görülmektedir. Yine Tablo 9'da, radon dozimetrelerinin dağıtıldığı evlerin kat numaraları ve ev içi radon konsantrasyonundan dolayı insanların maruz kaldıkları yıllık etkin doz eşdeğerleri verilmektedir.

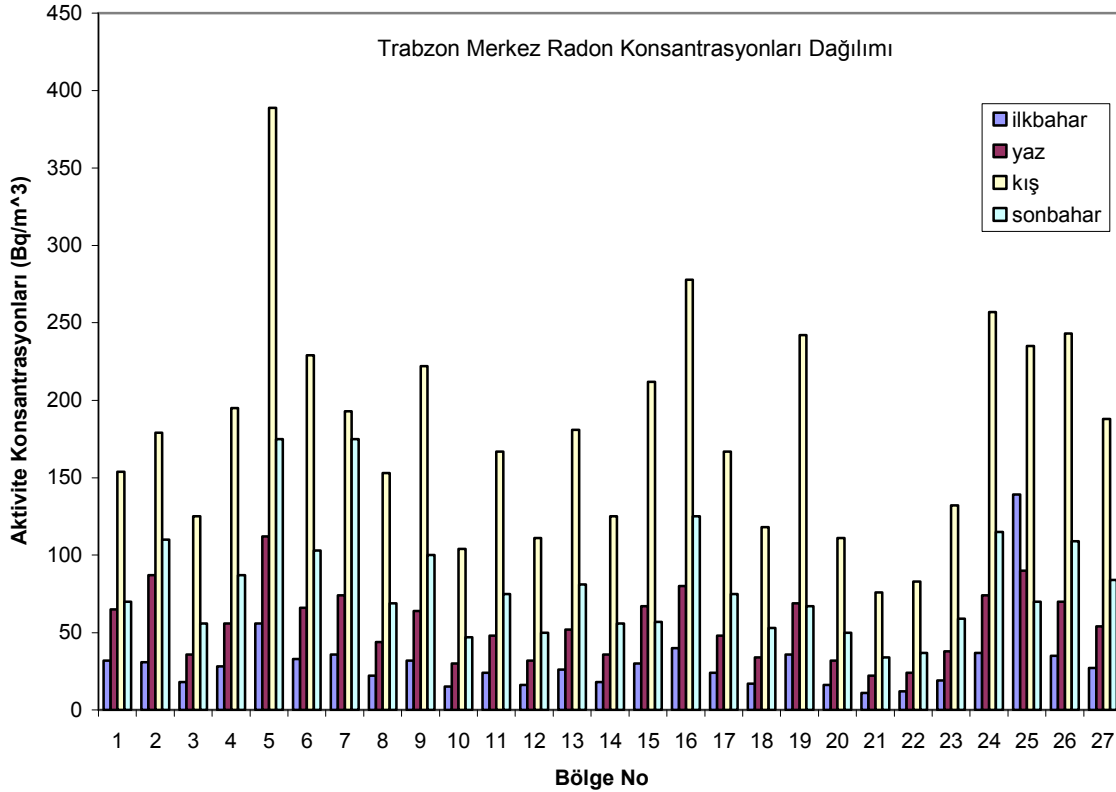
Tablo 9 irdelendiğinde, il merkezinde radon dozimetresi dağıtılan 27 ev için ilkbahar mevsiminde, evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 11 Bq/m^3 , maksimum değeri 139 Bq/m^3 olup ortalama değeri ise 31 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Yaz mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun 22 Bq/m^3 ile 112 Bq/m^3 arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 56 Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir. Kış mevsimi için yapılan çalışmada evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 76 Bq/m^3 , maksimum değeri 389 Bq/m^3 olup ortalama değeri ise 180 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Sonbahar döneminde ise radon konsantrasyonunun 34 Bq/m^3 ile 175 Bq/m^3 değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama konsantrasyonunun 81 Bq/m^3 olduğu bulunmuştur.

Ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 27'de görülmektedir. Radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında en büyük değer kış mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri ve en küçük değer ilkbahar mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri olduğu görülmüştür. Kış dönemindeki radon konsantrasyonu sonbahar dönemine göre ve sonbahar dönemindeki radon konsantrasyonu ise yaz dönemine oranla artış göstermektedir.

Tablo 9. Trabzon il merkezi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	AEDE (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	
1	3	32	65	154	70	2,02
2	3	31	87	179	110	2,57
3	5	18	36	125	56	1,48
4	4	28	56	195	87	2,31
5	2	56	112	389	175	4,62
6	3	33	66	229	103	2,72
7	3	36	74	193	175	3,01
8	4	22	44	153	69	1,82
9	3	32	64	222	100	2,64
10	5	15	30	104	47	1,24
11	4	24	48	167	75	1,98
12	5	16	32	111	50	1,32
13	4	26	52	181	81	2,14
14	5	18	36	125	56	1,48
15	4	30	67	212	57	2,31
16	2	40	80	278	125	3,30
17	4	24	48	167	75	1,98
18	5	17	34	118	53	1,40
19	3	36	69	242	67	2,61
20	5	16	32	111	50	1,32
21	5	11	22	76	34	0,90
22	5	12	24	83	37	0,98
23	5	19	38	132	59	1,56
24	3	37	74	257	115	3,05
25	Zemin	139	90	235	70	3,37
26	3	35	70	243	109	2,88
27	4	27	54	188	84	2,23
ORT:		31	56	180	81	2,19

Trabzon il merkezinde ev içi radon dozimetrelerinin dağıtıldığı 27 evin kat sıralamasına göre analizleri yapıldığında, 2., 3., 4., ve 5. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 157 Bq/m^3 , 107 Bq/m^3 , 84 Bq/m^3 ve 51 Bq/m^3 değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Radonun asıl kaynağının toprak olduğu düşünüldüğünde, elde edilen bu sonuçların anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 27. Trabzon il merkezi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

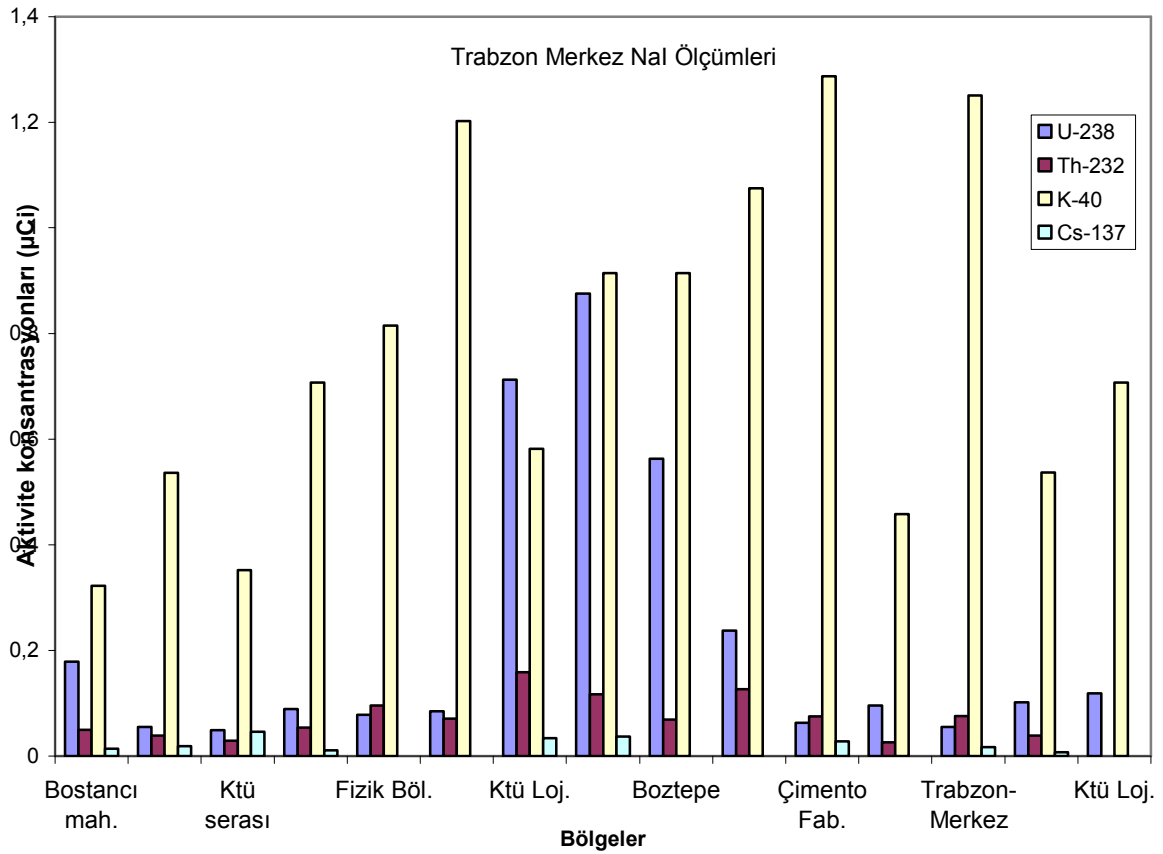
3.1.1.4. Trabzon İl Merkezinde NaI Dedektörü ile Yerde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Trabzon il merkezinde toprak örneklerinin alındığı noktalarda, çok kanallı analizöre sahip portatif NaI dedektörü ile yapılan 10000 sn'lik ölçümler sonucunda yerden 1 m yükseklikte radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 10'da verilmektedir. Şekil 28'de ise bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı gösterilmektedir. Tablo 10 incelendiğinde, ölçüm sonuçlarına hem kozmik hem de karasal kaynaklı radyonüklitlerden katkılar geldiği için bir birine çok yakın

olan örnek noktalarında bile radyonüklit konsantrasyon değerlerinin farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Trabzon il merkezinde yerinde yapılan ölçümler sonucunda 15 farklı noktada belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,224 μCi , 0,074 μCi , 0,777 μCi ve 0,024 μCi olarak belirlenmiştir.

Tablo 10. Trabzon il merkezinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Bostancı mah. 1	0,179±0,020	0,050±0,004	0,014±0,002	0,323±0,012
2	Bostancı mah. 2	0,089±0,009	0,054±0,004	0,011±0,001	0,707±0,008
3	Tıp Fak.	0,055±0,007	0,039±0,004	0,019±0,001	0,536±0,014
4	KTÜ serası	0,049±0,006	0,029±0,003	0,046±0,001	0,352±0,009
5	Fizik Böl.	0,078±0,009	0,096±0,008	-	0,815±0,015
6	Kimya Böl.	0,085±0,008	0,071±0,005	-	1,202±0,016
7	KTÜ Loj. 1	0,713±0,033	0,159±0,009	0,034±0,001	0,582±0,017
8	KTÜ Loj. 2	0,096±0,006	0,026±0,003	-	0,458±0,012
9	KTÜ Loj. 3	0,119±0,011	0,087±0,004	-	0,707±0,008
10	Meydan parkı	0,876±0,046	0,117±0,006	0,037±0,002	0,914±0,017
11	Boztepe	0,563±0,018	0,069±0,007	-	0,914±0,014
12	KTÜ -kızyurdu	0,238±0,028	0,127±0,008	-	1,075±0,017
13	Çimento Fab.	0,063±0,008	0,075±0,005	0,028±0,001	1,287±0,019
14	Trabzon-Merkez	0,055±0,007	0,076±0,005	0,017±0,002	1,251±0,018
15	Atatürk köşkü	0,102±0,011	0,039±0,004	0,007±0,001	0,537±0,018
ORT:		0,224±0,012	0,074±0,002	0,024±0,001	0,777±0,004



Şekil 28. Trabzon il merkezi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Ölçüm sonuçlarından elde edilen verilere göre ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ölçüm noktalarının büyük çoğunluğunda ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden fazla çıktığı görülmüştür. Bu ilçede, en büyük ^{238}U aktivitesinin $0,876 \mu\text{Ci}$ değeri ile 10 nolu ölçüm noktasında ve en küçük ^{238}U aktivitesinin $0,049 \mu\text{Ci}$ değeri ile 4 nolu ölçüm noktasında olduğu tespit edilmiştir. Tablo 10, ^{232}Th aktivitesi için irdelendiğinde, en büyük ^{232}Th konsantrasyonunun $0,159 \mu\text{Ci}$ değeri ile 7 nolu ölçüm bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan noktaların bazılarında ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır. Merkez ilçe için ^{137}Cs aktivitesinin ortalama değeri $0,024 \mu\text{Ci}$ olarak bulunmuştur.

3.1.2. Akçaabat İlçesi Analiz Sonuçları

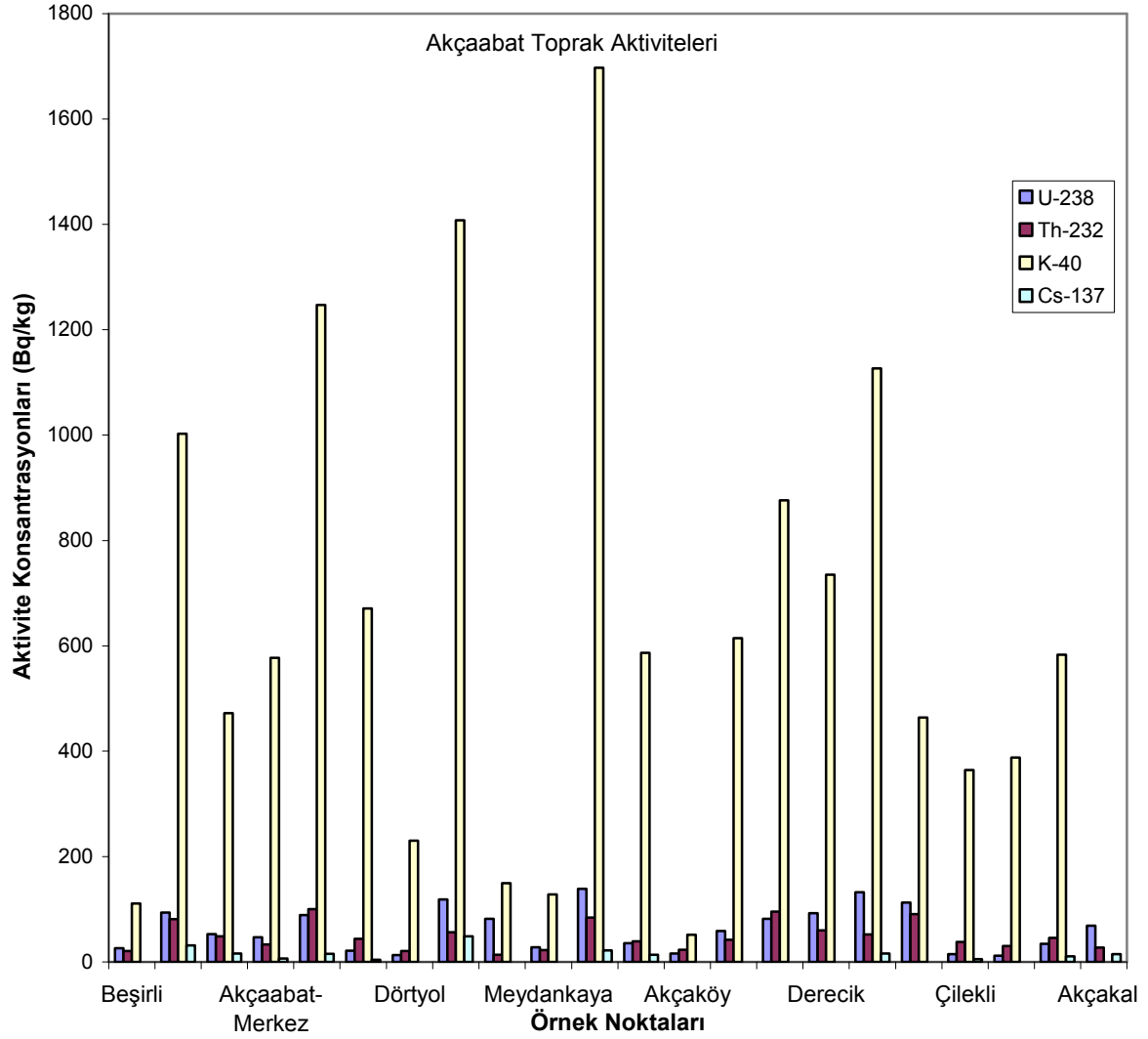
3.1.2.1. Akçaabat İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Yapılan spektrometrik analizlerin neticesinde Akçaabat ilçesinden toplanan toprak örneklerinde bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 11’de verilmiştir. Yine Tablo 11’de, topraktaki aktiviteleri belirlenen radyonüklitlerden yararlanılarak ve Eşitlik (45) ve (46) kullanılarak hesaplanan gama radyasyonu doz hızları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri görülmektedir. Akçaabat ilçesinden toplanan 22 toprak örneğinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, ^{238}U için aktivite konsantrasyonunun 11,66 Bq/kg ile 139,23 Bq/kg arasında değiştiği ve ortalama değerinin 62,30 Bq/kg olduğu görülmüştür. En yüksek ^{238}U aktivite konsantrasyonuna ise 12 nolu örnek noktasında rastlanmıştır. ^{232}Th açısından Tablo 11 irdelendiğinde, aktivite konsantrasyonunun 13,73 Bq/kg ile 100,54 Bq/kg arasında değiştiği gözlenmiştir. ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği 12 nolu örnek noktasında ^{232}Th aktivitesinin, ortalama ^{232}Th aktivitesi olarak hesaplanan 48,69 Bq/kg değerinden 1,73 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Toprakta oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunan ^{40}K radyonüklitine Akçaabat ilçesi toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda rastlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, en yüksek ^{40}K aktivite konsantrasyonunun yine, 12 nolu örnek noktasında ve ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ise 634,02 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir. Toplanan 22 toprak örneğinde değişik konsantrasyonlarda ^{137}Cs radyonüklitine rastlanmıştır. 10 tane toprak örneğinde gözlenememekle birlikte ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 16,98 Bq/kg olarak belirlenmiştir.

Tablo 11. Akçaabat ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Beşirli 1	25,92±2,18	20,53±4,31	-	110,77±6,92	28,99	35,56
2	Beşirli 2	93,96±6,0	81,62±9,23	31,24±3,42	1002,49±43,4	134,51	164,97
3	Eğitim Fak- Söğütlü	52,87±5,60	48,93±6,30	15,78±3,80	472,3±25,6	73,67	90,35
4	Akçaabat-Merkez	46,85±3,63	33,23±5,78	6,43±2,09	577,33±28,17	65,79	80,69
5	Salacık	88,84±5,75	100,54±10,18	15,15±4,14	1247,03±49,38	153,77	188,59
6	Işıklar	21,22±2,05	44,13±6,30	4,09±1,7	671,3±31,34	64,45	79,04
7	Dört Yol	12,97±1,77	20,65±5,04	-	230,28±13,37	28,07	34,42
8	Şinik	118,83±7,35	56,16±8,72	48,44±4,68	1407,32±55,72	147,51	180,90
9	Akdamar 1	82,04±4,76	13,73±3,03	-	149,57±9,37	52,43	64,30
10	Akdamar 2	35,91±0,80	39,28±6,19	13,94±2,39	586,94±28,46	64,79	79,46
11	Meydankaya	27,94±0,91	22,7±0,94	-	128,07±7,67	31,96	39,20
12	Demirci	139,23±9,04	84,4±12,91	21,87±4,84	1697,23±65,0	186,08	228,20
13	Akçaköy 1	15,78±1,73	23,15±4,87	-	51,92±3,46	23,44	28,74
14	Akçaköy 2	58,52±4,16	42,04±4,15	-	614,44±5,78	78,05	95,72
15	Fındıklı	82,06±5,21	95,86±8,78	-	875,7±38,35	132,33	162,29
16	Derecik	92,54±5,41	60,06±7,03	-	735,23±33,52	109,69	134,52
17	Demirtaş	132,6±7,09	52,06±8,65	15,94±5,46	1126,7±46,3	139,69	171,31
18	Sera Gölü	112,78±6,10	90,78±8,82	-	464,03±23,99	126,29	154,88
19	Çilekli	14,69±5,68	37,96±5,26	5,41±2,10	364,25±9,86	44,90	55,07
20	Ağaçlı	11,66±1,56	30,17±5,46	-	387,93±22,03	39,79	48,79
21	Mersin	34,49±3,27	45,69±7,62	10,89±3,44	582,94±30,54	67,84	83,20
22	Akçakale	68,81±4,72	27,51±5,53	14,61±2,96	464,73±25,65	67,79	83,13
ORT:		62,30±2,28	48,69±2,64	16,98±1,21	634,02±17,21	84,63	103,79

Şekil 29'a bakıldığında Akçaabat ilçesi toprak örneklerinde tespit edilen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının hangi bölgelerde daha yoğun olduğu daha net karşılaştırılabilmektedir.



Şekil 29. Akçaabat ilçesi topraklarının radyoaktivite seviyeleri

3.1.2.2. Akçaabat İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Akçaabat ilçesinde toprak örneklerinin alındığı 22 noktada portatif NaI dedektörü (InSpector 1000) ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları ve bu değerlerden kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 12'de verilmektedir. Gama doz değerlerinin belirlenmesi sırasında her ölçüm noktasında altışar okuma yapılmış ve bu altı değerlerin ortalaması alınarak gama doz

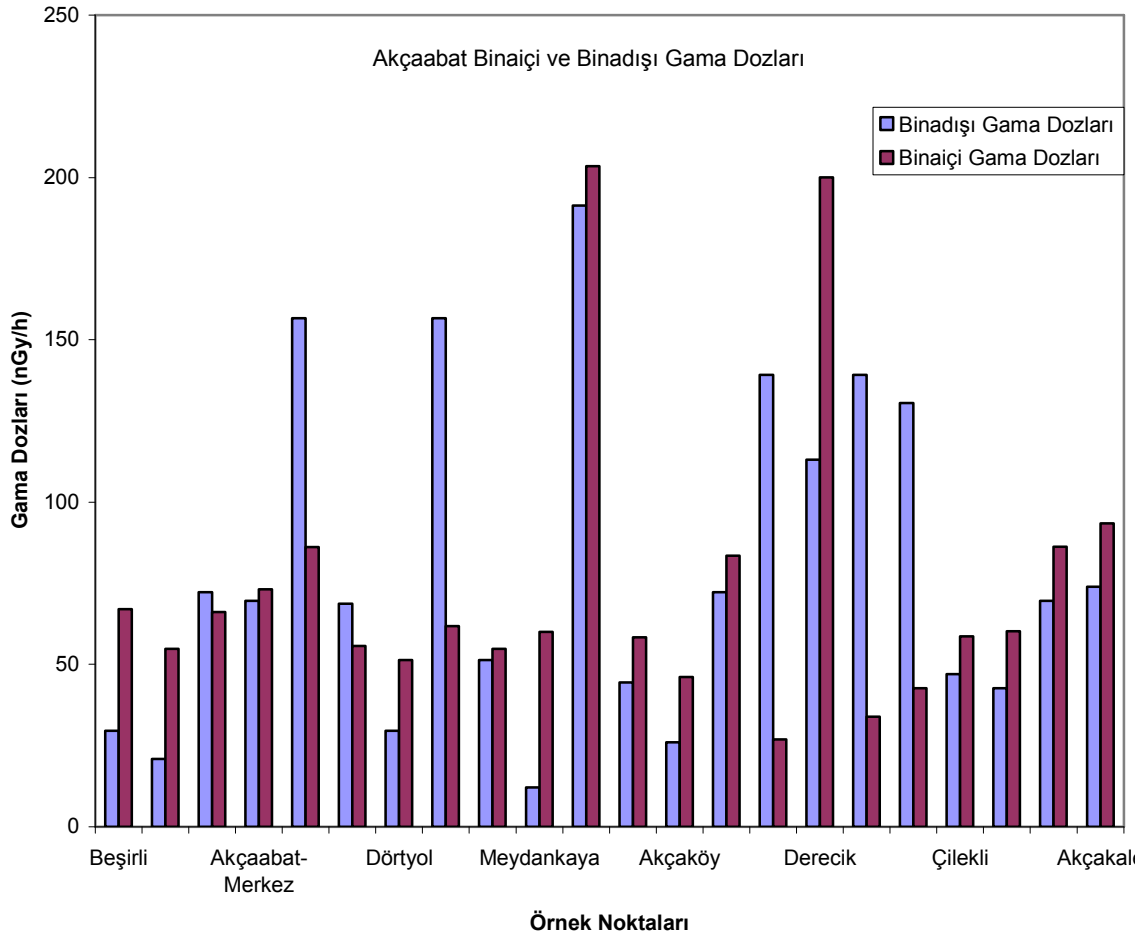
değerleri belirlenmiştir. Şekil 30'da Akçaabat'ta ölçülen bina içi ve bina dışında ölçülen gama dozlarının dağılımı görülmektedir.

Tablo 12'de bina dışında yapılan ölçüm sonuçları irdelendiğinde, gama dozu hızının 12,18 nGy/s ile 191,4 nGy/s değerleri arasında değiştiği ve ortalama değerinin 79,84 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Tablo 11 ve Tablo 12 birlikte değerlendirilecek olursa, toprak örneklerindeki ^{238}U ve ^{40}K 'nin en yüksek değerlerinin tespit edildiği 12 nolu örnek noktasında bina dışı gama dozunun da, diğer 21 örnek noktasına kıyasla en büyük değere sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Dış gama dozu ve Eşitlik (46) kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 97,92 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Bu değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 $\mu\text{Sv/y}$ (UNSCEAR, 2000) değerinden büyük olmakla beraber yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçüktür (ICRP, 1990).

Tablo 12'deki bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozu hızının 12 nolu ölçüm bölgesinde 203,5 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Bina içi için yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 362,20 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır ve bu değer, bina dışı gama dozu hızı kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinden 3,70 kat daha fazladır.

Tablo 12. Akçaabat ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Beşirli 1	29,58	36,28	66,99	328,63
2	Beşirli 2	20,88	25,61	54,78	268,73
3	Eğitim Fak-Söğütü	72,21	88,56	66,17	324,60
4	Akçaabat Merkez	69,6	85,36	73,12	358,70
5	Salacık	156,6	192,05	86,15	422,62
6	Işıklar	68,73	84,29	55,68	273,14
7	Dörtüyl	29,58	36,28	51,33	251,80
8	Şinik	156,6	192,05	61,77	303,02
9	Akdamar 1	51,33	62,95	54,81	268,88
10	Akdamar 2	44,37	54,42	58,29	285,95
11	Meydankaya	12,18	14,94	60,03	294,48
12	Demirci	191,4	234,73	203,5	998,29
13	Akçaköy 1	26,1	32,01	46,11	226,20
14	Akçaköy 2	72,21	88,56	83,52	409,72
15	Fındıklı	139,2	170,71	26,97	132,30
16	Derecik	113,1	138,71	200,1	981,61
17	Demirtaş	139,2	170,71	33,93	166,45
18	Sera Gölü	130,5	160,05	42,63	209,13
19	Çilekli	46,98	57,62	58,61	287,52
20	Ağaçlı	42,63	52,28	60,17	295,17
21	Mersin	69,6	85,36	86,22	422,96
22	Akçakale	73,95	90,69	93,45	458,43
ORT:		79,84	97,92	73,83	362,20



Şekil 30. Akçaabat ilçesi gama dozlarının dağılımı

12 nolu örnek noktasındaki dış gama dozu ve toprak ölçümünden elde edilen ^{238}U ve ^{40}K 'nin aktivite konsantrasyonları da diğer noktalarda ölçülen sonuçlardan yüksek bulunmuştu. Bu verilerden yola çıkılarak 12 nolu örnek noktasındaki bina içi gama dozu belirlenirken karasal kaynaklı ışınlardan gelen katkının kozmik ışınlardan gelen katkıdan daha fazla olduğu söylenebilir.

3.1.2.3. Akçaabat İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

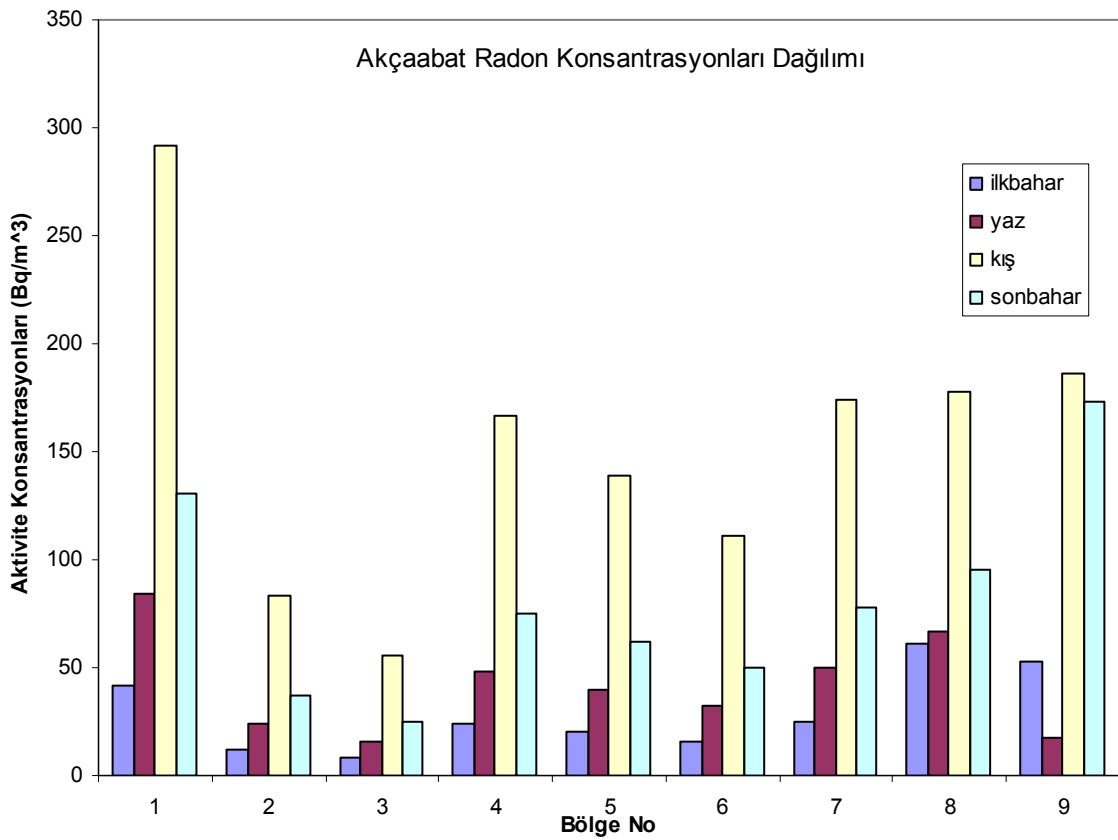
Akçaabat evlerindeki ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 13’de görülmektedir. Yine, ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 31’de verilmektedir. Tablo 13 ve Şekil 31 beraber incelendiğinde radon dozimetresi dağıtılan 9 ev için ilkbahar mevsiminde, evlerdeki radon konsantrasyonunun 8-61 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama değer 29 Bq/m³ olarak bulunduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun 16 Bq/m³ ile 84 Bq/m³ arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 42 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. Kış dönemi için elde edilen verilere bakıldığında, radon konsantrasyonunun minimum değeri 56 Bq/m³, maksimum değeri 292 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 154 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde ise radon konsantrasyonunun 25 Bq/m³ ile 173 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama konsantrasyonunun 81 Bq/m³ olduğu bulunmuştur.

Tablo 13. Akçaabat ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	AEDE (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	
1	2	42	84	292	131	3,46
2	5	12	24	83	37	0,98
3	5	8	16	56	25	0,66
4	4	24	48	167	75	1,98
5	5	20	40	139	62	1,65
6	5	16	32	111	50	1,32
7	4	25	50	174	78	2,06
8	1	61	67	178	95	2,53
9	2	53	18	186	173	2,71
ORT:		29	42	154	81	1,93

Radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında en büyük değerin kış mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri ve en küçük değerin ilkbahar mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri olduğu görülmüştür.

Akçaabat ilçesinde radon dozimetrelerinin dağıtıldığı 9 evin kat sıralaması yapıldığında 2., 4. ve 5. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 122 Bq/m^3 , 80 Bq/m^3 ve 46 Bq/m^3 değerlerinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 31. Akçaabat ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

3.1.2.4. Akçaabat İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

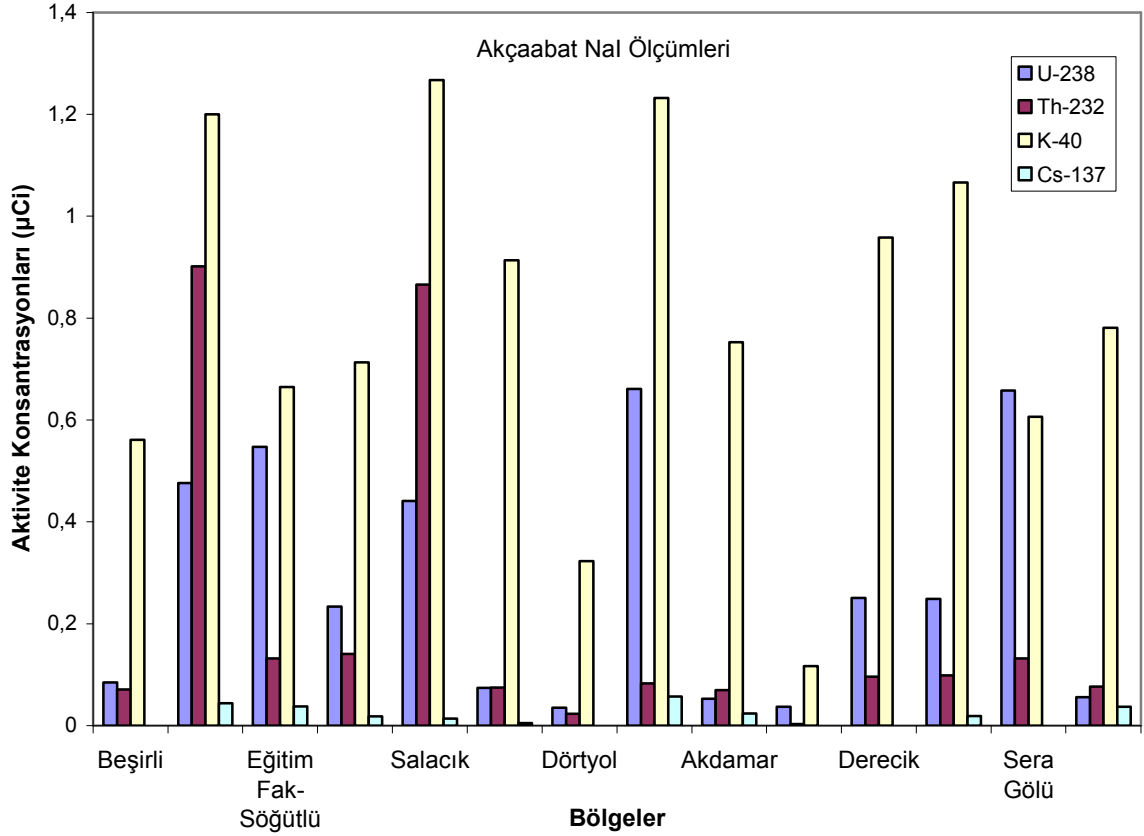
Akçaabat ilçesinde toprak örneklerinin toplandığı noktalarda, portatif NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucunda, yerden 1 m yükseklikte radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları ölçülmüş olup elde edilen veriler Tablo 14'de verilmektedir. Belirlenen bu konsantrasyonların ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 32'de gösterilmektedir. Tablo 14 ve Şekil 32 birlikte irdelendiğinde, 14 farklı noktada yapılan

ölçümler neticesinde belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,276 μCi , 0,198 μCi , 0,797 μCi ve 0,028 μCi olarak bulunmuştur.

Tablo 14. Akçaabat ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Beşirli 1	0,085±0,008	0,071±0,005	-	0,561±0,014
2	Beşirli 2	0,476±0,023	0,902±0,018	0,044±0,002	1,200±0,011
3	Eğitim Fak-Söğütlü	0,547±0,025	0,132±0,006	0,038±0,001	0,665±0,018
4	Akçaabat-Merkez	0,234±0,012	0,141±0,007	0,018±0,001	0,713±0,015
5	Salacık	0,441±0,034	0,866±0,045	0,014±0,001	1,267±0,013
6	Işıklar	0,074±0,006	0,075±0,003	0,005±0,001	0,914±0,014
7	Dört Yol	0,035±0,004	0,023±0,002	-	0,323±0,012
8	Şinik	0,661±0,008	0,083±0,003	0,057±0,002	1,232±0,025
9	Akdamar	0,053±0,008	0,070±0,005	0,024±0,001	0,753±0,015
10	Akçaköy	0,037±0,003	0,0031±0,002	-	0,117±0,008
11	Derecik	0,251±0,005	0,096±0,004	-	0,958±0,017
12	Demirtaş	0,249±0,006	0,099±0,005	0,019±0,001	1,066±0,015
13	Sera Gölü	0,658±0,008	0,132±0,002	-	0,606±0,016
14	Mersin	0,056±0,008	0,077±0,003	0,037±0,001	0,781±0,010
ORT:		0,276±0,009	0,198±0,011	0,028±0,001	0,797±0,004

Elde edilen bulgular ışığında ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, genel olarak ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden fazla çıktığı görülmüştür. Bu ilçede, ^{238}U aktivitesinin en büyük değerinin 0,661 μCi olarak 8 nolu ölçüm noktasında ve ^{232}Th aktivitesinin en büyük değerinin 0,902 μCi olarak 2 nolu ölçüm noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan noktaların bazılarında ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır. Akçaabat için ^{40}K aktivite konsantrasyonunun 0,117 μCi ile 1,267 μCi arasında değişim gösterdiği, en büyük değer 5 nolu ve en küçük değer 10 nolu örnek noktasında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 32. Akçaabat ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Tablo 14, Tablo 11 ile kıyaslandığında, portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ^{238}U aktivitesinin belirlendiği 8 nolu örnek noktasından alınan toprak örneğinde de ^{238}U aktivitesinin, Akçaabat ilçesi toprak örneklerindeki ortalama ^{238}U aktivitesinden 1,91 kat fazla olduğu ve aynı şekilde en büyük ^{232}Th aktivitesinin belirlendiği 2 nolu örnek noktasından alınan toprak örneğinde de ^{232}Th aktivitesinin toprak örneklerindeki ortalama ^{232}Th aktivitesinden 1,68 kat fazla olduğu görülmektedir. Her iki Tablo doğada yapay olarak bulunan ^{137}Cs radyoizotopu açısından kıyaslandığında, hem yapılan toprak analizlerinde hem de portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerde, aynı ölçüm noktalarında ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış olduğu tespit edilmiştir. Çernobil nükleer kazası ve silah denemeleriyle atmosfere dağılan ve yağışlarla yeryüzüne inen ^{137}Cs radyoizotopuna, toprak örneklerinde rastlanılmayan ölçüm noktalarında, yerinde yapılan ölçümlerde de rastlanmamış olması doğal bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.1.3. Araklı İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.3.1. Araklı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

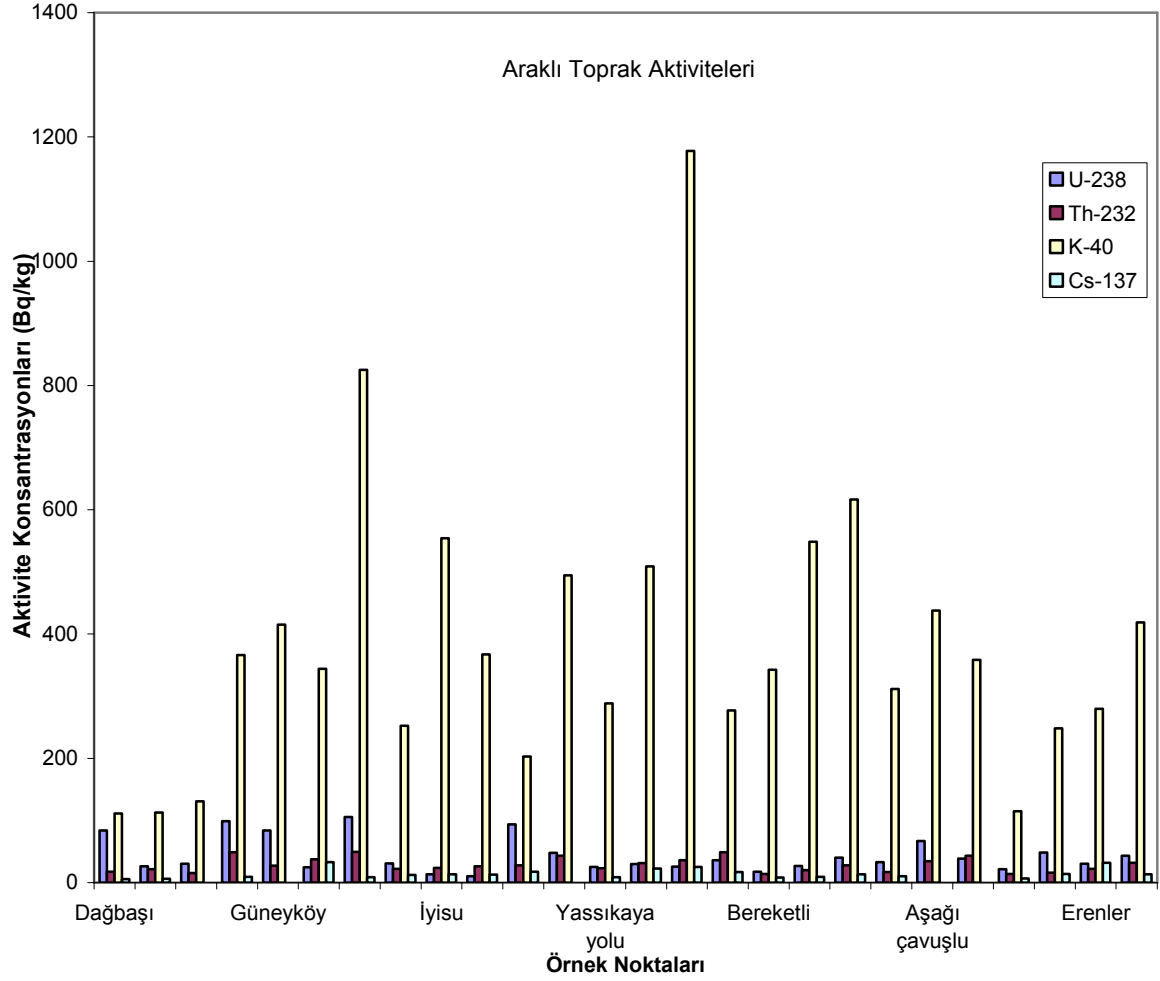
Araklı ilçesinden toplanan toprak örneklerinin yapılan spektrometrik analizleri sonucunda, toprak örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları belirlenmiş, bu aktivitelerden yararlanılarak gama dozu (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) hesaplanmış, sonuçlar Tablo 15’de verilmiştir. Şekil 33’de ise bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir.

Toplanan 26 toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, genel olarak ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu ilçede, en düşük ^{238}U aktivitesinin 10,21 Bq/kg değeri ile 5 numaralı Kestanelik bölgesinde, en yüksek aktivitesinin ise 105,83 Bq/kg değeri ile 9 numaralı Dulköy bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük ^{232}Th aktivitesinin 13,79 Bq/kg değeri ile 18 numaralı Bereketli bölgesinde, en yüksek ^{232}Th aktivitesinin ise 49,49 Bq/kg değeri ile yine 9 numaralı Dulköy bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Tablo 15, ^{40}K aktivite konsantrasyonu açısından incelendiği zaman, Araklı ilçesi topraklarındaki aktivite konsantrasyonunun 111,28 Bq/kg ile 1177,19 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 388,65 Bq/kg olduğu görülmüştür.

Tablo 15. Araklı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Dağbaşı	84,14±5,05	17,63±4,19	5,61±2,37	111,28±7,16	54,16	66,42
2	Pervane 1	26,36±2,64	21,48±4,83	6,08±2,33	112,97±6,86	29,86	36,62
3	Pervane 2	21,77±2,10	13,91±3,62	6,52±2,41	115,14±7,43	23,26	28,53
4	Kestanelik 1	30,63±2,97	15,61±4,44	-	131,14±7,96	29,05	35,62
5	Kestanelik 2	10,21±1,55	26,47±5,80	13,11±2,81	367,39±21,34	36,03	44,18
6	Petekli	99,23±5,73	48,74±8,35	9,34±4,10	366,21±22,63	90,55	111,06
7	Güneyköy	83,88±4,95	27,55±6,08	-	415,28±24,25	72,71	89,17
8	Yiğitözü	24,71±2,35	37,71±6,40	32,86±4,22	343,92±21,04	48,53	59,52
9	Dulköy	105,83±5,69	49,49±7,23	8,87±3,84	824,9±39,43	113,18	138,81
10	Hasköy	30,99±3,25	22,31±5,74	12,12±3,37	252,29±15,99	38,31	46,99
11	İyisu	13,17±1,77	23,56±5,43	13,25±3,77	554,56±29,55	43,44	53,27
12	Çukurçayır	93,69±5,04	27,61±5,93	17,79±3,20	203,1±13,72	68,43	83,92
13	Çamburnu	47,78±3,84	43,29±6,75	-	494,46±27,93	68,84	84,43
14	Yassıkaya yolu	25,18±2,53	23,09±4,46	8,62±2,79	288,17±16,48	37,60	46,11
15	Yassıkaya yıldızlı arası	29,99±2,97	31,58±6,73	22,51±3,68	508,73±27,98	54,14	66,40
16	Yassıkaya	25,94±2,74	36,00±6,37	25,27±3,92	1177,19±52,50	82,82	101,57
17	Üzümlü	36,35±3,23	48,74±6,89	17,27±3,16	276,9±17,38	57,78	70,86
18	Bereketli	17,41±2,19	13,79±2,86	8,35±2,17	342,65±19,53	30,66	37,60
19	Şifalı su	27,01±5,67	19,87±3,91	9,15±2,13	548,56±23,11	47,36	58,08
20	Aşağı ovalı	40,06±3,66	27,84±5,76	13,28±3,37	616,52±32,55	61,03	74,85
21	Küçükdere	32,84±2,88	17,04±3,31	10,45±3,17	311,49±18,68	38,45	47,16
22	Aşağı çavuşlu	66,87±3,96	34,43±5,44	-	437,87±23,77	69,95	85,79
23	Değirmencik	38,82±3,02	43,56±6,88	-	358,33±20,89	59,19	72,59
24	Taştepe	48,7±3,41	16,00±4,12	13,77±2,84	248,07±15,38	42,51	52,13
25	Erenler	30,44±2,51	22,38±4,24	32,17±3,20	279,35±16,87	39,23	48,11
26	Çankaya	43,09±3,20	31,84±6,11	13,28±2,87	418,55±23,39	56,59	69,41
	ORT:	43,66±1,23	28,52±1,36	14,27±0,64	388,65±10,15	53,60	65,74

Araklı ilçesinden alınan toprak örneklerindeki ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu değerleri literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında görülmüştür ki, ^{238}U 'un aktivite konsantrasyonu, dünya ortalaması değerinden 1,25 kat daha büyüktür, ^{232}Th ve ^{40}K 'nın aktivite konsantrasyonları, dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,05 ve 1,03 kat daha küçüktür.



Şekil 33. Araklı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

3.1.3.2. Araklı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Araklı ilçesinde toprak örneklerinin alındığı noktalarda, portatif NaI dedektörü ile yapılan ölçümlerden elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları ve bu değerler yardımıyla hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 16'da verilmekte ve belirlenen bina içi ve bina dışı gama dozlarının ölçüm yapılan bölgelere göre dağılımı ise Şekil 34'de gösterilmektedir.

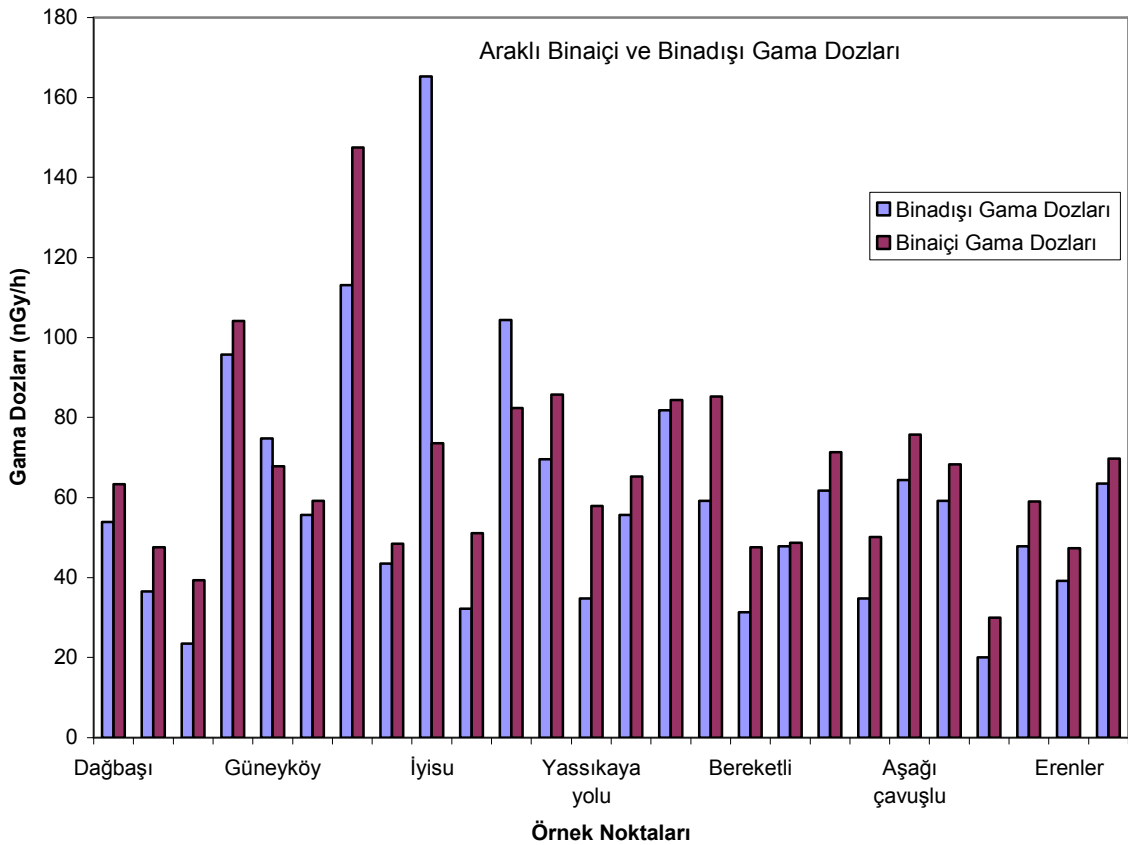
Tablo 16 ve Şekil 34 beraber irdelendiğinde, bina dışında yapılan ölçüm sonuçları için, en düşük gama dozu hızının 3 nolu ölçüm bölgesinde 20,01 nGy/s olarak ve en yüksek değerinde, 165,30 olarak 11 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozu hızının 9 nolu ölçüm bölgesinde 147,51 nGy/s olarak ve en düşük değerinde ise 29,96 nGy/s olarak 3 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir.

Araklı ilçesinde 26 farklı bölgede yapılan bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 60,36 nGy/s ve standart sapması 31,87 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 74,03 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 μ Sv/y (UNSCEAR, 2000) değerinden 1,08 kat daha küçüktür. Ayrıca hesaplanan bu ortalama değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçüktür (ICRP, 1990). Bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması ise 66,58 nGy/s ve standart sapması 23,62 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina içi gama doz hızı kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 326,61 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu değer, bina dışı gama dozu hızından elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerinden 4,41 kat daha fazladır. Aynı zamanda bu ortalama değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden küçüktür.

Tablo 16. Araklı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Dağbaşı	53,94	66,15	63,34	310,72
2	Pervane 1	36,54	44,81	47,61	233,56
3	Pervane 2	20,01	24,54	29,96	146,97
4	Kestanelik 1	23,49	28,81	39,32	192,89
5	Kestanelik 2	32,19	39,48	51,08	250,58
6	Petekli	95,7	117,37	104,16	510,97
7	Güneyköy	74,82	91,76	67,86	332,89
8	Yiğitözü	55,68	68,29	59,16	290,22
9	Dulköy	113,1	138,71	147,51	723,63
10	Hasköy	43,5	53,35	48,49	237,87
11	İyisu	165,3	202,72	73,58	360,95
12	Çukurçayır	104,4	128,04	82,35	403,98
13	Çamburnu	69,6	85,36	85,69	420,36
14	Yassıkaya yolu	34,8	42,68	57,9	284,03
15	Yassıkaya yıldızlı arası	55,68	68,29	65,25	320,09
16	Yassıkaya	81,78	100,29	84,39	413,98
17	Üzümlü	59,16	72,55	85,26	418,25
18	Bereketli	31,32	38,41	47,58	233,41
19	Şifalı su	47,85	58,68	48,72	239,00
20	Aşağı ovalı	61,77	75,75	71,34	349,97
21	Küçükdere	34,8	42,68	50,16	246,06
22	Aşağı çavuşlu	64,38	78,96	75,78	371,75
23	Değirmencik	59,16	72,55	68,37	335,40
24	Taştepe	47,85	58,68	59,05	289,68
25	Erenler	39,15	48,01	47,33	232,18
26	Çankaya	63,51	77,89	69,81	342,46
ORT:		60,36	74,03	66,58	326,61

Tablo 16 ve Tablo 15 birlikte değerlendirilecek olursa, toprak örneklerinin analizi sonucu bulunan radyonüklitler kullanılarak hesaplanan gama dozunun 113,18 nGy/s değeri ile en yüksek olduğu 9 numaralı Dulköy bölgesinde bina içi gama dozu değeri de diğer örnek noktalarına oranla en yüksek değere sahiptir. Bu verilerden yola çıkılarak 9 nolu örnek bölgesinde bina içi gama dozuna etki eden en önemli etkenin binanın bulunduğu bölgenin toprak yapısı olduğu sonucuna varılabilir. Ek olarak; topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan gama dozunun 23,26 nGy/s değeri ile en düşük olduğu 3 numaralı Pervane bölgesinde bina dışı gama dozu değerinin de en düşük değere sahip olması, 3 nolu örnek noktasındaki bina dışı gama dozuna karasal kaynaklı ışınlardan gelen katkının daha fazla olduğu sonucuna ulaşmamızı sağlamaktadır.



Şekil 34. Araklı ilçesi gama dozlarının dağılımı

3.1.3.3. Araklı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

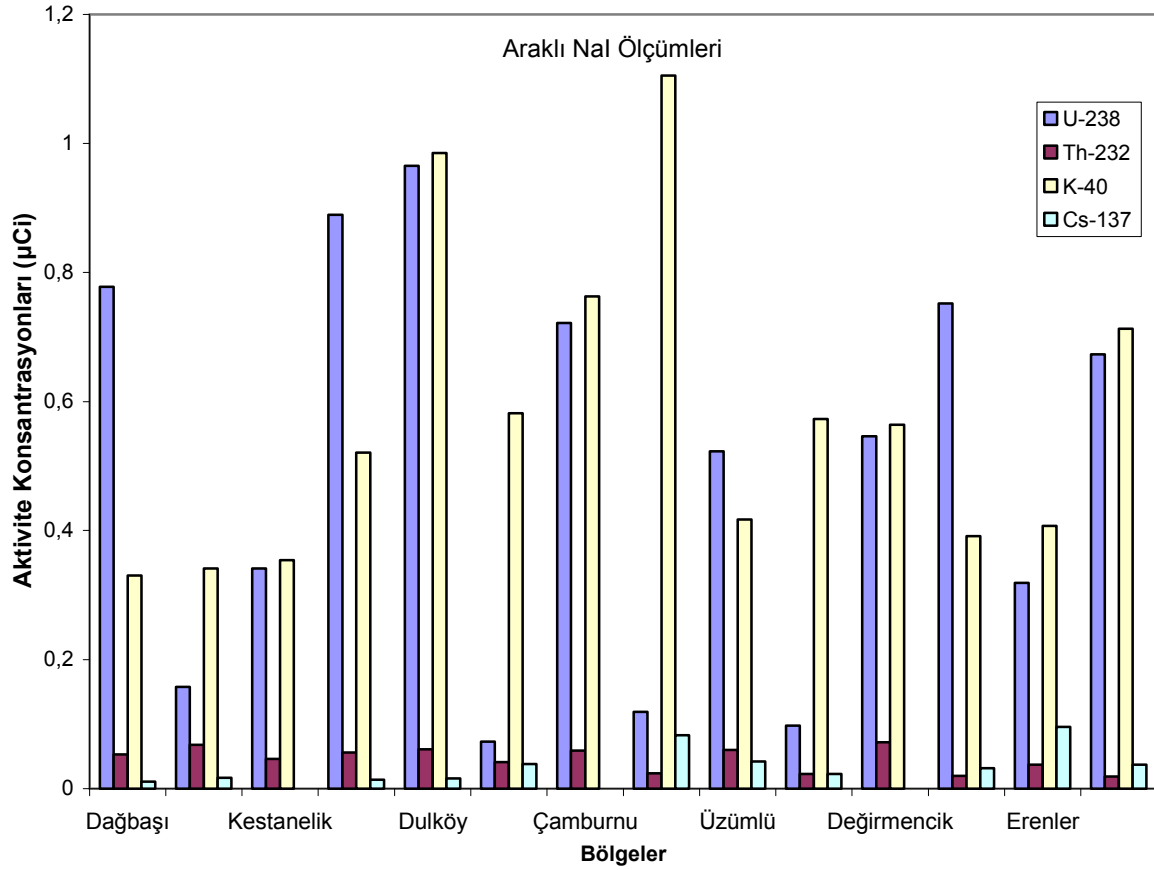
Araklı ilçesinde yapılan yerinde ölçümler sonucunda belirlenen aktivite konsantrasyonları Tablo 17’de ve bu sonuçların örnek noktalarına göre dağılımları da Şekil 39’da verilmektedir. 14 farklı noktada yapılan ölçümlerin sonuçlarını içeren Tablo 17 irdelendiği zaman, bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,497 μCi , 0,046 μCi , 0,575 μCi ve 0,037 μCi olarak belirlenmiştir.

Tablo 17. Araklı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Dağbaşı	0,778±0,018	0,053±0,007	0,011±0,002	0,330±0,011
2	Pervane	0,158±0,004	0,068±0,008	0,017±0,001	0,341±0,010
3	Kestanelik 1	0,341±0,003	0,046±0,004	-	0,354±0,009
4	Kestanelik 2	0,073±0,006	0,041±0,003	0,038±0,001	0,582±0,014
5	Petekli	0,889±0,081	0,056±0,004	0,014±0,001	0,521±0,004
6	Dulköy	0,965±0,054	0,061±0,003	0,016±0,001	0,985±0,017
7	Çamburnu	0,722±0,028	0,059±0,004	-	0,763±0,020
8	Yassıkaya	0,119±0,021	0,024±0,002	0,083±0,002	1,105±0,014
9	Üzümlü	0,523±0,062	0,060±0,004	0,042±0,001	0,417±0,013
10	Bereketli	0,098±0,016	0,023±0,004	0,023±0,001	0,573±0,016
11	Değirmencik	0,546±0,004	0,072±0,003	-	0,564±0,018
12	Taştepe	0,752±0,007	0,020±0,003	0,032±0,002	0,391±0,015
13	Erenler	0,319±0,015	0,037±0,002	0,096±0,001	0,407±0,016
14	Çankaya	0,673±0,025	0,019±0,002	0,037±0,003	0,713±0,017
ORT:		0,497±0,024	0,046±0,002	0,037±0,001	0,575±0,004

Verilere göre bu ilçede, en büyük ^{238}U aktivitesinin 0,965 μCi değeri ile 6 nolu ölçüm noktasında ve en küçük ^{238}U aktivitesinin 0,073 μCi değeri ile 4 nolu ölçüm noktasında olduğu tespit edilmiştir. Tablo 19, ^{232}Th aktivitesi için irdelendiğinde, en büyük ^{232}Th konsantrasyonunun 0,072 μCi değeri ile 11 nolu ölçüm bölgesinde ve en küçük ^{232}Th aktivitesinin 0,019 μCi değeri ile 14 nolu ölçüm noktasında olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm

yapılan noktaların yalnızca 3 tanesinde ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır. Merkez ilçe için ^{137}Cs aktivitesinin ortalama değeri $0,037 \mu\text{Ci}$ olarak bulunmuştur. ^{40}K aktivitesine bakıldığında, en büyük aktivite konsantrasyonunun 8 nolu ölçüm bölgesi olan Yassıkaya'da ve en küçük aktivite konsantrasyonunun 1 nolu ölçüm bölgesi olan Dağbaşı'nda olduğu görülmüştür.



Şekil 35. Araklı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Tablo 15 ve Tablo 17 karşılaştırıldığında, NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ^{238}U aktivitesinin belirlendiği Dulköy bölgesinden alınan toprak örneğinde de ^{238}U aktivitesinin en yüksek değerde olduğu hatta, Araklı için belirlenen ortalama ^{238}U aktivitesinden 2,42 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Yine NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucunda, en küçük ^{238}U aktivitesinin tespit edildiği Kestanelik bölgesi toprak örneklerinin analizinde de ^{238}U aktivitesinin en küçük değerde olduğu görülmüştür. Aynı şekilde, en büyük ^{232}Th aktivitesinin belirlendiği Değirmencik bölgesi toprak örneğinde de ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun, ortalama ^{232}Th aktivitesinden 1,53 kat

fazla olduğu görülmektedir. İki Tablo ^{40}K radyoizotopu açısından kıyaslandığında, NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucunda en küçük ve en büyük ^{40}K aktivite konsantrasyonunun belirlendiği Dağbaşı ve Yassıkaya bölgelerinin toprak örneklerinde de ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en küçük ve en büyük değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Hem yapılan toprak analizlerinde hem de NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerde, ^{137}Cs radyoizotopunun, aynı ölçüm noktalarında en büyük ve en küçük değerleri aldığı görülmüştür. Toprak örneklerinden elde edilen radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının en büyük ve en küçük değerleri aldığı örnek noktalarındaki, NaI dedektörü ile elde edilen verilerin uyum içinde olması, Araklı ilçesi için karasal kaynaklı radyonüklitlerden gelen katkıların kozmik ışıklardan gelen katkılardan daha fazla olduğu sonucuna ulaşmamızı sağlamaktadır.

3.1.4. Arsin İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.4.1. Arsin İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

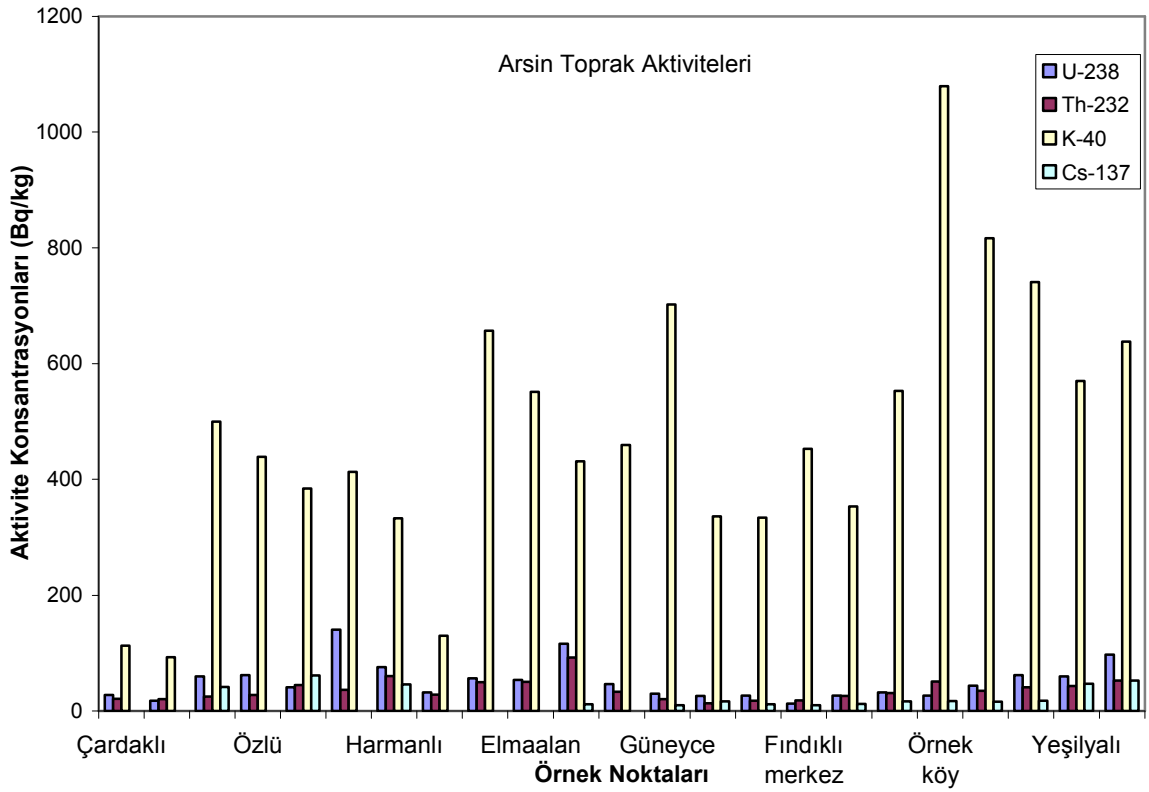
Arsin ilçesi topraklarında bulunan radyonüklitleri ve aktivite konsantrasyonlarının belirlemek amacıyla yapılan spektrometrik analizler neticesinde elde edilen sonuçlar ve bu aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan gama dozu (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) Tablo 18’de verilmektedir. Şekil 36’da ise bu aktivite konsantrasyonlarının, birbiriyle kıyaslanmasını kolaylaştırmak amacıyla, örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir.

Arsin ilçesinden toplanan 23 toprak örneğinin analiz sonucunda oluşturulan Tablo 18 ^{238}U aktivite konsantrasyonu açısından değerlendirildiğinde, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun 12,63 Bq/kg ile 140,35 Bq/kg arasında değiştiği ve ortalama değerinin 50,93 Bq/kg olduğu görülmektedir. En yüksek ^{238}U aktivite konsantrasyonuna 6 nolu ve en düşük ^{238}U aktivite konsantrasyonuna ise 18 nolu örnek noktasında rastlanmıştır. ^{232}Th açısından Tablo 18 irdelendiğinde, ^{232}Th aktivitesinin 13,50 Bq/kg değeri ile 16 numaralı Yeşilyurt merkez bölgesinde, en yüksek ^{232}Th aktivitesinin ise 92,28 Bq/kg değeri ile 11 numaralı Yeşilyalı bölgesinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 18. Arsin ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Çardaklı	27,82±0,96	20,97±4,29	-	112,78±6,79	30,22	37,06
2	Yenice	17,45±1,83	20,42±4,46	-	92,86±5,82	24,27	29,76
3	Işıklı	59,73±4,20	24,7±4,56	41,56±3,44	499,57±25,52	63,35	77,69
4	Özlü	62,19±4,32	27,49±6,34	-	438,94±22,96	63,64	78,05
5	Karaca	40,74±1,39	44,59±7,69	61,17±4,28	384±20,92	61,77	75,75
6	Elmaalan-1	140,35±7,62	36,41±9,33	-	413,03±22,55	104,06	127,62
7	Elmaalan-2	53,65±3,93	50,45±4,94	-	551,26±24,32	78,25	95,96
8	Harmanlı	75,95±5,48	60,5±9,35	45,79±4,67	332,44±18,74	85,49	104,85
9	Yokuşlu	32,23±0,40	28,18±5,36	-	129,93±8,40	37,33	45,78
10	Arsin Merkez	56,52±3,98	49,95±5,92	-	657,11±29,89	83,68	102,63
11	Yeşilyalı-1	116,12±5,77	92,28±8,40	11,82±2,26	430,99±22,41	127,36	156,19
12	Yeşilyalı-2	59,93±4,49	43,11±6,96	46,88±3,87	570,24±31,02	77,51	95,05
13	Yeşilyalı-3	97,24±5,69	52,31±7,35	52,83±3,98	638,28±32,99	103,14	126,49
14	Işıklı	46,25±3,53	33,4±5,49	-	459,31±22,92	60,69	74,44
15	Güneyce	29,62±2,66	20,69±5,35	9,83±2,47	702,14±33,14	55,46	68,02
16	Yeşilyurt merkez	25,8±3,57	13,5±2,33	16,78±1,95	335,93±19,61	34,08	41,80
17	Yeşilköy	26,35±2,27	17,65±4,07	11,49±2,95	333,68±19,18	36,75	45,07
18	Fındıklı merkez	12,63±1,43	18,07±3,86	10,22±2,78	452,67±24,62	35,63	43,69
19	Fındıklı	26,51±2,82	26,18±4,99	11,96±2,23	353,09±20,12	42,78	52,47
20	Yolüstü	31,93±2,79	30,93±5,05	16,46±3,23	552,91±28,47	56,49	69,28
21	Örnek köy	26,49±2,95	50,88±6,5	17,43±2,94	1079,55±45,34	87,99	107,91
22	Yeniköy	43,7±3,86	34,69±3,38	15,87±6,47	816,32±32,50	75,18	92,20
23	Çubuklu	62,1±4,41	41,08±6,14	17,84±3,54	740,87±36,82	84,40	103,50
ORT:		50,93±1,72	36,45±1,82	25,86±1,16	481,65±9,38	65,63	80,49

Toprak örneklerindeki ^{238}U ve ^{232}Th ortalama aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,40 kat yüksek olduğu görülmektedir. ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği 6 nolu örnek noktasında ^{232}Th aktivitesinin, ortalama ^{232}Th aktivitesi civarında olduğu, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek tespit edildiği 11 nolu örnek noktasındaki ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ise, Arsin topraklarında ^{238}U için belirlenen ortalama aktivite konsantrasyonundan 2,28 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 36. Arsin ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Tablo 18, ^{40}K radyonükliti açısından incelendiği, toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulunabilen ^{40}K 'ın Arsin ilçesi toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda bulunduğu görülmektedir. En yüksek ^{40}K aktivite konsantrasyonunun 21 nolu örnek noktasında, en düşük ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ise 2 nolu örnek noktasında ve ortalama ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ise 481,65 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir. Toplanan 23 toprak örneğinin 8 tanesinde ^{137}Cs radyonüklitine rastlanmamakla birlikte, ortalama ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu 25,86 Bq/kg olarak belirlenmiştir.

3.1.4.2. Arsin İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Arsin ilçesinde portatif NaI dedektörü ile 23 farklı bölgede yerden 1 m yükseklikte yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları ve bu sonuçlar kullanılarak hesaplanan, bir yıl süresince insanların maruz kalacakları radyasyon dozları Tablo 19'da verilmektedir. Ölçümler, ölçüm hatalarını en aza indirgeyebilmek amacıyla, her bir ölçüm noktasında altışar kez yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak her bir ölçüm bölgesi için gama doz değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar hem karasal kaynaklı radyonüklitlerden hem de kozmik ışıklardan gelen katkıları içermektedir. Şekil 37'de ise Arsin ilçesindeki bina içi ve bina dışında ölçülen gama dozlarının dağılımı görülmektedir.

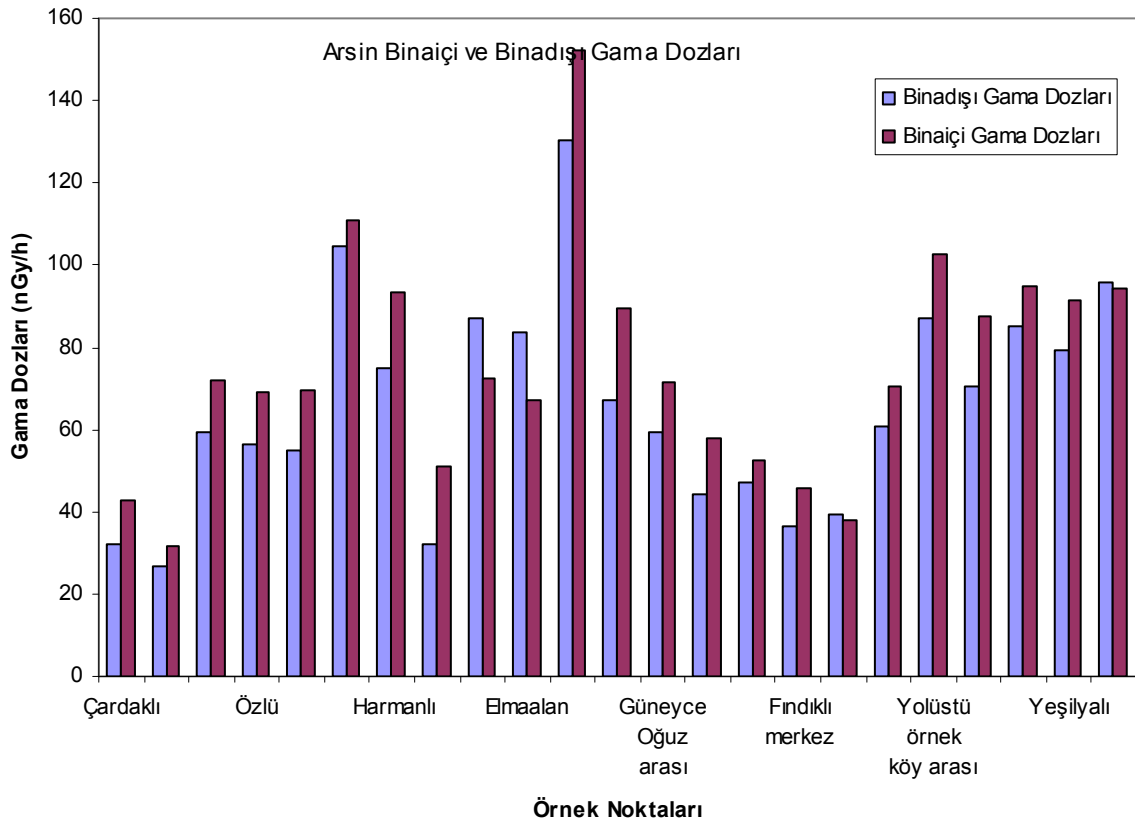
Tablo 19'daki bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 11 nolu Yeşilyalı bölgesinde 152,18 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 31,52 nGy/s olarak 2 nolu Yenice bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Bina dışında yapılan ölçüm sonuçları irdelendiğinde en yüksek gama dozunun yine 11 nolu ölçüm bölgesinde 130,50 nGy/s olarak ve en düşük değer de 26,97nGy/s olarak 2 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir.

Tablo 18 ve Tablo 19 beraber değerlendirilecek olursa, 2 nolu Yenice bölgesinden alınan toprak örneğindeki radyonüklit konsantrasyonlarının ve dolayısıyla gama dozu değerinin de en düşük olduğu ve 11 nolu örnek noktasından alınan toprak örneğindeki radyonüklit konsantrasyonlarının ve dolayısıyla gama dozu değerinin en yüksek olduğu görülecektir. Arsin için 23 farklı bölgede yapılan bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 75,15 nGy/s ve standart sapması 27,31 nGy/s olarak ve bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 65,82 nGy/s ve standart sapması 26,03 nGy/s olarak hesaplanmıştır.

Tablo 19. Arsin ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Çardaklı	32,19	39,48	42,67	209,32
2	Yenice	26,97	33,08	31,52	154,62
3	Işıklı	59,16	72,55	72,21	354,23
4	Özlu	56,55	69,35	68,84	337,70
5	Karaca	54,81	67,22	69,44	340,64
6	Elmaalan-1	104,40	128,04	110,71	543,10
7	Elmaalan-2	83,52	102,43	67,25	329,90
8	Harmanlı	74,82	91,76	93,26	457,50
9	Yokuşlu	32,19	39,48	51,08	250,58
10	Arsin Merkez	87,00	106,70	72,32	354,77
11	Yeşilyalı-1	130,50	160,05	152,18	746,53
12	Yeşilyalı-2	79,17	97,09	91,48	448,76
13	Yeşilyalı-3	95,70	117,37	94,36	462,89
14	Işıklı	66,99	82,16	89,47	438,90
15	Güneyce	59,16	72,55	71,35	350,01
16	Yeşilyurt merkez	44,37	54,42	58,03	284,67
17	Yeşilköy	46,98	57,62	52,71	258,57
18	Fındıklı merkez	36,54	44,81	45,83	224,82
19	Fındıklı	39,15	48,01	38,14	187,10
20	Yolüstü	60,90	74,69	70,68	346,73
21	Örnek köy	87,00	106,70	102,65	503,56
22	Yeniköy	70,47	86,42	87,58	429,63
23	Çubuklu	85,26	104,56	94,67	464,41
ORT:		65,82	80,72	75,15	368,65

Bina içinde belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 368,65 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 80,72 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçük olduğu sonucuna ulaşılmıştır (ICRP, 1990).



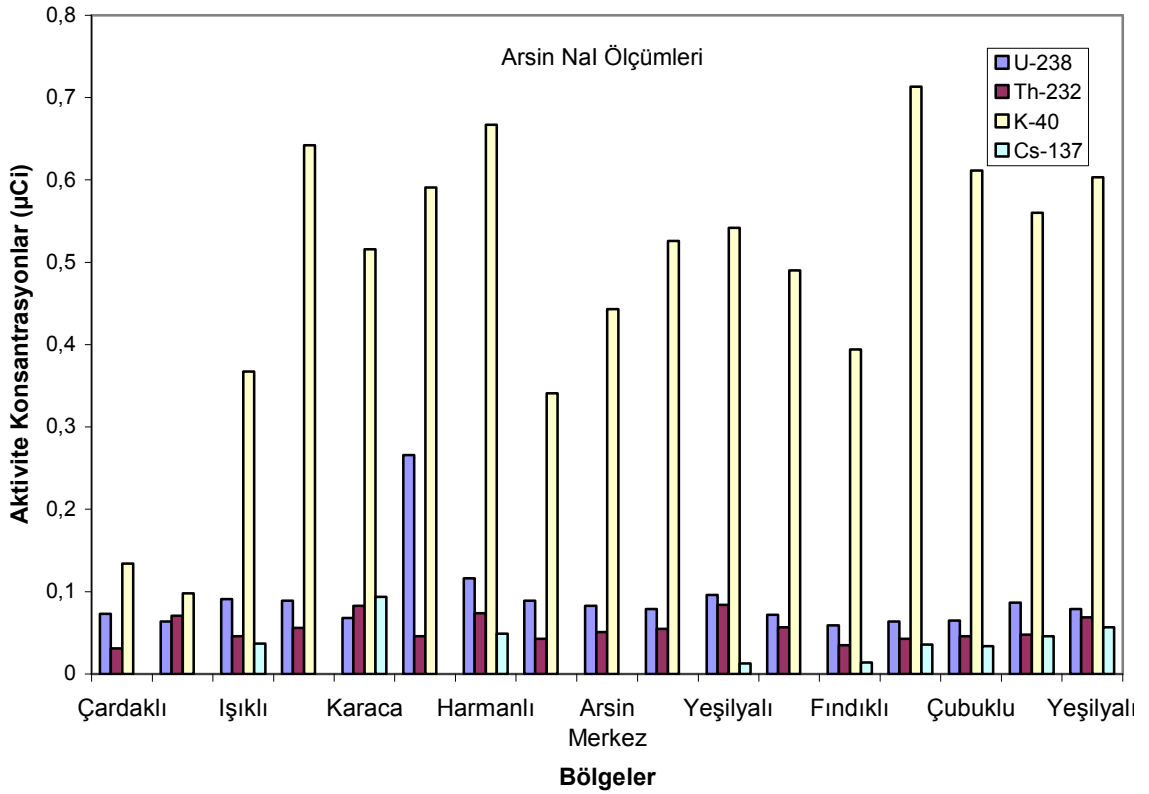
Şekil 37. Arsin ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 18'deki bina içi ve bina dışı gama dozları ile Tablo 19'daki toprak örneklerinden hesaplanan gama dozları beraber değerlendirildiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ölçülen ortalama gama dozu değeriyle hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Ayrıca bina içi gama dozu ölçümlerinin ortalama değeri bina dışı gama dozunun ortalama değerinden 1,14 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak, Arsin ilçesi için bina içi gama dozuna, topraktan gelen karasal kaynaklı radyonüklitlerden ve bunlara

ek olarak yapı malzemelerinin kendi bünyesinde bulunan radyonüklitlerden de bir katkının geldiği düşünülebilir.

3.1.4.3. Arsin İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Arsin ilçesinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 20’de verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 38’de gösterilmektedir. Tablo 20 irdelendiğinde, 17 noktada yapılan ölçümler neticesinde belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,091 μCi , 0,052 μCi , 0,485 μCi ve 0,042 μCi olarak bulunmuştur.



Şekil 38. Arsin ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Elde edilen bulgulara bakıldığında, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığı zaman, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,65 kat fazla çıktığı görülmüştür. Bu ilçede, ^{238}U aktivitesinin en büyük değerinin 0,266 μCi olarak Elmaalan

bölgesinde ve ^{232}Th aktivitesinin en büyük değerinin $0,084 \mu\text{Ci}$ olarak Yeşilyalı bölgesinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 20. Arsin ilçesinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Çardaklı	0,073±0,005	0,031±0,003	-	0,134±0,010
2	Yenice	0,064±0,003	0,071±0,006	-	0,098±0,003
3	Işıklı	0,091±0,003	0,046±0,004	0,037±0,001	0,367±0,008
4	Özlu	0,089±0,004	0,056±0,004	-	0,642±0,003
5	Karaca	0,068±0,005	0,083±0,003	0,094±0,001	0,516±0,013
6	Elmaalan-1	0,266±0,004	0,046±0,003	-	0,591±0,012
7	Elmaalan-2	0,079±0,014	0,055±0,004	-	0,526±0,014
8	Harmanlı	0,116±0,017	0,074±0,004	0,049±0,001	0,667±0,015
9	Yokuşlu	0,089±0,011	0,043±0,002	-	0,341±0,012
10	Arsin Merkez	0,083±0,012	0,051±0,004	-	0,443±0,011
11	Yeşilyalı-1	0,096±0,004	0,084±0,003	0,013±0,002	0,542±0,011
12	Yeşilyalı-2	0,087±0,009	0,048±0,002	0,046±0,002	0,560±0,016
13	Yeşilyalı-3	0,079±0,007	0,069±0,002	0,057±0,003	0,603±0,011
14	Işıklı	0,072±0,006	0,057±0,004	-	0,496±0,013
15	Fındıklı	0,059±0,004	0,035±0,003	0,014±0,002	0,394±0,012
16	Yeniköy	0,064±0,006	0,043±0,004	0,036±0,003	0,713±0,010
17	Çubuklu	0,065±0,002	0,046±0,003	0,034±0,002	0,611±0,012
ORT:		0,091±0,004	0,055±0,001	0,042±0,001	0,485±0,004

^{40}K aktivite konsantrasyonunun $0,098 \mu\text{Ci}$ ile $0,713 \mu\text{Ci}$ arasında değişim gösterdiği, ^{40}K 'ın en büyük değerine Yeniköy ve en küçük değerine Yenice bölgesinde rastlandığı görülmektedir. Ölçüm noktalarının yarısına yakınında ise ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır.

Tablo 18, Tablo 20 ile kıyaslandığında, NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ^{238}U aktivitesinin belirlendiği Elmaalan bölgesinden alınan toprak örneğinde de ^{238}U aktivitesinin en büyük değere sahip olduğu hatta Arsin ilçesi toprak

örneklerindeki ortalama ^{238}U aktivitesinden 2,76 kat fazla olduğu ve aynı şekilde en büyük ^{232}Th aktivitesinin belirlendiği 11 nolu Yeşilyalı bölgesinden alınan toprak örneğinde de ^{232}Th aktivitesinin en büyük değere sahip olduğu ve toprak örneklerindeki ortalama ^{232}Th aktivitesinden 2,53 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. İki Tablo ^{137}Cs radyoizotopu açısından kıyaslandığında, hem yapılan toprak analizlerinde hem de portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerde, aynı ölçüm noktalarında ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış olduğu görülmüştür.

3.1.5. Beşikdüzü İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.5.1. Beşikdüzü İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

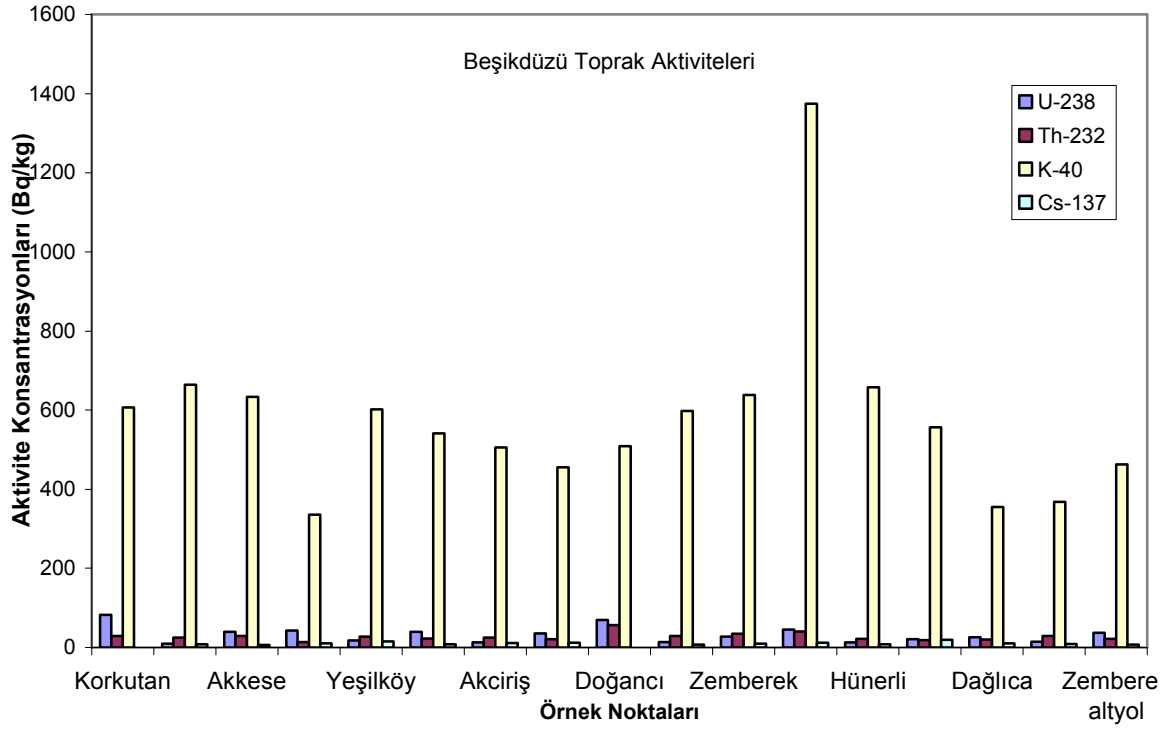
Beşikdüzü ilçesinden toplanan toprak örneklerinin yapılan spektrometrik analizleri sonucunda bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları, bu aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan gama dozları (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) Tablo 21’de, aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı ise Şekil 39’da verilmektedir.

Toplanan 17 toprak örneğinin analizi sonucu elde edilen Tablo 21, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları açısından irdelendiğinde, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının hemen hemen birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu ilçedeki, en düşük ^{238}U aktivitesinin 9,40 Bq/kg değeri ile 2 nolu Akkese bölgesinde, en yüksek ^{238}U aktivitesinin ise 82,04 Bq/kg değeri ile 1 nolu Korkutan bölgesinde olduğu, en düşük ^{232}Th aktivitesinin 13,49 Bq/kg değeri ile 4 numaralı Korkutan bölgesinde, en yüksek ^{232}Th aktivitesinin ise 56,72 Bq/kg değeri ile yine Doğancı bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Tablo 21’deki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, aktivite konsantrasyonunun 335,93 Bq/kg ile 1374,68 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 580,18 Bq/kg olduğu görülmüştür.

Tablo 21. Beşikdüzü ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (μSv/y)
1	Korkutan	82,04±4,70	28,86±5,25	-	606,94±30,58	80,64	98,90
2	Akkese 1	9,40±1,35	24,7±5,23	7,76±2,41	663,75±31,86	46,94	57,57
3	Akkese 2	39,85±3,10	29,43±5,27	6,4±2,59	633,4±31,09	62,60	76,77
4	Korkutan	42,8±2,98	13,49±2,45	10,71±2,55	335,93±19,61	41,93	51,42
5	Yeşilköy 1	17,64±2,33	27,81±5,22	15,59±3,28	601,33±31,69	50,02	61,35
6	Yeşilköy 2	39,73±3,03	23±4,42	8,46±2,03	541,51±27,88	54,83	67,24
7	Akciri	12,97±1,61	24,64±4,77	11,36±2,30	505,21±26,42	41,94	51,44
8	Çarlaklı	35,72±2,94	20,75±4,32	12,32±2,35	455,36±23,45	48,02	58,90
9	Doğancı	69,45±4,02	56,72±6,28	-	508,59±25,93	87,55	107,37
10	Üzümözü	13,69±1,87	28,8±5,67	7,46±3,46	597,48±30,17	48,63	59,65
11	Zemberek	27,59±3,14	34,97±6,10	9,73±3,55	638,06±32,09	60,48	74,17
12	Bakırköy	45,15±3,74	40,04±7,17	11,99±3,61	1374,68±60,21	102,37	125,54
13	Hünerli 1	12,75±1,72	22,07±4,54	8,44±3,04	657,72±33,01	46,65	57,21
14	Hünerli 2	21,38±2,28	18,94±3,94	19,58±2,63	556,52±29,32	44,52	54,60
15	Dağlıca	25,48±2,47	20,16±4,53	10,74±2,54	355,37±20,32	38,77	47,54
16	Duygulu	14,67±1,68	28,92±4,87	9,21±2,65	368,37±22,02	39,61	48,57
17	Zemberek altyol	37,18±1,24	21,46±4,32	7,53±2,49	462,76±24,24	49,44	60,63
ORT:		32,21±0,98	27,34±1,05	10,49±0,50	580,18±9,03	55,58	68,17

Toprak örneklerinin yalnızca 2 tanesinde yapay radyoaktif ¹³⁷Cs radyoizotopuna rastlanmamış ve diğer örnek bölgelerinde de düşük konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür. ¹³⁷Cs radyoizotopuna rastlanmayan bölgelerden biri, en yüksek ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun bulunduğu 1 numaralı Korkutan bölgesi diğeri ise en yüksek ²³²Th aktivite konsantrasyonunun bulunduğu 9 numaralı Doğancı bölgesidir.



Şekil 39. Beşikdüzü ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği örnek noktasında ^{238}U aktivitesinin, Beşikdüzü ilçesi toprak örneklerinde bulunan ortalama ^{238}U aktivitesinden 2,16 kat fazla olduğu, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek tespit edildiği örnek noktasındaki ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ise, ^{232}Th için belirlenen ortalama aktivite konsantrasyonu ile hemen hemen aynı düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Beşikdüzü ilçesinden toplanan toprak örneklerindeki ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının, dünya ortalaması civarında olduğu ve ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ise dünya ortalaması değerinden 1,45 kat daha büyük olduğu görülmüştür.

3.1.5.2. Beşikdüzü İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Beşikdüzü ilçesinde portatif NaI dedektörü ile 17 bölgede yerden 1 m yükseklikte ölçümler alınarak bina içi ve bina dışı gama dozları belirlenmiş ve bu sonuçlar kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 22’de ve gama dozu ölçümlerinin örnek noktalarına göre dağılımı da Şekil 40’da verilmektedir.

Tablo 22, bina dışında yapılan ölçüm sonuçları açısından irdelendiğinde, gama dozu hızının 35,67 nGy/s ile 84,39 nGy/s değerleri arasında değiştiği ve ortalama değerinin 53,84 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Tablo 21 ve Tablo 22 beraber değerlendirilecek olursa, toprak örneklerindeki ^{232}Th ’nin en yüksek değerinin tespit edildiği Doğancı bölgesinde bina dışı gama dozunun da, diğer 16 örnek noktasına kıyasla en büyük değere sahip olduğu belirlenmiştir. Tablo 21’de verilen, toprakta bulunan radyonüklitler kullanılarak hesaplanan gama dozunun en küçük değerinin tespit edildiği Dağlıca bölgesinde, yerinde yapılan ölçümler neticesinde elde edilen bina dışı gama dozunun da en küçük değere sahip olduğu belirlenmiştir. Toprak örneklerinde bulunan ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en büyük olduğu 1 nolu Korkutan bölgesinde, yerinde yapılan ölçümler neticesinde belirlenen bina dışı gama dozunun da, ortalama bina dışı gama dozundan 1,52 kat fazla olduğu, ayrıca, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının en küçük olduğu 4 nolu Korkutan bölgesindeki bina dışı gama dozunun ise ortalama bina dışı gama dozundan 1,19 kat düşük olduğu tespit edilmiştir.

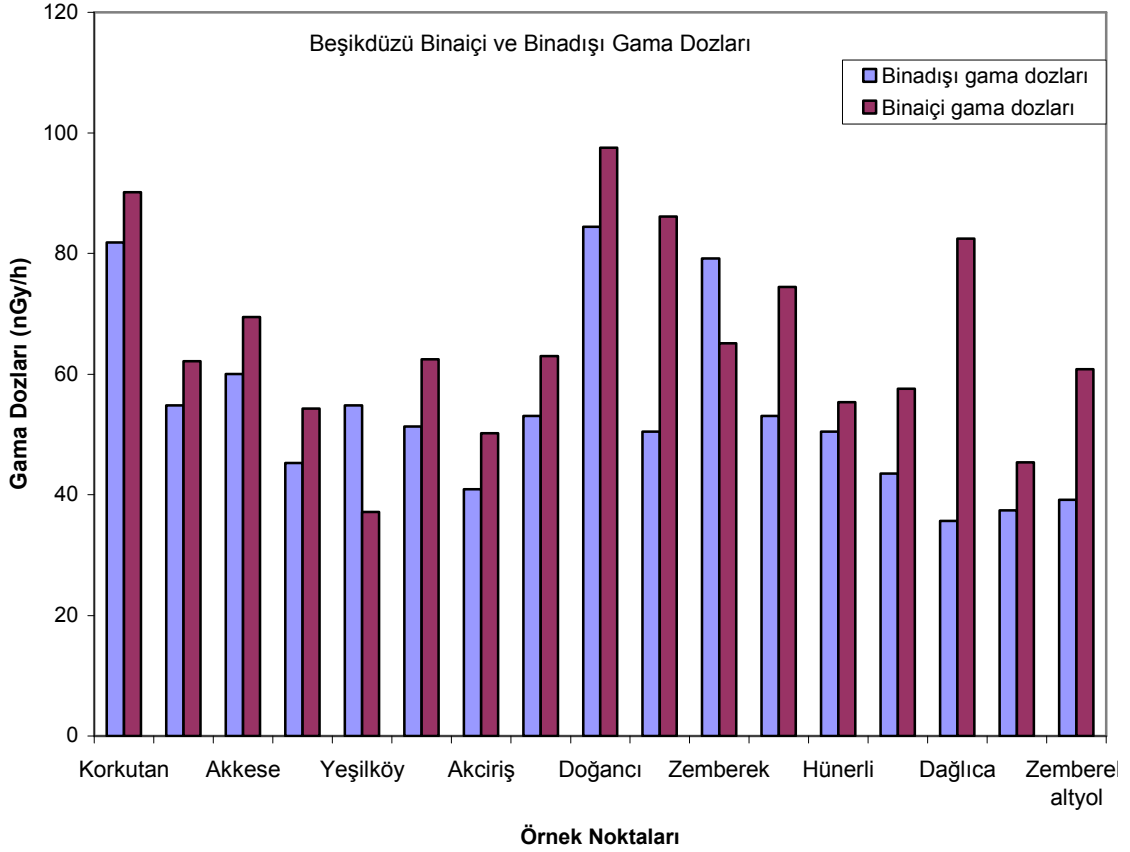
Eşitlik (46) ve dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 66,03 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi bu değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ (UNSCEAR, 2000) değeri ile yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden küçüktür (ICRP, 1990).

Tablo 22. Beşikdüzü ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Korkutan	81,78	100,29	90,13	442,14
2	Akkese 1	54,81	67,22	62,17	304,98
3	Akkese 2	60,03	73,62	69,46	340,74
4	Korkutan	45,24	55,48	54,28	266,28
5	Yeşilköy 1	54,81	67,22	37,13	182,14
6	Yeşilköy 2	51,33	62,95	62,45	306,35
7	Akciriş	40,89	50,15	50,18	246,16
8	Çarlaklı	53,07	65,09	63,01	309,10
9	Doğancı	84,39	103,50	97,52	478,39
10	Üzümözü	50,46	61,88	86,13	422,52
11	Zemberek	79,17	97,09	65,15	319,60
12	Bakırköy	53,07	65,09	74,48	365,37
13	Hünerli 1	50,46	61,88	55,37	271,62
14	Hünerli 2	43,5	53,35	57,59	282,51
15	Dağlıca	35,67	43,75	82,47	404,56
16	Duygulu	37,41	45,88	45,36	222,52
17	Zemberek altyol	39,15	48,01	60,82	298,36
ORT:		53,84	66,03	65,51	321,37

Tablo 22'deki bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında, değerlerin 37,13 nGy/s ile 97,52 nGy/s değerleri arasında değişim gösterdiği ve en yüksek gama dozunun Doğancı bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Bu bölge ayrıca, hem toprak örneklerindeki ²³²Th'nin hem de NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucu bulunan bina dışı gama dozunun en büyük değerinin tespit edildiği bölge olması açısından önemlidir. Tablo 22'deki bina içi ve bina dışı gama dozları ile Tablo 21'deki toprak örneklerinden hesaplanan gama dozları beraber değerlendirildiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ölçülen ortalama gama dozu değeriyle hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.

Ayrıca bina içi yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 321,37 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmış ve bu değer, bina dışı gama dozu hızı kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinden 4,87 kat daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 40. Beşikdüzü ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tüm bu veriler dikkate alındığında, Beşikdüzü ilçesi için bina dışında ölçülen gama dozunun karasal kökenli ışınlardan kaynaklandığı, bina içi, bina dışı gama dozları ile topraktaki ^{232}Th konsantrasyonlarının aynı noktalarda en yüksek değerde olması bina içi gama dozuna, yapı malzemelerinde bulunan doğal radyonüklitlerin yaydıkları gama radyasyonundan bir miktar katkının geldiği fakat karasal kaynaklı radyonüklitlerden gelen katkının yapı malzemelerinden gelen katkıdan fazla olduğu sonuçlarına ulaşmamızı sağlamaktadır.

3.1.5.3. Beşikdüzü İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Beşikdüzü ilçesinde ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişiminin belirlenmesi için yapılan çalışmanın sonuçları Tablo 23’de verilmektedir. Yine Tablo 23’de, radon dozimetrelerinin dağıtıldığı evlerin kat numaraları ve radondan dolayı insanların maruz kaldıkları yıllık etkin doz değerleri görülmektedir.

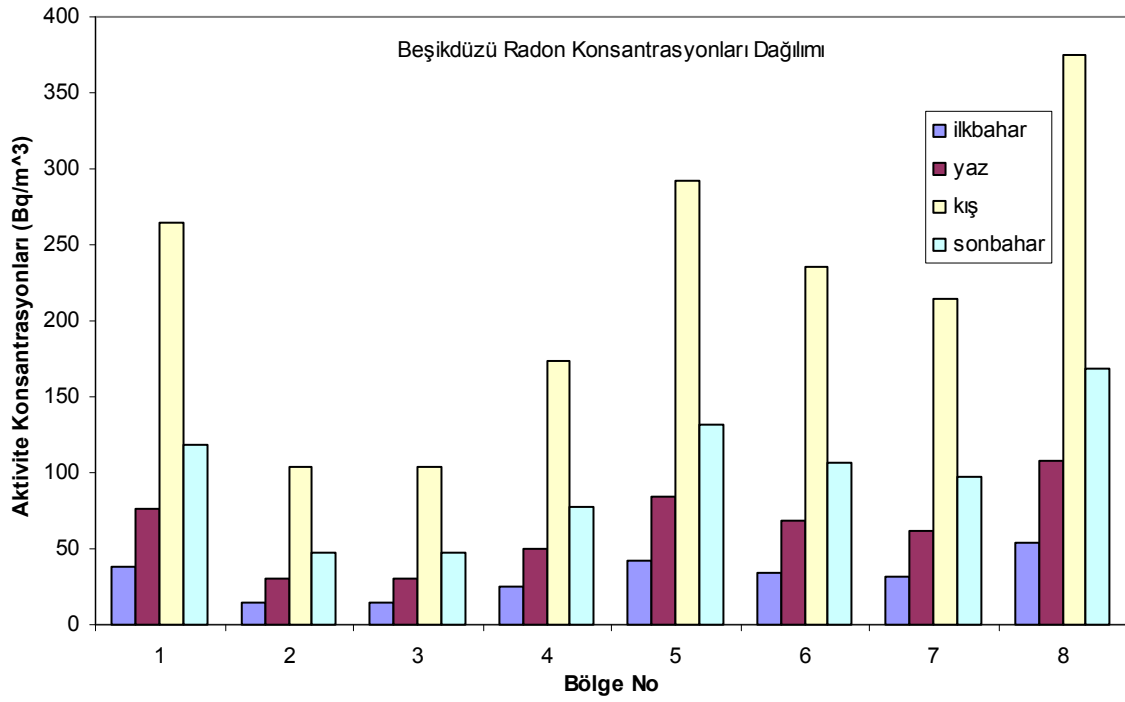
Tablo 23’e bakıldığında, Beşikdüzü ilçesinde radon dozimetresi dağıtılan 8 ev için ilkbahar mevsiminde, evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 15 Bq/m^3 , maksimum değeri 54 Bq/m^3 olup ortalama değeri ise 32 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Yaz mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun 30 Bq/m^3 ile 108 Bq/m^3 arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 64 Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir. Kış mevsimi için yapılan çalışmada evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 104 Bq/m^3 , maksimum değeri 375 Bq/m^3 olup ortalama değeri ise 221 Bq/m^3 olarak bulunmuştur. Sonbahar döneminde ise radon konsantrasyonunun 47 Bq/m^3 ile 168 Bq/m^3 değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama konsantrasyonunun 99 Bq/m^3 olduğu bulunmuştur.

Tablo 23. Beşikdüzü ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	AEDE (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m^3)	Aktivite (Bq/m^3)	Aktivite (Bq/m^3)	Aktivite (Bq/m^3)	
1	3	38	76	264	119	3,13
2	5	15	30	104	47	1,24
3	5	15	30	104	47	1,24
4	4	25	50	174	78	2,06
5	2	42	84	292	131	3,46
6	3	34	68	236	106	2,80
7	3	31	62	215	97	2,55
8	2	54	108	375	168	4,45
ORT:		32	64	221	99	2,62

Bu ilçede tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyonları dikkate alınarak, insanların bir yıl içinde aldığı, radondan kaynaklanan radyasyon dozu eşdeğeri 2,62 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 41'de görülmektedir.

Beşikdüzü ilçesinde radon dozimetrelerinin dağıtıldığı evlerin kat sıralamasına göre analizleri yapıldığında, 2., 3., 4., ve 5. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 157 Bq/m³, 112 Bq/m³, 82 Bq/m³ ve 49 Bq/m³ değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Beşikdüzü ilçesindeki evlerde radonun asıl kaynağının bina zeminindeki toprak olduğunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 41. Beşikdüzü ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

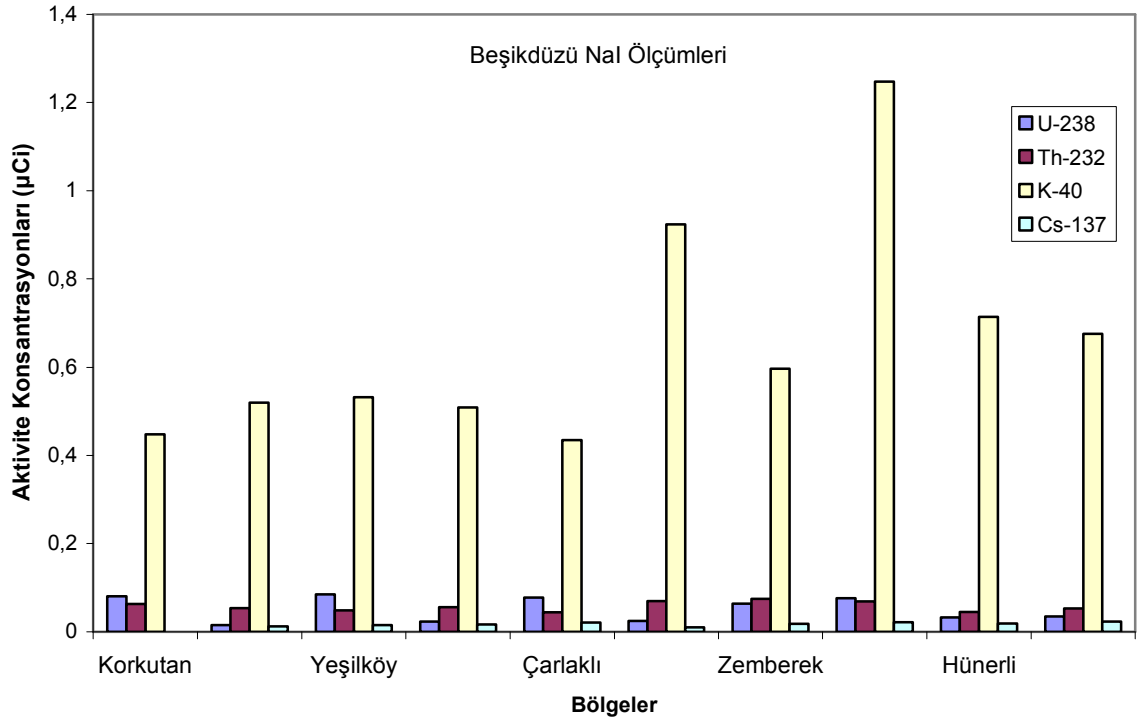
3.1.5.4. Beşikdüzü İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Beşikdüzü ilçesinde NaI dedektörü ile yapılan yerinde ölçümlerin sonucunda tespit edilen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 24’de ve aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre değişimi Şekil 42’de gösterilmektedir.

Verilere incelendiğinde, en büyük ^{238}U aktivitesinin 0,085 μCi değeri ile Yeşilköy bölgesinde ve en küçük ^{238}U aktivitesinin 0,015 μCi değeri ile Akkese bölgesinde olduğu görülmektedir. ^{232}Th aktivitesi için, en büyük ^{232}Th konsantrasyonunun 0,075 μCi değeri ile Zemberek bölgesinde ve en küçük ^{232}Th aktivitesinin 0,044 μCi değeri ile Çarlaklı ölçüm bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Ölçüm yapılan bölgelerin sadece 1 tanesinde ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamakla beraber bu ilçede ^{137}Cs aktivitesinin ortalama değeri 0,017 μCi olarak bulunmuştur. ^{40}K aktivitesine bakıldığında, en büyük aktivite konsantrasyonunun Bakırköy ölçüm bölgesinde ve en küçük aktivite konsantrasyonunun Korkutan bölgesinde olduğu görülmüştür. Verilere göre, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama aktivite konsantrasyonlarının birbirine çok yakın değerlerde olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 24. Beşikdüzü ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Korkutan	0,081±0,004	0,063±0,004	-	0,448±0,011
2	Akkese	0,015±0,002	0,054±0,003	0,012±0,001	0,520±0,010
3	Yeşilköy	0,085±0,005	0,049±0,003	0,015±0,001	0,532±0,007
4	Akciriş	0,023±0,006	0,056±0,004	0,017±0,002	0,509±0,006
5	Çarlaklı	0,078±0,007	0,044±0,003	0,021±0,003	0,435±0,009
6	Üzümözü	0,025±0,004	0,070±0,005	0,010±0,001	0,924±0,013
7	Zemberek	0,064±0,003	0,075±0,007	0,018±0,001	0,597±0,015
8	Bakırköy	0,076±0,006	0,069±0,003	0,022±0,002	1,247±0,016
9	Hünerli	0,033±0,005	0,045±0,006	0,019±0,001	0,714±0,013
10	Duygulu	0,035±0,008	0,053±0,004	0,023±0,002	0,675±0,017
ORT:		0,052±0,002	0,058±0,001	0,017±0,001	0,660±0,004



Şekil 42. Beşikdüzü ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

3.1.6. Çarşıbaşı İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.6.1. Çarşıbaşı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Çarşıbaşı ilçesi toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla Çarşıbaşı ilçe sınırları içinde bulunan 17 farklı bölgeden toplanan toprak örneklerinin radyometrik analiz sonuçları, bu sonuçlar kullanılarak hesaplanan gama dozu (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) Tablo 25'de verilmektedir. Şekil 43'de ise belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir.

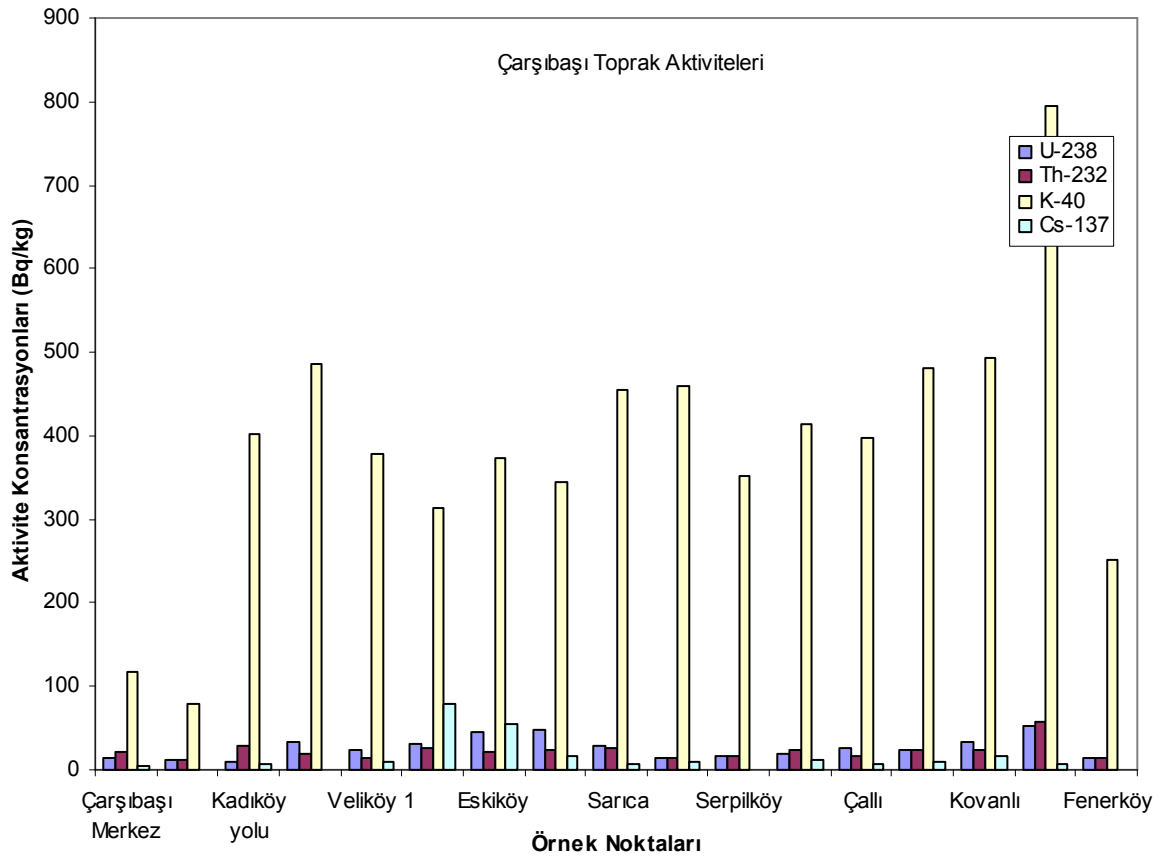
Tablo 25 incelendiğinde, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 10,64 Bq/kg-51,72 Bq/kg, 13,12 Bq/kg-57,60 Bq/kg, 79,23 Bq/kg-794,64 Bq/kg ve 4,75 Bq/kg-79,87 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonlarının yine sırasıyla 26,24 Bq/kg, 22,77 Bq/kg, 387,86 Bq/kg ve 18,89 Bq/kg olarak belirlendiği görülmektedir. Bu ilçedeki, en düşük ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, mesafe olarak birbirine çok yakın olan 2 ve 3 nolu örnek bölgesinde

olduğu, ayrıca, en yüksek ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının 16 numaralı örnek bölgesi, Gülbahçe’de, olduğu tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin 4 tanesinde ise ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır.

Tablo 25. Çarşıbaşı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE ($\mu\text{Sv/y}$)
1	Çarşıbaşı Merkez	14,02±1,81	22,57±4,0	4,75±1,85	117,64±7,99	25,02	30,68
2	Kadıköy	11,68±1,47	13,12±3,33	-	79,23±5,92	16,62	20,39
3	Kadıköy yolu	10,64±1,33	28,96±5,36	8,33±2,54	401,86±22,58	39,17	48,03
4	Pınarlı	33,31±2,98	18,85±4,48	-	485,05±25,46	47,00	57,64
5	Veliköy 1	23,11±2,11	15,21±3,41	9,88±2,70	377,65±20,92	35,61	43,67
6	Veliköy 2	30,45±2,66	27,07±5,05	79,87±3,94	314,19±18,85	43,52	53,37
7	Eskiköy	45,94±4,83	21,45±4,38	54,81±4,69	374,5±14,18	49,80	61,07
8	Karpınar	48,35±3,43	23,2±4,99	15,83±3,09	344,59±20,53	50,72	62,20
9	Sarıca	29,47±2,75	25,89±4,91	7,52±2,06	455,66±23,83	48,25	59,18
10	Taşlıtepe	14,71±1,68	13,21±2,81	9,49±2,60	458,83±23,95	33,91	41,58
11	Serpilköy	16,38±1,79	17,04±4,04	-	352,69±19,64	32,57	39,94
12	Kavaklı	19,64±1,95	23,47±4,16	13,11±2,91	413,04±22,75	40,47	49,64
13	Çallı	25,77±6,04	17,52±5,03	8,06±1,09	398,12±11,20	39,09	47,94
14	Yavuzköy	23,35±2,36	23,94±4,35	10,77±2,49	481,13±24,82	45,31	55,57
15	Kovanlı	34,4±3,44	23,73±5,05	16,08±3,13	492,57±27,38	50,77	62,26
16	Gülbahçe	51,72±3,33	57,6±5,96	7,05±2,93	794,67±33,93	91,82	112,61
17	Fenerköy	13,17±1,98	14,3±4,13	-	252,13±16,11	25,24	30,95
ORT:		26,24±1,25	22,77±0,80	18,89±0,90	387,86±7,15	42,05	51,57

Toprak örneklerindeki ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, değerlerin, hemen hemen birbirine yakın olmakla birlikte ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonunun 1,15 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri, literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K değerlerinin dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,33 kat, 1,32 kat ve 1,03 kat daha küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 43. Çarşıbaşı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

3.1.6.2. Çarşıbaşı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Çarşıbaşı ilçesinde toprak örneklerinin alındığı noktalarda, NaI dedektörü ile yapılan ölçümlerden elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm değerleri ve bu veriler yardımıyla hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 26'da verilmekte ve belirlenen tüm bina içi ve bina dışı gama dozlarının ölçüm bölgelerine göre dağılımı ise Şekil 44'de

gösterilmektedir. Sonuçlar hem karasal kaynaklı radyonüklitlerden hem de kozmik ışınlardan gelen katkıları içermektedir.

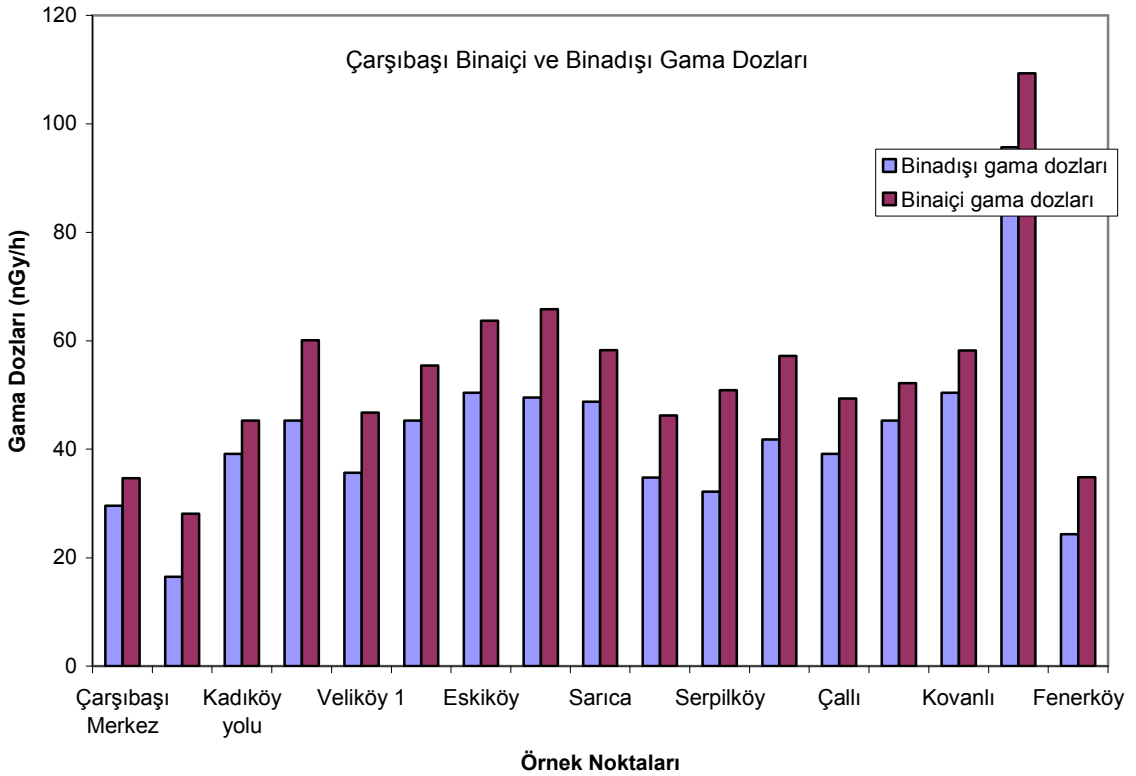
Tablo 26. Çarşıbaşı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Çarşıbaşı Merkez	29,58	36,28	34,63	169,88
2	Kadıköy	16,53	20,27	28,14	138,04
3	Kadıköy yolu	39,15	48,01	45,26	222,03
4	Pınarlı	45,24	55,48	60,11	294,88
5	Veliköy 1	35,67	43,75	46,75	229,34
6	Veliköy 2	45,24	55,48	55,44	271,97
7	Eskiköy	50,46	61,88	63,71	312,54
8	Karpınar	49,59	60,82	65,84	322,98
9	Sarıca	48,72	59,75	58,27	285,85
10	Taşlitepe	34,8	42,68	46,19	226,59
11	Serpilköy	32,19	39,48	50,92	249,79
12	Kavaklı	41,76	51,21	57,22	280,70
13	Çallı	39,15	48,01	49,36	242,14
14	Yavuzköy	45,24	55,48	52,24	256,27
15	Kovanlı	50,46	61,88	58,21	285,55
16	Gülbahçe	95,7	117,37	109,35	536,43
17	Fenerköy	24,36	29,88	34,81	170,76
ORT:		42,58	52,22	53,91	264,46

Tablo 26 ve Şekil 44 beraber irdelenecek olursa, bina dışında yapılan ölçüm sonuçları için, en düşük gama dozunun 2 nolu ölçüm bölgesi Kadıköy’de 16,53 nGy/s olarak, en yüksek değer ise, 95,70 olarak 16 nolu ölçüm bölgesi Gülbahçe’de belirlendiği görülmektedir. Bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında, en yüksek ve en düşük

gama dozlarının yine sırasıyla 109,35 nGy/s ve 28,4 nGy/s olarak Gülbahçe ve Kadıköy bölgelerinde ölçüldüğü görülmektedir.

Tablo 25 ve Tablo 26 birlikte değerlendirilecek olursa, toprak örneklerinin analizi sonucu bulunan radyonüklitlerden yararlanılarak hesaplanan gama dozunun 91,82 nGy/s değeri ile en yüksek olduğu Gülbahçe ölçüm bölgesinde NaI dedektörü ile belirlenen bina içi ve bina dışı gama dozu değerleri de diğer örnek noktalarına oranla en yüksek değere sahiptir. Yine toprak örneklerinin analizinden hesaplanan gama dozunun 16,62 nGy/s değeri ile en düşük olduğu Kadıköy ölçüm bölgesinde NaI dedektörü ile belirlenen bina içi ve bina dışı gama dozu değerleri de en düşük değere sahiptir. Ölçüm yapılan 17 bölgede de, bina içi gama dozu değerlerinin bina dışında ölçülen gama dozu değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 44. Çarşıbaşı ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 26'deki bina içi ve bina dışı gama dozları ile Tablo 25'deki toprak örneklerinden hesaplanan gama dozları beraber değerlendirildiğinde görülmektedir ki, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin 42,05 nGy/s değeri ile, NaI dedektörüyle bina dışında ölçülen ortalama gama dozunun 42,58 nGy/s olan değeri

hemen hemen aynıdır. Bu veriler ışığında, Çarşıbaşı ilçesi için, bina dışı gama dozuna en büyük katkının topraktan kaynaklanan karasal kökenli radyonüklitlerden geldiği, bina içi gama dozuna binanın bulunduğu bölgenin topraklarından gelen bir katkının olmasının yanı sıra yapı malzemelerinden de önemli oranda bir katkının geldiği söylenebilmektedir.

Bina içinde belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 264,46 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 52,22 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçük olduğu görülmektedir (ICRP, 1990).

3.1.6.3. Çarşıbaşı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan (InSitu) Ölçüm Sonuçları

Çarşıbaşı ilçesinde 8 örnek noktasında NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 27'de verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 45'de gösterilmektedir. Tablo 27 irdelendiğinde, belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,039 μCi , 0,033 μCi , 0,552 μCi ve 0,029 μCi olarak bulunmuştur.

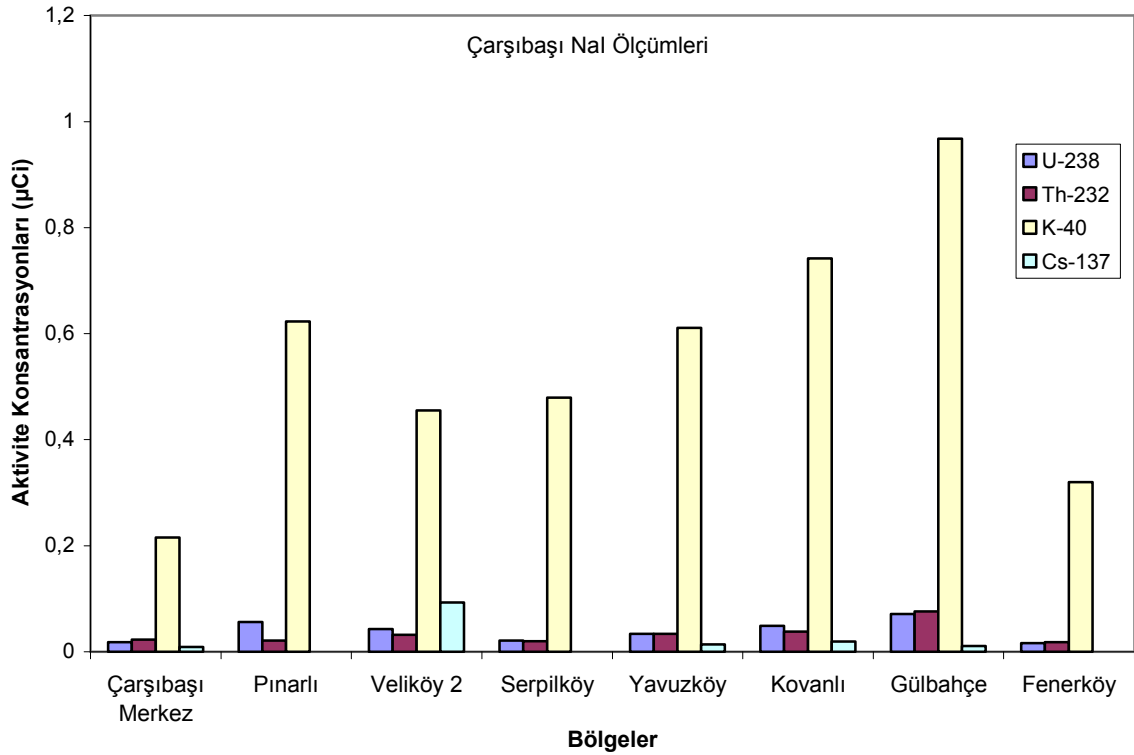
Tablo 27. Çarşıbaşı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Çarşıbaşı Merkez	0,018±0,002	0,023±0,004	0,009±0,001	0,216±0,012
2	Pınarlı	0,056±0,003	0,021±0,004	-	0,623±0,014
3	Veliköy 2	0,043±0,004	0,032±0,003	0,093±0,004	0,455±0,010
4	Serpilköy	0,021±0,002	0,020±0,004	-	0,479±0,012
5	Yavuzköy	0,034±0,003	0,034±0,003	0,014±0,001	0,611±0,016
6	Kovanlı	0,049±0,003	0,038±0,005	0,019±0,002	0,742±0,010
7	Gülbağçe	0,071±0,004	0,076±0,007	0,011±0,001	0,968±0,014
8	Fenerköy	0,016±0,002	0,018±0,002	-	0,320±0,011
ORT:		0,039±0,001	0,033±0,002	0,029±0,001	0,552±0,002

Elde edilen bulgulara bakıldığında, ^{238}U aktivitesinin en büyük değerinin $0,071 \mu\text{Ci}$ olarak Gülbahçe bölgesinde ve ^{232}Th aktivitesinin en büyük değerinin $0,076 \mu\text{Ci}$ olarak yine Gülbahçe bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonunun $0,216 \mu\text{Ci}$ ile $0,968 \mu\text{Ci}$ arasında değişim gösterdiği ve ^{40}K 'ın en büyük değerine Gülbahçe bölgesinde rastlandığı görülmektedir.

Tablo 25 ile Tablo 27 kıyaslandığında, NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesinin belirlendiği Gülbahçe bölgesinden alınan toprak örneklerinde de ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin büyük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Tablolar ^{137}Cs radyoizotopu açısından kıyaslandığında, hem toprak analizlerinde hem de portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerde, aynı ölçüm noktalarında ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış olduğu görülmüştür.

Tablo 25, 26 ve 27'de verilen bulgular sonucunda, tıpkı toprak ölçümlerinde olduğu gibi ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarını birbirine çok yakın değerlerde olduğu, Gülbahçe ölçüm bölgesinde, ölçüm sonuçlarını etkileyen en önemli etkenin karasal kökenli radyonüklitler olduğu tespit edilmiştir.



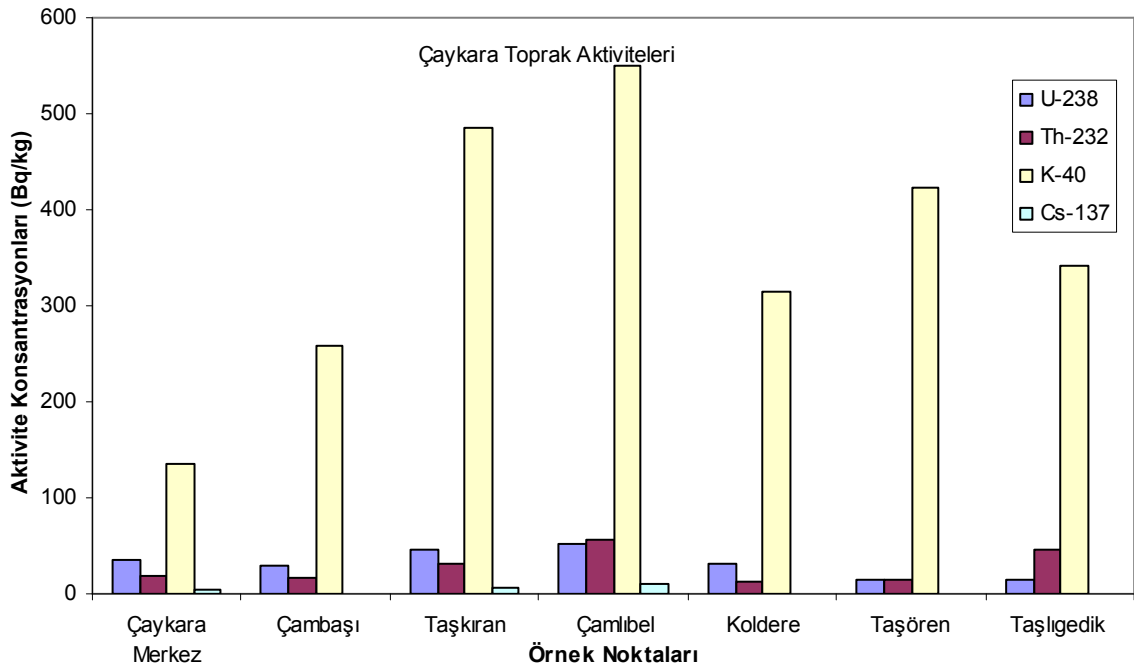
Şekil 45. Çarşıbaşı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

3.1.7. Çaykara İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.7.1. Çaykara İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Çaykara ilçesinden toplanan toprak örneklerinin yapılan spektrometrik analizlerinde, toprak örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları, bu aktivitelere dayanarak hesaplanan gama dozları (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) Tablo 28’de ve Şekil 46’da ise bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir.

Toplanan 7 toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,15 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu ilçede, en düşük ^{238}U aktivitesinin 14,76 Bq/kg değeri ile 7 numaralı Taşlıgedik bölgesinde, en yüksek aktivitesinin ise 51,79 Bq/kg değeri ile 4 numaralı Çamlıbel bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük ^{232}Th aktivitesinin 12,37 Bq/kg değeri ile 5 numaralı Koldere bölgesinde, en yüksek ^{232}Th aktivitesinin ise 56,28 Bq/kg değeri ile yine 4 numaralı Çamlıbel bölgesinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 46. Çaykara ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Tablo 28. Çaykara ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Çaykara Merkez	36,42±1,46	18,45±5,30	4,94±2,01	134,62±8,00	33,58	41,19
2	Çambaşı	29,34±1,29	17,34±4,25	-	257,56±14,91	34,77	42,64
3	Taşkıran	45,77±6,45	31,03±4,98	6,48±3,32	485,12±21,09	60,12	73,73
4	Çamlıbel	51,79±3,51	56,28±7,28	9,77±2,92	549,01±28,38	80,81	99,11
5	Koldere	30,75±3,08	12,37±3,33	-	313,76±19,32	34,76	42,63
6	Taşören	15,48±1,56	14,81±3,87	-	422,79±22,02	33,73	41,36
7	Taşlıgedik	14,76±1,78	44,91±6,55	-	341,47±19,36	48,18	59,09
ORT:		32,04±1,85	27,88±1,43	7,06±0,67	357,76±6,32	46,57	57,11

⁴⁰K aktivite konsantrasyonuna bakıldığında, topraklarındaki aktivite konsantrasyonunun 134,62 Bq/kg ile 549,01 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 357,76 Bq/kg olduğu görülmüştür. Toprak örneklerinin bir kısmında, düşük konsantrasyonlarda olmakla beraber ¹³⁷Cs radyonüklitine rastlanmış ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 7,06 Bq/kg olduğu belirlenmiştir.

3.1.7.2. Çaykara İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Çaykara ilçesinde NaI dedektörü ile 7 farklı bölgede yerden 1 m yükseklikte yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları Tablo 29'da verilmektedir. Şekil 47'de ise bina içi ve bina dışında ölçülen gama dozlarının ölçüm yapılan bölgelere göre dağılımı görülmektedir.

Bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 4 nolu ölçüm bölgesinde 96,72 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 2 nolu ölçüm bölgesinde 34,15 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Bina dışında yapılan ölçüm sonuçları irdelendiğinde en yüksek gama dozunun yine 4 nolu ölçüm bölgesinde 85,26 nGy/s olarak

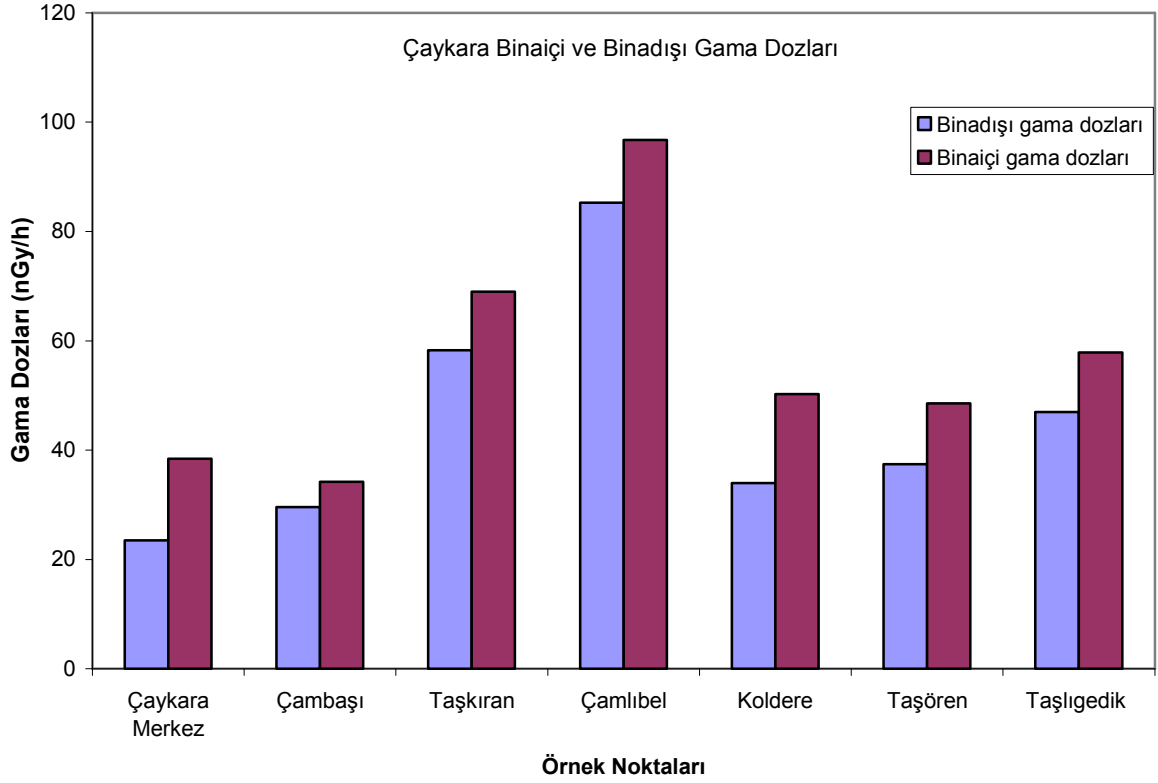
ve en düşük değerin de 23,49 nGy/s olarak 1 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görölmektedir.

Tablo 29. Çaykara ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Çaykara Merkez	23,49	28,81	38,41	188,42
2	Çambaşı	29,58	36,28	34,15	167,53
3	Taşkıran	58,29	71,49	68,97	338,34
4	Çamlıbel	85,26	104,56	96,72	474,47
5	Koldere	33,93	41,61	50,23	246,41
6	Taşören	37,41	45,88	48,54	238,12
7	Taşlıgedik	46,98	57,62	57,86	283,84
ORT:		44,99	55,18	56,41	276,73

Bina dışı ve bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında, en küçük bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,45 kat, en yüksek bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,13 kat ve ortalama olarak belirlenen bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,25 kat farklılık olduğu tespit edilmiştir. Çaykara ilçesi için 7 farklı bölgede yapılan bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 44,99 nGy/s ve standart sapması 21,14 nGy/s olarak ve bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 56,41 nGy/s ve standart sapması 21,23 nGy/s olarak hesaplanmıştır.

Bina içinde belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 276,73 µSv/y ve dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 55,18 µSv/y olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçük olduğu sonucuna ulaşılmıştır (ICRP, 1990).



Şekil 47. Çaykara ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 28 ve Tablo 29 beraber değerlendirilecek olursa, alınan toprak örneklerinde en yüksek ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının belirlendiği 4 nolu çamlıbel ölçüm bölgesinde, portatif NaI dedektörü kullanılarak yapılan ölçümler neticesinde, hem bina içi hem de bina dışı gama dozlarının da diğer örnek noktalarına kıyasla daha yüksek değerde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 29'daki bina içi ve bina dışı gama dozları ile Tablo 28'deki toprak örneklerinden hesaplanan gama dozları beraber değerlendirildiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ölçülen ortalama gama dozu değerine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca NaI dedektörü ile ölçülen bina içi gama dozu ölçümlerinin ortalama değerinin bina dışı gama dozunun ortalama değerinden fazla olması, bu ilçe için, bina içi gama dozuna, topraktan gelen karasal kaynaklı radyonüklitlere ek olarak yapı malzemelerinden de bir katkının geldiği kanıtlamaktadır.

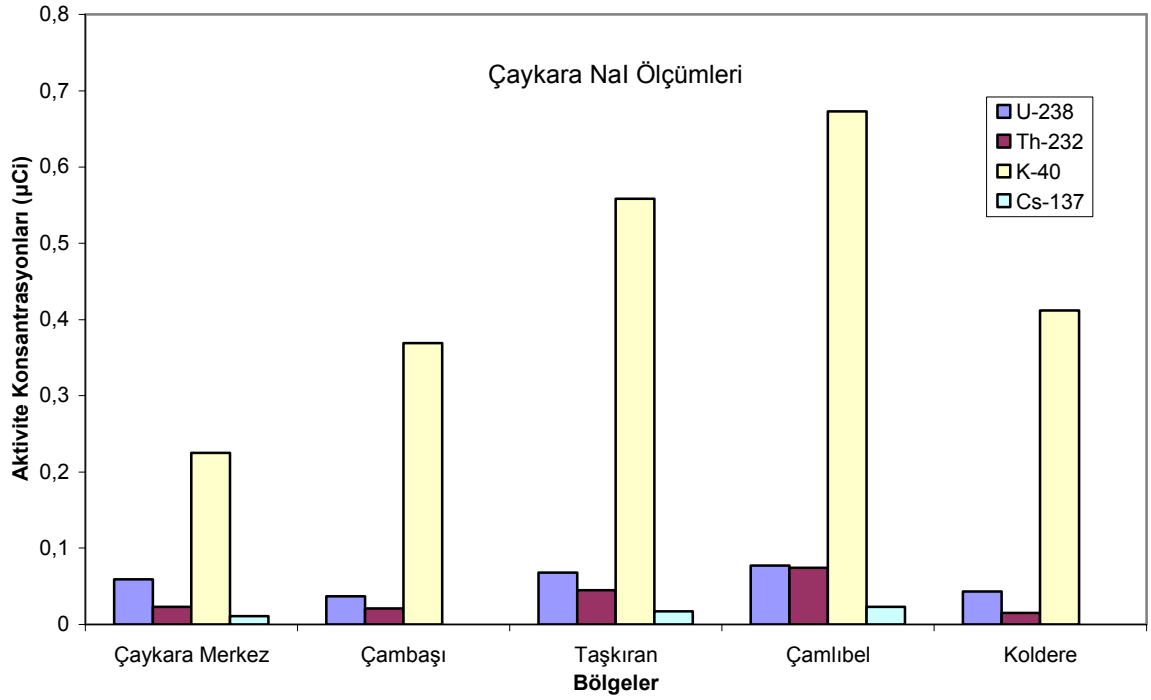
3.1.7.3. Çaykara İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Çaykara ilçesinde yerinde yapılan ölçümlerde belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 30' da ve belirlenen bu konsantrasyonların ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 48'de gösterilmektedir. Tablo 30 ve Şekil 48 birlikte irdelendiğinde, 5 farklı noktada yapılan ölçümler neticesinde belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,057 μCi , 0,036 μCi , 0,447 μCi ve 0,017 μCi olarak bulunmuştur.

Tablo 30. Çaykara ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Çaykara Merkez	0,059±0,002	0,023±0,004	0,011±0,002	0,225±0,010
2	Çambaşı	0,037±0,003	0,021±0,004	-	0,369±0,012
3	Taşkıran	0,068±0,004	0,045±0,003	0,017±0,001	0,558±0,014
4	Çamlıbel	0,077±0,005	0,074±0,004	0,023±0,002	0,673±0,011
5	Koldere	0,043±0,003	0,015±0,002	-	0,412±0,009
ORT:		0,057±0,001	0,036±0,001	0,017±0,001	0,447±0,002

Elde edilen bulgular ışığında ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, genel olarak ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden fazla çıktığı görülmüştür. Tablo 30 incelendiğinde, ^{238}U aktivitesinin 4 numaralı Çamlıbel bölgesindeen büyük, 2 numaralı Çambaşı bölgesinde en küçük değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Çambaşı bölgesinden alınan toprak örneğinin analizinde bulunan ^{238}U aktivitesinin, Çaykara ilçesindeki diğer örnek bölgelerine oranla en küçük aktivite konsantrasyon değerine sahip olmasa da, topraklarda belirlenen ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonundan 1,09 kat küçük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 48. Çaykara ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

^{232}Th ve ^{40}K aktiviteleri açısından Tablo 30 incelendiğinde, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en büyük ve en küçük değerlerine sırasıyla Çamlıbel ve Koldere ölçüm bölgelerinde ve ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en büyük ve en küçük değerlerine sırasıyla Çamlıbel ve Çaykara merkez bölgelerinde rastlandığı görülmektedir. Tablo 28'e bakıldığında Koldere bölgesi aynı zamanda topraktaki ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun da en küçük ve Çaykara merkez bölgesi topraktaki ^{40}K aktivite konsantrasyonunun da en küçük değere sahip olduğu belirlenmiştir. Tablo 28 ve Tablo 30 beraber değerlendirilecek olursa, yerinde yapılan ölçümlerde tespit edilen ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivitelerinin en büyük değerlerini aldığı Çamlıbel örnek noktasında, toprak örneklerinde de ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs ve ^{40}K aktivitelerinin diğer ölçüm noktalarına kıyasla en büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. ^{137}Cs radyoizotopuna, toprak örneklerinde ve yerinde yapılan ölçümlerde aynı noktalarda rastlanmadığı belirlenmiştir.

3.1.8. Dernekpazarı İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.8.1. Dernekpazarı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Dernekpazarı ilçesinden toplanan 9 toprak örneğinin spektrometrik analizleri yapılmış ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu aktivite konsantrasyonları kullanılarak gama dozları (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) hesaplanmış ve tüm sonuçlar Tablo 31 de verilmiştir. Şekil 49'da ise, belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 31, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları açısından irdelendiğinde, ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonunun, ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonundan 1,63 kat daha fazla olduğu görülmektedir.

Dernekpazarı ilçesindeki, en düşük ^{238}U aktivitesinin 16,59 Bq/kg değeri ile 2 nolu ölçüm bölgesi olan Tüfekçi'de, en yüksek ^{238}U aktivitesinin ise 67,55 Bq/kg değeri ile 6 nolu ölçüm bölgesi olan Taşçılar'da olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde, en düşük ^{232}Th aktivitesinin 18,79 Bq/kg değeri ile 1 numaralı Dernekpazarı merkez bölgesinde, en yüksek ^{232}Th aktivitesinin ise 38,68 Bq/kg değeri ile 8 numaralı Zincirlitaş bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Tablo 31'deki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, aktivite konsantrasyonunun 293,04 Bq/kg ile 644,65 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 438,84 Bq/kg olduğu görülmüştür.

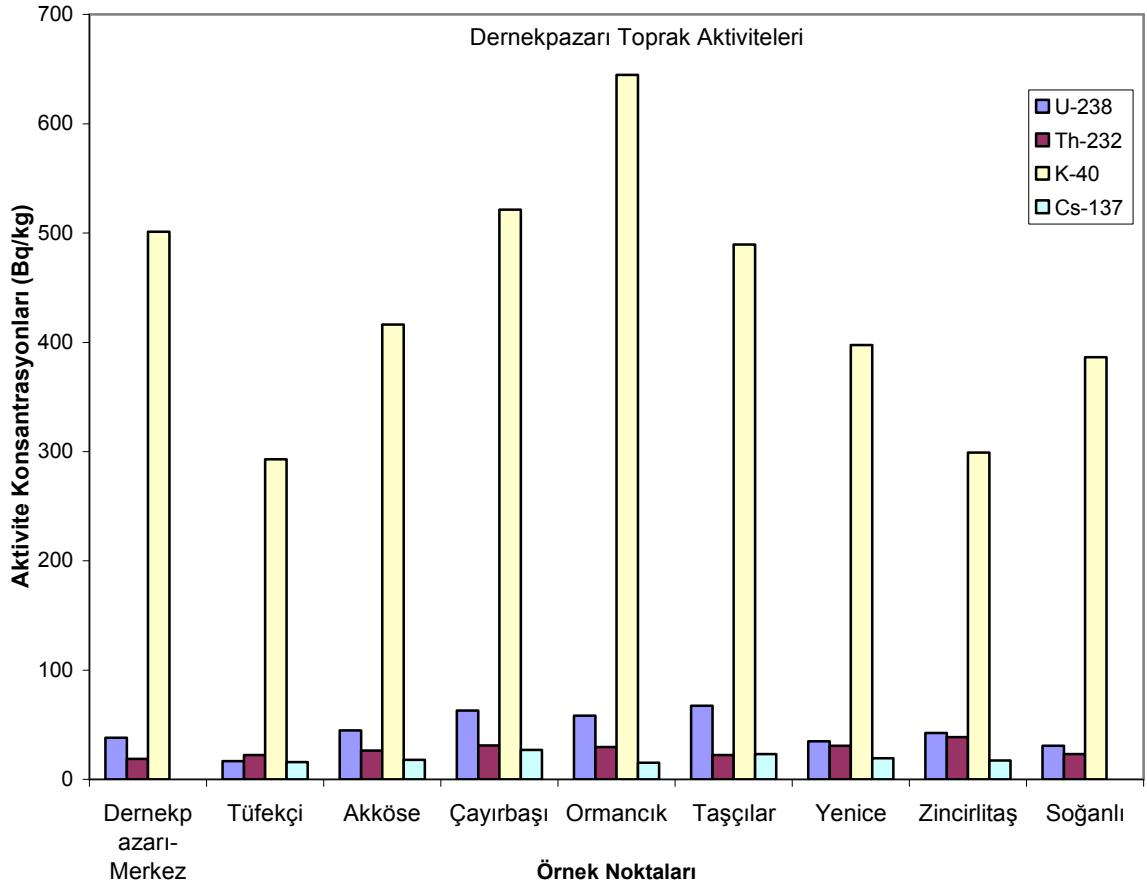
Toprak örneklerinin 2 tanesinde yapay radyoaktif ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 19,33 Bq/kg olduğu görülmüştür. ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmayan bölgelerden biri, en düşük ^{232}Th aktivite konsantrasyonun bulunduğu 1 numaralı Dernekpazarı merkez bölgesi diğeri ise 9 numaralı Soğanlı bölgesidir.

Tablo 31. Dernekpazarı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Dernekpazarı Merkez	37,99±3,07	18,79±4,50	-	501,31±26,01	49,81	61,08
2	Tüfekçi	16,59±1,92	22,16±4,48	5,73±1,80	293,04±16,99	33,27	40,80
3	Akköse	44,75±2,15	26,36±3,31	17,86±2,03	416,41±12,05	53,96	66,18
4	Çayırbaşı	63,21±2,41	31,09±2,53	26,88±1,54	521,32±11,30	69,72	85,51
5	Ormancık	58,60±3,62	29,54±2,64	15,21±3,06	644,65±10,40	71,80	88,05
6	Taşçılar	67,55±3,78	22,26±3,18	23,17±1,22	489,47±9,25	65,06	79,79
7	Yenice	34,73±2,87	30,74±4,08	19,33±2,15	397,63±8,17	51,19	62,78
8	Zincirlitaş	42,37±2,09	38,68±3,70	17,15±3,08	299,18±13,11	55,41	67,96
9	Soğanlı	30,71±2,75	22,96±4,49	-	386,53±21,10	44,17	54,18
ORT:		44,06±0,66	26,95±0,78	19,33±0,71	438,84±5,96	54,93	67,37

²³²Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği örnek noktasında ²³⁸U aktivitesinin, Dernekpazarı ilçesi toprak örneklerinde bulunan ortalama ²³⁸U aktivitesi civarında olduğu, ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun en yüksek tespit edildiği örnek noktasındaki ²³²Th aktivite konsantrasyonunun da, ²³²Th için belirlenen ortalama aktivite konsantrasyonu civarında olduğu tespit edilmiştir.

Dernekpazarı ilçesinden toplanan toprak örneklerindeki ortalama ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, ²³⁸U ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,26 kat ve 1,10 kat fazla, ²³²Th aktivite konsantrasyonunun ise dünya ortalaması değerinden 1,11 kat az olduğu görülmüştür.



Şekil 49. Dernekpazarı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

3.1.8.2. Dernekpazarı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Dernekpazarı ilçesinde, portatif NaI dedektörü ile 9 ayrı bölgede yerden 1 m yükseklikte ölçümler alınarak bina dışı ve bina içi gama dozları belirlenmiş ve bu sonuçlar kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 32'de ve gama dozu değerlerinin ölçüm yapılan bölgelere göre dağılımı da Şekil 50'de verilmektedir.

Bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 5 nolu Ormancık ölçüm bölgesinde 66,48 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 7 nolu Yenice ölçüm bölgesinde 40,15 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Bina dışında yapılan ölçüm sonuçları incelendiğinde en yüksek gama dozunun 4 nolu Çayırbaşı ölçüm bölgesinde 65,18 nGy/s olarak ve en düşük değer de 33,93 nGy/s olarak 2 nolu Tüfekçi ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir.

Tablo 32. Dernekpazarı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

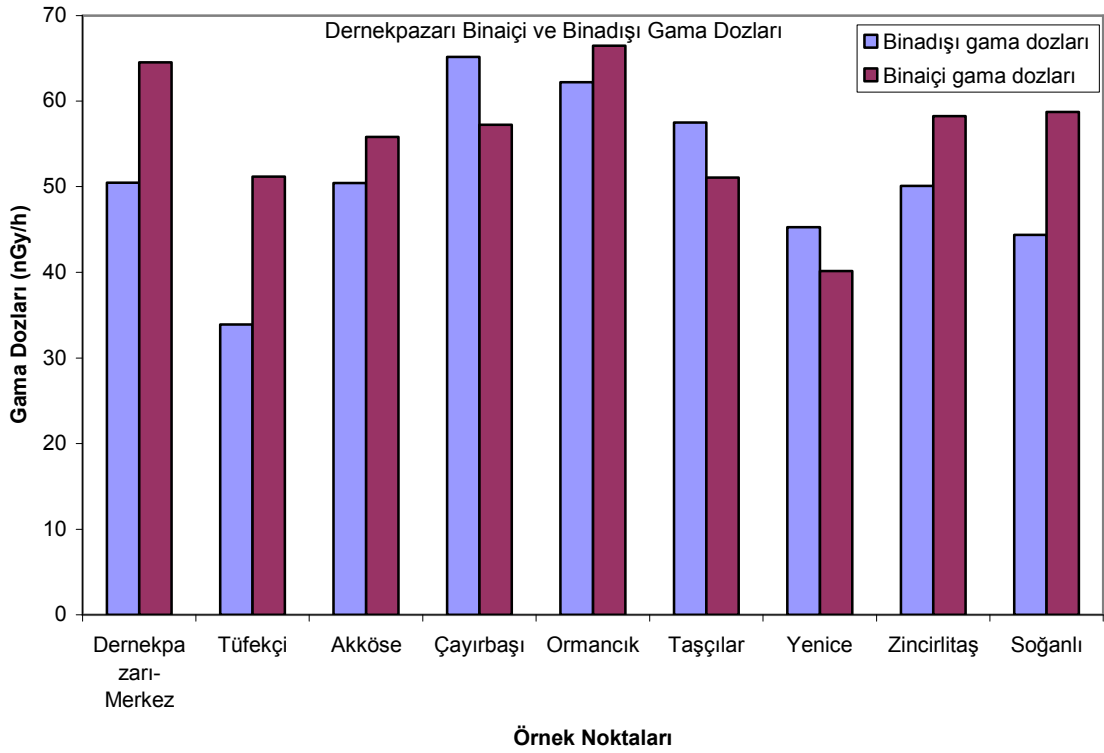
No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Dernekpazarı Merkez	50,46	61,88	64,53	316,56
2	Tüfekçi	33,93	41,61	51,16	250,97
3	Akköse	50,42	61,84	55,81	273,78
4	Çayırbaşı	65,18	79,94	57,23	280,75
5	Ormancık	62,23	76,32	66,48	326,12
6	Taşçılar	57,48	70,49	51,06	250,48
7	Yenice	45,27	55,52	40,15	196,96
8	Zincirlitaş	50,07	61,41	58,23	285,65
9	Soğanlı	44,37	54,42	58,75	288,20
ORT:		51,05	62,60	55,93	274,39

Yapılan bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 51,05 nGy/s ve standart sapması 9,61 nGy/s olarak ve bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 55,93 nGy/s ve standart sapması 7,87 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina dışı ve bina içi ölçüm sonuçları beraber değerlendirildiğinde, Dernekpazarı ilçesi için ortalama olarak belirlenen bina dışı ve bina içi gama dozlarının, birbirine çok yakın değerlerde olmakla birlikte, sayısal değerleri arasında tam olarak 1,10 kat farklılık olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 32'ye bakıldığında, bina içinde belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 274,39 μ Sv/y ve dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 62,60 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, ICRP tarafından belirlenen sınır değerden oldukça küçük olduğu belirlenmiştir (ICRP, 1990).

Tablo 31 ve Tablo 32 beraber değerlendirildiğinde, bina dışı gama dozunun en küçük değerinin bulunduğu 2 nolu ölçüm bölgesinden alınan toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{40}K

aktivite konsantrasyonu değerinin Dernekpazarı ilçesindeki diğer örnek noktalarına göre en küçük değere sahip olduğu, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ise en küçük ikinci değerde olduğu ayrıca ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonundan 1,22 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 50. Dernekpazarı ilçesi gama dozlarının dağılımı

Bina dışı gama dozunun en büyük değerinin bulunduğu 4 nolu bölgeden alınan toprak örneğindeki ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Dernekpazarı ilçesi için belirlenen ortalama değerlerinden sırasıyla 1,43, 1,15 ve 1,19 kat büyük olduğu belirlenmiştir.

Bina içi gama dozunun en küçük değerinin ölçüldüğü 7 nolu bölgeden alınan toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonu değerinin, Dernekpazarı ilçesindeki ortalama aktivite konsantrasyonlarından sırasıyla 1,27 ve 1,10 kat düşük olduğu, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonundan 1,14 kat daha yüksek olduğu ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun ortalama değerle aynı sbinaiyede olduğu görülmektedir. Bina içi gama dozunun en yüksek değerinin ölçüldüğü 5 nolu bölgeden alınan toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının ortalama

aktivite konsantrasyonlarından sırasıyla 1,33 ve 1,10 kat yüksek olduğu ve ^{40}K aktivite konsantrasyonunun diğer noktalarda bulunan değerlere göre en büyük değere sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 32'deki bina içi ve bina dışı gama dozları ile Tablo 31'deki toprak örneklerinden hesaplanan gama dozları beraber değerlendirildiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ölçülen ortalama gama dozu değerine yakın olmakla birlikte sayısal değerinin 1,08 kat büyük olduğu görülmekte ve bu, toplam gama dozuna karasal kökenli radyonüklitlerden gelen katkının kozmik ışıklardan gelen katkıdan fazla olduğunu göstermektedir.

Tüm bu sonuçlar ışığında, NaI dedektörü ile ölçülen bina içi gama dozu ortalama değerinin bina dışı gama dozunun ortalama değerinden ve topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinden fazla olması, bu ilçede, bina içi gama dozuna, karasal kaynaklı radyonüklitlere ek olarak yapı malzemelerinden de bir katkının geldiğini fakat bu katkının çok büyük olmadığını kanıtlamaktadır.

3.1.8.3. Dernekpazarı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

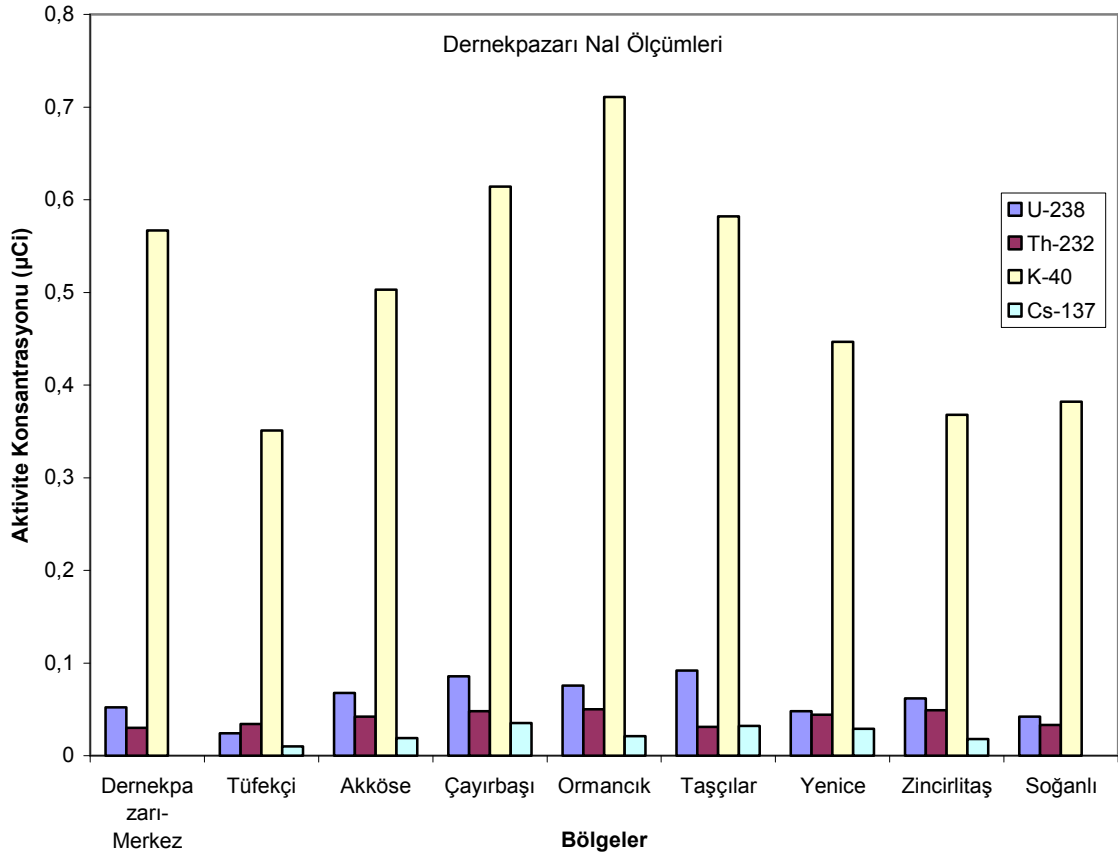
Dernekpazarı ilçesinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 33'de verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 51'de gösterilmektedir. Tablo 33 irdelendiğinde, 9 noktada yapılan ölçümler neticesinde belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,061 μCi , 0,040 μCi , 0,503 μCi ve 0,023 μCi olarak bulunmuştur.

Elde edilen bulgulara bakıldığında, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığı zaman, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,53 kat fazla çıktığı görülmüştür. Bu ilçede, ^{238}U aktivitesinin en büyük değerinin 0,092 μCi olarak Taşçılar bölgesinde ve ^{232}Th aktivitesinin en büyük değerinin 0,050 μCi olarak Ormancık bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonunun 0,351 μCi ile 0,711 μCi arasında değişim gösterdiği, ^{40}K 'in en büyük değerine Ormancık ve en küçük değerine Tüfekçi bölgesinde rastlandığı görülmektedir. Ölçüm noktalarının sadece iki tanesinde ise ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır.

Tablo 33. Dernekpazarı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Dernekpazarı Merkez	0,052±0,004	0,030±0,002	-	0,567±0,014
2	Tüfekçi	0,024±0,003	0,034±0,004	0,010±0,001	0,351±0,012
3	Akköse	0,068±0,004	0,042±0,003	0,019±0,002	0,503±0,013
4	Çayırbaşı	0,086±0,005	0,048±0,004	0,035±0,002	0,614±0,011
5	Ormancık	0,076±0,003	0,050±0,005	0,021±0,001	0,711±0,016
6	Taşçılar	0,092±0,005	0,031±0,004	0,032±0,003	0,582±0,015
7	Yenice	0,048±0,003	0,044±0,004	0,029±0,002	0,447±0,014
8	Zincirlitaş	0,062±0,004	0,049±0,003	0,018±0,002	0,368±0,012
9	Soğanlı	0,042±0,005	0,033±0,003	-	0,382±0,010
ORT:		0,061±0,001	0,040±0,001	0,023±0,001	0,503±0,002

Tablo 31, Tablo 33 ile kıyaslandığında, NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ve en küçük ^{238}U ve ^{40}K aktivitelerinin belirlendiği bölgelerden alınan toprak örneklerinde de ^{238}U ve ^{40}K aktivitelerinin en büyük değere sahip olduğu, aynı şekilde en büyük ^{232}Th aktivitesinin belirlendiği Ormancık bölgesinden alınan toprak örneğinde de ^{232}Th aktivitesinin, Dernekpazarı ilçesi için belirlenen ortalama ^{232}Th aktivitesinden 1,10 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. ^{137}Cs radyoizotopu açısından Tablo 31 ve Tablo 33 kıyaslandığında, hem toprak analizlerinde hem de portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerde, aynı ölçüm noktalarında ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış olduğu belirlenmiştir ve toprak örneklerinde rastlanılmayan bölgelerde, yerinde yapılan ölçümlerde de rastlanmamış olması normal bir sonuçtur.

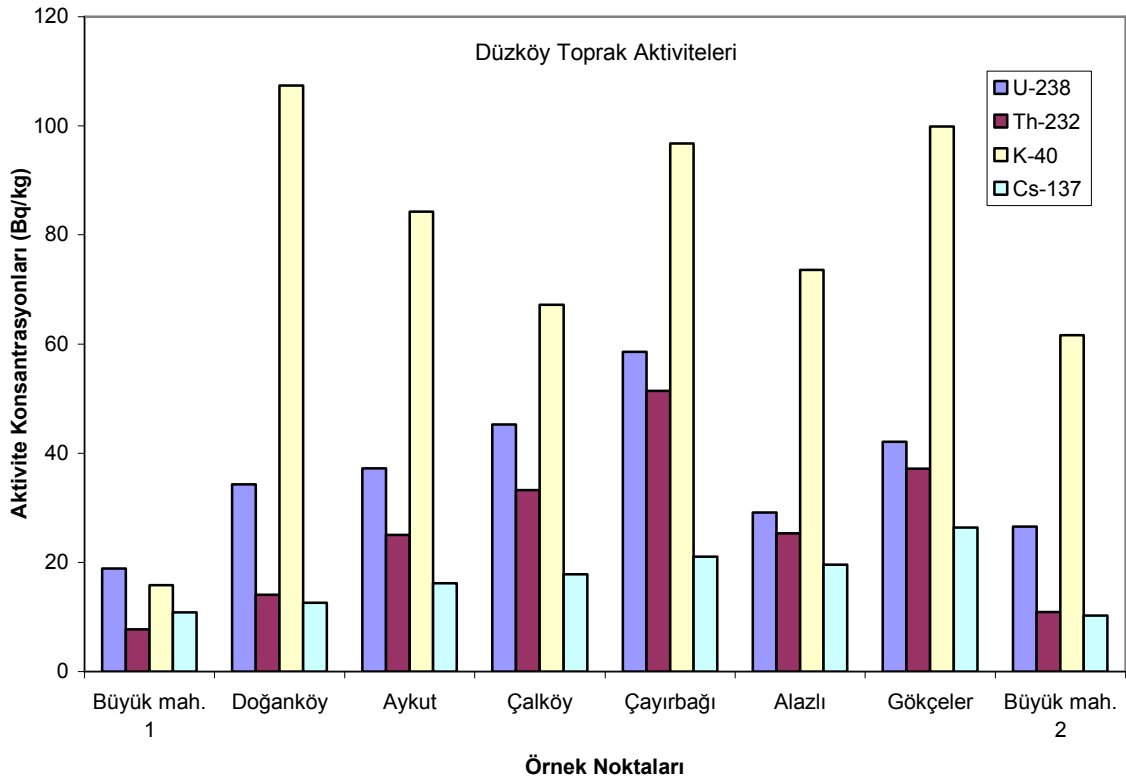


Şekil 51. Dernekpazarı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

3.1.9. Düzköy İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.9.1. Düzköy İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Düzköy ilçesinden alınan toprak örneklerinin yapılan spektrometrik analizlerinde, örneklerde bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları, bu aktivite kullanılarak hesaplanan gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 34'de ve Şekil 52'de ise bu aktivite konsantrasyonlarının örnek alınan noktalarına göre dağılımı verilmektedir.



Şekil 52. Düzköy ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Toplanan 8 toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,43 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu ilçede, en yüksek ^{238}U ve ^{232}Th aktivitelerinin sırasıyla 58,57 Bq/kg ve 51,42 Bq/kg değerleri ile 5 numaralı Çayırbağı bölgesinde, en düşük aktivitelerinin ise 18,91 Bq/kg ve 7,77 Bq/kg değerleri ile 1 numaralı Büyük mah.1 bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonuna bakıldığında, topraklarındaki en düşük aktivite konsantrasyonunun 1 numaralı ve en yüksek aktivite konsantrasyonunun 2 numaralı örnek bölgesinde olduğu görülmektedir. Düşük konsantrasyonlarda bile olsa tüm toprak örneklerinde ^{137}Cs radyonüklidine rastlanmış ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 16,86 Bq/kg olduğu belirlenmiştir.

Tablo 34. Düzköy ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Büyük mah. 1	18,91±1,92	7,765±2,55	10,86±1,21	15,88±1,30	14,09	17,28
2	Doğanköy	34,27±2,84	14,07±3,43	12,61±2,04	107,36±6,57	28,81	35,33
3	Aykut	37,23±1,23	25,06±2,48	16,23±1,06	84,23±3,52	35,85	43,97
4	Çalköy	45,26±2,47	33,24±2,57	17,85±2,11	67,21±2,45	43,79	53,70
5	Çayırbağı	58,57±3,31	51,41±3,16	21,06±2,16	96,78±2,74	62,15	76,22
6	Alazlı	29,18±2,65	25,36±2,23	19,62±2,08	73,61±3,61	31,87	39,08
7	Gökçeler	42,07±3,06	37,14±3,15	26,42±3,15	99,86±3,09	46,03	56,45
8	Büyük mah. 2	26,59±2,38	10,92±2,99	10,25±1,36	61,62±3,94	21,45	26,30
ORT:		36,51±0,66	25,62±0,42	16,86±0,68	75,82±1,52	35,50	43,54

Düzköy ilçesindeki toprak örneklerinde bulunan ortalama ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonları literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun hemen hemen dünya ortalaması değeriyle aynı olduğu ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun ise dünya ortalaması değerinden 5,28 kat daha düşük olduğu görülmüştür.

3.1.9.2. Düzköy İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Düzköy ilçesinde toprak örneklerinin alındığı noktalarda, portatif NaI dedektörü ile yapılan ölçümlerle bina içi ve bina dışı gama dozları belirlenmiş olup, ölçüm sonuçları ve bu değerler yardımıyla hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 35’de verilmektedir. Şekil 53’de ise belirlenen bina içi ve bina dışı gama dozlarının ölçüm bölgelerine göre dağılımı gösterilmektedir.

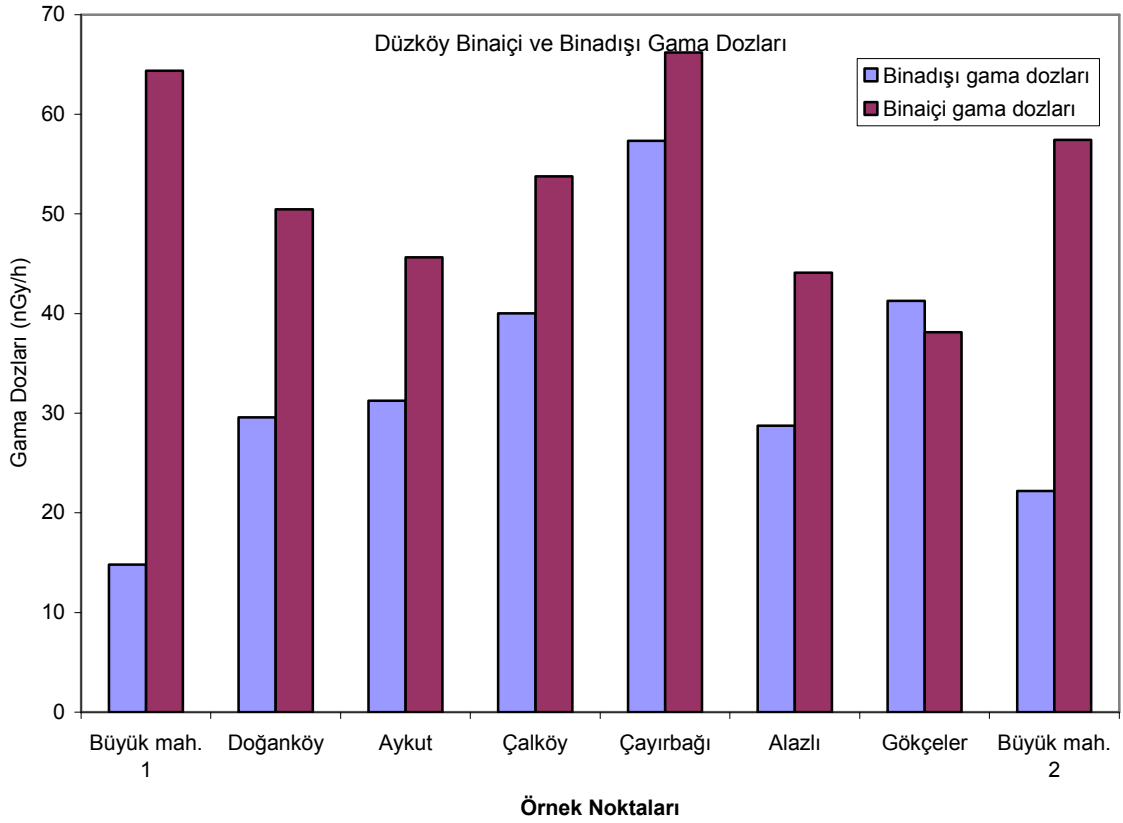
Tablo 35 ve Şekil 53 beraber irdelendiğinde, bina dışında yapılan ölçüm sonuçları için, en düşük gama dozu hızının 1 nolu ölçüm bölgesinde 14,79 nGy/s olarak ve en yüksek değer de, 57,34 olarak 5 nolu Çayırbağı ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozu

hızının 5 nolu ölçüm bölgesinde 66,21 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 38,15 nGy/s olarak 7 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir.

Tablo 35. Düzköy ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Büyük mah. 1	14,79	18,14	64,38	315,82
2	Doğanköy	29,58	36,28	50,46	247,54
3	Aykut	31,26	38,34	45,63	223,84
4	Çalköy	40,04	49,11	53,75	263,68
5	Çayırbağı	57,34	70,32	66,21	324,80
6	Alazlı	28,76	35,27	44,08	216,24
7	Gökçeler	41,30	50,65	38,15	187,15
8	Büyük mah. 2	22,19	27,21	57,42	281,68
ORT:		33,16	40,66	52,51	257,59

Düzköy ilçesinde bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 33,16 nGy/s ve standart sapması 13,05 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 40,66 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 μ Sv/y (UNSCEAR, 2000) değerinden neredeyse yarısı kadardır. Ayrıca hesaplanan bu ortalama değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçüktür (ICRP, 1990). Bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması ise 52,51 nGy/s ve standart sapması 9,88 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina içi gama doz hızı kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 257,59 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu değer, bina dışı gama dozu hızından elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerinden 6,34 kat daha fazladır. Aynı zamanda bu ortalama değerin, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerine kıyasla küçük bir değer olduğu görülmektedir.



Şekil 53. Düzköy ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 34 ve Tablo 35 birlikte değerlendirilecek olursa, toprak örneklerinin analizi sonucu bulunan radyonüklitler kullanılarak hesaplanan gama dozunun 14,09 nGy/s değeri ile en düşük olduğu 1 numaralı ölçüm bölgesinde portatif dedektörle ölçülen dış gama dozunun da en düşük değere ve topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan gama dozunun 62,15 nGy/s değeri ile en yüksek olduğu 5 numaralı ölçüm bölgesinde portatif dedektörle ölçülen bina dışı ve bina içi gama dozlarının da en büyük değere sahip olduğu belirlenmiştir.

Düzköy ilçesi ölçüm bölgeleri incelendiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değeri ile portatif NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucu belirlenen ortalama gama dozu değerlerinin birbirine yakın olduğu yani bu ilçede karasal kökenli radyonüklitlerden gelen katkının baskın olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. 7 numaralı Gökçeler bölgesi irdelendiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan gama dozu değerinin Düzköy ilçesi için belirlenen ortalama değerden 1,30 kat fazla olduğu, portatif dedektörle belirlenen bina dışı gama dozunun yine Düzköy ilçesi için belirlenen ortalama değerden 1,25 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. Fakat aynı bölgede ölçülen bina

içi gama dozu 38,15 nGy/s değeri ile diğer ölçüm bölgelerine oranla en küçük değere sahiptir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak, 7 numaralı ölçüm bölgesinde binalerin yapımında kullanılan yapı malzemelerinin dışarıdan gelen ışınlarla karşı bir miktar zırlama etkisi gösterdiği anlaşılmaktadır. Düzköy ilçesindeki diğer ölçüm noktalarında ise bina içi gama dozuna yapı malzemelerinden de gelen bir katkının olduğu görülmektedir.

3.1.9.3. Düzköy İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

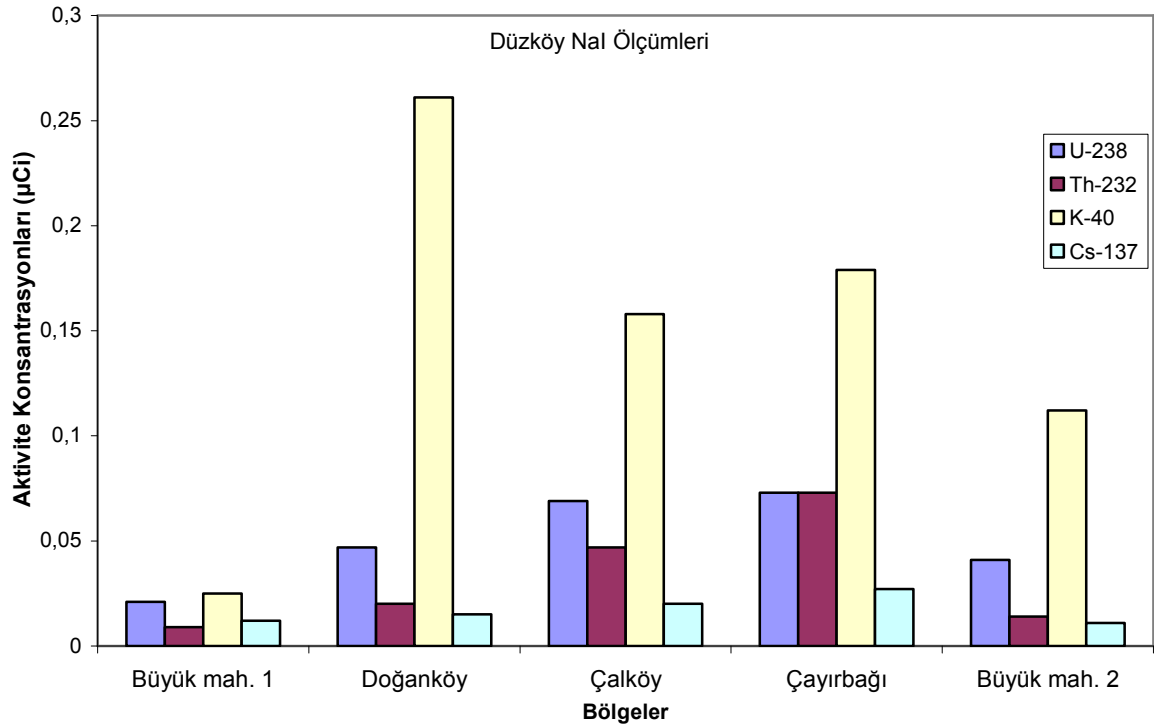
Düzköy ilçesinde yapılan yerinde ölçümler sonucunda belirlenen aktivite konsantrasyonları Tablo 36'da ve sonuçların örnek noktalarına göre dağılımları da Şekil 54'de verilmektedir. 5 noktada yapılan ölçümlerin sonuçlarını içeren Tablo 36 irdelendiğinde, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamalarının sırasıyla 0,050 μCi , 0,033 μCi , 0,147 μCi ve 0,017 μCi olduğu görülmektedir.

Verilere göre bu ilçede, en büyük ^{238}U aktivitesinin 0,073 μCi değeri ile Çayırbağı ölçüm noktasında ve en küçük ^{238}U aktivitesinin 0,021 μCi değeri ile Büyük mah. 1 ölçüm noktasında olduğu tespit edilmiştir. Tablo 36, ^{232}Th aktivitesi açısından irdelendiğinde, en büyük ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun 0,073 μCi değeri ile yine Çayırbağı ölçüm bölgesinde ve en küçük ^{232}Th aktivitesinin 0,009 μCi değeri ile Büyük mah. 1 ölçüm noktasında olduğu belirlenmiştir. Ölçüm yapılan noktaların hepsinde ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmış ve aktivite konsantrasyonunun 0,011 μCi ile 0,027 μCi arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 36. Düzköy ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Büyük mah. 1	0,021±0,002	0,009±0,002	0,012±0,002	0,025±0,003
2	Doğanköy	0,047±0,003	0,020±0,004	0,015±0,002	0,261±0,012
3	Çalköy	0,069±0,004	0,047±0,003	0,020±0,003	0,158±0,011
4	Çayırbağı	0,073±0,004	0,073±0,004	0,027±0,003	0,179±0,009
5	Büyük mah. 2	0,041±0,003	0,014±0,002	0,011±0,002	0,112±0,006
ORT:		0,050±0,001	0,033±0,001	0,017±0,001	0,147±0,004

^{40}K aktivitesine bakıldığında, en büyük aktivite konsantrasyonunun Doğanköy ölçüm bölgesinde ve en küçük aktivite konsantrasyonunun Büyük mah. 1 ölçüm bölgesinde olduğu görülmüştür. Tablo 34 ve Tablo 36 karşılaştırıldığında, NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ve en küçük ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivitelerinin belirlendiği bölgelerden alınan toprak örneklerinde de ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivitelerinin en yüksek ve en düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 54. Düzköy ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Toprak örneklerinde bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının en büyük ve en küçük değerlerinin tespit edildiği örnek noktalarındaki veriler ile, NaI dedektörü ile elde edilen verilerin uyum içinde olması, Düzköy ilçesi için karasal kaynaklı radyonüklitlerden gelen katkıların kozmik ışıklardan gelen katılardan daha fazla olduğu sonucuna ulaşmamızı sağlamaktadır.

3.1.10. Hayrat İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.10.1. Hayrat İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Yapılan analizlerin neticesinde Hayrat ilçesinden toplanan toprak örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 37’de verilmiştir. Yine Tablo 37’de, topraktaki aktiviteleri belirlenen radyonüklitlerden yararlanılarak ve Eşitlik (45) ve (46) kullanılarak hesaplanan gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri görülmektedir. Şekil 55’de, toprak örneklerinde belirlenen radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı verilmektedir.

Hayrat ilçesinden toplanan 9 toprak örneğinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, ^{238}U için aktivite konsantrasyonunun 12,62 Bq/kg ile 53,21 Bq/kg arasında değiştiği ve ortalama değerinin 35,42 Bq/kg olduğu görülmüştür. En yüksek ^{238}U aktivite konsantrasyonuna ise 3 nolu örnek noktasında rastlanmıştır. ^{232}Th açısından Tablo 37 irdelendiğinde, aktivite konsantrasyonunun 19,65 Bq/kg ile 85,91 Bq/kg arasında değiştiği gözlenmiştir.

^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği 3 nolu örnek noktasında ^{232}Th aktivitesinin, ortalama ^{232}Th aktivitesi olarak hesaplanan 36,53 Bq/kg değerinden 1,28 kat düşük olduğu belirlenmiştir.

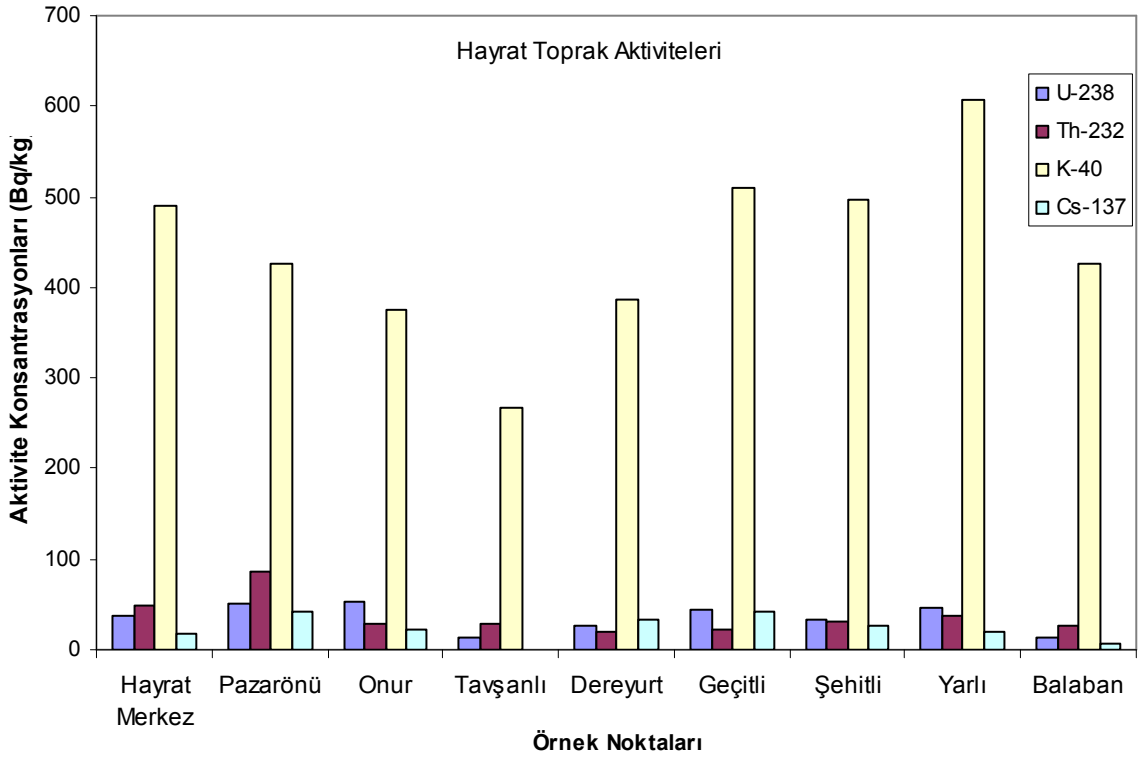
En yüksek ^{232}Th aktivite konsantrasyonuna ise 2 nolu örnek noktasında rastlanılmıştır ve bu değer ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun 2,35 katı büyüklüktedir. ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin belirlendiği 5 nolu Dereyurt ölçüm bölgesinde, ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Hayrat ilçesi toprak örneklerinde belirlenen ortalama değerlerinden sırasıyla 1,35 ve 1,14 kat düşük olduğu görülmüştür.

Tablo 37. Hayrat ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (μSv/y)
1	Hayrat Merkez	37,37±3,54	49,24±7,79	18,26±4,08	489,26±27,83	67,41	82,67
2	Pazarönü	50,93±4,29	85,91±9,91	42,45±3,85	425,75±24,99	93,17	114,27
3	Onur	53,21±1,60	28,61±5,14	21,26±3,17	375,73±22,13	57,53	70,56
4	Tavşanlı	12,62±1,62	27,69±5,97	-	267,01±16,82	33,69	41,32
5	Dereyurt	26,32±1,23	19,65±2,36	32,03±2,31	387,21±9,14	40,18	49,27
6	Geçitli	45,15±2,54	22,72±3,85	41,51±1,45	511,09±7,15	55,89	68,55
7	Şehitli	32,71±3,11	31,33±4,21	26,18±3,06	496,11±10,08	54,72	67,11
8	Yarlı	47,36±2,85	37,55±3,06	19,36±1,11	607,27±6,44	69,88	85,71
9	Balaban	13,12±1,69	26,09±5,44	7,69±2,16	426,08±23,77	39,59	48,55
ORT:		35,42±1,04	36,53±2,37	26,09±1,08	442,83±8,43	56,90	69,78

Toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulunan ⁴⁰K radyonüklitine Hayrat ilçesi toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda rastlanmıştır. En yüksek ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun, 8 nolu Yarlı örnek noktasında ve ortalama ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun ise 442,83 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir. Toprak örneklerinde farklı konsantrasyonlarda ¹³⁷Cs radyonüklitine rastlanmıştır. Yalnızca bir toprak örneğinde ¹³⁷Cs gözlenememekle birlikte ortalama ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu 26,09 Bq/kg olarak belirlenmiştir.

Toprak örneklerindeki ortalama ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, değerlerin, birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Ortalama ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyon değerleri, literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun dünya ortalamasıyla aynı değerde olduğu, ²³²Th ve ⁴⁰K değerlerinin ise dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,22 kat ve 1,11 kat daha büyük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 55. Hayrat ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

3.1.10.2. Hayrat İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

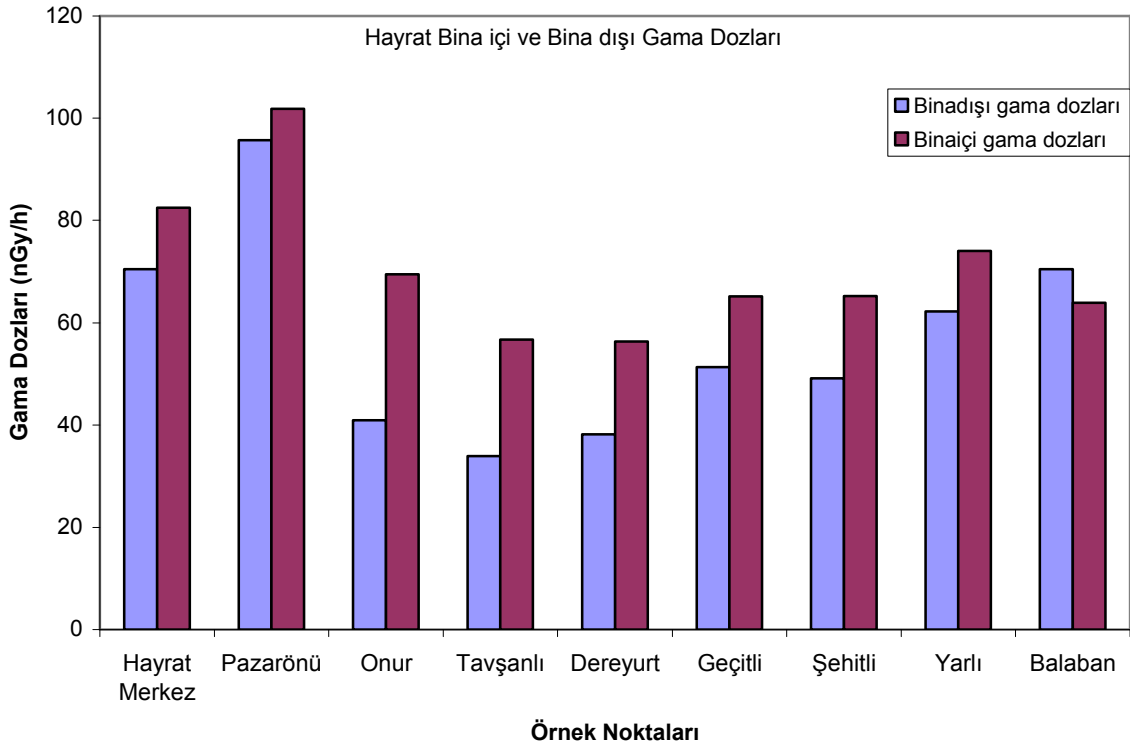
Hayrat ilçesinde, NaI dedektörü ile 9 bölgede yerden 1 m yükseklikte ölçümler alınarak bina dışı ve bina içi gama dozları belirlenmiş ve yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 38'de ve gama dozlarının ölçüm yapılan bölgelere göre dağılımı da Şekil 56'da verilmektedir.

Bina dışında yapılan ölçüm sonuçları incelendiğinde, en yüksek gama dozunun 2 nolu Pazarönü ölçüm bölgesinde 95,70 nGy/s olarak ve en düşük değerinde de 4 nolu Tavşanlı ölçüm bölgesinde 33,93 nGy/s olduğu görülmektedir. Bina içi ölçümde, en yüksek gama dozu yine 2 nolu ölçüm bölgesinde 101,84 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 5 nolu Dereyurt ölçüm bölgesinde 56,33 nGy/s olarak belirlenmiştir. Bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 56,92 nGy/s ve standart sapması 19,78 nGy/s olarak ve bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 70,58 nGy/s ve standart sapması 14,27 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina dışı ve bina içi ölçüm sonuçları beraber değerlendirildiğinde, Hayrat ilçesi için ortalama olarak belirlenen bina içi gama dozu değerinin, bina dışı gama dozu değerinden 1,24 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 38. Hayrat ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Hayrat Merkez	70,47	86,42	82,47	404,56
2	Pazarönü	95,7	117,37	101,84	499,59
3	Onur	40,89	50,15	69,52	341,04
4	Tavşanlı	33,93	41,61	56,73	278,29
5	Dereyurt	38,14	46,77	56,33	276,33
6	Geçitli	51,32	62,94	65,17	319,70
7	Şehitli	49,11	60,23	65,21	319,89
8	Yarlı	62,23	76,32	74,04	363,21
9	Balaban	70,47	86,42	63,91	313,52
ORT:		56,92	69,80	70,58	346,24

Tablo 38'e bakıldığında, bina içinde belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 346,24 μ Sv/y ve dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 69,80 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, ICRP tarafından belirlenen sınır değerden oldukça küçük olduğu belirlenmiştir (ICRP, 1990).



Şekil 56. Hayrat ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 37 ve Tablo 38 beraber irdelendiğinde, bina dışı gama dozunun en küçük değerinin bulunduğu 4 nolu Tavşanlı ölçüm bölgesinden alınan toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Hayrat ilçesi diğer toprak örnekleri içinde en düşük aktivite konsantrasyonlarına sahip olduğu, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ise ortalama aktivite konsantrasyonundan 1,32 kat düşük olduğu görülmektedir. Bina içi gama dozunun en düşük değerinin belirlendiği 5 nolu Dereyurt ölçüm bölgesindeki topraklarda ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Hayrat ilçesi için belirlenen ortalama değerlerinden sırasıyla 1,35 ve 1,14 kat düşük olduğu ve ayrıca ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun diğer toprak örnekleri içinde en düşük aktivite konsantrasyonuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Bina içi ve bina dışı gama dozlarının en büyük olarak ölçüldüğü 2 nolu Pazarönü çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun diğer toprak örnekleri içinde en düşük aktivite konsantrasyonuna sahip olduğu, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ise ortalama değerden 1,44 kat büyük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 37'deki toprak örneklerinden hesaplanan gama dozları ile Tablo 38'deki bina içi ve bina dışı gama dozları ile beraber değerlendirildiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ölçülen ortalama gama dozu değeri ile aynı olduğu, NaI dedektörü ile bina içi için belirlenen ortalama gama

dozu değerinin bunlardan 1,24 kat daha büyük olduğu belirlenmiştir. Tüm bu veriler, Hayrat ilçesi için dış gama dozuna etki eden en önemli etkenin topraktan gelen karasal kökenli radyonüklitler olduğunu, kozmik işınlardan önemli bir katkının gelmediğini ve yapı malzemelerinin bünyesinde bulunan radyonüklitlerin bina içi gama dozu sbinaiesine önemli bir katkısının olduğunu göstermektedir.

3.1.10.3. Hayrat İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan lm Sonuçları

Hayrat ilçesinde NaI dedektörü ile yapılan yerinde ölçümlerin sonucunda tespit edilen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 39’da ve bulunan bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre değişimi Şekil 57’de gösterilmektedir.

Verilere incelendiğinde, en büyük ^{238}U , ^{232}Th ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının 2 numaralı örnek noktası Pazarn’nde sırasıyla 0,072 μCi , 0,109 μCi ve 0,045 μCi olarak bulunduğu görülmektedir. lm yapılan bölgelerin sadece 1 tanesinde ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamakla beraber bu ilçede ^{137}Cs aktivitesinin ortalama değeri 0,029 μCi olarak bulunmuştur.

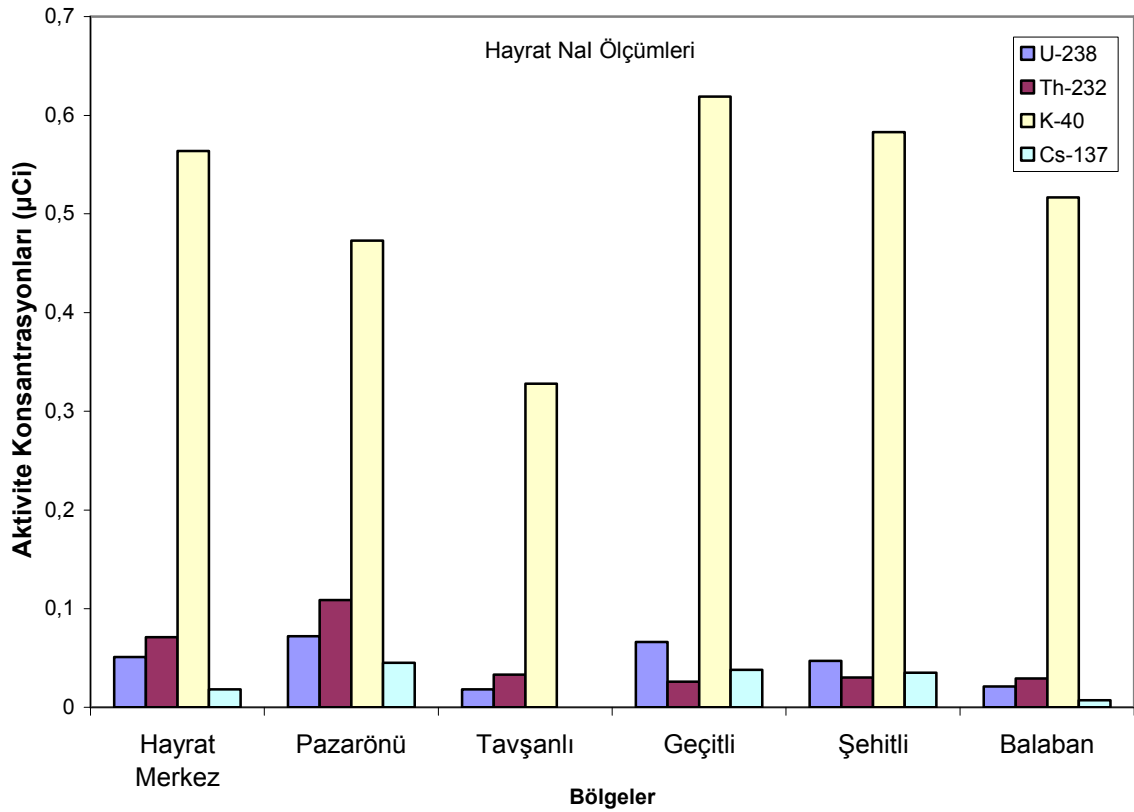
Tablo 39. Hayrat ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Hayrat Merkez	0,051±0,002	0,071±0,002	0,018±0,002	0,564±0,003
2	Pazarn	0,072±0,003	0,109±0,004	0,045±0,002	0,473±0,012
3	Tavşanlı	0,018±0,004	0,033±0,003	-	0,328±0,011
4	Geçitli	0,066±0,004	0,026±0,004	0,038±0,003	0,619±0,009
5	Şehitli	0,047±0,004	0,030±0,004	0,035±0,003	0,583±0,009
6	Balaban	0,021±0,003	0,029±0,002	0,007±0,002	0,517±0,006
ORT:		0,046±0,001	0,050±0,001	0,029±0,001	0,514±0,003

^{40}K aktivitesine bakıldığında, en büyük aktivite konsantrasyonunun Geçitli lm bölgesinde ve en küçük aktivite konsantrasyonunun Tavşanlı bölgesinde olduğu görülmektedir.

2 nolu ölçüm bölgesindeki, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ^{238}U aktivite konsantrasyonundan 1,51 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Fakat Hayrat ilçesinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonucu belirlenen ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, değerlerin birbirine çok yakın olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Tablo 37 ve Tablo 39 birlikte incelendiğinde, yerinde ölçümlerle ^{238}U , ^{232}Th ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının en yüksek değerlerinin belirlendiği Pazarönü bölgesinden alınan toprak örneklerinde, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerde olduğu, ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının da topraklarda belirlenen ortalama değerlerinden sırasıyla 1,44 ve 1,10 kat fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 57. Hayrat ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

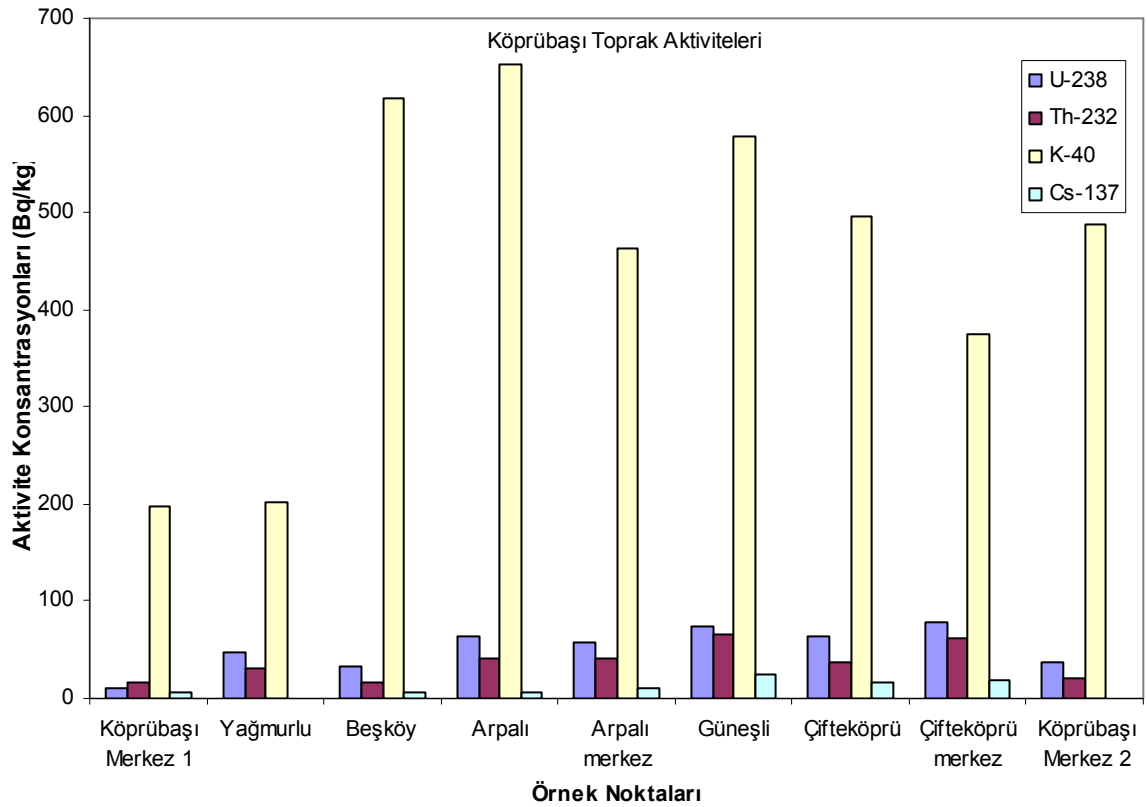
NaI dedektörüyle ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak belirlendiği Geçitli bölgesinin toprak örneğinde de ^{40}K aktivite konsantrasyonunun topraklarda belirlenen ortalama değerinden 1,15 kat fazla olduğu ve yine NaI dedektörüyle ^{40}K

aktivite konsantrasyonunun en düşük olarak belirlendiği Tavşanlı bölgesi toprak örneğinde de ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en düşük değerde olduğu bulunmuştur.

3.1.11. Köprübaşı İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.11.1. Köprübaşı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Köprübaşı ilçesinden toplanan 9 toprak örneğinin yapılan spektrometrik analizlerinde, toprak örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları, bu aktivitelerden yararlanılarak hesaplanan gama dozları (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) Tablo 40'da ve Şekil 58'de ise bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 58. Köprübaşı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Tablo 40. Köprübaşı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Köprübaşı Merkez 1	9,99±1,31	17,5±3,57	5,99±2,05	198,0±11,99	23,44	28,75
2	Yağmurlu	48,1±3,55	30,17±5,62	-	201,81±12,65	48,86	59,92
3	Beşkøy	32,31±4,65	15,77±2,95	5,67±1,10	617,23±30,12	50,19	61,55
4	Arpalı	64,12±3,41	41,02±4,12	6,89±2,31	653,21±8,64	81,64	100,12
5	Arpalı merkez	58,21±2,85	40,69±5,17	9,54±1,06	462,47±7,39	70,75	86,77
6	Güneşli	74,36±4,62	66,52±3,62	24,26±2,74	578,20±10,23	98,64	120,98
7	Çifteköprü	63,45±5,16	37,51±2,19	15,97±2,64	496,84±11,42	72,69	89,14
8	Çifteköprü merkez	78,09±4,23	61,08±2,40	18,73±1,87	375,62±9,64	88,63	108,70
9	Köprübaşı Merkez 2	37,82±0,91	19,56±3,47	-	487,74±26,19	49,63	60,86
ORT:		51,83±1,49	36,65±1,15	12,44±0,68	452,35±8,11	64,94	79,64

Toprak örneklerindeki ortalama ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ²³⁸U aktivitesinin ²³²Th aktivitesinden 1,41 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu ilçede, en düşük ²³⁸U aktivitesinin 9,99 Bq/kg değeri ile 1 numaralı örnek bölgesinde, en yüksek aktivitesinin ise 78,09 Bq/kg değeri ile 8 numaralı örnek bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük ²³²Th aktivitesinin 15,77 Bq/kg değeri ile 3 numaralı Beşkøy bölgesinde, en yüksek ²³²Th aktivitesinin ise 66,52 Bq/kg değeri ile 6 numaralı Güneşli bölgesinde olduğu belirlenmiştir. ⁴⁰K aktivite konsantrasyonuna bakıldığında, topraklarındaki aktivite konsantrasyonu 198,00 Bq/kg ile 653,21 Bq/kg değerleri arasında değişim göstermekte ve ortalama aktivite konsantrasyonu 452,35 Bq/kg olarak hesaplanmaktadır. Toprak örneklerinde düşük konsantrasyonlarda bile olsa ¹³⁷Cs radyonüklitine rastlanmış ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 12,44 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir.

²³²Th ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının en yüksek değerlerinin ölçüldüğü 6 numaralı Güneşli örnek noktasında ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun, ortalama ²³⁸U aktivite konsantrasyonundan 1,43 kat, ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinin ölçüldüğü 8 numaralı örnek bölgesinde ²³²Th aktivite konsantrasyonunun, ortalama ²³²Th

aktivite konsantrasyonundan 1,67 kat ve ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinin ölçüldüğü 4 numaralı Arpalı örnek bölgesinde ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının, ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarından sırasıyla 1,24 ve 1,12 kat büyük olduğu hesaplanmıştır. Yine yapılan hesaplamalarda görülmüştür ki, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin ölçüldüğü 3 numaralı Beşköy örnek bölgesinde ^{238}U aktivite konsantrasyonu, ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonundan 1,60 kat ve ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin ölçüldüğü 1 numaralı örnek noktasında ^{232}Th aktivite konsantrasyonu, ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonundan 2,09 kat daha küçüktür.

3.1.11.2. Köprübaşı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Köprübaşı ilçesinde NaI dedektörü ile toprak örneklerinin alındığı 9 bölgede yerden 1 m yükseklikte yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları Tablo 41'de verilmektedir. Şekil 59'da ise bina içi ve bina dışında ölçülmüş olan gama dozlarının ölçüm bölgelerine göre dağılımı görülmektedir.

Bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 6 nolu ölçüm bölgesinde 100,3 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 1 nolu ölçüm bölgesinde 33,26 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Bina dışında yapılan ölçümlerde de, en yüksek gama dozunun yine 6 nolu ölçüm bölgesinde, 90,65 nGy/s olduğu ve en düşük değer 1 nolu ölçüm bölgesinde, 16,53 nGy/s olduğu anlaşılmaktadır. Bina dışı ve bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında, en düşük bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 2,01 kat, en yüksek bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,11 kat ve ortalama olarak belirlenen bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,23 kat farklılık olduğu tespit edilmiştir.

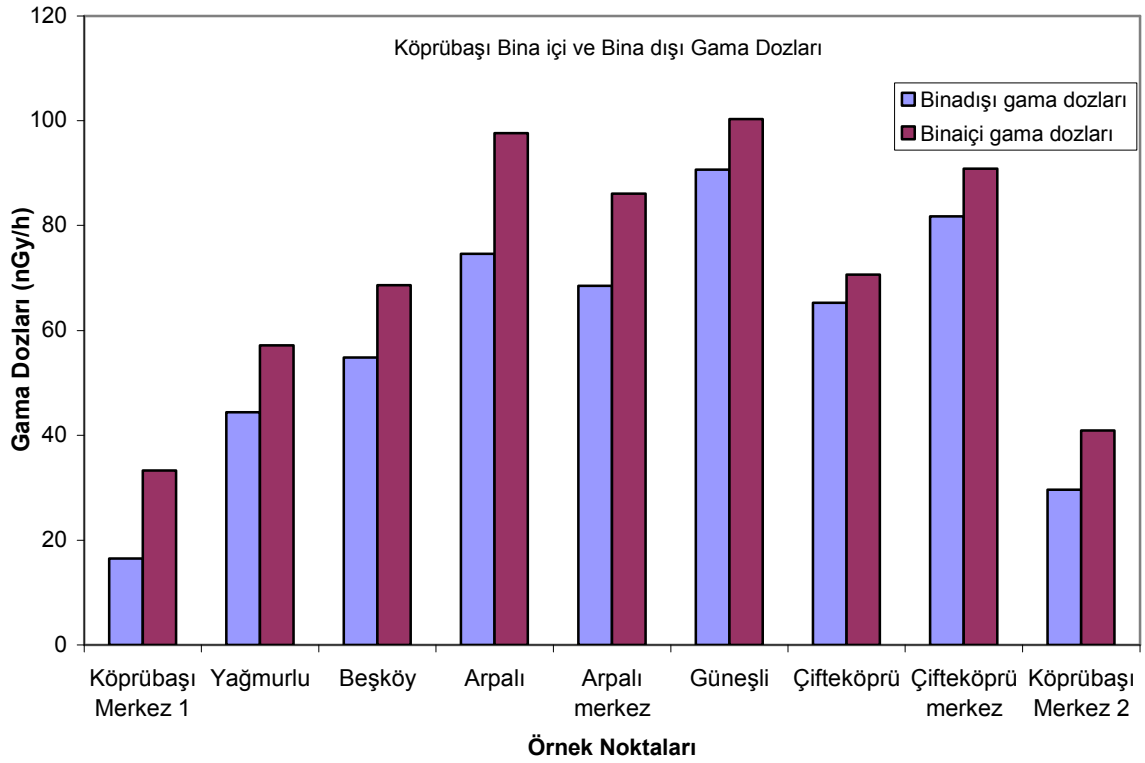
Köprübaşı ilçesi için yapılan bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 58,46 nGy/s ve standart sapması 24,48 nGy/s olarak ve bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 71,72 nGy/s ve standart sapması 24,27 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina dışında belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 71,70 $\mu\text{Sv/y}$ ve bina içi gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 351,82 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden küçük olduğu görülmektedir (ICRP, 1990).

Tablo 41. Köprübaşı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Köprübaşı Merkez 1	16,53	20,27	33,26	163,16
2	Yağmurlu	44,37	54,42	57,15	280,36
3	Beşkøy	54,81	67,22	68,63	336,67
4	Arpalı	74,65	91,55	97,63	478,93
5	Arpalı merkez	68,53	84,05	86,08	422,27
6	Güneşli	90,65	111,17	100,3	492,03
7	Çifteköprü	65,3	80,08	70,65	346,58
8	Çifteköprü merkez	81,75	100,26	90,84	445,62
9	Köprübaşı Merkez 2	29,58	36,28	40,92	200,74
ORT:		58,46	71,70	71,72	351,82

Tablo 40 ve Tablo 41 beraber irdelendiğinde, toprak örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarından yararlanılarak hesaplanan gama dozunun en yüksek ve en düşük olarak bulunduğu 6 ve 1 numaralı bölgelerde, NaI dedektörü ile yapılan ölçümlerde bina içi ve bina dışı gama dozlarının da en yüksek ve en düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca NaI dedektörü ile ölçülen bina içi ortalama gama dozu değerinin, bina dışı ortalama gama dozu değerinden fazla olması, bu ilçe için, bina içi gama dozuna, topraktan gelen karasal kaynaklı radyonüklitlere ilave olarak yapı malzemelerinden de bir katkının geldiği göstermektedir.



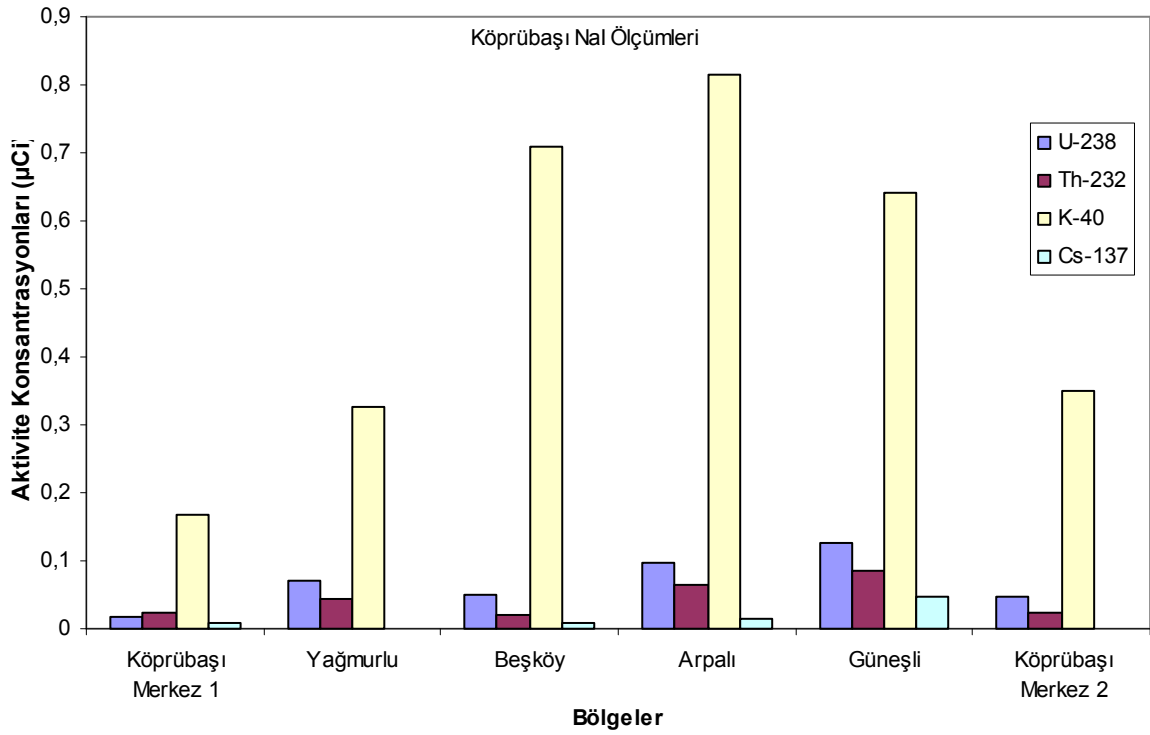
Şekil 59. Köprübaşı ilçesi gama dozlarının dağılımı

3.1.11.3. Köprübaşı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Köprübaşı ilçesinde yerinde yapılan ölçümler ile tespit edilen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 42’de ve bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı da Şekil 60’da gösterilmektedir. Tablo 42 incelendiğinde, 6 farklı noktada yapılan ölçümler neticesinde belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamalarının sırasıyla 0,057 μCi , 0,036 μCi , 0,447 μCi ve 0,017 μCi olduğu görülmektedir.

Tablo 42. Köprübaşı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Köprübaşı Merkez 1	0,018±0,002	0,023±0,002	0,008±0,002	0,167±0,005
2	Yağmurlu	0,070±0,006	0,044±0,004	-	0,326±0,010
3	Beşkøy	0,049±0,004	0,021±0,003	0,009±0,001	0,709±0,011
4	Arpalı	0,097±0,007	0,066±0,002	0,014±0,003	0,814±0,014
5	Güneşli	0,126±0,004	0,084±0,005	0,046±0,004	0,642±0,009
6	Köprübaşı Merkez 2	0,047±0,003	0,023±0,002	-	0,351±0,004
ORT:		0,068±0,002	0,044±0,001	0,019±0,001	0,502±0,004



Şekil 60. Köprübaşı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Elde edilen bulgulara bakıldığında, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden fazla çıktığı, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin Güneşli bölgesinde en yüksek değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının en yüksek değerlerinin ölçüldüğü sırasıyla Arpalı ve Güneşli ölçüm bölgelerindeki toprak örneklerinde bulunan ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının da, Köprübaşı'ndaki diğer ölçüm bölgelerine oranla en yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiş, ^{137}Cs radyoizotopuna, toprak örneklerinde ve yerinde yapılan ölçülmeye aynı noktalarda rastlanmadığı tespit edilmiştir.

3.1.12. Maçka İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.12.1. Maçka İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Maçka ilçesi toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla Maçka ilçe sınırları içinde bulunan 18 farklı bölgeden alınan toprak örneklerinin radyometrik analiz sonuçları ile bu sonuçlar kullanılarak hesaplanan gama dozu ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 43'de verilmektedir. Şekil 61'de ise belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının örnek alınan bölgelere göre dağılımı gösterilmektedir.

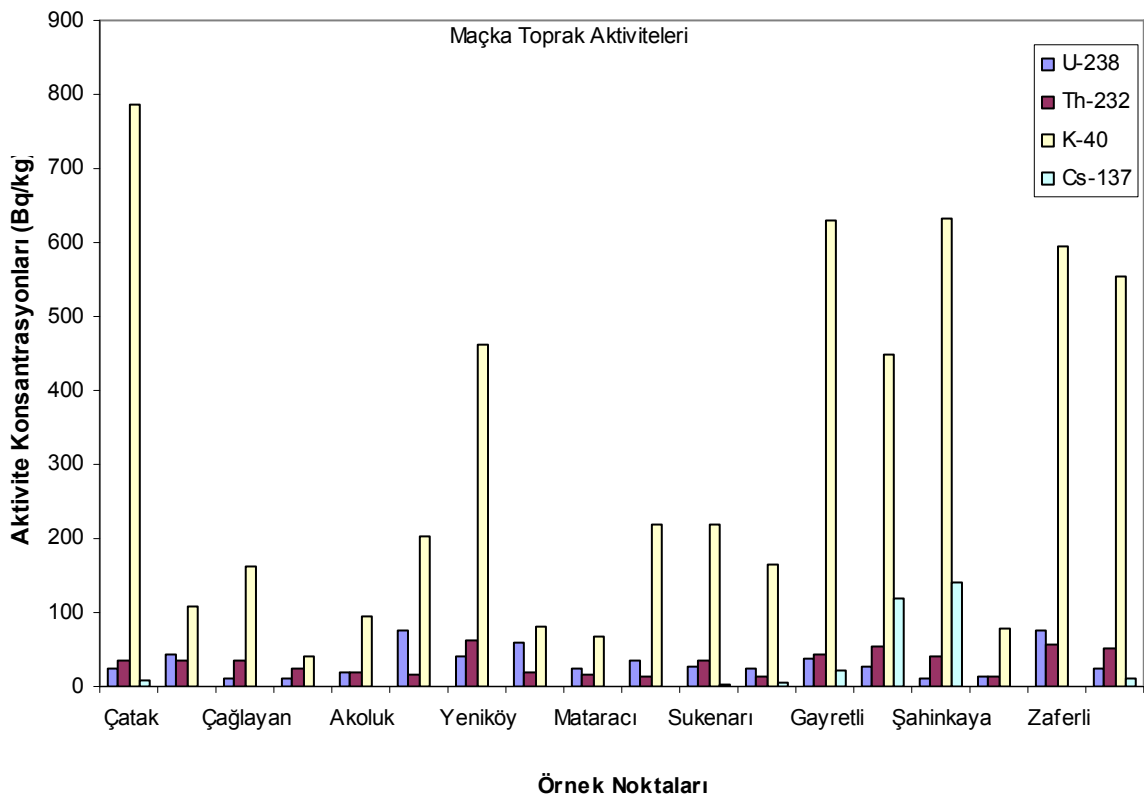
Tablo 43 incelendiğinde, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 9,87 Bq/kg-76,60 Bq/kg, 12,23 Bq/kg-63,45 Bq/kg, 39,96 Bq/kg-787,50 Bq/kg ve 3,62 Bq/kg-139,23 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonlarının yine sırasıyla 32,44 Bq/kg, 32,46 Bq/kg, 308,19 Bq/kg ve 43,72 Bq/kg olarak belirlendiği görülmektedir. Toplanan 18 toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama aktivite konsantrasyonlarının aynı olduğu görülmüştür. Bu ilçede, en yüksek ^{238}U ve ^{232}Th aktivitelerinin sırasıyla 6 numaralı Günay ve 7 numaralı Yeniköy örnek noktalarında, en düşük aktivitelerinin ise yine sırasıyla 15 numaralı Şahinkaya ve 12 numaralı Kozagaç bölgelerinde olduğu tespit edilmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonuna bakıldığında, topraklarındaki en düşük aktivite konsantrasyonunun 4 numaralı ve en yüksek aktivite konsantrasyonunun 1 numaralı örnek bölgesinde olduğu görülmektedir. Toprak örneklerinin çoğunda yapay ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış olmakla beraber ^{137}Cs radyoizotopunun belirlendiği örneklerde de dağılımının son derece değişken olduğu görülmüştür.

Tablo 43. Maçka ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Çatak	23,11±2,27	34,95±5,32	7,58±2,06	787,5±35,04	64,63	79,26
2	Coşandere	43,79±0,65	36,48±3,32	-	108,18±6,47	46,78	57,37
3	Çağlayan	11,51±1,15	34,49±4,15	-	162,68±7,90	32,93	40,39
4	Esiroğlu	10,32±1,43	23,34±5,0	-	39,96±2,71	20,53	25,18
5	Akoluk	17,78±2,10	20,24±4,29	-	94,52±6,0	24,38	29,90
6	Günay	76,6±4,73	16,44±4,26	-	202,18±12,19	53,75	65,92
7	Yeniköy	40,47±3,55	63,45±7,96	-	462,59±23,41	76,31	93,59
8	Maçka merkez	59,19±4,21	18,79±4,87	-	80,96±5,23	42,07	51,60
9	Mataracı	25,25±0,68	16,54±4,14	-	68,7±4,49	24,52	30,07
10	Maçka merkez	36,2±0,93	12,41±2,91	-	218,74±12,94	33,34	40,89
11	Sukenarı	28,35±3,11	35,01±5,37	3,62±1,76	218,52±12,41	43,36	53,17
12	Kozağaç	23,6±0,49	12,23±3,68	6,15±2,65	166,12±10,24	25,22	30,93
13	Gayretli	36,94±3,26	44,02±6,84	20,46±3,09	630,28±30,56	69,94	85,77
14	Ormanüstü	25,97±2,93	55,22±9,11	117,67±6,56	448,34±24,79	64,05	78,55
15	Şahinkaya	9,87±1,11	39,56±6,54	139,23±5,87	632,06±30,91	54,81	67,22
16	Galyan Barajı	14,47±1,69	13,18±3,32	-	78,23±5,06	17,91	21,96
17	Zaferli	75,84±4,61	55,6±6,69	-	594,67±28,90	93,42	114,57
18	Çeşmeler	24,64±2,75	52,25±7,33	11,36±2,44	553,13±27,49	66,01	80,95
ORT:		32,44±1,39	32,46±1,76	43,72±1,92	308,19±11,11	47,44	58,18

Ortalama ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyon değerleri, literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında ²³⁸U ve ²³²Th değerlerinin hemen hemen dünya ortalaması değerleriyle aynı olduğu ve ⁴⁰K değerinin dünya ortalaması değerinden 1,30 kat, daha küçük olduğu belirlenmiştir.

^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği 6 nolu örnek noktasında ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin, ortalama ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesi olarak hesaplanan 32,46 Bq/kg ve 308,19 Bq/kg değerlerinden sırasıyla 1,97 ve 1,52 kat düşük olduğu, ^{137}Cs radyonüklitinin ise bu örnek noktasında hiç gözlenemediği belirlenmiştir. ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinin belirlendiği 7 nolu Yeniköy örnek bölgesinde, ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Maçka ilçesi toprak örneklerinde belirlenen ortalama değerlerinden sırasıyla 1,25 ve 1,50 kat büyük olduğu görülmüştür. Bu bölgede de ^{137}Cs radyonükliti gözlenememiştir.



Şekil 61. Maçka ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

^{40}K aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinin ölçüldüğü 1 numaralı Çatak ölçüm bölgesi toprak örneğinde, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonundan 1,40 kat daha düşük ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonundan 1,08 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede ise ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun düşük bir değerde olduğu belirlenmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin ölçüldüğü 4 numaralı Esiroğlu bölgesi

toprağında ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının da ortalama değerlerinden sırasıyla 3,14 ve 1,39 kat daha düşük olduğu görülmüştür.

^{238}U aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin belirlendiği 15 nolu Şahinkaya örnek noktasında, ^{232}Th aktivitesinin ortalamadan 1,22 kat ve ^{40}K aktivitesinin ortalamadan 2 kat büyük olduğu, ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun ise 139,23 Bq/kg değeri ile en yüksek konsantrasyonda olduğu tespit edilmiştir. Zaferli örnek bölgesi topraklarında tespit edilen ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları ölçülen en büyük değerlere sahip olmasalar bile ortalama değerlerinden sırasıyla 2,34, 1,71 ve 1,93 kat daha büyük değerlerdedirler. Bu da, ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın spesifik aktiviteleri kullanılarak hesaplanan gama dozunun, Maçka ilçesi için en büyük değerinin, Zaferli bölgesinde belirlenmesine sebep olmaktadır.

3.1.12.2. Maçka İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Maçka ilçesinde toprak örneklerinin alındığı noktalarda, portatif NaI dedektörü ile yapılan ölçümlerden elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları ve bu değerler yardımıyla hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 44'de verilmekte ve bina içi ve bina dışı gama dozlarının ölçüm yapılan bölgelere göre dağılımı ise Şekil 62'de gösterilmektedir.

Tablo 44 ve Şekil 62 beraber irdelendiğinde, bina dışında yapılan ölçüm sonuçları için, en düşük gama dozunun 16 nolu ölçüm bölgesinde 17,40 nGy/s olarak ve en yüksek değerinde, 97,50 olarak 17 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun yine 17 nolu ölçüm bölgesinde 108,96 nGy/s olarak ve en düşük değerinde ise 22,65 nGy/s olarak 16 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Maçka ilçesinde 26 farklı bölgede yapılan bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 46,59 nGy/s ve yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 57,14 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak bulunmuştur. Bu değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ (UNSCEAR, 2000) değerinden 1,40 kat daha küçüktür. Bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 55,39 nGy/s ve yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 271,72 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak bulunmuştur. Bu değer, bina dışı gama dozu hızından elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerinden 4,76 kat daha fazladır. Aynı

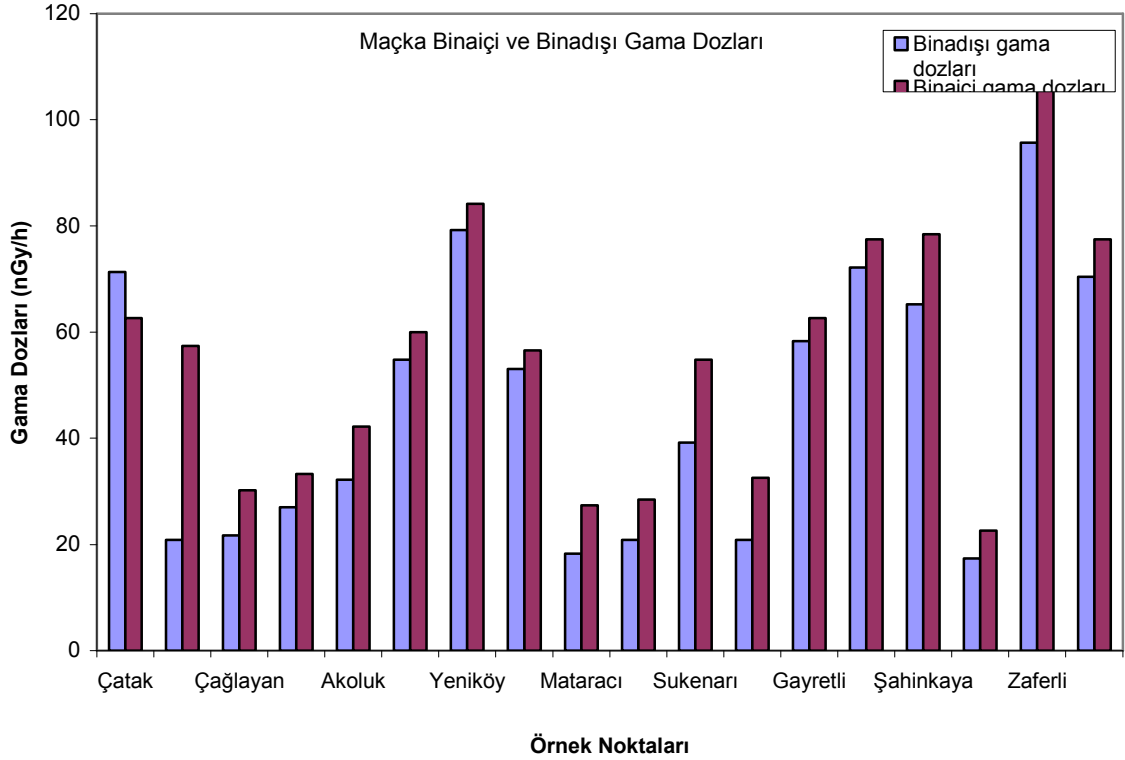
zamanda bu ortalama değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden kúçúktür.

Tablo 44. Maçka ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	atak	71,34	87,49	62,64	307,29
2	Coşandere	20,88	25,61	57,42	281,68
3	ağlayan	21,75	26,67	30,16	147,95
4	Esiroğlu	26,97	33,08	33,24	163,06
5	Akoluk	32,19	39,48	42,18	206,92
6	Gúnay	54,81	67,22	60,02	294,43
7	Yeniköy	79,17	97,09	84,15	412,81
8	Maçka merkez	53,07	65,09	56,55	277,41
9	Mataracı	18,27	22,41	27,35	134,17
10	Maçka merkez	20,88	25,61	28,42	139,42
11	Sukenarı	39,15	48,01	54,81	268,88
12	Kozağaç	20,88	25,61	32,54	159,63
13	Gayretli	58,29	71,49	62,64	307,29
14	Ormanüstü	72,21	88,56	77,43	379,84
15	Şahinkaya	65,25	80,02	78,41	384,65
16	Galyan Barajı	17,4	21,34	22,65	111,11
17	Zaferli	95,7	117,37	108,96	534,51
18	eőmeler	70,47	86,42	77,43	379,84
ORT:		46,59	57,14	55,39	271,72

Maçka ilçesinde yapılan tüm bina içi ve bina dışı ölçüm sonuçlarına bakıldığında, genel olarak bina içinde ölçülen gama dozu değerlerinin bina dışında ölçülen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bina içinde ölçülen gama dozuna yapı

malzemelerinden de bir katkının geldiğini anlatmaktadır. Yalnızca 1 numaralı ölçüm bölgesi olan Çatak'da bina dışı gama dozunun bina içi gama dozundan 1,14 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu da Çatak'ta ölçüm yapılan binadaki yapı malzemesinin bir miktarda olsa, dış gama dozuna karşı zıhlama etkisi yaptığını göstermektedir.



Şekil 62. Maçka ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 43 ve Tablo 44 birlikte değerlendirildiğinde, topraktaki ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en düşük olduğu Kozağaç bölgesinde, NaI dedektörü ile yapılan bina dışı ve bina içi gama dozlarının, ortalama olarak hesaplanan değerlerinden sırasıyla 2,23 ve 1,70 kat daha düşük olduğu görülmektedir. Topraktaki ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek olduğu Yeniköy bölgesinde ise, bina dışı ve bina içi gama dozları, ortalama olarak hesaplanan değerlerinden sırasıyla 1,70 ve 1,52 kat daha büyüktür. ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olduğu Günay bölgesinde, bina dışı ve bina içi gama dozlarının, ortalama değerlerinden sırasıyla 1,18 ve 1,08 kat daha büyük ve ayrıca ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en yüksek olduğu Çatak bölgesinde, bina dışı ve bina içi gama dozlarının, ortalama değerlerinden sırasıyla 1,53 ve 1,13 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Yine Tablo 43 ve Tablo 44 birlikte değerlendirilecek olursa, toprak örneklerinin analizi sonucu bulunan radyonüklitler kullanılarak hesaplanan gama dozunun 93,42 nGy/s değeri ile en yüksek olduğu Zaferli bölgesinde bina içi ve bina dışı gama dozu değerleri de diğer örnek noktalarına oranla en yüksek değerlere sahip oldukları görülecektir. Zaferli bölgesi toprak örneğinden hesaplanan gama dozunun NaI dedektörü ile belirlenen bina dışı gama dozundan biraz daha düşük olması, bina dışında ölçülen gama dozu değerine, topraktaki karasal kökenli radyonüklitlerden gelen ışınların yanı sıra kozmik ışınlardan da katkının geldiğini göstermektedir. Yine bu bölgede bina içi gama dozu değerinin bina dışı gama dozu değerinden 1,14 kat yüksek olması, bina içi gama dozuna yapı malzemelerinden de bir katkının geldiği sonucuna varılmasını sağlamaktadır.

3.1.12.3. Maçka İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Maçka ilçesi evlerindeki ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimini ve yıllık etkin doz eşdeğerlerini belirlemek için yapılan çalışmanın sonuçları Tablo 45’de ve radon konsantrasyonlarının evlere göre mevsimsel dağılımı ise Şekil 63’de gösterilmektedir.

Tablo 45 incelendiğinde, radon dozimetresi dağıtılan 9 ev için ilkbahar mevsiminde, evlerdeki radon konsantrasyonunun 26-80 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama değerin 44 Bq/m³ olarak bulunduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun 52 Bq/m³ ile 160 Bq/m³ arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 87 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. Kış dönemi için elde edilen verilere bakıldığında, radon konsantrasyonunun minimum değeri 181 Bq/m³, maksimum değeri 556 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 280 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde ise radon konsantrasyonunun 69 Bq/m³ ile 250 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama konsantrasyonunun 117 Bq/m³ olduğu bulunmuştur.

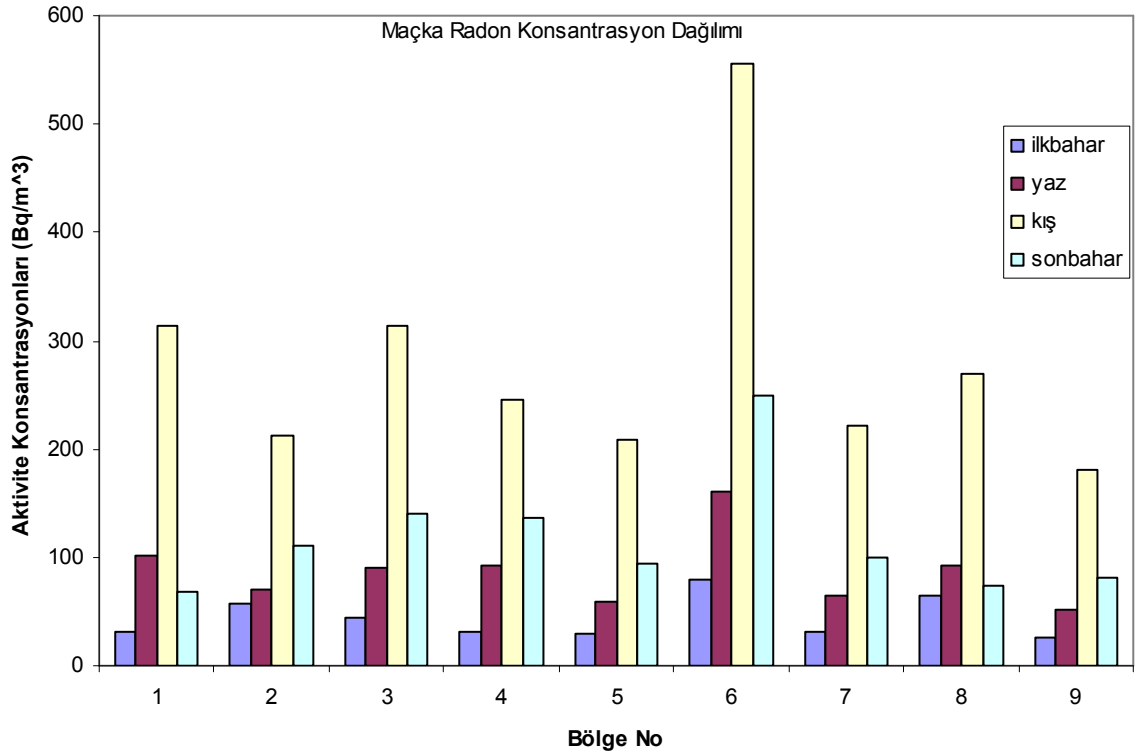
Radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında en büyük değerin kış mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri ve en küçük değerin ilkbahar mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri olduğu görülmüştür. Radon dozimetrelerinin dağıtıldığı 9 evin kat sıralaması yapıldığında 1., 2., 3. ve 4. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 193 Bq/m³, 130 Bq/m³, 120 Bq/m³ ve 92 Bq/m³ değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Radonun asıl

kaynağının toprak olduğu düşünülürken, elde edilen bu sonuçların anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 45. Maçka ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	AEDE (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	
1	3	31	101	314	69	3,25
2	2	57	70	212	110	2,83
3	2	45	90	313	140	3,71
4	3	31	92	246	136	3,19
5	4	30	60	209	94	2,48
6	1	80	160	556	250	6,60
7	3	32	64	222	100	2,64
8	1	65	92	270	73	3,15
9	4	26	52	181	81	2,14
ORT:		44	87	280	117	3,33

Bu ilçede tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyonları dikkate alınarak, insanların bir yıl içinde aldığı, radondan kaynaklanan radyasyon dozu eşdeğeri 3,33 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) ve Uluslararası Radyasyon'dan Korunma Komitesi (ICRP)'nin evlerde radon konsantrasyonu için izin verilebilir seviyeyi olan 400 Bq/m³ veya 10 mSv değerleriyle karşılaştırıldığında düşük bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır (ICRP, 1990).



Şekil 63. Maça ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

3.1.12.4. Maça İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Maça ilçesinde NaI dedektörü ile yapılan yerinde ölçümlerin sonucunda tespit edilen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 46'da ve bulunan bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı Şekil 64'de gösterilmektedir.

Verilere incelendiğinde, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının en büyük değerlerine sırasıyla 0,084 μCi ve 0,072 μCi olarak Zaferli bölgesinde rastlanıldığı ve bu noktada ayrıca, ^{40}K aktivite konsantrasyonunun bu ilçe için belirlenen ortalama değerinden 1,58 kat büyük olduğu görülmektedir. ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en düşük ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun en büyük olarak belirlendiği Şahinkaya bölgesinde ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerlerinden sırasıyla 1,17 ve 1,87 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

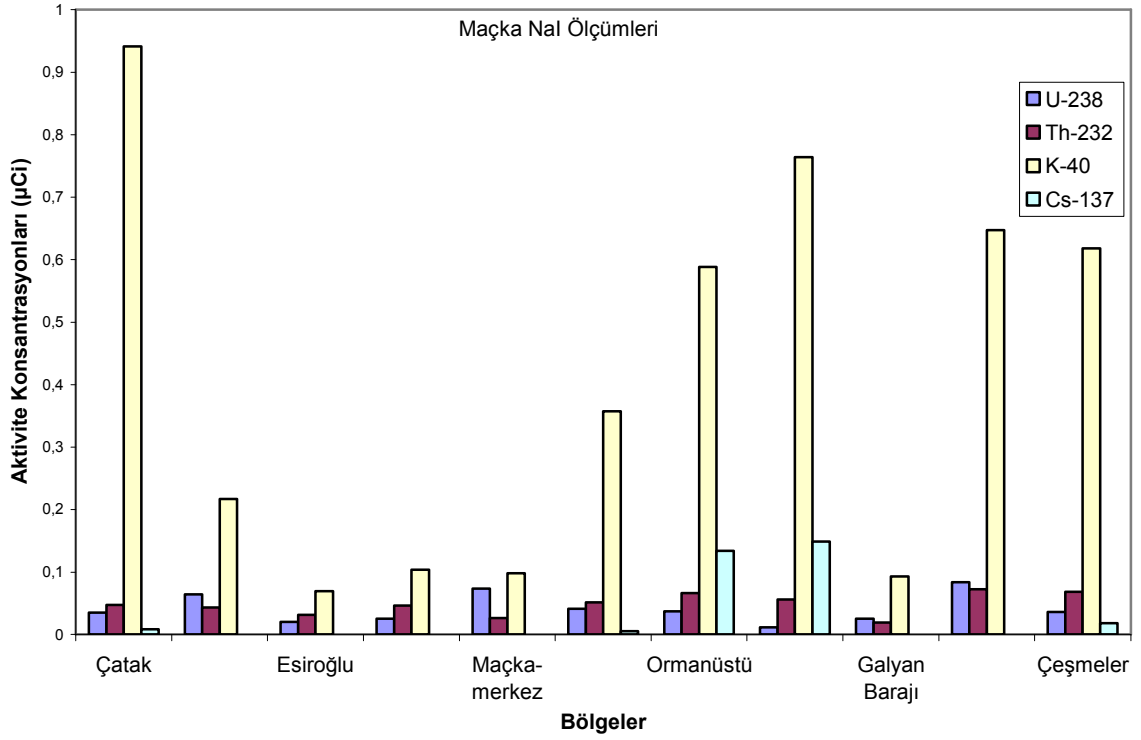
Tablo 46. Maçka ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	²³⁸ U (μ Ci)	²³² Th (μ Ci)	¹³⁷ Cs (μ Ci)	⁴⁰ K (μ Ci)
1	Çatak	0,035±0,002	0,047±0,002	0,008±0,002	0,941±0,010
2	Coşandere	0,064±0,005	0,043±0,003	-	0,217±0,010
3	Esiroğlu	0,020±0,004	0,031±0,003	-	0,069±0,004
4	Akoluk	0,025±0,003	0,046±0,002	-	0,104±0,007
5	Maçka-merkez	0,073±0,003	0,026±0,002	-	0,098±0,002
6	Sukenarı	0,041±0,003	0,051±0,002	0,005±0,001	0,357±0,005
7	Ormanüstü	0,037±0,003	0,066±0,003	0,134±0,003	0,588±0,006
8	Şahinkaya	0,011±0,002	0,056±0,002	0,149±0,005	0,764±0,008
9	Galyan Barajı	0,025±0,002	0,019±0,002	-	0,093±0,004
10	Zaferli	0,084±0,002	0,072±0,004	-	0,647±0,006
11	Çeşmeler	0,036±0,003	0,068±0,003	0,018±0,002	0,618±0,006
ORT:		0,041±0,001	0,048±0,001	0,063±0,002	0,409±0,002

²³²Th aktivite konsantrasyonunun en düşük değerde olduğu Galyan Barajı ölçüm bölgesinde ²³⁸U ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının ortalama olarak belirlenen değerlerinden sırasıyla 1,64 ve 4,40 kat küçük olduğu ve ayrıca ¹³⁷Cs radyoizotopuna rastlanmadığı tespit edilmiştir. ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin tespit edildiği Esiroğlu ölçüm bölgesinde ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerlerinden sırasıyla 2,05 ve 1,55 kat küçük olduğu görülmektedir.

Tablo 43 ve Tablo 46 birlikte incelendiğinde, portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler neticesinde ¹³⁷Cs ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının en büyük değerlerinin belirlendiği Şahinkaya ve Çatak bölgesi topraklarında da ¹³⁷Cs ve ⁴⁰K'ın en büyük aktivite konsantrasyonlarına sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde ⁴⁰K ve ²³⁸U aktivite konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin belirlendiği Esiroğlu ve Şahinkaya bölgesi topraklarında da ⁴⁰K ve ²³⁸U aktivite konsantrasyonlarının en düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Maçka ilçesinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonucu belirlenen ortalama ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, ²³²Th aktivite konsantrasyonunun ²³⁸U aktivite konsantrasyonundan 1,17 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

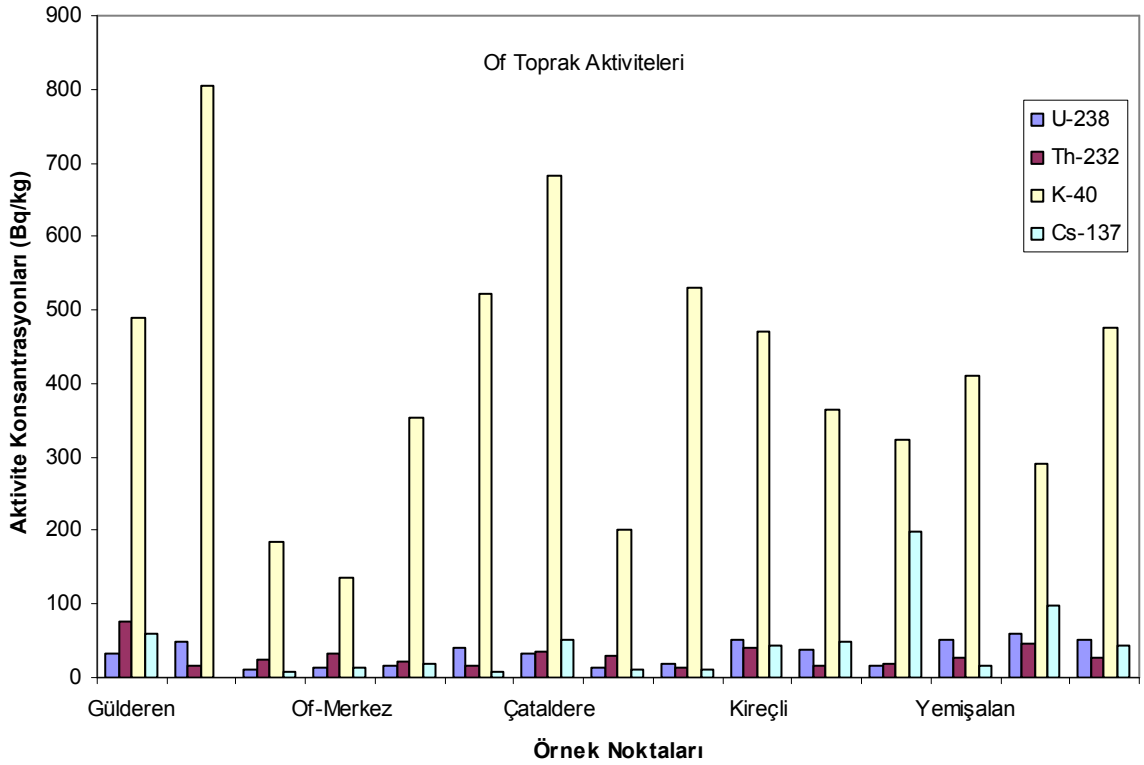


Şekil 64. Maçka ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

3.1.13. Of İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.13.1. Of İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Of ilçesinden alınan toprak örneklerinin yapılan spektrometrik analizleri sonucunda, toprak örneklerinde bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 47’de verilmektedir. Şekil 65’de ise bu aktivite konsantrasyonlarının örnek toplanan bölgelere göre dağılımı gösterilmektedir. Tablo 47 incelendiğinde, radyonüklit konsantrasyonlarının düzgün denilebilecek bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 65. Of ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Toplanan 15 toprak örneğindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,11 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu ilçede, en yüksek ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla 59,10 Bq/kg ve 75,39 Bq/kg değerleri ile 14 numaralı Kiraz ve 1 Gülderen bölgelerinde, en düşük aktivite konsantrasyonlarının ise 12,04 Bq/kg ve 14,95 Bq/kg değerleri ile 3 ve 9 numaralı örnek bölgelerinde olduğu tespit edilmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonuna bakıldığında, topraklarındaki en düşük aktivite konsantrasyonunun 4 numaralı ölçüm bölgesinde, 136,89 Bq/kg değerinde olduğu ve en yüksek aktivite konsantrasyonunun 2 numaralı Kavakpınar örnek bölgesinde 805,85 Bq/kg değerinde olduğu görülmektedir. Bir tane toprak örneğinde ^{137}Cs radyonüklitine rastlanmamış olmasına karşın ortalama aktivite konsantrasyonunun 45,10 Bq/kg olduğu belirlenmiştir.

Tablo 47. Of ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Gülderen	31,48±3,43	75,39±10,29	60,69±4,57	489,75±27,47	80,50	98,73
2	Kavakpınar	47,65±1,60	15,72±5,19	-	805,85±41,58	65,11	79,85
3	Of Merkeze inen yol	12,04±1,64	24,92±5,42	8,02±3,27	185,05±12,37	28,33	34,74
4	Of Merkez	12,76±1,70	33,63±6,35	14,23±2,95	136,89±8,63	31,92	39,14
5	Balıca	16,98±2,28	22,67±5,40	18,11±3,36	352,95±21,67	36,26	44,46
6	Taşhanpazarı	40,12±3,31	17,13±4,69	7,29±2,84	522,85±27,39	50,68	62,16
7	Çataldere	31,77±3,58	34±7,55	52,28±4,68	683,36±36,62	63,71	78,13
8	Bölümlü merkez	13,27±1,74	31,23±5,38	10,78±2,64	202,01±13,21	33,42	40,98
9	Cumapazarı	19,83±2,02	14,95±4,02	9,82±2,99	530,38±26,51	40,31	49,43
10	Kireçli	50,63±5,79	41,42±5,90	43,73±4,15	469,64±21,20	67,99	83,39
11	Su geldi	39,07±3,29	15,87±4,43	48,16±3,81	365,07±21,64	42,86	52,56
12	Ağaçbaş	16,49±2,47	20±5,0	198,77±6,75	324,3±20,26	33,22	40,74
13	Yemişalan	53,02±4,06	25,99±6,11	16,72±2,85	409,49±23,58	57,27	70,23
14	Kiraz	59,10±5,57	45,83±8,61	98,19±5,65	291,01±18,97	67,12	82,32
15	Fndıkoba	52,06±3,82	26,51±6,52	44,58±3,69	477,12±4,67	61,72	75,69
ORT:		33,08±1,35	29,68±1,67	45,10±1,20	416,38±9,78	50,69	62,17

²³⁸U aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin bulunduğu 14 nolu Kiraz örnek bölgesi toprağında ²³²Th ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının, Of ilçesi topraklarında belirlenen ortalama aktivite konsantrasyonu değerlerinden sırasıyla 1,54 ve 2,18 kat büyük olduğu, ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun ise ortalama değerinden 1,43 kat düşük olduğu belirlenmiştir. ²³²Th aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin bulunduğu 1 nolu Gülderen örnek bölgesi toprağında ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun ortalama değerden 1,05 kat düşük ve ¹³⁷Cs ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerlerinden sırasıyla 1,35 ve 1,18 kat yüksek olduğu tespit edilmiştir. ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun

en büyük değerinin bulunduğu 2 nolu Kavakpınar örnek bölgesi ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ortalamadan 1,44 kat büyük olduğu ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ortalamadan 1,89 kat düşük olduğu belirlenmiştir. Bu örnek noktasında ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır.

Of ilçesindeki toprak örneklerinde bulunan ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle hemen hemen aynı düzeyde olduğu belirlenmiştir.

3.1.13.2. Of İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

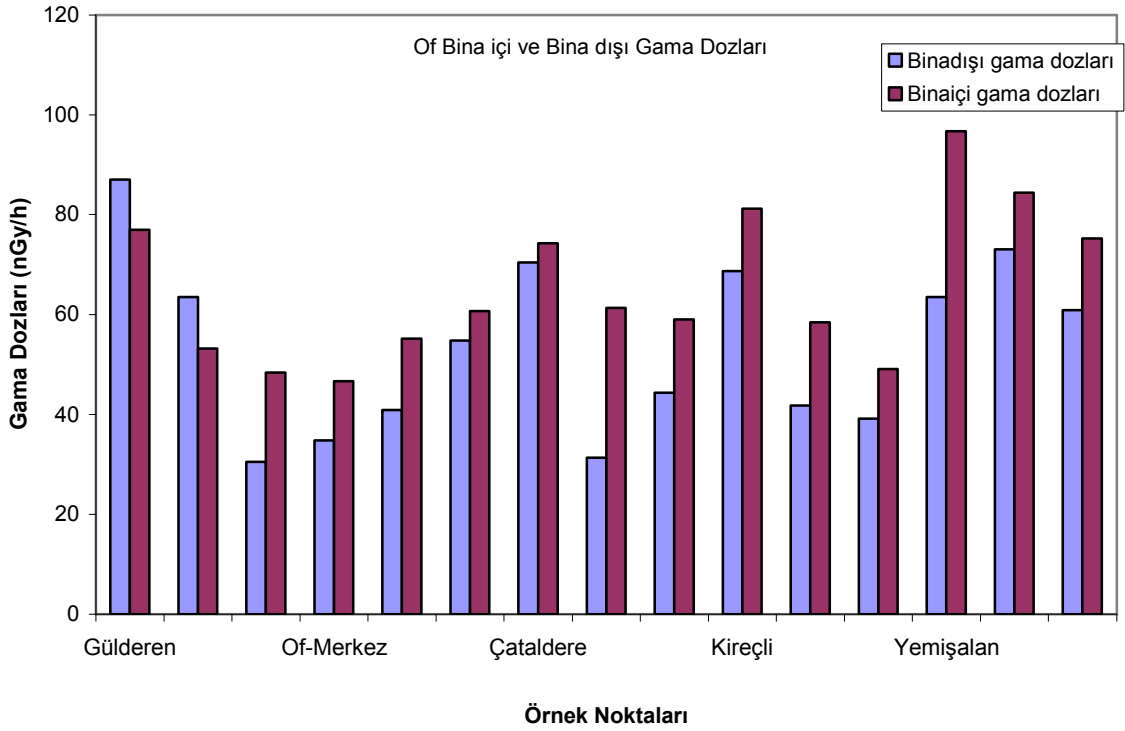
Of ilçesinde 15 bölgede portatif NaI dedektörü ile yerden 1 m yükseklikte yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları Tablo 48'de verilmektedir. Topraktaki radyonüklitler kullanılarak hesaplama gama dozu değerleriyle kıyaslama yapılabilmesi için portatif dedektör ile ölçüm yapılan bölgeler toprak örneklerinin alındığı noktalardır. Gama dozlarının belirlenmesi için yapılan ölçümler, ölçüm hatalarını en aza indirgeyebilmek amacıyla, her bir ölçüm noktasında altışar kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır. Şekil 66'da Of ilçesi için bina içi ve bina dışında ölçülen gama dozlarının dağılımı görülmektedir.

Tablo 48 ve Şekil 66'daki bina dışında yapılan ölçüm sonuçları irdelendiğinde en yüksek gama dozunun 1 nolu ölçüm bölgesinde 87,0 nGy/s olarak ve en düşük değer de 30,45 nGy/s olarak 3 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Tablo 47'ye bakılacak olursa, 1 nolu örnek noktasından alınan toprak örneklerindeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en büyük değerde olduğu ve ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,18 kat büyük olduğu görülecektir.

Tablo 48. Of ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Gülderen	87	106,70	76,97	377,58
2	Kavakpınar	63,51	77,89	53,21	261,03
3	Of Merkeze inen yol	30,45	37,34	48,39	237,38
4	Of Merkez	34,8	42,68	46,67	228,94
5	Balıca	40,89	50,15	55,19	270,74
6	Taşhanpazarı	54,81	67,22	60,72	297,87
7	Çataldere	70,47	86,42	74,27	364,34
8	Bölümlü merkez	31,32	38,41	61,37	301,06
9	Cumapazarı	44,37	54,42	59,05	289,68
10	Kireçli	68,73	84,29	81,15	398,09
11	Su geldi	41,76	51,21	58,46	286,78
12	Ağaçbaş	39,15	48,01	49,08	240,77
13	Yemişalan	63,51	77,89	96,72	474,47
14	Kiraz	73,08	89,63	84,39	413,98
15	Fndıkoba	60,9	74,69	75,23	369,05
ORT:		53,65	65,80	65,39	320,78

Bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 13 nolu ölçüm bölgesinde 96,72 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 46,67 nGy/s olarak 4 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. 13 nolu örnek noktasındaki dış gama dozu ortalama değerinden 1,18 kat daha yüksek ve 13 nolu örnek noktasından alınan toprak ölçümünden elde edilen ^{238}U aktivite konsantrasyonu ortalama değerinde 1,60 kat daha yüksektir. Bu noktadaki ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları ise ortalama değerlerinin altında olarak belirlenmiştir.



Şekil 66. Of ilçesi gama dozlarının dağılımı

Bu ilçede bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 65,39 nGy/s ve bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 53,65 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina içinde belirlenen ortalama gama doz hızı kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 320,78 $\mu\text{Sv/y}$ ve bina dışı gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 65,80 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Bu değer, bina dışı gama dozu hızından elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerinden 4,88 kat daha düşüktür. Aynı zamanda bu ortalama değerler, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden de küçüktür. Bu veriler sonucunda, Of ilçesinde bina içi ve bina dışı gama dozundan kaynaklanan radyasyon miktarının sağlığı tehdit edebilecek boyutta olmadığı fakat kapalı ortamlarda geçirilen zaman göz önüne alındığında, bina içinde, dışarıya oranla daha fazla gama dozuna maruz kalındığı söylenebilir.

Tablo 47 ve Tablo 48 beraber değerlendirilecek olursa, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ölçülen ortalama gama dozu değerine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca NaI dedektörü ile ölçülen bina içi gama dozu ölçümlerinin ortalama değerinin bina dışı gama dozunun ortalama değerinden 1,22 kat fazla olması, bu ilçe için, bina içi gama dozuna, karasal kaynaklı

radyonüklitlerden gelen ışınların yanında yapı malzemelerinden de bir katkının geldiğini göstermektedir.

3.1.13.3. Of İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Of ilçesinde ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi, dozimetre dağıtılan evlerin kat numaraları ve radondan dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri Tablo 49'da verilmektedir.

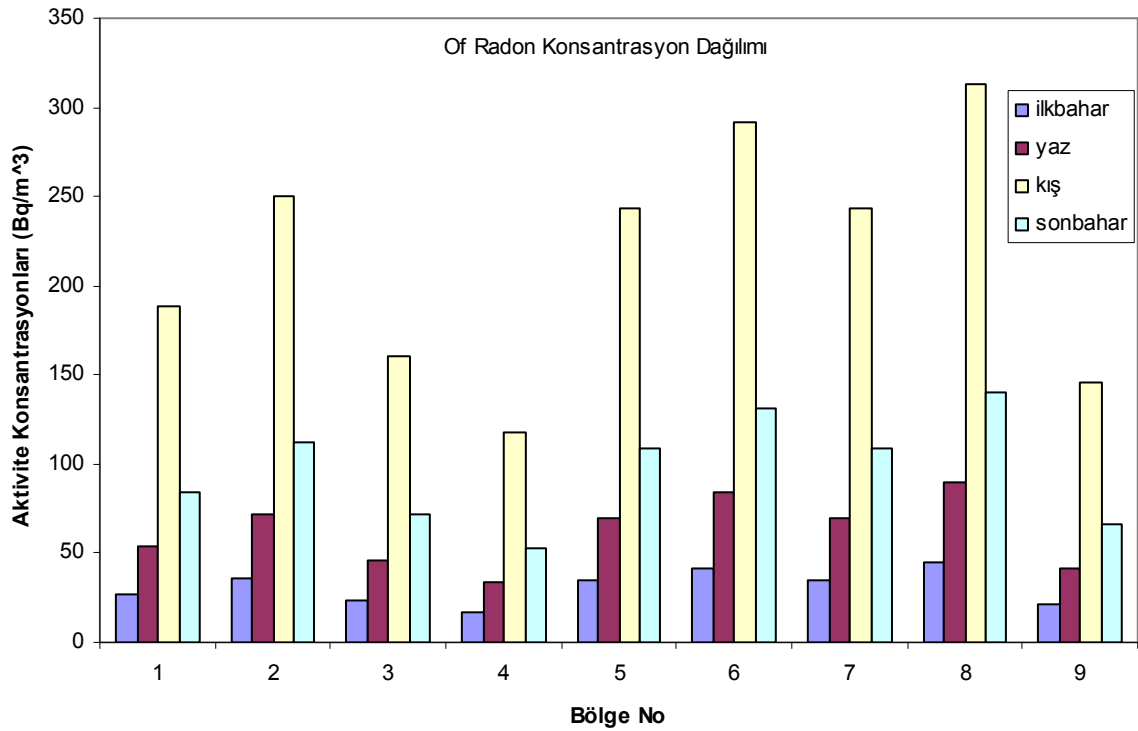
Tablo 49 irdelendiğinde, radon dozimetresi dağıtılan 9 ev için ilkbahar, yaz, kış ve sonbahar mevsimlerinde ortalama ev içi radon konsantrasyonu sırasıyla, 31 Bq/m³, 62 Bq/m³, 217 Bq/m³ ve 97 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde radon konsantrasyonunun 17 Bq/m³ ile 45 Bq/m³ arasında, yaz mevsiminde 34 Bq/m³ ile 90 Bq/m³ arasında, kış mevsiminde 118 Bq/m³ ile 313 Bq/m³ arasında ve sonbahar mevsiminde 53 Bq/m³ ile 140 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği bulunmuştur.

Tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyonları dikkate alındığında, Of ilçesi için radon konsantrasyonunun yıllık ortalama değeri 102 Bq/m³ olarak belirlenmiş ve insanların bir yıl içinde radondan aldığı radyasyon dozu eşdeğeri 2,57 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 67'de görülmektedir.

Tablo 49. Of ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar	Yaz	Kış	Sonbahar	AEDE (mSv/y)
		Mevsimi Aktivite (Bq/m ³)	Mevsimi Aktivite (Bq/m ³)	Mevsimi Aktivite (Bq/m ³)	Mevsimi Aktivite (Bq/m ³)	
1	4	27	54	188	84	2,23
2	3	36	72	250	112	2,96
3	4	23	46	160	72	1,90
4	5	17	34	118	53	1,40
5	3	35	70	243	109	2,88
6	2	42	84	292	131	3,46
7	3	35	70	243	109	2,88
8	2	45	90	313	140	3,71
9	4	21	42	146	66	1,73
ORT:		31	62	217	97	2,57

Radon dozimetrelerinin dağıtıldığı 9 evin kat sıralamasına göre analizleri yapıldığında, 2., 3. ve 4. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 142 Bq/m^3 , 115 Bq/m^3 ve 77 Bq/m^3 olduğu tespit edilmiştir. Yani bina zemininden uzaklaştıkça radon konsantrasyonunda bir düşüş yaşanmaktadır. Radonun, toprakta bulunan ^{238}U 'nun bozunma ürünü olduğu düşünüldüğünde, sonuçların anlamlı olduğu görülmektedir.



Şekil 67. Of ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

3.1.13.4. Of İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan (InSitu) Ölçüm Sonuçları

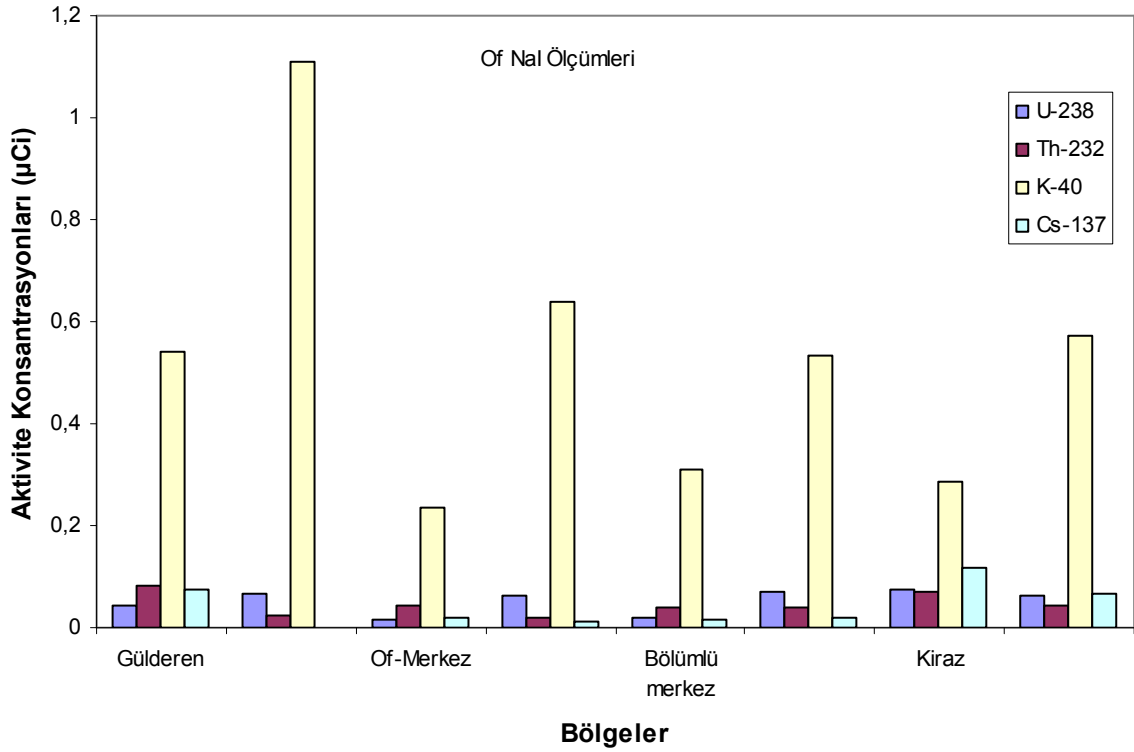
Of ilçesinde 8 örnek noktasında NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 50'de verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 68'de gösterilmektedir. Tablo 50 irdelendiğinde, belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla $0,052 \mu\text{Ci}$, $0,045 \mu\text{Ci}$, $0,528 \mu\text{Ci}$ ve $0,045 \mu\text{Ci}$ olarak bulunmuştur.

Elde edilen bulgulara bakıldığında, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığı zaman, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,16 kat fazla çıktığı görülmüştür. Tablo 50 incelendiğinde, ^{238}U aktivitesinin en büyük değerinin 0,075 μCi olarak Kiraz bölgesinde ve ^{232}Th aktivitesinin en büyük değerinin 0,080 μCi olarak Gülderen bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonunun 0,237 μCi ile 1,108 μCi arasında değişim gösterdiği ve ^{40}K 'ın en büyük değerine Kavakpınar bölgesinde rastlandığı görülmektedir.

Tablo 50. Of ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Gülderen	0,044±0,002	0,081±0,002	0,073±0,002	0,542±0,007
2	Kavakpınar	0,067±0,005	0,023±0,003	-	1,108±0,014
3	Of Merkez	0,015±0,004	0,043±0,003	0,018±0,002	0,237±0,004
4	Taşhanpazarı	0,061±0,006	0,019±0,003	0,010±0,002	0,638±0,008
5	Bölümlü merkez	0,018±0,002	0,039±0,002	0,014±0,002	0,309±0,009
6	Yemişalan	0,069±0,005	0,041±0,004	0,020±0,003	0,532±0,012
7	Kiraz	0,075±0,004	0,069±0,003	0,117±0,006	0,285±0,006
8	Fndıkoba	0,063±0,003	0,043±0,003	0,065±0,005	0,574±0,011
ORT:		0,052±0,001	0,045±0,001	0,045±0,002	0,528±0,003

^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en büyük olarak belirlendiği 1 nolu bölgede ^{238}U ortalama değerinden 1,18 kat düşük ve ^{40}K ise ortalama değerinde 1,03 kat yüksek olarak belirlenmiştir.



Şekil 68. Of ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

^{238}U ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının en yüksek olarak belirlendiği Kiraz ölçüm bölgesinde, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ortalamadan 1,53 kat büyük ve ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ortalamadan 1,85 kat düşük olduğu görülmektedir. ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en büyük olarak belirlendiği 2 nolu bölgede ise ^{238}U değerinin, ortalama değerinden 1,29 kat büyük ve ^{232}Th değerinin, ortalama değerinden 1,96 kat küçük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 47 ile Tablo 50 kıyaslandığında, NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesinin belirlendiği bölgelerdeki toprak örneklerinde de ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinin en büyük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu iki Tablo ^{137}Cs radyoizotopu açısından kıyaslandığında, hem toprak analizlerinde hem de portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerde, aynı noktada ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış olduğu görülmektedir. Bu nokta ise, hem toprak hem de yerinde yapılan ölçümler sonucunda ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin belirlendiği bölgedir.

3.1.14. Sürmene İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.14.1. Sürmene İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Sürmene ilçesi topraklarındaki ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla Sürmene sınırları içinde bulunan 11 farklı bölgeden alınan toprak örneklerinin radyometrik analiz sonuçları ile bu sonuçlar kullanılarak hesaplanan gama dozu ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 51’de verilmektedir. Şekil 69’de ise bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 51, ^{238}U aktivite konsantrasyonu açısından değerlendirildiğinde, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun 18,17 Bq/kg ile 105,09 Bq/kg arasında değiştiği ve ortalama değerinin 44,78 Bq/kg olduğu görülmektedir. En yüksek ^{238}U aktivite konsantrasyonuna 1 nolu ve en düşük aktivite konsantrasyonuna ise 3 nolu örnek noktasında rastlanmıştır. ^{232}Th açısından Tablo 51 incelendiğinde, ^{232}Th aktivitesinin 17,23 Bq/kg değeri ile 9 nolu bölgede en düşük ve 51,32 Bq/kg değeri ile 6 nolu bölgede en yüksek olduğu belirlenmiştir.

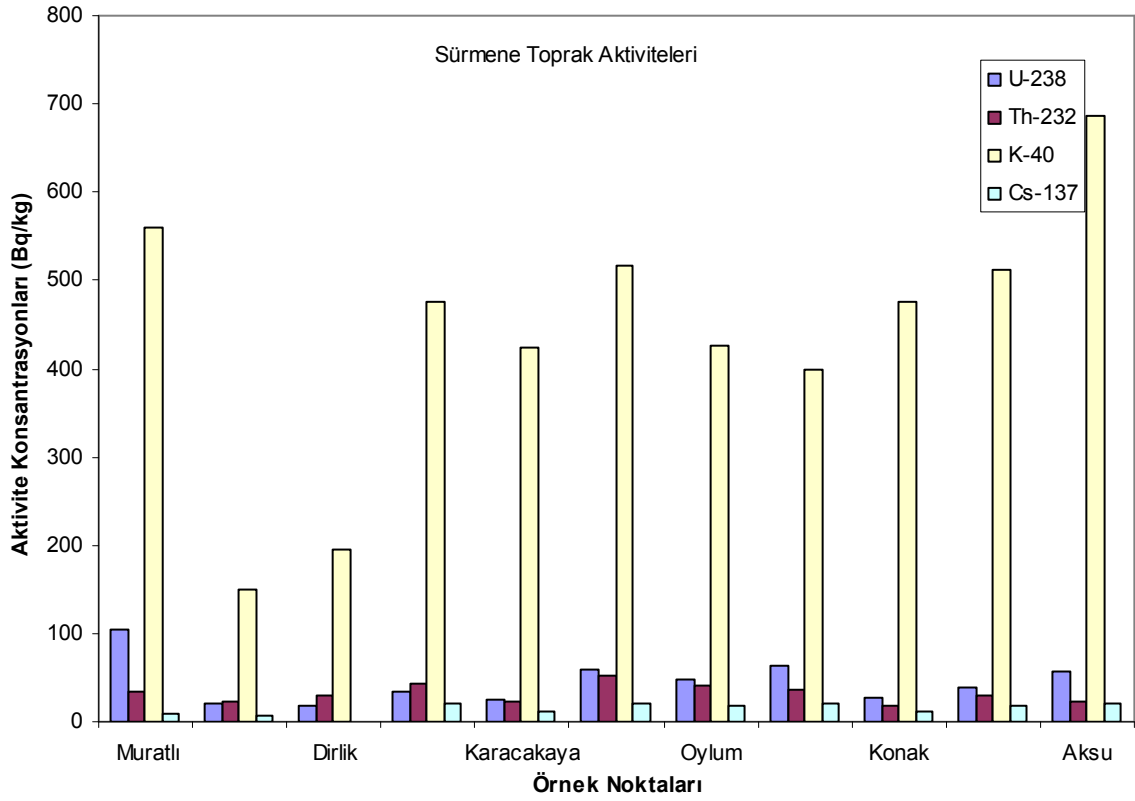
Toprak örneklerindeki ^{238}U ve ^{232}Th ortalama aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,40 kat yüksek olduğu görülmektedir. ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği 1 nolu Muratlı örnek noktasında, ^{232}Th aktivitesinin, ortalama ^{232}Th aktivitesi civarında olduğu, ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,28 kat büyük olduğu ve toprakta bulunan radyonüklitlerin aktiviteleri kullanılarak hesaplanan gama dozunun en yüksek değerinde olduğu tespit edilmiştir.

^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek tespit edildiği 6 nolu Çamburnu örnek noktasındaki ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Sürmene topraklarında ^{238}U ve ^{40}K için belirlenen ortalama aktivite konsantrasyonlarından sırasıyla 1,31 ve 1,18 kat daha fazla olduğu ve ayrıca ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun en büyük değerlerinden birinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 51. Sürmene ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Muratlı	105,09±5,73	34,34±6,94	9,46±3,35	559,24±30,36	92,61	113,58
2	Ormanseven	19,39±1,66	23,09±5,75	6,23±2,29	148,57±8,91	29,10	35,69
3	Dirlik	18,17±1,42	30,56±5,00	-	195,49±11,41	35,00	42,93
4	Ortaköy	33,04±3,21	42,0±7,55	21,21±3,60	475,32±27,42	60,73	74,47
5	Karacakaya	25,62±2,73	21,59±5,06	11,3±2,89	424,43±23,72	42,58	52,21
6	Çamburnu	58,61±2,15	51,32±3,46	21,13±2,63	516,32±16,23	79,61	97,63
7	Oylum	47,82±3,14	41,71±2,86	17,34±3,74	426,37±14,21	65,07	79,80
8	Yeniay	64,39±2,85	36,84±6,15	19,46±2,95	398,47±17,20	68,62	84,15
9	Konak	26,09±3,61	17,23±4,21	11,54±2,76	475,19±18,04	42,28	51,85
10	Küçükdere	38,25±4,11	30,42±3,05	18,67±3,10	511,20±16,72	57,36	70,35
11	Aksu	56,15±4,06	22,55±5,00	21,44±2,72	685,73±34,42	68,16	83,59
ORT:		44,78±1,23	32,01±1,53	15,78±0,45	437,85±8,07	58,28	71,48

Tablo 51, ⁴⁰K radyonükliti açısından irdelendiği, en yüksek ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun 11 nolu örnek noktasında 685,73 Bq/kg, en düşük ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun ise 2 nolu örnek noktasında 148,57 Bq/kg ve ortalama ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun ise 437,85 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir. Toplanan 11 toprak örneğinin 1 tanesinde ¹³⁷Cs radyonüklitine rastlanmamakla birlikte, ortalama ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu 15,78 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının en yüksek değerinin belirlendiği 11 nolu Aksu bölgesinde, ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,25 kat fazla ve ²³²Th aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,42 kat az olduğu tespit edilmiştir. ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin ölçüldüğü 2 numaralı Ormanseven bölgesi toprağında ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonlarının da ortalama değerlerinden sırasıyla 2,31 ve 1,39 kat daha düşük olduğu görülmüştür. ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu ise bu bölgede en düşük değerindedir.



Şekil 69. Sürmene ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

^{238}U aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin belirlendiği 3 nolu Dirlik örnek noktasında, ^{232}Th aktivitesinin, ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonu civarında olduğu ve ^{40}K aktivitesinin ise ortalamadan 2,24 kat düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede ^{137}Cs radyonüklidine rastlanmamıştır. ^{232}Th aktivite konsantrasyonu değerinin en düşük olarak belirlendiği 9 nolu Konak örnek noktasında, ^{238}U ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının, Sürmene topraklarında ^{238}U ve ^{137}Cs için belirlenen ortalama aktivite konsantrasyonlarından sırasıyla 1,72 ve 1,37 kat daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri, literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında ^{238}U ve ^{40}K değerlerinin, dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,28 ve 1,09 kat daha büyük olduğu ve ^{232}Th değerinin hemen hemen dünya ortalaması değeriyle aynı olduğu görülmüştür.

3.1.14.2. Sürmene İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Sürmene ilçesinde, NaI dedektörü ile 9 bölgede yerden 1 m yükseklikte ölçümler alınarak bina dışı ve bina içi gama dozları belirlenmiş ve yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 52’de, gama dozlarının ölçüm yapılan bölgelere göre dağılımı da Şekil 70’de verilmektedir.

Bina dışında yapılan ölçüm sonuçları incelendiğinde, en yüksek gama dozunun 1 nolu Muratlı ölçüm bölgesinde 95,70 nGy/s olarak ve en düşük değer de 2 nolu Ormansbinaen ölçüm bölgesinde 27,84 nGy/s olduğu görülmektedir. Bina içi ölçümde, en yüksek gama dozu, yine 1 nolu ölçüm bölgesinde 107,43 nGy/s ve en düşük değer ise 9 nolu Konak ölçüm bölgesinde 33,46 nGy/s olarak belirlenmiştir. Bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 55,92 nGy/s ve bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 61,63 nGy/s olarak hesaplanmıştır.

Tablo 52’ye bakıldığında, bina içinde belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 302,32 μ Sv/y ve dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 68,58 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, ICRP tarafından belirlenen sınır değerden küçük olduğu belirlenmiştir (ICRP, 1990).

Tablo 51 ve Tablo 52 beraber incelendiğinde, bina dışı ve bina içi gama dozunun en büyük değerlerinin tespit edildiği 1 nolu Muratlı ölçüm bölgesinden alınan toprak örneğindeki ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun, Sürmene ilçesi diğer toprak örnekleri içinde en yüksek aktivite konsantrasyonlarına sahip olduğu ve topraktaki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan gama dozunun da, bu bölgede en büyük değerde olduğu görülmektedir.

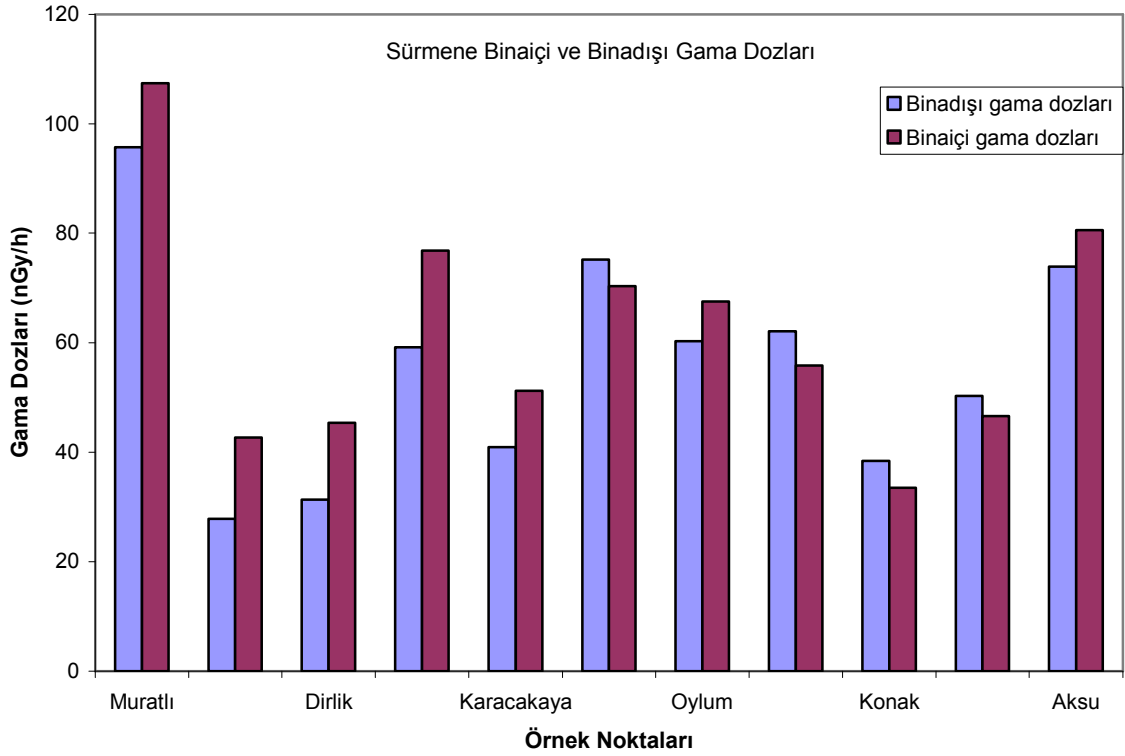
Bina dışı gama dozunun en düşük değerde ölçüldüğü 2 nolu örnek bölgesinde bina içi gama dozunun da ortalama değerinden 1,44 kat düşük olduğu belirlenmiştir. Aynı noktadan alınan toprak örneğindeki ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonları da en düşük değerlerine sahiptirler.

Tablo 52. Sürmene ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Muratlı	95,7	117,37	107,43	527,01
2	Ormansbinaen	27,84	34,14	42,69	209,42
3	Dirlik	31,32	38,41	45,34	222,42
4	Ortaköy	59,16	72,55	76,85	377,00
5	Karacakaya	40,89	50,15	51,2	251,17
6	Çamburnu	75,21	92,24	70,36	345,16
7	Oylum	60,32	73,98	67,54	331,32
8	Yeniay	62,08	76,13	55,86	274,03
9	Konak	38,41	47,11	33,46	164,14
10	Küçükdere	50,26	61,64	46,61	228,65
11	Aksu	73,95	90,69	80,56	395,20
ORT:		55,92	68,58	61,63	302,32

^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları ise ortalama olarak belirlenen değerlerinden daha düşük düzeydedirler ve tüm bunları sonucu olarak bu noktada, topraktan hesaplanan gama dozu değerinin de en düşük olarak hesaplandığı görülmektedir.

Bina içi gama dozunun en düşük değerinin belirlendiği 9 nolu Konak ölçüm bölgesinde bina içi gama dozu değeri de ortalama değerinden 1,46 kat daha düşük olarak belirlenmiştir. Bu bölge topraklarında ^{232}Th aktivitesinin de en düşük düzeyde, ayrıca ^{238}U ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının, Sürmene ilçesi için belirlenen ortalama değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 70. Sürmene ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 51'deki toprak örneklerinden hesaplanan gama dozları ile Tablo 52'deki bina içi ve bina dışı gama dozları ile beraber değerlendirildiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ölçülen ortalama gama dozu değerine yakın olduğu belirlenmektedir. Bina dışı ve bina içi ölçüm sonuçları beraber değerlendirildiğinde, Sürmene ilçesi için ortalama olarak belirlenen bina içi gama dozunun, bina dışı gama dozu değerinden 1,10 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu verilerden yararlanarak, Sürmene ilçesinde, yapı malzemelerinin bünyesinde bulunan radyonüklitlerin bina içi gama dozu sbinaiesine az da olsa bir katkı sağladığı söylenebilmektedir.

3.1.14.3. Sürmene İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Sürmene ilçesinde ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi, radon dozimetresi dağıtılan evlerin kat numaraları ve radondan dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri Tablo 53'de verilmektedir.

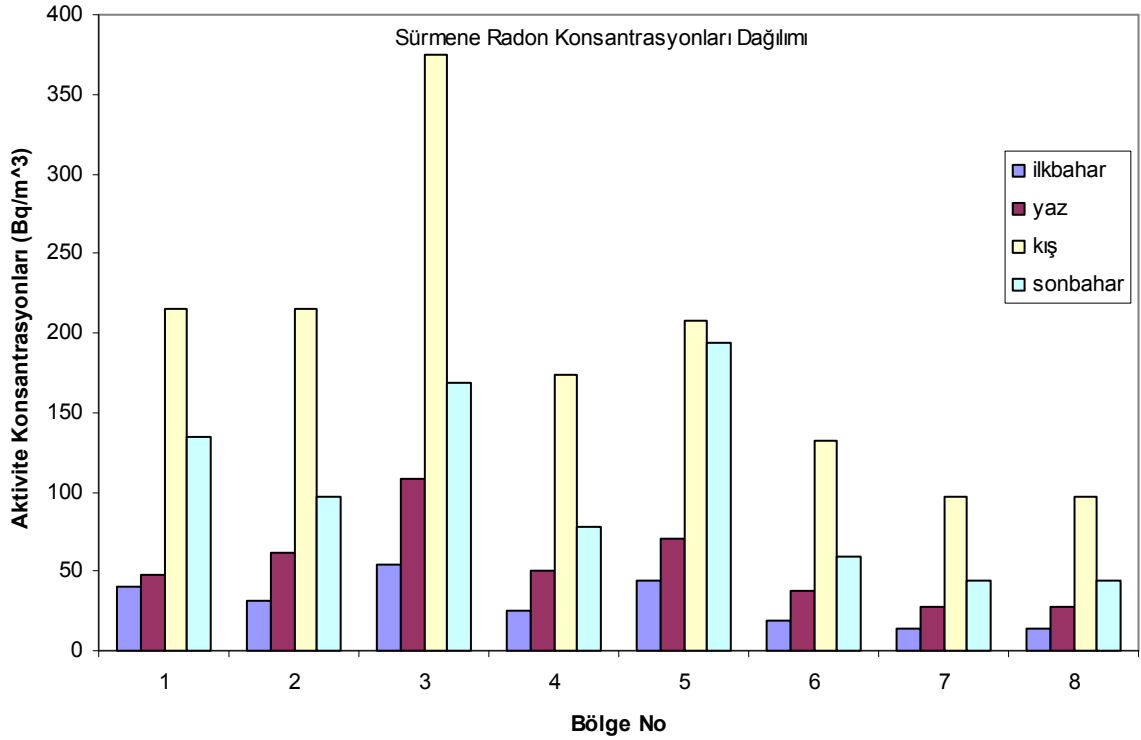
Tablo 53 incelendiğinde, dozimetre dağıtılan 8 ev için ilkbahar, yaz, kış ve sonbahar mevsimlerinde ortalama ev içi radon konsantrasyonu sırasıyla, 30 Bq/m³, 54 Bq/m³, 189 Bq/m³ ve 102 Bq/m³ olarak belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde radon konsantrasyonunun 14 Bq/m³ ile 54 Bq/m³ arasında, yaz mevsiminde 28 Bq/m³ ile 108 Bq/m³ arasında, kış mevsiminde 97 Bq/m³ ile 215 Bq/m³ arasında ve sonbahar mevsiminde 44 Bq/m³ ile 194 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği bulunmuştur.

Sürmene ilçesi için radon konsantrasyonunun yıllık ortalama değeri 94 Bq/m³ olarak belirlenmiş ve insanların bir yıl içinde radondan aldığı radyasyon dozu eşdeğeri 2,37 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre mevsimsel değişimi Şekil 71’de görülmektedir.

Tablo 53. Sürmene ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	E (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	
1	3	40	48	215	135	2,76
2	3	31	62	215	97	2,55
3	2	54	108	375	168	4,45
4	4	25	50	174	78	2,06
5	2	44	70	207	194	3,25
6	5	19	38	132	59	1,56
7	5	14	28	97	44	1,15
8	5	14	28	97	44	1,15
ORT:		30	54	189	102	2,37

Dozimetrelerin dağıtıldığı 8 evin kat sıralamasına göre analizleri yapıldığında, 2., 3. ve 5. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 153 Bq/m³, 105 Bq/m³ ve 51 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. Zeminden uzaklaştıkça radon konsantrasyonunda bir azalma görülmektedir. Radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında en büyük değer kış mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri ve en küçük değer ilkbahar mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri olduğu görülmüştür.



Şekil 71. Sürmene ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

3.1.14.4. Sürmene İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan (InSitu) Ölçüm Sonuçları

Sürmene ilçesinde 6 örnek noktasında NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 54'de verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 72'de gösterilmektedir. Tablo 54 irdelendiğinde, belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,070 μCi , 0,051 μCi , 0,548 μCi ve 0,025 μCi olarak bulunmuştur.

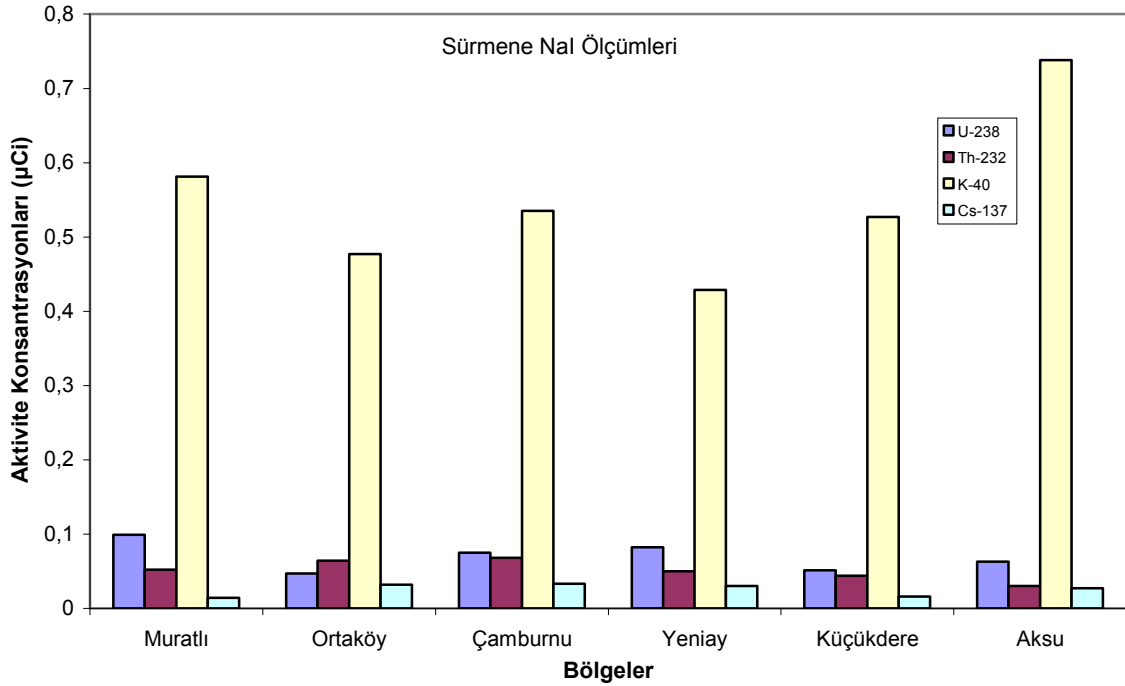
Elde edilen bulgular neticesinde, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığı zaman, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,37 kat fazla çıktığı görülmüştür. ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının en büyük değerlerine sırasıyla 0,099 μCi ve 0,068 μCi olarak Muratlı ve Çamburnu bölgelerinde rastlanıldığı görülmektedir. ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak belirlendiği Muratlı bölgesinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun, Sürmene ilçesi için NaI dedektörü ile belirlenen ortalama ^{232}Th aktivite konsantrasyonu civarında olduğu, ^{40}K aktivite

konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,06 kat daha büyük olduğu ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun da en düşük değerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 54. Sürmene ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Muratlı	0,099±0,006	0,052±0,002	0,014±0,002	0,581±0,010
2	Ortaköy	0,047±0,002	0,064±0,003	0,032±0,002	0,477±0,009
3	Çamburnu	0,075±0,004	0,068±0,003	0,033±0,003	0,535±0,011
4	Yeniay	0,082±0,005	0,050±0,003	0,030±0,003	0,429±0,012
5	Küçükdere	0,051±0,002	0,044±0,002	0,016±0,002	0,527±0,009
6	Aksu	0,063±0,004	0,031±0,004	0,027±0,003	0,738±0,012
ORT:		0,070±0,002	0,051±0,001	0,025±0,001	0,548±0,001

^{232}Th ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının en büyük olarak belirlendiği Çamburnu bölgesinde ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerlerinden sırasıyla 1,07 kat büyük ve 1,02 kat daha düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 72. Sürmene ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

^{40}K aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin ölçüldüğü Aksu ölçüm bölgesinde ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,11 kat küçük olduğu, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinde olduğu ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun ortalamadan 1,08 kat büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 51 ve Tablo 54 birlikte irdelendiğinde, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının, hem portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler neticesinde elde edilen verilere hem de toprak analizlerinin sonuçlarına bakıldığında, aynı ölçüm noktalarında en büyük değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.

3.1.15. Şalpazarı İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.15.1. Şalpazarı İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Yapılan analizlerin neticesinde Şalpazarı ilçesinden toplanan toprak örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 55’de verilmiştir. Yine Tablo 55’de, topraktaki aktiviteleri belirlenen radyonüklitlerden yararlanılarak ve Eşitlik (45) ve (46) kullanılarak hesaplanan gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri görülmektedir. Şekil 73’de ise belirlenen radyonüklit aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı verilmektedir.

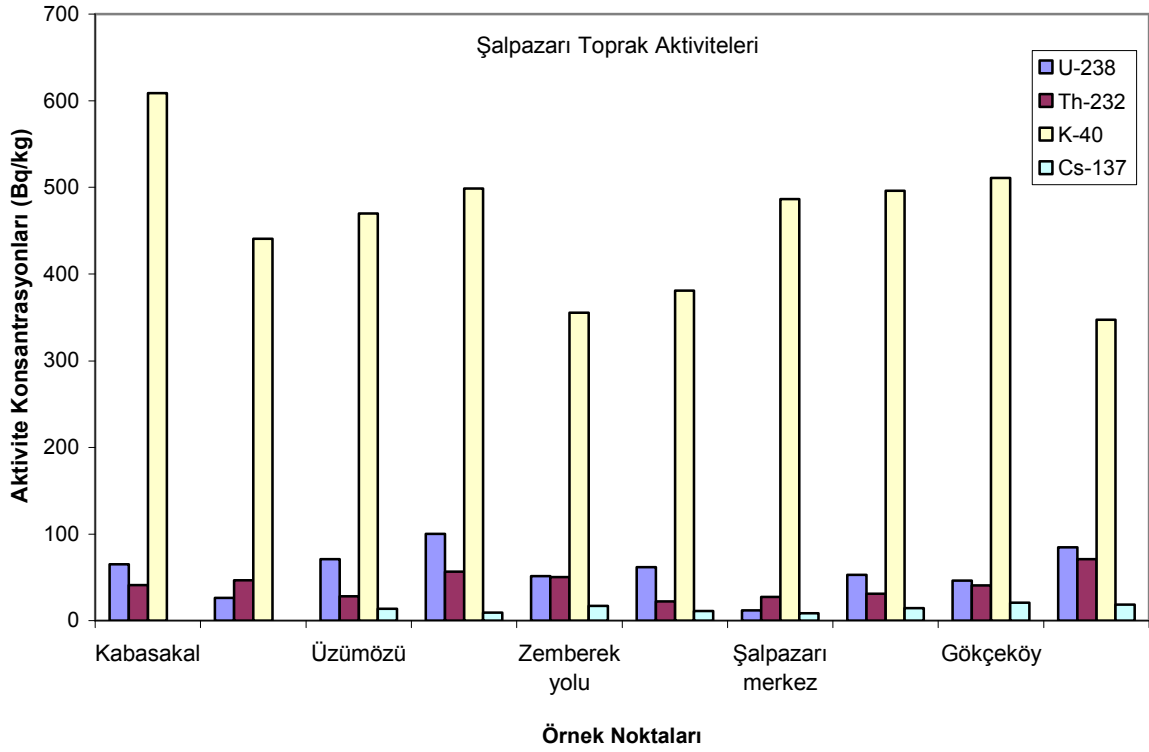
Şalpazarı ilçesinden toplanan 10 toprak örneğinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde, ^{238}U için aktivite konsantrasyonunun 11,95 Bq/kg ile 100,23 Bq/kg arasında değiştiği ve ortalama değerinin 57,20 Bq/kg olduğu görülmüştür. En yüksek ^{238}U aktivite konsantrasyonuna ise 4 nolu Acısu örnek noktasında rastlanmıştır. Tablo 55’deki ^{232}Th verileri irdelendiğinde, aktivite konsantrasyonunun 22,31 Bq/kg ile 71,36 Bq/kg arasında değiştiği gözlenmiştir. En yüksek ^{232}Th aktivite konsantrasyonuna ise 10 nolu Kuzuluk örnek noktasında rastlanılmıştır.

^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği 4 nolu örnek noktasında ^{232}Th aktivitesinin, Şalpazarı ilçesinden alınan toprak örneklerinin analiziyle, ortalama ^{232}Th aktivitesi olarak hesaplanan değerden 1,37 kat büyük olduğu belirlenmiştir. Yine bu ölçüm bölgesi toprağında ^{40}K aktivite konsantrasyonu değerinin ortalama değerinden 1,09 kat büyük ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonu değerinin ortalama değerinden 1,54 kat düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 55. Şalpaazarı ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Kabasakal	65,28±4,43	40,79±7,02	-	609,03±30,14	80,19	98,35
2	Beşikdüzü Şalpaazarı arası	26,08±2,32	46,43±6,25	-	440,69±23,09	58,47	71,71
3	Üzümözü	71,03±4,29	27,9±5,33	13,59±3,19	469,85±25,65	69,26	84,94
4	Acısu	100,23±5,01	56,86±6,35	9,16±3,42	498,79±26,23	101,45	124,42
5	Zemberek yolu	51,71±4,06	50,34±6,71	16,82±3,44	355,41±20,72	69,12	84,76
6	Pelitçik	61,82±4,06	22,31±4,29	11,14±3,72	380,99±21,67	57,92	71,04
7	Şalpaazarı merkez	11,95±1,48	27,23±5,80	8,57±2,66	486,54±25,78	42,26	51,82
8	Çiğdemli	53,08±2,54	31,12±2,15	14,23±1,36	496,23±11,25	64,01	78,50
9	Gökçeköy	46,11±3,18	40,52±3,42	20,64±2,25	511,26±18,34	67,10	82,29
10	Kuzuluk	84,72±4,06	71,36±1,93	18,45±3,57	347,48±12,20	96,73	118,63
ORT:		57,20±1,11	41,49±1,87	14,08±0,81	459,63±6,12	70,65	86,65

²³²Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinin belirlendiği 10 nolu ölçüm bölgesinde, ²³⁸U ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının, ortalama olarak belirlenen değerlerinden sırasıyla 1,48 ve 1,31 kat büyük ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinde olduğu görülmüştür. Şalpaazarı toprak örneklerinde değişik konsantrasyonlarda ¹³⁷Cs radyonüklitine rastlanmıştır. Yalnızca iki toprak örneğinde ¹³⁷Cs gözlenememiş olmakla beraber ortalama ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonu 14,08 Bq/kg olarak belirlenmiştir. ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinin belirlendiği 9 nolu Gökçeköy örnek bölgesinde, ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonlarının, ortalama olarak belirlenen değerlerinden sırasıyla 1,24 ve 1,02 kat daha düşük olduğu, ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun ise ortalama değerinden 1,11 kat büyük olduğu tespit edilmiştir. Toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulunan ⁴⁰K radyonükliti açısından Tablo 55 değerlendirildiğinde, en yüksek ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun, 1 nolu Kabasakal örnek noktasında ve ortalama ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun ise 459,63 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 73. Şalpaazarı ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Kabasakal örnek bölgesi toprağında ayrıca ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,14 kat yüksek olduğu, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ise ortalama değerinden 1,02 kat düşük olduğu belirlenmiştir ve bu bölge toprağında ^{137}Cs radyonüklitine rastlanmamıştır.

^{238}U aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin belirlendiği 7 nolu Şalpaazarı merkez örnek noktasında, ^{232}Th aktivitesinin ortalamadan 1,52 kat düşük ve ^{40}K aktivitesinin ortalamadan 1,06 kat büyük olduğu tespit edilmiştir. ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin belirlendiği 6 nolu Pelitçik örnek noktası toprağında ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ortalama olarak belirlenen değerinden 1,08 kat büyük, ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının ise ortalama değerlerinden sırasıyla 1,21 ve 1,26 kat düşük olduğu belirlenmiştir.

Toprak örneklerindeki ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları incelendiğinde, ortalama ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ^{232}Th 'den 1,38 kat büyük olduğu belirlenmiştir. Ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyon değerleri, literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,63, 1,38 ve 1,15 kat büyük olduğu görülmektedir.

3.1.15.2. Şalpaazarı İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Şalpaazarı ilçesinde NaI dedektörü ile toprak örneklerinin alındığı bölgelerde yerden 1 m yükseklikte yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları Tablo 56'da verilmektedir. Şekil 74'de ise bina içi ve bina dışında ölçülmüş olan gama dozlarının ölçüm bölgelerine göre dağılımı görülmektedir.

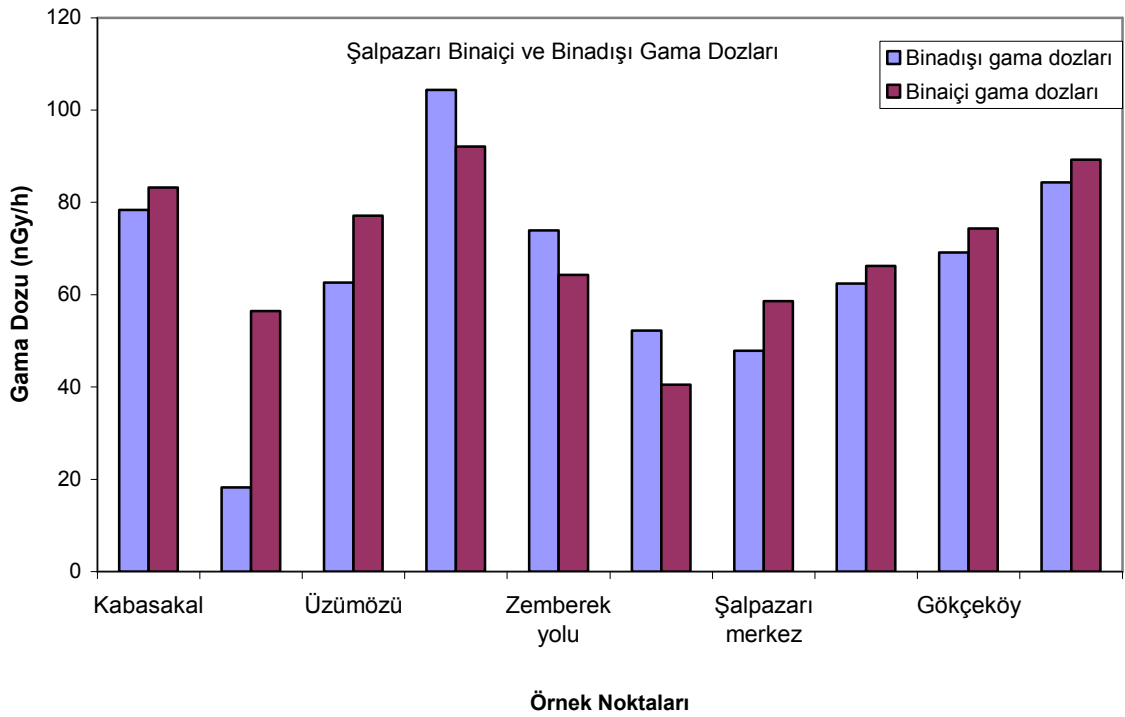
Bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 4 nolu ölçüm bölgesinde 92,11 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 6 nolu ölçüm bölgesinde 40,52 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Bina dışında yapılan ölçümlerde de, en yüksek gama dozunun yine 4 nolu ölçüm bölgesinde, 104,40 nGy/s olduğu ve en düşük değer 2 nolu ölçüm bölgesinde, 18,27 nGy/s olduğu belirlenmiştir. Bina dışı ve bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında, en düşük bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 2,22 kat, en yüksek bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,13 kat ve ortalama olarak belirlenen bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,07 kat farklılık olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 56. Şalpaazarı ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina İçi	
		D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Kabasakal	78,30	96,03	83,16	407,95
2	Beşikdüzü Şalpaazarı arası	18,27	22,41	56,45	276,92
3	Üzümlü	62,64	76,82	77,08	378,12
4	Acısu	104,4	128,04	92,11	451,85
5	Zemberek yolu	73,95	90,69	64,28	315,33
6	Pelitçik	52,20	64,02	40,52	198,77
7	Şalpaazarı merkez	47,85	58,68	58,63	287,62
8	Çiğdemli	62,41	76,54	66,25	325,00
9	Gökçeköy	69,16	84,82	74,32	364,58
10	Kuzuluk	84,32	103,41	89,21	437,63
ORT:		65,35	80,15	70,20	344,38

Bina dışında belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri $80,15 \mu\text{Sv/y}$ ve bina içi gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise $344,38 \mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden küçük olduğu görülmektedir (ICRP, 1990).

Tablo 55 ve Tablo 56 beraber irdelendiğinde, bina içi ve bina dışı gama dozlarının en büyük değerlerinin ölçüldüğü Acısu ölçüm bölgesi toprağında, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ve topraktaki radyonüklitlerin aktiviteleri kullanılarak hesaplanan gama dozunun da en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 74. Şalpaazarı ilçesi gama dozlarının dağılımı

Ölçüm yapılan 10 noktanın 3 tanesinde bina içi gama dozu değerinin, aynı noktada bina dışında ölçülen değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. NaI dedektörü ile belirlenen bina içi gama dozu değerinin, bina dışı gama dozu değerinden fazla olduğu ölçüm noktaları için, bina içi gama dozuna, topraktan gelen karasal kaynaklı radyonüklitlere ilave olarak yapı malzemelerinden de bir katkının geldiği söylenebilmektedir. Bina dışı gama dozunun en büyük değerinin ölçüldüğü 4 nolu ölçüm bölgesinde bina dışı gama dozu değeri bina içi değerinden 1,13 kat daha yüksek değerde

olarak ölçülmüştür. Bu verilerden yola çıkılarak, bu bölgede yapı malzemelerin dış gama dozuna karşı bir miktar zırlama etkisi gösterdiği anlaşılmaktadır.

3.1.15.3. Şalpaazarı İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Şalpaazarı ilçesinde NaI dedektörü ile yapılan yerinde ölçümlerin sonucunda tespit edilen radyonüklitler ve aktivite konsantrasyonları Tablo 57’de ve bulunan bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı Şekil 75’de gösterilmektedir.

Verilere incelendiğinde, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının en büyük değerlerine sırasıyla 0,105 μCi ve 0,091 μCi olarak Acısu ve Kuzuluk bölgelerinde rastlanıldığı görülmektedir. ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin belirlendiği Acısu bölgesinde, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerlerinden sırasıyla 1,08 ve 1,09 kat daha büyük olduğu, ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun ise ortalama değerinden 1,62 kat daha düşük değerinde olduğu belirlenmiştir. ^{232}Th , ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının en büyük ve ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en düşük değerinin belirlendiği Kuzuluk ölçüm bölgesinde, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ise ortalama değerinden 1,22 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

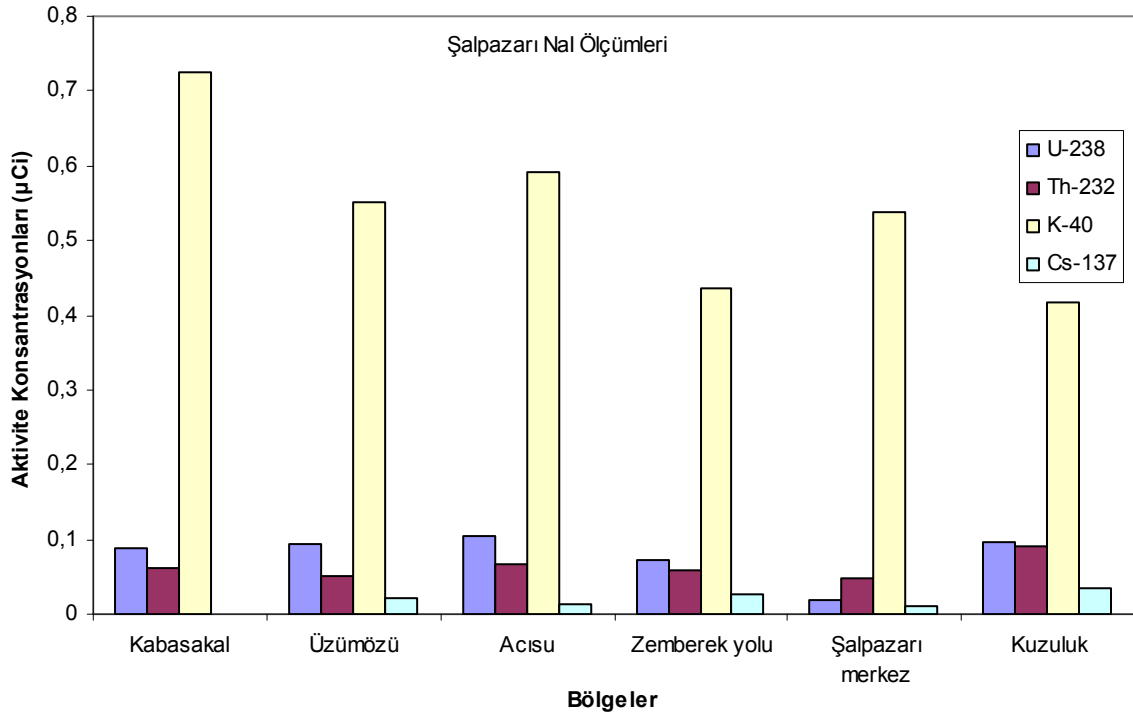
Tablo 57. Şalpaazarı ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Kabasakal	0,087±0,006	0,061±0,002	-	0,724±0,011
2	Üzümlü	0,093±0,005	0,051±0,003	0,022±0,002	0,551±0,012
3	Acısu	0,105±0,007	0,068±0,003	0,013±0,001	0,592±0,010
4	Zemberek yolu	0,072±0,005	0,060±0,002	0,026±0,002	0,436±0,008
5	Şalpaazarı merkez	0,018±0,002	0,047±0,002	0,011±0,001	0,538±0,011
6	Kuzuluk	0,096±0,004	0,091±0,005	0,034±0,003	0,417±0,009
ORT:		0,079±0,002	0,063±0,001	0,021±0,001	0,543±0,001

^{40}K aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin belirlendiği Kabasakal ölçüm bölgesinde, ^{238}U aktivite konsantrasyonu ortalama değerinden 1,10 kat daha büyük ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ortalama değeri civarında olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede ^{137}Cs radyonüklidine rastlanmamıştır.

Tablo 55 ve Tablo 57 birlikte incelendiğinde, portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler neticesinde ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının en büyük değerlerinin belirlendiği bölgelerin topraklarında da bu radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının en büyük değerlerde olduğu görülmüştür.

Şalpaazarı ilçesinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonucu belirlenen ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun ^{238}U aktivite konsantrasyonundan 1,25 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

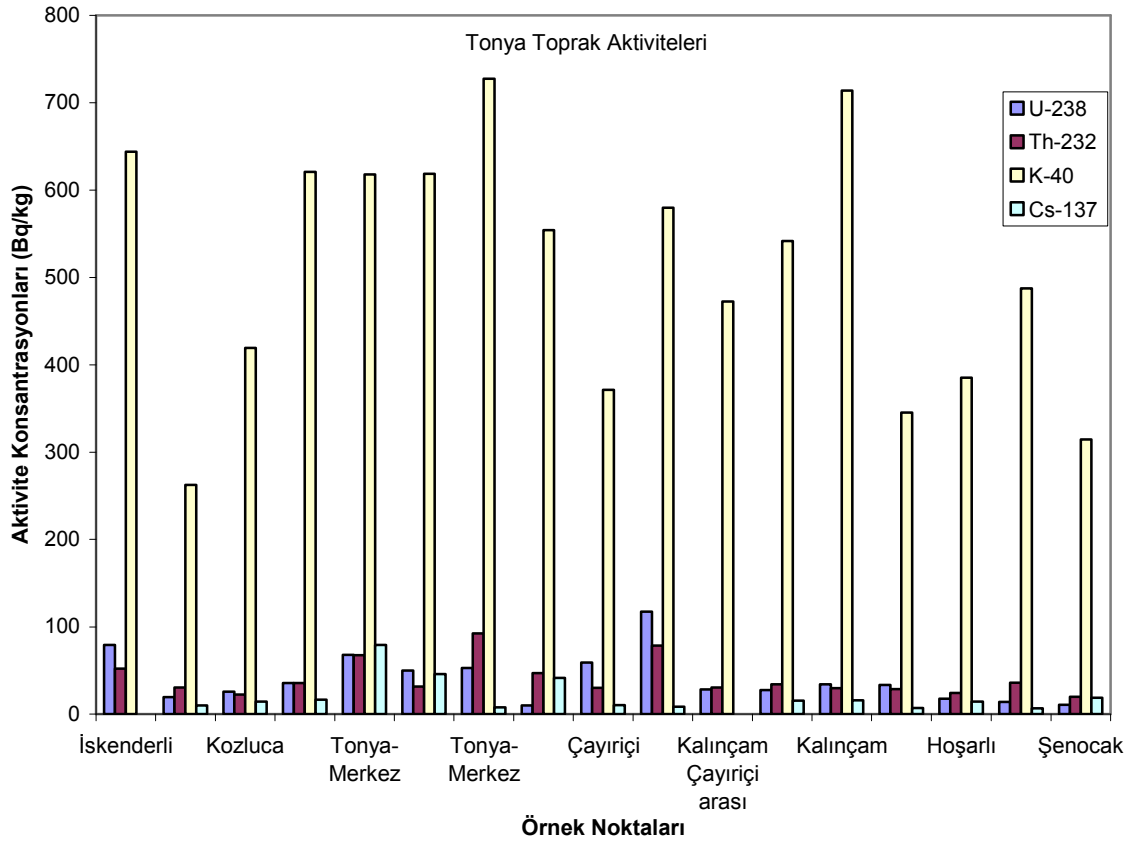


Şekil 75. Şalpaazarı ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

3.1.16. Tonya İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.16.1. Tonya İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Tonya ilçesinden toplanan 17 toprak örneğinin spektrometrik analizleri yapılmış ve ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu aktivite konsantrasyonları kullanılarak gama dozları (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 58’de verilmiştir. Şekil 76’da ise ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının örnek bölgelerine göre dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 76. Tonya ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Tablo 58. Tonya ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	İskenderli	79,22±1,43	52,13±8,92	-	644,29±32,92	94,95	116,45
2	İskenderli	19,36±2,35	30,58±4,50	9,7±2,81	262,64±15,23	38,37	47,05
3	Kozluca	25,68±2,49	22,45±4,99	14,26±2,67	419,07±23,67	42,90	52,61
4	Yakçukur	35,98±3,34	36,01±7,01	16,34±3,32	620,77±32,96	64,26	78,81
5	Tonya Merkez	68,04±4,81	67,63±9,04	79,26±4,41	617,96±32,69	98,05	120,25
6	Tonya Merkez	50,01±4,39	31,67±4,87	46,11±3,54	618,47±29,27	68,02	83,42
7	Tonya Merkez	52,97±3,51	92,4±8,31	7,62±2,06	727,74±33,69	110,63	135,67
8	Çayırıcı	9,98±1,13	47,21±6,37	41,67±3,58	554,33±29,21	56,24	68,97
9	Çayırıcı	59,23±4,01	30,21±4,45	10,11±2,92	371,45±20,5	61,10	74,93
10	Çayırıcı Tonya arası	117,47±5,61	78,65±8,76	8,31±3,20	579,75±29,04	125,95	154,47
11	Kalınçam Çayırıcı arası	28,34±2,90	30,75±5,32	-	472,56±25,94	51,37	63,00
12	Kalınçam	27,3±2,73	34,55±6,18	15,25±3,31	541,89±29,04	56,08	68,77
13	Kalınçam	34,35±3,09	29,83±5,09	15,91±2,89	713,89±36,62	63,66	78,07
14	Çamlı	33,79±2,83	28,83±4,85	7,13±2,38	345,21±18,95	47,42	58,16
15	Hoşarlı	17,38±2,15	24,07±6,12	14,29±3,20	385,22±22,61	38,63	47,38
16	Kayacan yolu	13,86±1,66	36,13±5,62	6,46±2,08	487,46±23,83	48,55	59,55
17	Şenocak	10,57±1,94	19,89±5,34	18,83±3,26	314,76±18,57	30,02	36,82
ORT:		40,21±1,22	40,76±1,61	20,75±0,61	510,44±6,20	64,48	79,08

Tablo 58, ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonları açısından irdelendiğinde, ortalama ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonlarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Tonya ilçesindeki, en düşük ve en yüksek ²³⁸U aktivitesinin 9,98 Bq/kg ve 117,47 Bq/kg değerleri ile mesafe olarak birbirine yakın olan 8 ve 10 numaralı örnek bölgelerinde olduğu belirlenmiştir. En düşük ²³²Th aktivitesinin 19,89 Bq/kg değeri ile 17 numaralı örnek bölgesinde, en yüksek ²³²Th aktivitesinin ise 92,40 Bq/kg değeri ile 7 numaralı

örnek bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Tablo 58'deki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, aktivite konsantrasyonunun 262,64 Bq/kg ile 727,74 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 510,44 Bq/kg olduğu görülmüştür. Toprak örneklerinin 2 tanesinde yapay radyoaktif ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 20,75 Bq/kg olduğu görülmüştür.

Tablo 58 irdelendiğinde, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının en yüksek olarak tespit edildiği örnek noktasında ^{238}U aktivitesinin, Tonya ilçesi toprak örneklerinde bulunan ortalama ^{238}U aktivitesinde 1,32 kat büyük ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun ortalama olarak belirlenen değerinden 2,72 kat daha düşük değerinde olduğu, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek tespit edildiği örnek noktasındaki ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının da, ^{232}Th ve ^{40}K için belirlenen ortalama aktivite konsantrasyonlarından sırasıyla 1,93 ve 1,14 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Tonya ilçesinden alınan toprak örneklerindeki ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları literatür ile kıyaslandığında, aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,15 kat, 1,36 kat ve 1,28 kat fazla olduğu görülmüştür.

3.1.16.2. Tonya İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Tonya ilçesinde NaI dedektörü ile 17 farklı bölgede yerden 1 m yükseklikte yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları Tablo 59'da verilmektedir. Şekil 77'de ise bina içi ve bina dışında ölçülen gama dozlarının ölçüm yapılan bölgelere göre dağılımı görülmektedir.

Bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 10 nolu ölçüm bölgesinde 100,25 nGy/s olarak ve en düşük değer ise 17 nolu ölçüm bölgesinde 38,73 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Bina dışında yapılan ölçüm sonuçları incelendiğinde en yüksek gama dozunun yine 10 nolu ölçüm bölgesinde 11,80 nGy/s olarak ve en düşük değer de 27,84 nGy/s olarak 17 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Tonya ilçesi için bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 61,67 nGy/s ve bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 64,12 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina dışı ve bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında, en küçük bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,39 kat, en yüksek bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,21 kat ve ortalama olarak belirlenen bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,04 kat farklılık olduğu tespit edilmiştir.

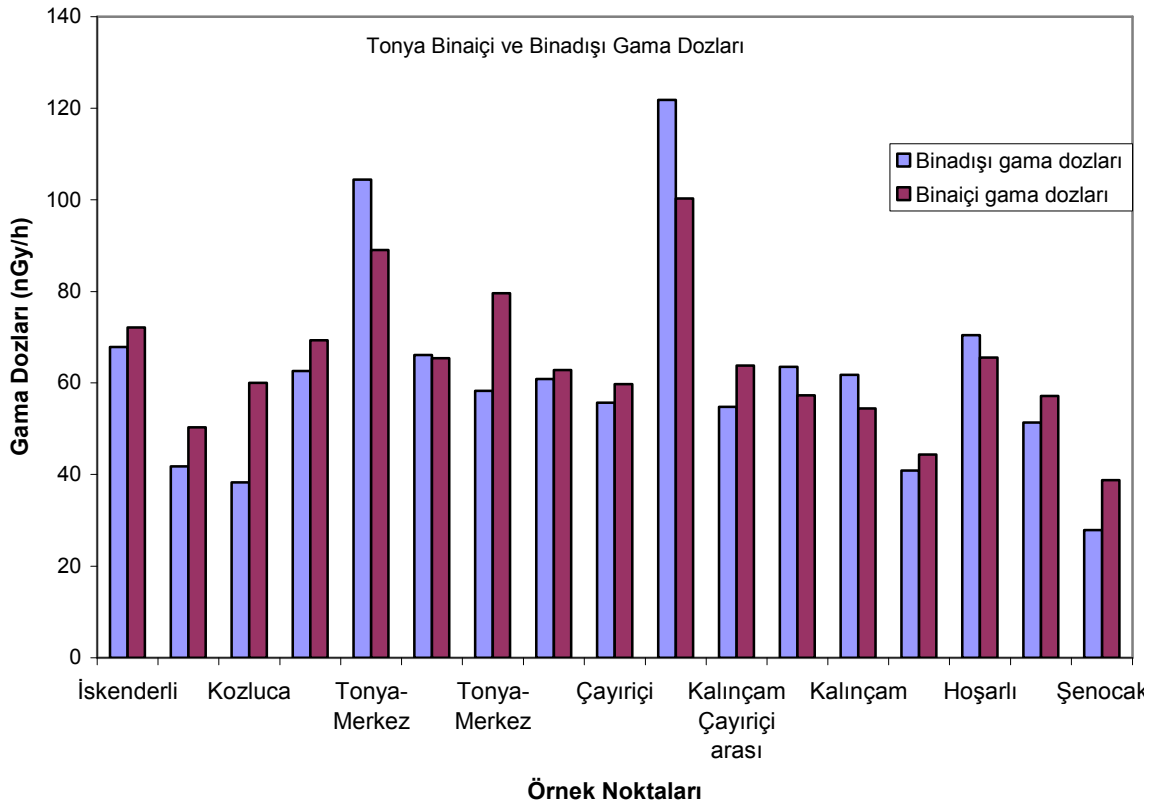
Tablo 59. Tonya ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	İskenderli	67,86	83,22	72,14	353,89
2	İskenderli	41,76	51,21	50,32	246,85
3	Kozluca	38,28	46,95	60,02	294,43
4	Yakçukur	62,64	76,82	69,34	340,15
5	Tonya Merkez	104,4	128,04	88,97	436,45
6	Tonya Merkez	66,12	81,09	65,43	320,97
7	Tonya Merkez	58,29	71,49	79,65	390,73
8	Çayırıcı	60,90	74,69	62,80	308,07
9	Çayırıcı	55,68	68,29	59,76	293,16
10	Çayırıcı Tonya arası	121,8	149,38	100,25	491,79
11	Kalınçam Çayırıcı arası	54,81	67,22	63,79	312,93
12	Kalınçam	63,51	77,89	57,32	281,19
13	Kalınçam	61,77	75,75	54,41	266,91
14	Çamlı	40,89	50,15	44,36	217,61
15	Hoşarlı	70,47	86,42	65,58	321,71
16	Kayacan yolu	51,33	62,95	57,16	280,40
17	Şenocak	27,84	34,14	38,73	189,99
ORT:		61,67	75,63	64,12	314,54

Bina içinde belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 314,54 μ Sv/y ve dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 75,63 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerlerin, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçük olduğu sonucuna ulaşılmıştır (ICRP, 1990).

Tablo 58 ve Tablo 59 beraber değerlendirilecek olursa, toprak örneklerinde en yüksek ^{238}U , aktivite konsantrasyonunun belirlendiği 10 nolu örnek bölgesinde, portatif NaI dedektörü kullanılarak yapılan ölçümler neticesinde, hem bina içi hem de bina dışı gama dozlarının da diğer örnek noktalarına kıyasla en yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 59'daki bina içi ve bina dışı gama dozları ile Tablo 58'deki toprak örneklerinden hesaplanan gama dozları beraber değerlendirildiğinde, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ve bina içinde ölçülen ortalama gama dozu değerine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca NaI dedektörü ile ölçülen bina içi gama dozu ölçümlerinin ortalama değerinin bina dışı gama dozunun ortalama değerinden fazla olması, bu ilçe için, bina içi gama dozuna, topraktan gelen karasal kaynaklı radyonüklitlere ek olarak yapı malzemelerinden de bir katkının geldiği kanıtlanmaktadır.

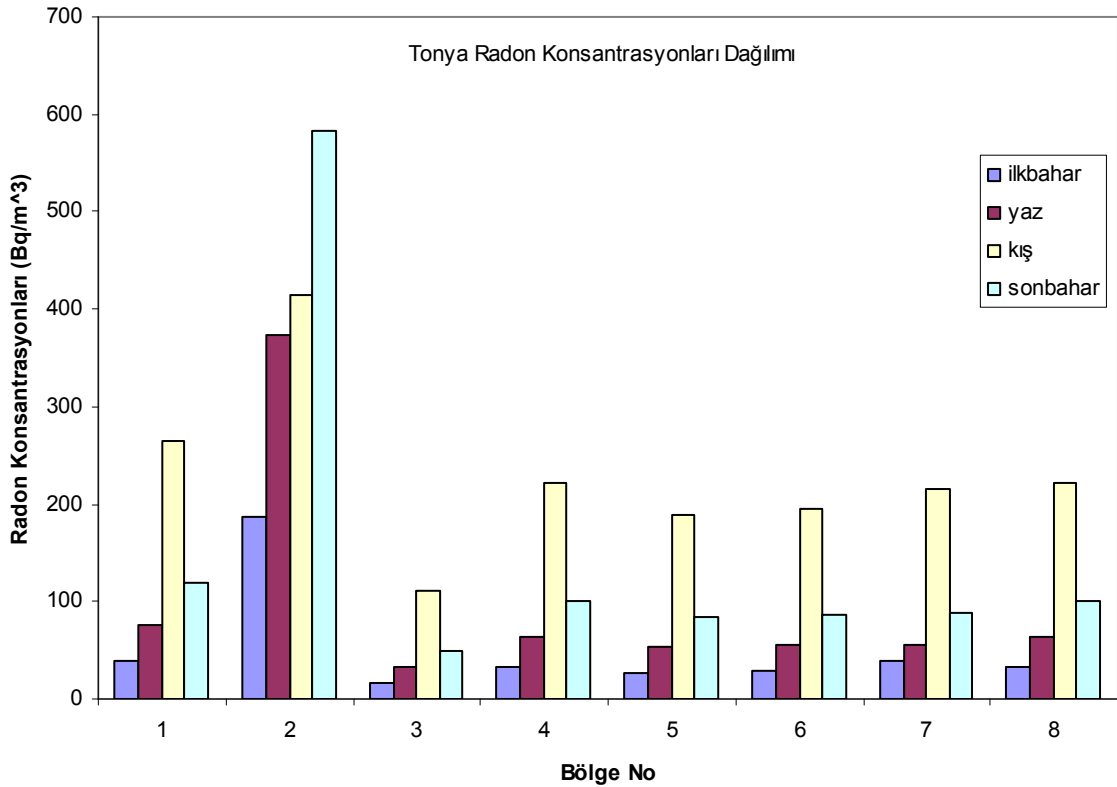


Şekil 77. Tonya ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 59'a bakıldığında, Tonya ilçesinde yapılan yerine ölçümlerde 6 ölçüm bölgesinde bina dışı gama dozunun aynı noktada ölçülen bina içi gama dozuna göre daha yüksek değerde olduğu, hatta bu bölgelerden birinin de en yüksek bina içi ve bina dışı gama dozu değerlerinin belirlendiği 10 nolu ölçüm bölgesi olduğu tespit edilmiştir. Bina dışı gama dozu değerlerinin bina içi gama dozu değerlerinden daha büyük olduğu bu 6 bölge için, binalerin yapımında kullanılan yapı malzemelerinin dış gama dozunu soğurma etkisi gösterdiği sonucuna varılabilmektedir.

3.1.16.3. Tonya İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Tonya ilçesinde ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişiminin belirlenmesi için yapılan çalışmanın sonuçları Tablo 60'da verilmektedir. Yine Tablo 60'da, radon dozimetrelerinin dağıtıldığı evlerin kat numaraları ve radondan dolayı insanların maruz kaldıkları yıllık etkin doz değerleri görülmektedir. Ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 78'de görülmektedir.



Şekil 78. Tonya ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

Tablo 60'a bakıldığında, Tonya ilçesinde radon dozimetresi dağıtılan 8 ev için ilkbahar mevsiminde, evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 16 Bq/m³, maksimum değeri 187 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 50 Bq/m³ olarak bulunmuştur.

Tablo 60. Tonya ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	AEDE (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	
1	3	38	76	264	119	3,13
2	Zemin	187	374	415	583	9,83
3	5	16	32	111	50	1,32
4	3	32	64	222	100	2,64
5	4	27	54	188	84	2,23
6	4	28	56	195	87	2,31
7	3	39	55	216	88	2,51
8	3	32	64	222	100	2,64
ORT:		50	97	229	151	3,33

Yaz mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun 32 Bq/m³ ile 374 Bq/m³ arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 97 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. Kış mevsimi için yapılan çalışmada evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 111 Bq/m³, maksimum değeri 415 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 229 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Sonbahar döneminde ise radon konsantrasyonunun 50 Bq/m³ ile 583 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama konsantrasyonunun 151 Bq/m³ olduğu bulunmuştur.

Bu ilçede tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyonları dikkate alınarak, insanların bir yıl içinde aldığı, radondan kaynaklanan radyasyon dozu eşdeğeri 3,33 mSv/y olarak hesaplanmıştır.

Tablo 60 irdelendiğinde, 5. katta bulunan yıllık ortalama radon konsantrasyonunun 390 Bq/m³ değeri ile Tonya ilçesi için belirlenen yıllık ortalama radon konsantrasyonundan 2,95 katı daha büyük bir değer olduğu görülmektedir. Tonya ilçesinde

dozimetrelerinin dağıtıldığı evlerin kat sıralamasına göre analizleri yapıldığında, 3., 4., ve 5. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 108 Bq/m³, 90 Bq/m³ ve 52 Bq/m³ değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Yani bina zemininden uzaklaştıkça ev içi radon konsantrasyonunda bir azalma söz konusu olmaktadır. Bu sonuçlardan yola çıkılarak, Tonya ilçesindeki evlerde radonun asıl kaynağının bina zeminindeki toprak olduğu belirlenmiştir.

3.1.16.4. Tonya İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Tonya ilçesinde 9 örnek noktasında NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 61’de verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 79’da gösterilmektedir. Tablo 61 irdelendiğinde, belirlenen ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,068 µCi, 0,059 µCi, 0,583 µCi ve 0,036 µCi olarak bulunmuştur.

Tablo 61. Tonya ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

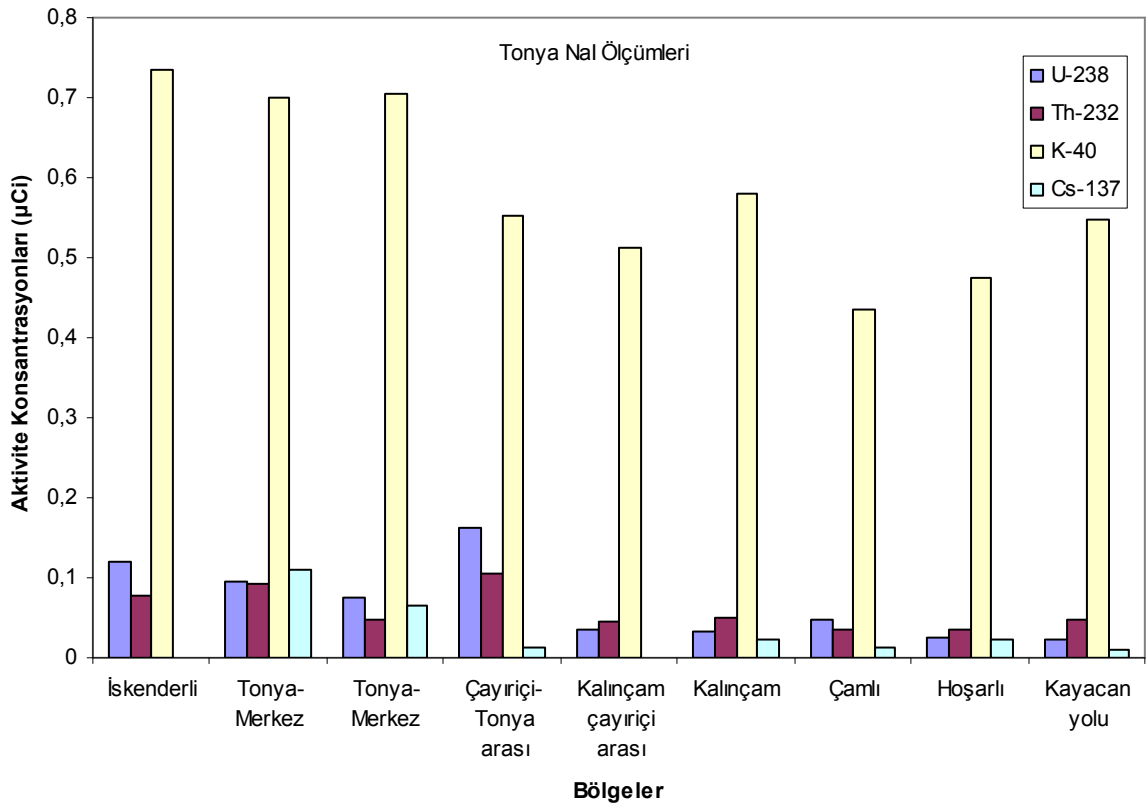
No	Yer Adı	²³⁸ U (µCi)	²³² Th (µCi)	¹³⁷ Cs (µCi)	⁴⁰ K (µCi)
1	İskenderli	0,121±0,008	0,077±0,004	-	0,736±0,013
2	Tonya Merkez	0,095±0,007	0,093±0,006	0,110±0,011	0,701±0,012
3	Tonya Merkez	0,074±0,007	0,048±0,005	0,065±0,005	0,705±0,011
4	Çayırıcı Tonya arası	0,163±0,011	0,106±0,009	0,013±0,002	0,553±0,009
5	Kalınçam çayırıcı arası	0,035±0,003	0,044±0,002	-	0,512±0,011
6	Kalınçam	0,033±0,004	0,051±0,004	0,022±0,002	0,579±0,009
7	Çamlı	0,048±0,006	0,034±0,002	0,012±0,001	0,436±0,007
8	Hoşarlı	0,025±0,002	0,035±0,003	0,023±0,003	0,474±0,006
9	Kayacan yolu	0,022±0,002	0,047±0,004	0,010±0,001	0,548±0,010
ORT:		0,068±0,003	0,059±0,002	0,036±0,004	0,583±0,002

Elde edilen bulgulara bakıldığında, ²³⁸U ve ²³²Th aktivitelerinin en büyük değerlerinin sırasıyla 0,163 µCi ve 0,106 µCi olarak 4 nolu ölçüm bölgesinde, ⁴⁰K aktivitesinin en büyük değerinin 0,736 µCi olarak 1 nolu İskenderli ölçüm bölgesinde ve

^{137}Cs aktivitesinin en büyük değerinin $0,110 \mu\text{Ci}$ olarak 2 nolu ölçüm bölgesinde olduğu görülmektedir.

Tonya ilçesinde NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonucu belirlenen ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun, ^{232}Th aktivite konsantrasyonundan 1,15 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 58 ile Tablo 61 kıyaslandığında, NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ^{238}U ve ^{232}Th aktivitesinin belirlendiği ölçüm bölgesi toprağında da ^{238}U , aktivitesinin en büyük değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Tablolar ^{137}Cs radyoizotopu açısından kıyaslandığında, hem toprak analizlerinde hem de portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerde, aynı ölçüm noktalarında ^{137}Cs radyoizotopunun en büyük aktivite konsantrasyonuna sahip olduğu görülmüştür. Tonya ilçesi için ölçüm sonuçlarını etkileyen en önemli etkinin karasal kökenli radyonüklitlerden geldiği belirlenmiştir.



Şekil 79. Tonya ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

3.1.17. Vakfikebir İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.17.1. Vakfikebir İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Vakfikebir ilçesinden alınan toprak örneklerinin yapılan spektrometrik analizleri sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları ile bu aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 62’de, aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı ise Şekil 80’de verilmektedir.

Toplanan 9 toprak örneğinin analizinden elde edilen verilerle oluşturulan Tablo 62, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları açısından irdelendiğinde, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun ^{232}Th aktivite konsantrasyonunda 2,43 kat fazla olduğu görülmektedir.

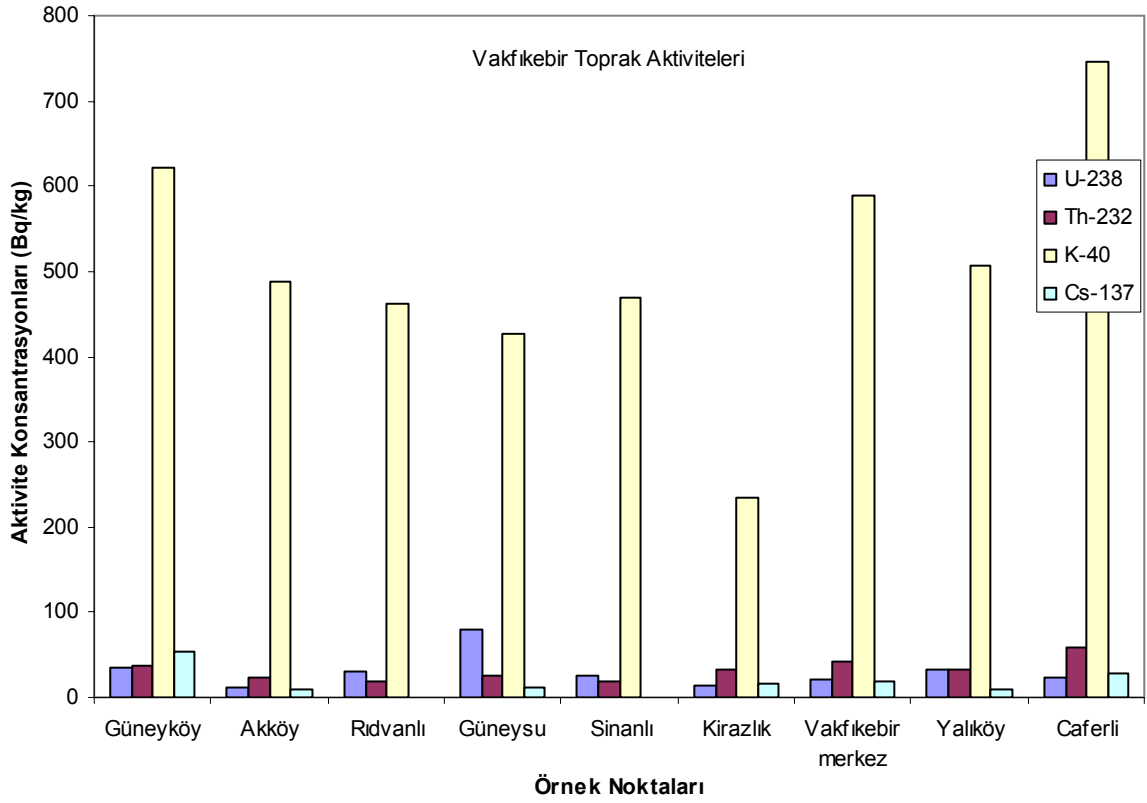
Bu ilçe için, en düşük ^{238}U aktivitesi 12,85 Bq/kg olarak 2 nolu Akköy örnek bölgesinde, en yüksek ^{238}U aktivitesi 78,77 Bq/kg olarak 4 nolu Güneysu bölgesinde, en düşük ^{232}Th aktivitesi 18,34 Bq/kg olarak 3 numaralı Rıdvanlı bölgesinde, en yüksek ^{232}Th aktivitesi ise 57,63 Bq/kg olarak 9 nolu Caferli bölgesinde tespit edilmiştir. Tablo 62’deki ^{40}K aktivite konsantrasyonlarına bakıldığında, aktivite konsantrasyonunun 234,27 Bq/kg ile 745,16 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 504,93 Bq/kg olduğu görülmüştür. Toprak örneklerinin yalnızca 2 tanesinde yapay radyoaktif ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamış ve diğer örnek bölgeleri içinde de en yüksek aktivite konsantrasyonunun 1 numaralı örnek bölgesinde 53,33 Bq/kg değerinde olduğu belirlenmiştir.

^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en düşük olarak tespit edildiği örnek noktasında ^{238}U aktivitesinin, Vakfikebir ilçesi toprak örneklerinde bulunan ortalama ^{238}U aktivitesi ile hemen hemen aynı düzeyde olduğu, ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,09 kat düşük değerde olduğu ve bu bölgede ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmadığı belirlenmiştir.

Tablo 62. Vakfikebir ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Güneyköy	35,97±3,23	37,18±6,19	53,33±4,03	622,45±33,42	65,03	79,75
2	Akköy	12,85±2,03	24±4,09	9,76±2,55	487,08±25,42	40,74	49,97
3	Rıdvanlı	29,61±2,55	18,34±5,31	-	463,27±25,24	44,08	54,05
4	Güneysu	78,77±4,30	25,02±4,04	11,1±2,51	426,67±23,97	69,30	84,98
5	Sinanlı	25,41±2,43	19,76±4,33	-	468,68±25,12	43,22	53,00
6	Kirazlık	13,08±1,71	33,59±6,31	16,18±2,49	234,27±14,19	36,10	44,27
7	Vakfikebir merkez	20,22±3,46	41,86±4,61	19,67±1,56	589,12±26,48	59,19	72,59
8	Yalıköy	32,76±3,03	33,11±6,64	8,9±3,86	507,65±28,02	56,30	69,05
9	Caferli	23,39±2,42	57,63±7,71	28,27±3,50	745,16±37,25	76,69	94,05
ORT:		30,23±0,79	32,28±1,31	21,03±0,89	504,93±6,41	54,52	66,86

²³⁸U aktivite konsantrasyonunun en yüksek tespit edildiği örnek noktasındaki ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının ortalama olarak belirlenen değerlerinden sırasıyla 1,29, 1,18 ve 1,89 kat düşük değerde olduğu tespit edilmiştir. ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun en düşük tespit edildiği örnek noktasındaki ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının ise ortalama olarak belirlenen değerlerinden sırasıyla 1,35, 1,04 ve 2,15 kat düşük değerde olduğu tespit edilmiştir. ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonunun en yüksek tespit edildiği örnek noktasındaki ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının ortalama olarak belirlenen değerlerinden sırasıyla 1,19, 1,15 ve 1,23 kat yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Tablo 62 irdelendiğinde, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının en büyük değerlerinin tespit edildiği 9 nolu Caferli örnek bölgesinde ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,29 kat düşük ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonunun ortalama değerinden 1,34 kat büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 80. Vakfıkebir ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Vakfıkebir ilçesi toprak örneklerindeki ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının, dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 1,16 ve 2,42 kat düşük olduğu, ^{40}K aktivite konsantrasyonunun ise dünya ortalaması değerinden 1,26 kat daha büyük olduğu görülmüştür.

3.1.17.2. Vakfıkebir İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Vakfıkebir ilçesinde toprak örneklerinin alındığı noktalarda, portatif NaI dedektörü ile yapılan ölçümlerle bina içi ve bina dışı gama dozları belirlenmiş olup, ölçüm sonuçları ve bu değerler kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 63'de verilmektedir. Şekil 81'de ise bina içi ve bina dışı gama dozlarının ölçüm bölgelerine göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 63 ve Şekil 81 beraber irdelendiğinde, bina dışında yapılan ölçüm sonuçları için, en düşük gama dozunun 6 nolu Kirazlık ölçüm bölgesinde 36,54 nGy/s olarak ve en

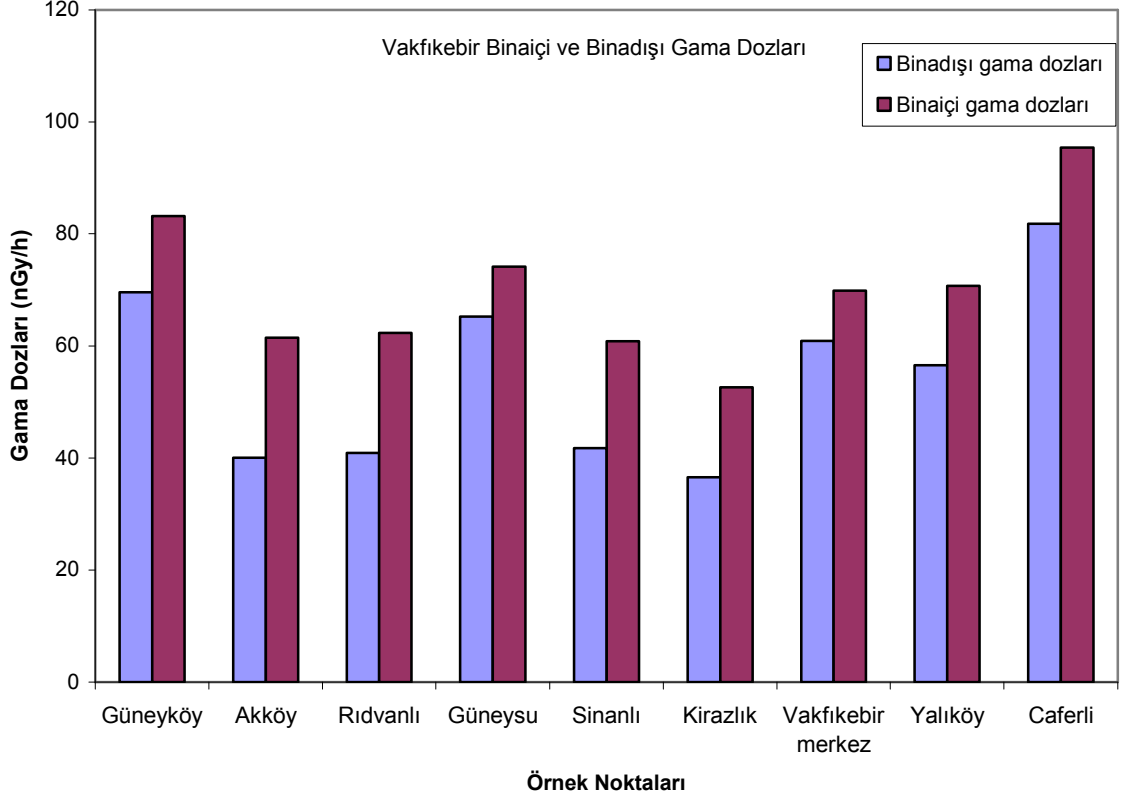
yüksek değerin de, 81,78 olarak 9 nolu Caferli ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında ise, en yüksek gama dozunun yine 9 nolu ölçüm bölgesinde 95,38 nGy/s olarak ve en düşük değerin de 52,64 nGy/s olarak 6 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir.

Tablo 63. Vakfıkebir ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)	D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
1	Güneyköy	69,6	85,36	83,14	407,85
2	Akköy	40,02	49,08	61,47	301,55
3	Rıdvanlı	40,89	50,15	62,35	305,86
4	Güneysu	65,25	80,02	74,2	364,00
5	Sinanlı	41,76	51,21	60,86	298,55
6	Kirazlık	36,54	44,81	52,64	258,23
7	Vakfıkebir merkez	60,9	74,69	69,87	342,75
8	Yalıköy	56,55	69,35	70,74	347,02
9	Caferli	81,78	100,29	95,38	467,90
ORT:		54,81	67,22	70,07	343,75

Vakfıkebir ilçesinde bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 54,81 nGy/s ve standart sapması 15,86 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Dış gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 67,22 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 μ Sv/y (UNSCEAR, 2000) değerinden düşüktür. Ayrıca hesaplanan bu ortalama değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden oldukça küçüktür (ICRP, 1990). Bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması ise 70,07 nGy/s ve standart sapması 13,00 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Bina içi gama doz hızı kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 343,75 μ Sv/y olarak bulunmuştur. Bu değer, bina dışı gama dozu hızından elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerinden 5,11 kat daha fazladır. Aynı zamanda bu ortalama değer,

yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerine kıyasla küçük bir değer olduğu görülmektedir.



Şekil 81. Vakfıkebir ilçesi gama dozlarının dağılımı

Tablo 62 ve Tablo 63 birlikte değerlendirilecek olursa, toprak örneklerinin analizi sonucu bulunan radyonüklitler kullanılarak hesaplanan gama dozunun 36,10 nGy/s değeri ile en düşük olduğu 6 numaralı Kirazlık ölçüm bölgesinde, portatif dedektörle ölçülen bina dışı ve bina içi gama dozlarının da en düşük değere ve topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan gama dozunun 76,69 nGy/s değeri ile en yüksek olduğu 9 numaralı Caferli ölçüm bölgesinde portatif dedektörle ölçülen bina dışı ve bina içi gama dozlarının da en büyük değere sahip olduğu belirlenmiştir.

Vakfıkebir ilçesi ölçüm bölgeleri incelendiğinde, portatif NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucu belirlenen ortalama gama dozu değerlerinin topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değeri ile hemen hemen aynı olduğu yani bu ilçede gama dozuna kozmik ışınlardan gelen katkının karasal kökenli radyonüklitlerden gelen katkının yanında önemsiz boyutta olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.

3.1.17.3. Vakfikebir İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Vakfikebir ilçesi evlerindeki ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimini ve yıllık etkin doz eşdeğerlerini belirlemek için yapılan çalışmanın sonuçları Tablo 64'de ve radon konsantrasyonlarının evlere göre mevsimsel dağılımı ise Şekil 82'de gösterilmektedir.

Tablo 64 incelendiğinde, radon dozimetresi dağıtılan 6 ev için ilkbahar mevsiminde, evlerdeki radon konsantrasyonunun 13-37 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama değer 25 Bq/m³ olarak bulunduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun 26 Bq/m³ ile 74 Bq/m³ arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 51 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. Kış dönemi için elde edilen verilere bakıldığında, radon konsantrasyonunun minimum değeri 90 Bq/m³, maksimum değeri 257 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 176 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde ise radon konsantrasyonunun 41 Bq/m³ ile 115 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama konsantrasyonunun 79 Bq/m³ olduğu bulunmuştur.

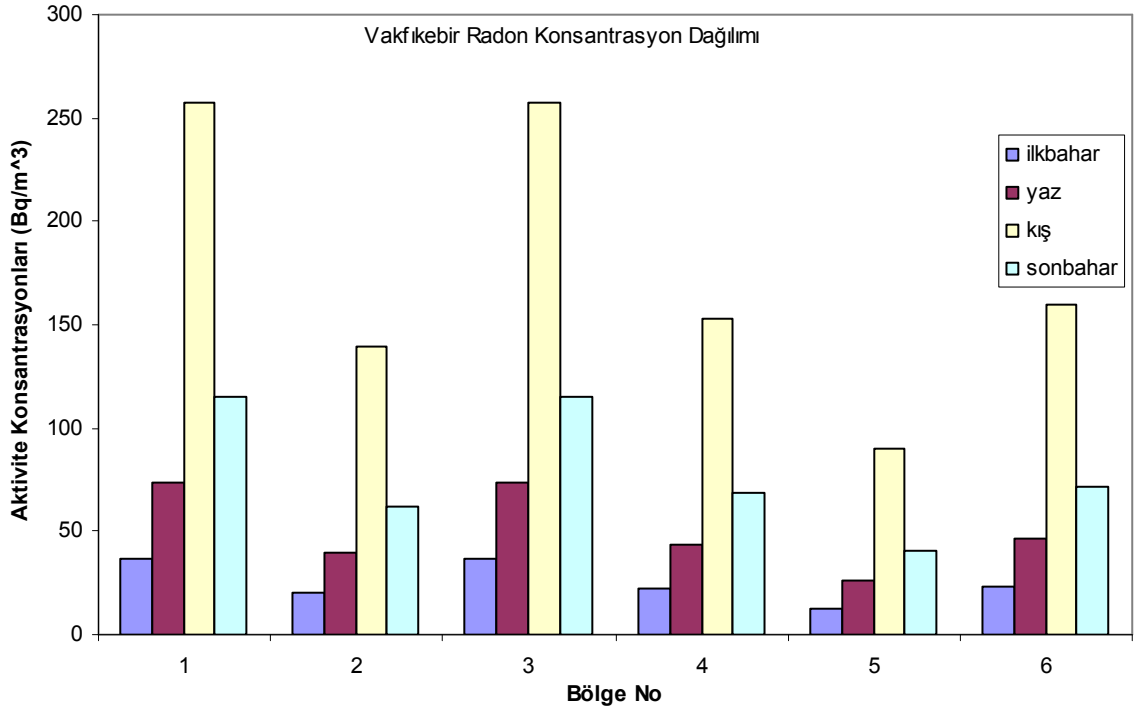
Tablo 64. Vakfikebir ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	AEDE (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	
1	3	37	74	257	115	3,05
2	4	20	40	139	62	1,65
3	3	37	74	257	115	3,05
4	4	22	44	153	69	1,82
5	5	13	26	90	41	1,07
6	4	23	46	160	72	1,90
ORT:		25	51	176	79	2,09

Radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında en büyük değer kış mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri ve en küçük değer ilkbahar mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri olduğu görülmüştür. Radon

dozimetrelerinin dağıtıldığı evlerin kat sıralaması yapıldığında 3., 4. ve 5. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 121 Bq/m^3 , 71 Bq/m^3 ve 43 Bq/m^3 değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Radonun asıl kaynağının toprak olduğu düşünüldüğünde, elde edilen sonuçların anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu ilçede tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyonları dikkate alınarak, ortalama radon konsantrasyonu 83 Bq/m^3 ve insanların bir yıl içinde aldığı, radondan kaynaklanan radyasyon dozu eşdeğeri $2,09 \text{ mSv/y}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) ve Uluslararası Radyasyon'dan Korunma Komitesi (ICRP)'nin evlerde radon konsantrasyonu için izin verilebilir seviyeyi olan 400 Bq/m^3 veya 10 mSv değerleriyle karşılaştırıldığında düşük bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır (ICRP, 1990).



Şekil 82. Vakfikebir ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

3.1.17.4. Vakfikebir İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

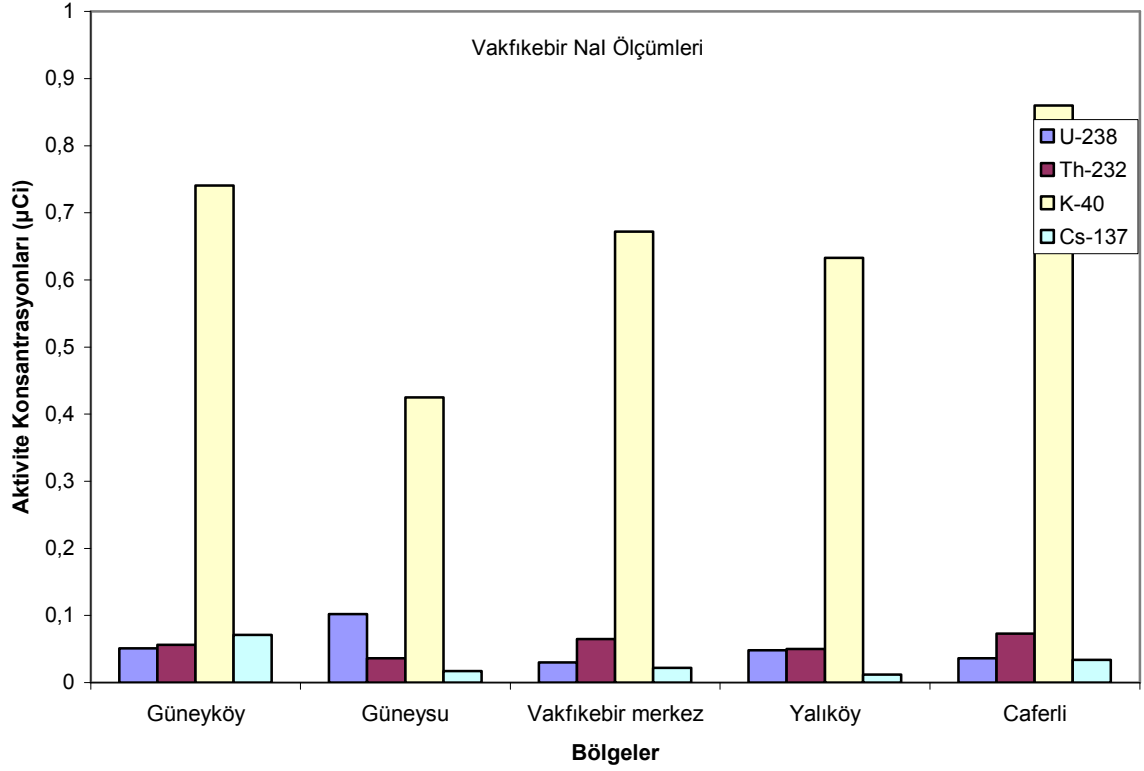
Vakfikebir ilçesinde NaI dedektörü ile yapılan yerinde ölçümlerin sonucunda tespit edilen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 65'de ve bulunan bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre değişimi Şekil 83'de gösterilmektedir.

Verilere incelendiğinde, en büyük ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının Güneysu örnek noktasında sırasıyla 0,073 μCi ve 0,860 μCi olarak bulunduğu görülmektedir. Ölçüm yapılan bölgelerin hepsinde ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmakla beraber bu ilçede ^{137}Cs aktivitesinin ortalama değeri 0,031 μCi olarak bulunmuştur. ^{238}U aktivitesine bakıldığında, en büyük aktivite konsantrasyonunun Vakfıkebir merkez ölçüm bölgesinde ve en küçük aktivite konsantrasyonunun Yalıköy bölgesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 65.Vakfıkebir ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Güneyköy	0,051±0,004	0,056±0,004	0,071±0,006	0,741±0,012
2	Vakfıkebir merkez	0,102±0,010	0,036±0,003	0,017±0,002	0,425±0,008
3	Yalıköy	0,030±0,003	0,065±0,006	0,022±0,003	0,672±0,013
4	Caferli	0,048±0,004	0,050±0,003	0,012±0,002	0,633±0,013
5	Güneysu	0,036±0,003	0,073±0,005	0,034±0,004	0,860±0,014
ORT:		0,053±0,003	0,056±0,001	0,031±0,002	0,666±0,002

Tablo 62 ve Tablo 65 birlikte incelendiğinde, yerinde ölçümlerle ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerlerinin belirlendiği Güneyköy bölgesinden alınan toprak örneklerinde, de ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinde olduğu görülmektedir. Yerinde yapılan ölçümlerde ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının en yüksek değerlerinin ölçüldüğü Güneysu bölgesinde ^{238}U aktivite konsantrasyonu da ortalama değerinden 1,92 kat daha büyük olarak belirlenmekle beraber bu noktadan alınan toprak örneğinde de ^{238}U aktivite konsantrasyonu en büyük değerinde olduğu görülmektedir.



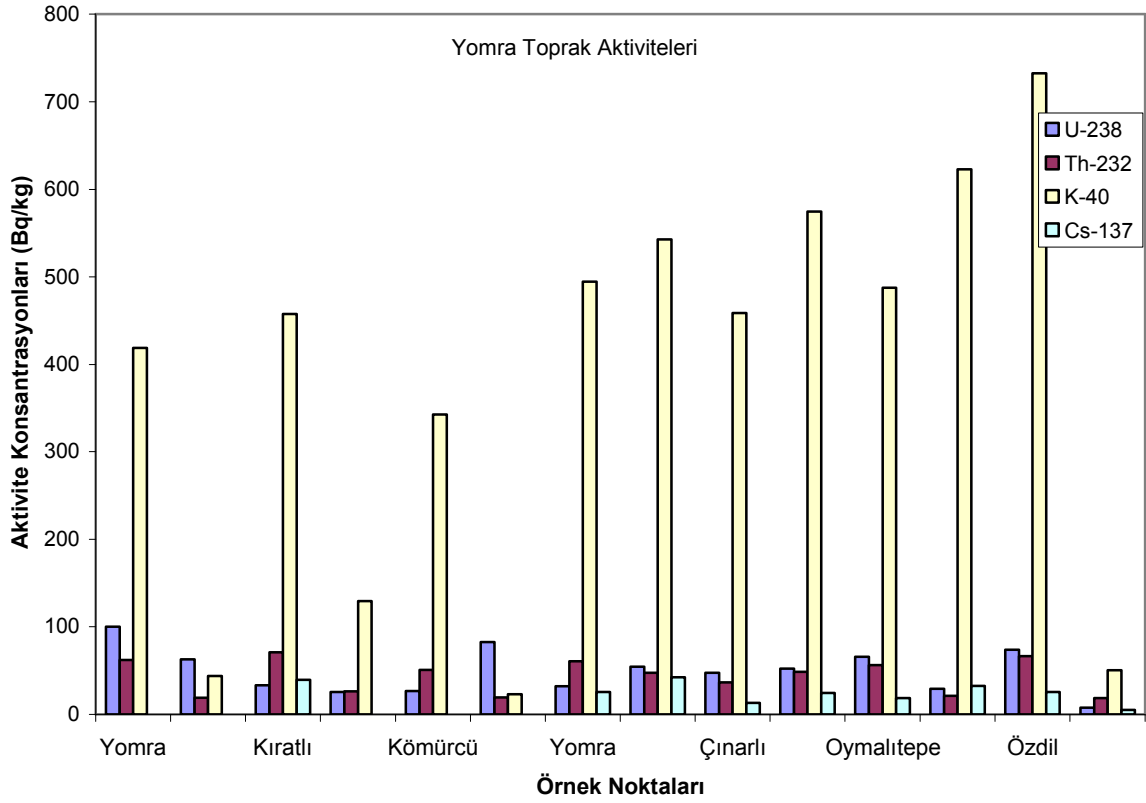
Şekil 83. Vakfıkebir ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Verilere göre, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama aktivite konsantrasyonlarının birbirine çok yakın değerlerde olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

3.1.18. Yomra İlçesi Analiz Sonuçları

3.1.18.1. Yomra İlçesi Toprak Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Yomra ilçesinden toplanan 14 toprak örneğinin yapılan spektrometrik analizlerinde, toprak örneklerinde bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları, bu aktivitelerden yararlanılarak hesaplanan gama dozları (D) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri (AEDE) Tablo 66'da ve Şekil 84'de ise bu aktivite konsantrasyonlarının örnek noktalarına göre dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 84. Yomra ilçesi topraklarındaki aktivite seviyeleri

Toprak örneklerindeki ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,15 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu ilçede, en düşük ^{238}U aktivitesinin 7,62 Bq/kg değeri ile 14 numaralı örnek bölgesinde, en yüksek aktivitesinin ise 100,21 Bq/kg değeri ile 1 numaralı örnek bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük ^{232}Th aktivitesinin 18,54 Bq/kg değeri ile yine 14 numaralı örnek bölgesinde, en yüksek ^{232}Th aktivitesinin ise 70,71 Bq/kg değeri ile 3 numaralı Geçitli bölgesinde olduğu belirlenmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonuna bakıldığında, topraklarındaki aktivite konsantrasyonu 22,85 Bq/kg ile 732,58 Bq/kg değerleri arasında değişim göstermekte ve ortalama aktivite konsantrasyonu 384,19 Bq/kg olarak hesaplanmaktadır. Toprak örneklerinde düşük konsantrasyonlarda bile olsa ^{137}Cs radyonüklidine rastlanmıştır ve en yüksek aktivite konsantrasyonu 42,21 Bq/kg olarak belirlenmiştir.

Tablo 66. Yomra ilçesi topraklarındaki radyonüklit aktivite konsantrasyonları

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Yomra	100,21±6,95	62,07±9,29	-	418,83±23,04	101,25	124,18
2	Çukur	62,62±4,85	19,09±4,70	-	43,79±3,01	42,29	51,86
3	Kıratlı	33,13±3,15	70,71±7,54	39,47±3,24	457,49±22,92	77,09	94,55
4	Gülyurdu	25,42±0,86	26,45±2,91	-	129,59±7,90	33,12	40,62
5	Kömürcü	26,70±2,04	50,77±2,27	-	342,58±6,47	57,29	70,26
6	Kayabaşı	82,63±5,32	19,36±4,31	-	22,85±1,56	50,82	62,33
7	Yomra	32,03±4,15	60,61±5,81	25,63±3,56	494,46±22,11	72,03	88,33
8	Çamlıyurt	54,23±2,36	47,64±3,29	42,21±2,37	542,74±10,96	76,46	93,77
9	Çınarlı	47,38±1,26	36,54±4,31	13,05±3,26	458,63±6,45	63,08	77,37
10	Kılıçlı	52,21±4,60	48,62±3,26	24,63±1,24	574,31±5,89	77,44	94,97
11	Oymalıtepe	65,82±5,48	56,39±5,11	18,69±2,09	487,32±7,21	84,79	103,99
12	Madenköy	29,07±3,12	21,05±2,09	32,47±3,15	623,08±4,13	52,13	63,93
13	Özdil	73,59±4,29	66,42±3,87	25,38±4,06	732,58±5,46	104,66	128,36
14	Yalıncağ	7,62±0,96	18,54±4,29	5,27±1,79	50,34±3,33	16,82	20,62
ORT:		49,48±1,87	43,16±1,98	25,20±0,92	384,19±7,60	64,95	79,65

Tablo 66 irdelendiğinde, ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin belirlendiği 1 nolu örnek bölgesinde ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının Yomra ilçesi için belirlenen ortalama değerlerinden sırasıyla 1,44 ve 1,09 kat daha büyük olduğu görülmektedir. Bu örnek bölgesinde ¹³⁷Cs radyonüklitine ise rastlanmamıştır.

²³²Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinin ölçüldüğü 3 numaralı Kıratlı örnek noktasında ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun, ortalama ²³⁸U aktivite konsantrasyonundan 1,49 kat düşük, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonlarının ise ortalama olarak belirlenen değerlerinden sırasıyla 1,19 ve 1,57 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. ⁴⁰K aktivite konsantrasyonunun en yüksek değerinin ölçüldüğü 13 numaralı örnek bölgesinde ²³⁸U ve ²³²Th aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerlerinden 1,49 ve 1,54 kat büyük ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonunun ortalama civarında olduğu görülmektedir.

3.1.18.2. Yomra İlçesi Bina İçi-Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Yomra ilçesinde NaI dedektörü ile 14 farklı bölgede yapılan ölçümler sonucunda elde edilen bina içi ve bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları Tablo 67’de verilmektedir. Şekil 85’de ise bina içi ve bina dışında ölçülen gama dozlarının ölçüm yapılan bölgelere göre dağılımı görülmektedir.

Tablo 67. Yomra ilçesi bina içi, bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

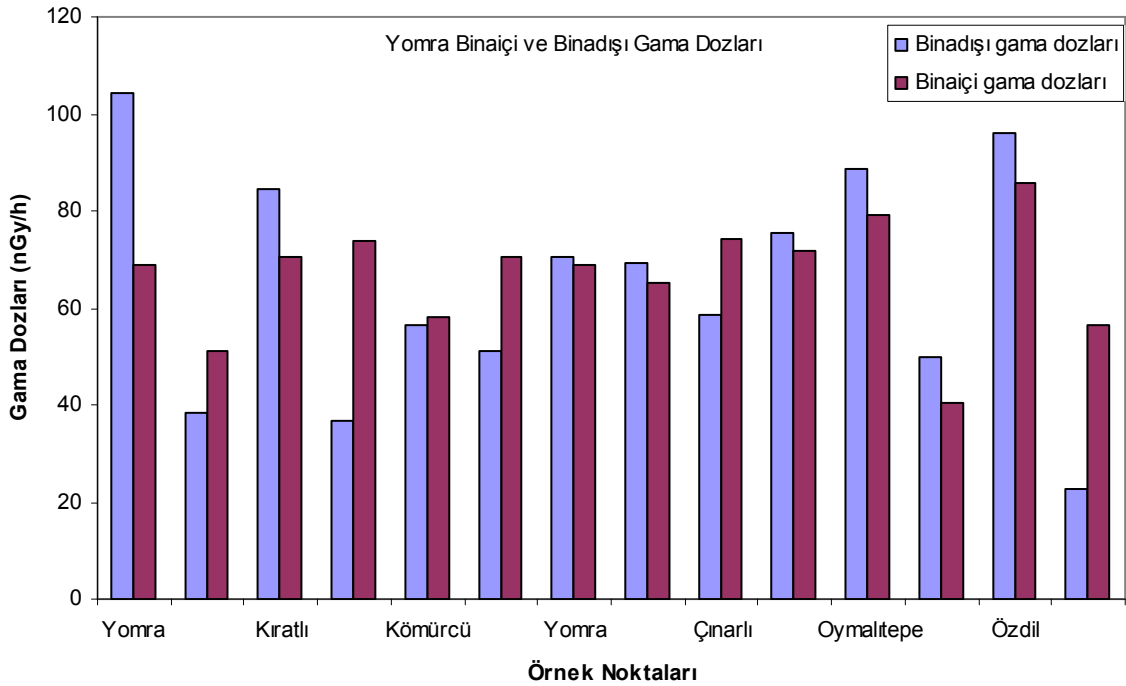
No	Yer Adı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	Yomra	104,4	128,04	68,73	337,16
2	Çukur	38,28	46,95	51,33	251,80
3	Kıratlı	84,39	103,50	70,47	345,70
4	Gülyurdu	36,54	44,81	73,95	362,77
5	Kömürcü	56,55	69,35	58,29	285,95
6	Kayabaşı	51,33	62,95	70,47	345,70
7	Yomra	70,47	86,42	68,73	337,16
8	Çamlıyurt	69,47	85,20	65,32	320,43
9	Çınarlı	58,42	71,65	74,06	363,31
10	Kılıçlı	75,38	92,45	71,61	351,29
11	Oymalıtepe	88,63	108,70	79,02	387,64
12	Madenköy	49,76	61,03	40,3	197,70
13	Özdil	96,19	117,97	85,63	420,07
14	Yalıncağ	22,62	27,74	56,55	277,41
ORT:		64,46	79,05	66,75	327,43

Bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 13 nolu ölçüm bölgesinde ve en düşük gama dozunun 12 nolu ölçüm bölgesinde olduğu görülmektedir. Bina dışında yapılan ölçüm sonuçları incelendiğinde en yüksek gama dozunun 1 nolu ölçüm bölgesinde ve en düşük değer de 14 nolu ölçüm bölgesinde belirlendiği görülmektedir. Yomra ilçesi için bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması

66,46 nGy/s ve bina içi gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 66,75 nGy/s olarak hesaplanmıştır.

Bina dışı ve bina içi ölçüm sonuçlarına bakıldığında, en küçük bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,78 kat, en yüksek bina dışı ve bina içi gama dozları arasında 1,22 kat farklılık olduğu fakat ortalama olarak belirlenen bina dışı ve bina içi gama dozları arasında farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 66 ve Tablo 67 beraber değerlendirilecek olursa, topraktaki radyonüklitlerden hesaplanan ortalama gama dozu değerinin, NaI dedektörü ile bina dışında ve bina içinde ölçülen ortalama gama dozu değerine çok yakın olduğu görülmektedir. Tüm bu veriler ışığında, bu ilçe için, bina içi gama dozuna, topraktan gelen karasal kaynaklı radyonüklitlere ek olarak yapı malzemelerinden de bir katkının geldiği kanıtlanmaktadır.



Şekil 85. Yomra ilçesi gama dozlarının dağılımı

3.1.18.3. Yomra İlçesindeki Evlerde Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Yomra ilçesinde ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişiminin belirlenmesi için yapılan çalışmanın sonuçları Tablo 68'de verilmektedir. Yine

Tablo 68’de, radon dozimetrelerinin dağıtıldığı evlerin kat numaraları ve radondan dolayı insanların maruz kaldıkları yıllık etkin doz değerleri görülmektedir.

Tablo 68’e bakıldığında, Yomra ilçesinde radon dozimetresi dağıtılan 13 ev için ilkbahar mevsiminde, evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 13 Bq/m³, maksimum değeri 143 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 40 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Yaz mevsiminde evlerdeki radon konsantrasyonunun 26 Bq/m³ ile 81 Bq/m³ arasında değiştiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 47 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir.

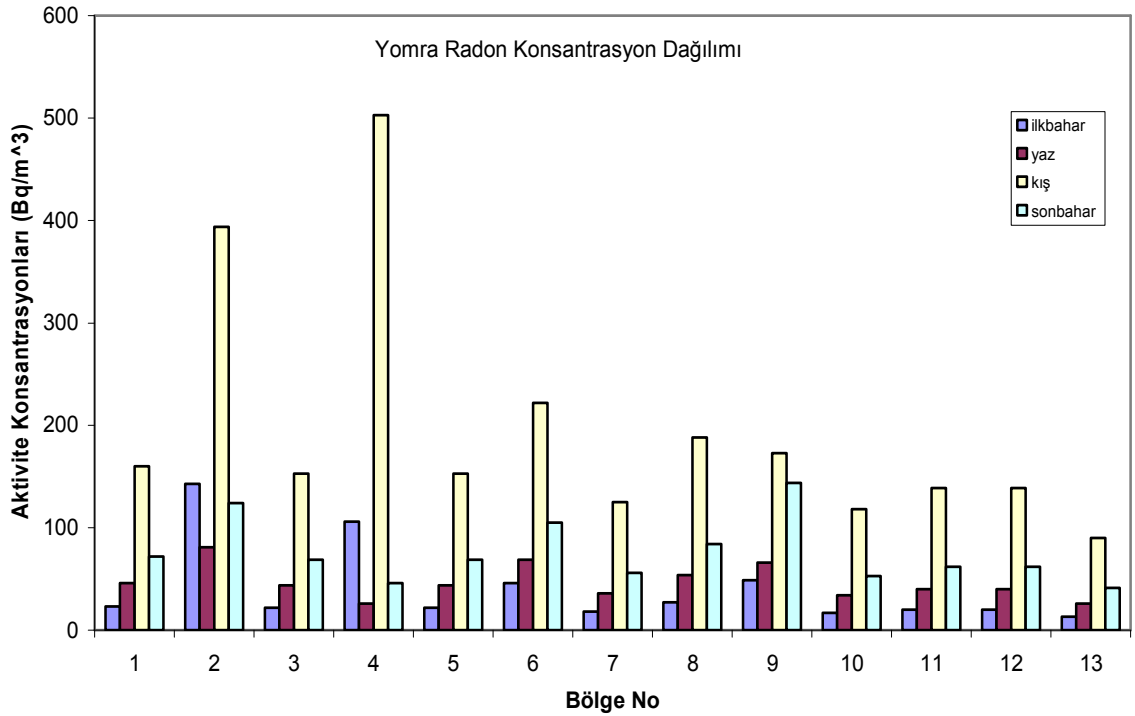
Tablo 68. Yomra ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Kış Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	AEDE (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	
1	4	23	46	160	72	1,90
2	Zemin	143	81	394	124	4,68
3	4	22	44	153	69	1,82
4	1	106	26	503	46	4,30
5	4	22	44	153	69	1,82
6	2	46	69	222	105	2,79
7	5	18	36	125	56	1,48
8	4	27	54	188	84	2,23
9	2	49	66	173	144	2,72
10	5	17	34	118	53	1,40
11	5	20	40	139	62	1,65
12	5	20	40	139	62	1,65
13	5	13	26	90	41	1,07
ORT:		40	47	197	76	2,27

Kış mevsimi için yapılan çalışmada evlerdeki radon konsantrasyonunun minimum değeri 90 Bq/m³, maksimum değeri 503 Bq/m³ olup ortalama değeri ise 197 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Sonbahar döneminde ise radon konsantrasyonunun 41 Bq/m³ ile 144 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama konsantrasyonunun 76 Bq/m³ olduğu

bulunmuştur. Tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyonları dikkate alınarak, insanların bir yıl içinde aldığı, radondan kaynaklanan radyasyon dozu eşdeğeri 2,27 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 86'da görülmektedir.

Yomra ilçesinde radon dozimetrelerinin dağıtıldığı evlerin kat sıralamasına göre analizleri yapıldığında, Zemin kat, 1., 2., 4., ve 5. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonunun sırasıyla 186 Bq/m³, 170 Bq/m³, 109 Bq/m³, 77 Bq/m³ ve 57 Bq/m³ değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında en büyük değer kış mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri ve en küçük değer ilkbahar mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri olduğu görülmüştür.



Şekil 86. Yomra ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

3.1.18.4. Yomra İlçesinde NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

Yomra ilçesinde 14 örnek noktasında NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 69'da verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise

Şekil 87’de gösterilmektedir. Tablo 69 irdelendiğinde, belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 0,068 μCi , 0,059 μCi , 0,476 μCi ve 0,037 μCi olarak bulunmuştur.

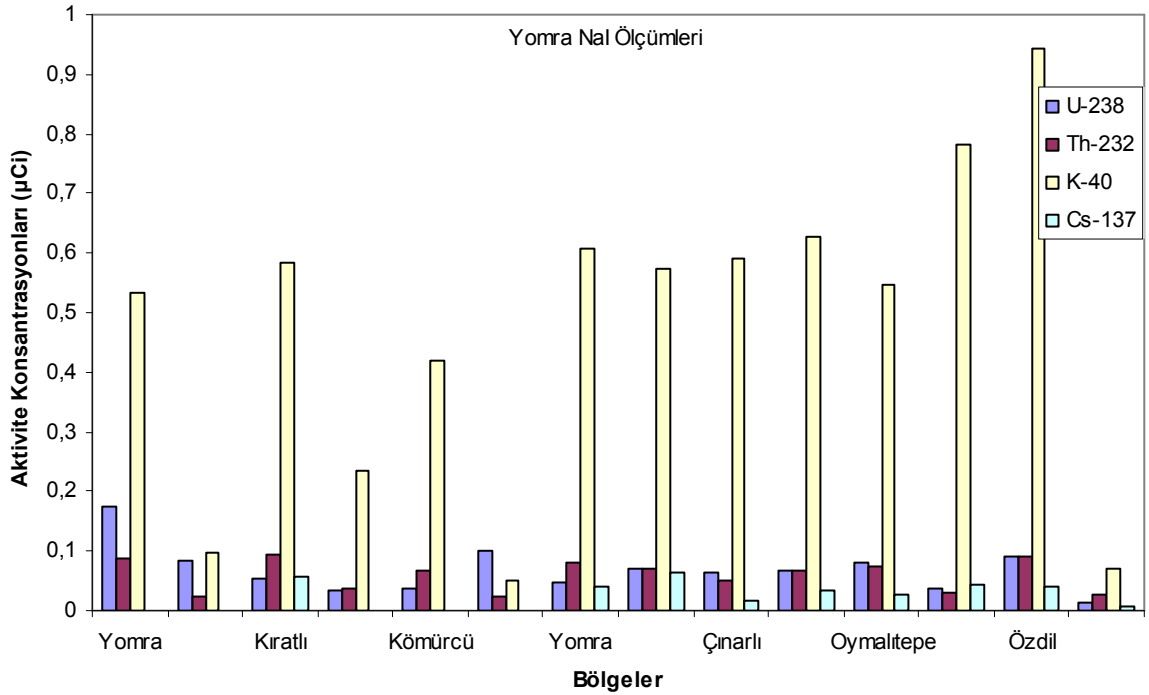
Elde edilen bulgular neticesinde, ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığı zaman, ortalama ^{238}U aktivitesinin ^{232}Th aktivitesinden 1,15 kat fazla çıktığı görülmüştür. ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının en büyük değerlerine sırasıyla 0,174 μCi ve 0,093 μCi olarak 1 nolu ölçüm noktası Yorma ve 3 nolu ölçüm noktası Kıratlı bölgelerinde rastlanıldığı görülmektedir.

Tablo 69. Yomra ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	^{238}U (μCi)	^{232}Th (μCi)	^{137}Cs (μCi)	^{40}K (μCi)
1	Yomra	0,174±0,014	0,087±0,006	-	0,532±0,016
2	Çukur	0,085±0,009	0,022±0,003	-	0,096±0,007
3	Kıratlı	0,054±0,004	0,093±0,007	0,058±0,006	0,584±0,010
4	Gülyurdu	0,033±0,004	0,036±0,005	-	0,235±0,009
5	Kömürcü	0,037±0,003	0,067±0,004	-	0,418±0,014
6	Kayabaşı	0,102±0,013	0,025±0,002	-	0,052±0,007
7	Yomra	0,046±0,007	0,081±0,009	0,041±0,005	0,607±0,013
8	Çamlıyurt	0,071±0,007	0,070±0,008	0,063±0,007	0,573±0,015
9	Çınarlı	0,063±0,006	0,052±0,004	0,016±0,004	0,591±0,014
10	Kılıçlı	0,068±0,005	0,066±0,007	0,035±0,005	0,629±0,016
11	Oymalıtepe	0,081±0,006	0,075±0,006	0,027±0,003	0,548±0,013
12	Madenköy	0,037±0,002	0,031±0,004	0,045±0,005	0,783±0,016
13	Özdil	0,092±0,008	0,092±0,008	0,040±0,005	0,944±0,015
14	Yalıncağ	0,015±0,003	0,026±0,005	0,007±0,001	0,072±0,006
ORT:		0,068±0,004	0,059±0,002	0,037±0,002	0,476±0,004

^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak belirlendiği ölçüm bölgesinde ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Yomra ilçesi için NaI dedektörü ile belirlenen ortalama ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının 1,47 kat ve 1,12 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan noktaların 5 tanesinde ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır.

^{40}K aktivite konsantrasyonunun en büyük değerini belirlediği Özdil bölgesinde, ^{238}U ve ^{232}Th aktivitelerinin $0,092 \mu\text{Ci}$ değerinde olduğu, bu değer de Yorma ilçesi için NaI dedektörü ile ^{238}U ve ^{232}Th için ortalama olarak hesaplanan değerlerinden sırasıyla 1,35 ve 1,56 kat yüksek olduğu, ayrıca ^{137}Cs aktivitesinin ortalama civarında olduğu belirlenmiştir. En yüksek ^{232}Th aktivitesinin belirlendiği Kıratlı ölçüm bölgesinde, ^{238}U aktivitesinin ortalama olarak belirlenen değerinden 1,26 kat daha düşük, ^{40}K ve ^{137}Cs aktivitelerinin ise ortalama değerlerinden sırasıyla 1,23 ve 1,57 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun en büyük değerini belirlediği Çamlıyurt ölçüm bölgesinde ^{238}U aktivitesinin ortalama değeri civarında olduğu, ^{232}Th ve ^{40}K aktivitesinin ise ortalama değerlerinden sırasıyla 1,19 ve 1,20 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 87. Yorma ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Tablo 66 ve Tablo 69 birlikte irdelendiğinde, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının, hem portatif NaI dedektörü ile hem de toprak analizleriyle, aynı ölçüm noktalarında en büyük ve en küçük değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Bu da, Yorma ilçesi için karasal kaynaklı radyonüklitlerden gelen katkıların kozmik ışıklardan gelen katılardan daha fazla olduğu sonucuna ulaşmamızı sağlamaktadır.

3.2. Şebinkarahisar İlçesinin Radyoaktivite Seviyeleri

3.2.1. Şebinkarahisar İlçesi Toprak ve Kaya Örneklerinin Radyoaktivite Seviyeleri

Şebinkarahisar ilçesinden alınan 73 toprak örneğinin yapılan spektrometrik analizlerinde, örneklerde bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları, bu aktiviteler kullanılarak hesaplanan gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 70'de verilmektedir.

Tablo 70. Şebinkarahisar toprak örneklerindeki radyonüklit aktivite konsantrasyonları, gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE ($\mu\text{Sv/y}$)
1	İkisu yolu	60,45±3,86	48,1±6,43	-	911,28±38,64	94,98	116,48
2	İkisu	77,72±4,34	57,46±7,12	-	877,19±38,16	107,20	131,47
3	İkisu	15,56±2,03	23,18±4,66	25,25±2,94	452,5±22,85	40,06	49,13
4	Kızıлтаş	41,12±3,30	18,15±4,15	-	115,26±7,28	34,77	42,64
5	Kayaaltı	30,29±2,06	5,42±1,30	-	80,09±5,04	26,66	32,69
6	Kayaboğazı Güzdesi	85,42±4,52	102,36±9,84	12,38±2,97	1174,74±49,34	150,28	184,30
7	Sarak Göl	36,65±3,70	47,37±7,08	20,1±3,50	580,53±29,72	69,76	85,55
8	Kırlangıç	55,64±4,02	52,24±7,63	7,71±2,50	611,16±30,13	82,75	101,48
9	Kızıлтаş Köyü Yaylası	73,39±5,20	71,88±8,66	48,46±4,26	701,76±34,17	106,59	130,72
10	Kayalıyurt-İkizce Yatak	74,42±4,11	68,17±7,07	21,76±2,91	933,71±40,9	114,50	140,42
11	Kayalıyurt girişi	63,74±3,83	16,23±3,24	-	183,84±11,07	46,92	57,55
12	Kayalıyurt	125,2±6,23	45,21±7,00	-	1123,53±49,66	132,00	161,89
13	Kayalıyurt-İkizce Yatak arası	66,70±3,75	39,39±5,68	13,11±2,88	778,03±35,63	87,06	106,76
14	İkizce yatak yolu	47,84±3,06	57,59±7,64	18,43±2,99	884,51±41,39	93,77	115,00
15	İkizce yatak	11,25±0,91	18,78±3,36	-	53,57±3,57	18,78	23,03
16	İkizce yatak	77,01±5,11	36,44±6,0	12,84±2,64	612,41±30,06	83,13	101,95
17	Kınık yaylası yolu	39,12±2,51	3,535±1,05	-	56,13±3,51	40,67	49,88

Tablo 70'in devamı

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (μSv/y)
18	Kınık yaylası yolu	60,41±2,22	22,70±2,10	-	512,42±4,23	62,99	77,25
19	Kınık yaylası	76,79±3,55	14,04±2,79	19,64±1,47	145,23±4,13	50,01	61,34
20	Kınık yaylası	158,15±7,26	125,44±11,13	29,27±3,50	929,76±41,56	187,61	230,08
21	Kınık Yaylası çıkışı	38,34±2,60	16,00±3,19	-	144,28±8,92	33,40	40,96
22	Eğribel	142,56±6,11	116,7±8,74	6,57±2,28	1482,78±50,11	198,18	243,05
23	Çukurovası Mevkii	61,56±3,93	21,57±4,74	-	75,38±4,95	230,78	283,02
24	Çukurovası	34,80±2,44	50,48±6,41	24,64±3,08	694,83±33,0	240,86	295,39
25	Sarıçiçek Yaylası Mevkii	31,14±2,17	22,58±3,76	-	513,69±25,94	49,45	60,64
26	Sarıçiçek Yaylası	48,17±3,10	87±8,03	40,24±3,63	860,67±38,47	110,69	135,75
27	Sarıçiçek yaylası	45,51±2,83	9,46±2,0	-	130,7±8,43	32,20	39,49
28	Tutak dağı Çileder Yaylası	193,80±4,02	32,56±2,26	-	446,35±3,74	127,81	156,75
29	Tutak Dağı Duman Yaylası	211,26±6,82	21,38±4,09	-	581,72±26,64	134,78	165,29
30	Duman yaylası çıkışı	97,71±5,05	140,06±9,56	-	1299,52±46,39	183,93	225,57
31	Eskine Yayla Mevkii	236,66±7,93	552,61±18,08	-	1484,4±53,44	505,02	619,35
21	Eskine Yayla	211,13±7,57	241,41±12,83	-	982,46±40,18	284,32	348,69
33	Üçköprü Ormanı	132,15±6,18	371,64±14,64	8,69±2,51	1380,75±49,29	343,10	420,78
34	Üçköprü Ormanları	180,24±7,88	215,42±12,97	-	1357,24±50,48	269,99	331,11
35	Üçköprü Ormanı	112,3±5,59	119,63±9,39	51,49±3,61	1617,79±55,32	191,60	234,98
36	Üçköprü Ormanı orman içi	149,46±6,36	290,07±14,15	-	1575,08±58,44	309,94	380,11
37	Tutak Dağı	102,55±5,09	90,17±9,20	18,68±3,23	1102,4±47,29	147,81	181,28
38	Tutak dağı	45,57±4,27	75,08±9,0	58,09±4,47	925,7±42,39	105,00	128,78
39	Tutak dağı Uğurca Yolu Mevkii	137,83±5,98	120,3±9,50	-	1578,21±58,55	202,15	247,92
40	Maden	78,81±4,34	17,22±3,60	-	372,29±21,29	62,34	76,46
41	Eskine	174,32±3,01	314,91±4,39	-	1124,23±3,87	317,62	389,53
42	Tamzara	60,53±3,96	39,21±5,67	-	227,25±13,29	61,13	74,97
43	Dikmen Tepesi	51,07±3,37	56,47±6,65	-	644,9±31,60	84,60	103,75
44	Merkez-Gülmezler semti	72,42±2,99	32,48±2,91	-	564,37±8,14	76,61	93,95

Tablo 70'in devamı

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (μSv/y)
45	Tamdere	268,70±3,74	274,94±7,80	24,76±2,95	1189,85±45,81	339,83	416,76
46	Çamağzı	145,19±2,87	129,75±2,31	-	1135,77±8,51	192,81	236,46
47	Çatakhan Damları- Licese	142,45±5,83	124,17±9,11	-	1430,16±52,49	200,45	245,83
48	Licese sapağı	288±9,16	233,29±12,84	9,64±3,92	1236,79±48,11	325,54	399,24
49	Saydere-Ormaniçi	272,22±4,68	217,05±4,24	-	1172,13±10,13	305,74	374,96
50	Saydere	285,99±4,73	211,7±8,29	17,31±2,68	1524,09±52,73	323,55	396,80
51	Saydere Yolu üzeri	338,28±10,61	275,76±14,49	12,01±3,28	1419,15±54,49	382,02	468,51
52	Merkez-Öğretmenevi Bahçesi	72,17±3,05	10,94±2,92	-	274,16±4,17	51,38	63,02
53	Diler-Kınık Arası	51,84±3,32	25,52±3,50	-	178,23±5,32	46,80	57,39
54	Altınçevre-Alucra yolu üzeri	51,76±3,99	24,8±4,81	-	64,34±4,29	41,58	50,99
55	Merkez-Avutmuş Mah.	42,25±2,85	41,46±3,95	-	614,64±11,60	70,19	86,08
56	Hocaoğlu Köyü-Sivas Sınırı	67,61±4,49	89,35±8,95	-	1232,51±46,21	136,60	167,53
57	Hocaoğlu Yolu üzeri	45,29±3,41	68,62±7,07	-	721,16±31,44	92,45	113,38
58	Göldüzü	160,69±6,68	116,29±8,83	38,46±3,45	1089,57±41,94	189,92	232,91
59	Göldüzü	84,54±5,35	48,53±7,20	83,99±4,45	712,69±33,42	98,09	120,30
60	Göldüzü yolu	49,9±4,45	53,13±7,46	31,14±3,48	760,06±35,95	86,84	106,50
61	Kazancı mah.	136,13±6,38	210,48±12,30	21,83±3,18	934,87±38,98	229,01	280,85
62	Kazancı mah.	72,09±4,66	51,17±6,59	28,46±3,30	675,19±30,85	92,38	113,29
63	İbilli damı yolu	214,14±7,92	302,45±13,68	-	1182,62±46,0	330,93	405,86
64	İbilli Damı	97,89±5,50	91,23±7,96	-	959,85±40,0	140,35	172,13
65	İbilli Damı	153,65±6,34	246,80±12,06	11,62±2,94	1688,71±56,4	290,48	356,25
66	Alucra yolu	316,50±8,99	206,69±11,37	-	1265,13±46,80	323,83	397,14
67	Alucra yolu	127,90±6,07	132,03±9,67	-	1157,58±44,56	187,11	229,48
68	Alucra yolu	228,65±8,46	204,36±12,07	-	1034,56±42,52	272,22	333,85
69	Parçaçam Tepesi	250,99±7,06	144,8±8,93	68,63±2,45	706,87±26,15	232,89	285,62
70	Çukurovacık	180,27±6,0	236,18±10,56	-	2489,87±55,52	329,77	404,43
71	Eskine yayla	405,15±7,97	162,63±8,94	11,51±1,43	1977,48±47,06	367,87	451,15
72	Kırkgöze Pınarı	349,34±10,09	749,12±19,52	-	1519,16±51,49	677,21	830,53
73	Buğday Tarla	250,26±8,88	197,92±12,87	20,7±3,45	2409,62±71,32	335,64	411,63
ORT:		129,82±2,10	123,96±3,99	26,37±0,70	914,27±18,44	172,98	212,14

Toprak örneklerindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının hemen hemen aynı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Bu ilçede, en yüksek ^{238}U ve ^{232}Th aktivitelerinin sırasıyla 405,15 Bq/kg ve 749,12 Bq/kg değerleri ile 71 numaralı Eskine Yayla ve 72 numaralı Kırkgöze pınarı bölgelerinde, en düşük aktivitelerinin ise 11,26 Bq/kg ve 9,47 Bq/kg değerleri ile 15 numaralı İkizce yatak ve 27 numaralı Sarıçiçek yaylası bölgelerinde olduğu tespit edilmiştir. MTA tarafından Şebinkarahisar'da uranyum bölgesi olarak belirlenen bölgelerden birisi olan Eskine yayla'da ^{238}U aktivite konsantrasyonunun da en yüksek değerde ölçülmesi önemli bir bulgudur. ^{40}K aktivite konsantrasyonu açısından veriler irdelendiğinde, aktivite konsantrasyonlarının son derece değişken olduğu, en düşük aktivite konsantrasyonunun 15 numaralı ve en yüksek aktivite konsantrasyonunun 70 numaralı örnek bölgesinde olduğu görülmektedir. Toprak örneklerinin yarısından daha az kısmında ^{137}Cs radyonüklitine rastlanmış olup ve aktivite konsantrasyonunun 6,57 Bq/kg ile 83,99 Bq/kg arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

^{238}U aktivite konsantrasyonunun en yüksek olarak tespit edildiği 71 nolu Eskine yayla örnek noktasında, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Şebinkarahisar ilçesi toprak örneklerinde belirlenen ortalama ^{232}Th ve ^{40}K aktivitelerinden sırasıyla 1,31 ve 2,16 kat daha büyük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en düşük olarak tespit edildiği 15 nolu İkizce yatak örnek noktasında, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun, ortalama değerinden 6,60 kat düşük olduğu ve ^{40}K aktivite konsantrasyonunun, ortalama değerden 17,07 kat daha küçük olan 53,57 Bq/kg değeri ile en düşük olduğu bulunmuştur. Bu bölgede ^{137}Cs radyonüklitine rastlanmamıştır.

^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en yüksek tespit edildiği 72 nolu örnek noktasındaki ^{238}U ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, ortalama aktivite konsantrasyonlarından sırasıyla 2,69 ve 1,66 kat daha fazla olduğu ve ayrıca ^{137}Cs radyonüklitinin bulunmadığı belirlenmiştir.

MTA tarafından uranyum bölgesi olarak belirlenen Çamağzı, Çatakhandamları, Çukurovası, Eskine yayla, Saydere ve Tamdere bölgelerinden alınan toprak örneklerinde ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının, Şebinkarahisar toprak örnekleri için belirlenen ortalama değerinden sırasıyla 1,12, 1,10, 1,81, 1,63, 2,20 ve 2,07 kat daha büyük değerlerde olduğu, yine bu bölgelerdeki ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının, dünya ortalaması değerinden sırasıyla 4,15, 4,07, 6,71, 6,03, 8,17 ve 7,68 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Aynı

uranyum bölgeleri ^{232}Th aktivite konsantrasyonu açısından incelendiğinde, aktivite konsantrasyonlarının Şebinkarahisar ortalamasından sırasıyla 1,05, 1,0, 1,21, 1,95, 1,71 ve 2,22 kat büyük olduğu ve bu bölgelerdeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının, dünya ortalaması değerinden sırasıyla 4,33, 4,14, 5,02, 8,05, 7,06 ve 9,17 kat daha yüksek değerlerde olduğu bulunmuştur. ^{40}K açısından bu bölgeler irdelendiğinde, aktivite konsantrasyonlarının Şebinkarahisar ortalamasından sırasıyla 1,24, 1,56, 1,09, 1,07, 1,67 ve 1,30 kat büyük olduğu ve dünya ortalamasından sırasıyla 2,84, 3,58, 2,49, 2,46, 3,81 ve 2,97 kat daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Şebinkarahisar ilçesindeki toprak örneklerinde bulunan ortalama ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları literatürde verilen dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalaması değerlerinden sırasıyla 3,71, 4,13 ve 2,29 kat daha yüksek olduğu sonucuna varılmaktadır.

Şebinkarahisar ilçesinden alınan 50 kaya örneğinin spektrometrik analizleri yapıldığında, örneklerde bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları ile bu değerler kullanılarak hesaplanan gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Ek 1'de verilmektedir.

İncelenen kaya örneklerindeki ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonları kıyaslandığında, ortalama ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. En yüksek ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarına sırasıyla 288,26 Bq/kg ve 472,61 Bq/kg değerleri ile 29 ve 31 numaralı örnek bölgelerinde, en düşük aktivite konsantrasyonlarına ise 10,57 Bq/kg ve 11,43 Bq/kg değerleri ile 1 ve 27 numaralı örnek bölgelerinde rastlanılmıştır. Kaya örneklerindeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları değerlendirildiğinde 87,13 Bq/kg ve 1769,46 Bq/kg değerleri arasında değişim gösterdiği ve ortalama aktivite konsantrasyonunun 828,65 Bq/kg olduğu belirlenmiştir. Kaya örneklerinin hiçbirinde ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır. Örnek bölgelerinden olan ve MTA tarafından uranyum bölgesi olarak belirlenen bölgelerden olan Eskine yayla, Tamdere, Çamağzı, Çatakhandamları ve Saydere'de ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının, Şebinkarahisar kaya örnekleri için belirlenen ortalama aktivite konsantrasyonlarına oranla oldukça büyük olduğu belirlenmiştir. Kaya örneklerinde ^{238}U aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin belirlendiği 29 nolu örnek bölgesi topraklarında, ^{238}U aktivite konsantrasyonunun 211,26 Bq/kg değeri ile Şebinkarahisar toprak örnekleri için bulunan ortalama değerinden 1,63 kat yüksek olduğu, kaya örneklerinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin belirlendiği 31 nolu

örnek bölgesi topraklarında, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun 552,62 Bq/kg değeri ile toprak örnekleri için bulunan ortalama değerinden 4,46 kat yüksek olduğu ve yine kaya örneklerinde ^{40}K aktivite konsantrasyonunun en büyük değerinin belirlendiği 24 nolu örnek bölgesi topraklarında da ^{40}K aktivite konsantrasyonunun 994,83 Bq/kg değeri ile toprak örnekleri için bulunan ortalama değerinden 1,09 kat yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede toprak ve kaya örneklerindeki aktivite konsantrasyonlarının aynı noktalarda yüksek çıkması ve bu noktalarında da MTA tarafından belirlenmiş olan uranyum bölgeleri olması çalışmanın sonuçlarını anlamlı kılmaktadır.

3.2.2. Şebinkarahisar İlçesi Bina Dışı Toplam Gama Dozları ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Şebinkarahisar ilçesinde NaI dedektörü ile toprak örneklerinin alındığı 73 bölgede, yerden 1 m yükseklikte yapılan ölçümlerle elde edilen bina dışı gama dozu ölçüm sonuçları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Ek 2’de verilmektedir.

Ölçüm sonuçlarına bakıldığında en yüksek gama dozunun 24 nolu ölçüm bölgesi olan Çukurovası’nda 826,50 nGy/s olarak ve en düşük değerin ise 17 nolu ölçüm bölgesinde 20,88 nGy/s olarak belirlendiği görülmektedir. Bina dışı gama dozu ölçümlerinin aritmetik ortalaması 205,25 nGy/s ve standart sapması 162,31 nGy/s olarak hesaplanmıştır. Belirlenen ortalama gama dozu kullanılarak hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri ise 251,72 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak bulunmuştur. Bu ortalama değerin, yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden küçük fakat yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ değerinden oldukça büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 70 ve Ek 2 birlikte değerlendirildiğinde, toprak örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarından yararlanılarak hesaplanan gama dozunun en yüksek ve en düşük olarak bulunduğu 24 ve 15 numaralı bölgelerde, NaI dedektörü ile yapılan ölçümlerde bina dışı gama dozlarının da 722,10 nGy/s değeri ile ortalama olarak belirlenen değerinden 3,52 kat büyük ve 24,36 nGy/s değeri ile ortalamadan 8,43 kat küçük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, NaI dedektörü ile yapılan ölçümlerde bina dışı gama dozu değerinin 826,50 nGy/s değeri ile en yüksek ve 20,88 nGy/s değeri ile en düşük olarak ölçüldüğü ölçüm bölgelerinde, toprak örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarından yararlanılarak hesaplanan gama dozlarının da 240,86 nGy/s

değeri ile ortalama değerinden 1,39 kat büyük ve 40,67 nGy/s değeri ortalama değerinden 4,25 kat düşük olduğu belirlenmiştir. Toprak örneklerindeki radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarından yararlanılarak hesaplanan ortalama gama dozunun 172,98 nGy/s ve NaI dedektörü ile yapılan ölçümler ile belirlenen ortalama gama dozunun da 205,25 nGy/s olduğu ve aralarında 1,19 kat fark olduğu görülmektedir. Bu sonuç, aradaki farklılığa kozmik ışınlardan gelen katkının yol açtığını göstermektedir.

3.2.3. Şebinkarahisar İlçesi NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçüm Sonuçları

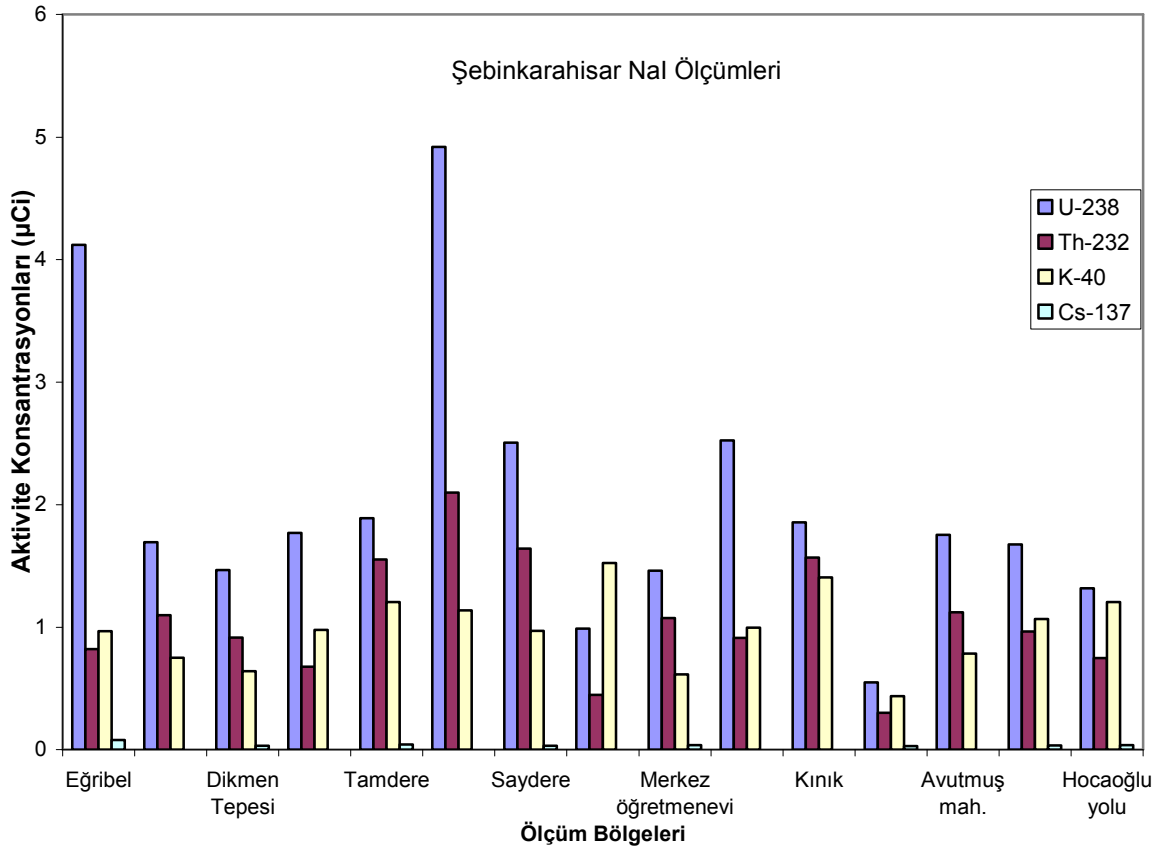
Şebinkarahisar ilçesinde 15 örnek noktasında NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenen radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonları Tablo 71’de verilmektedir. Bu aktivite konsantrasyonlarının ölçüm alınan noktalara göre dağılımı ise Şekil 88’de gösterilmektedir. Tablo 71 irdelendiğinde, belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları sırasıyla 2,032 μCi , 1,062 μCi , 0,979 μCi ve 0,040 μCi olarak bulunmuştur.

Elde edilen bulgulara bakıldığında, ^{238}U ve ^{232}Th aktivitelerinin en büyük değerlerinin 4,921 μCi ve 2,098 μCi olarak Çatakhandamları bölgesinde ve ^{238}U ve ^{232}Th aktivitelerinin en küçük değerlerinin 0,551 μCi ve 0,299 μCi olarak Altın çevre bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. ^{238}U ve ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının ortalama değerleri arasında 1,91 kat farklılık olduğu belirlenmiştir. Tablo 71, ^{40}K aktivitesi bakımından incelendiğinde, aktivite konsantrasyonunun 0,436 μCi ile 1,522 μCi arasında değişim gösterdiği ve ^{40}K ’ın en büyük değerine Ormaniçi bölgesinde rastlandığı görülmektedir. Ölçüm yapılan bölgelerin yarısında ise ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanmamıştır.

Tablo 71. Şebinkarahisar ilçesi NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçüm sonuçları

No	Yer Adı	²³⁸ U (µCi)	²³² Th (µCi)	¹³⁷ Cs (µCi)	⁴⁰ K (µCi)
1	Eğribel	4,119±0,066	0,822±0,014	0,077±0,004	0,967±0,018
2	Tamzara	1,693±0,028	1,098±0,016	-	0,751±0,015
3	Dikmen Tepesi	1,465±0,031	0,914±0,013	0,032±0,002	0,642±0,012
4	Merkez Gülmezler semti	1,768±0,018	0,677±0,012	-	0,978±0,017
5	Tamdere	1,889±0,014	1,552±0,010	0,043±0,003	1,204±0,024
6	Çatakhan Damları- Lice	4,921±0,057	2,098±0,027	-	1,137±0,028
7	Saydere	2,507±0,039	1,640±0,016	0,031±0,002	0,971±0,011
8	Ormaniçi	0,989±0,013	0,445±0,009	-	1,522±0,037
9	Merkez öğretmenevi	1,461±0,030	1,074±0,016	0,036±0,003	0,615±0,012
10	Diler	2,523±0,037	0,913±0,014	-	0,997±0,015
11	Kınık	1,853±0,041	1,567±0,028	-	1,405±0,034
12	Altın çevre-Alucra yolu	0,551±0,011	0,299±0,007	0,028±0,002	0,436±0,012
13	Avutmuş mah.	1,752±0,017	1,121±0,016	-	0,784±0,016
14	Hocaoğlu Köyü-Sivas sınırı	1,675±0,015	0,964±0,013	0,035±0,003	1,066±0,032
15	Hocaoğlu yolu	1,318±0,012	0,748±0,011	0,037±0,003	1,204±0,029
ORT:		2,032±0,017	1,062±0,006	0,040±0,001	0,979±0,009

Tablo 70, Ek 1 ve Tablo 71 beraber irdelendiğinde, NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler sonucunda, en büyük ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivitelerinin belirlendiği bölgelerin toprak ve kaya örneklerinde de ²³⁸U, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivitelerinin ortalama olarak belirlenen değerlerinden büyük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Tablo 70 ve Tablo 71, ¹³⁷Cs radyoizotopu açısından kıyaslandığında, hem toprak analizlerinde hem de portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerde, aynı ölçüm noktalarında ¹³⁷Cs radyoizotopuna rastlanmamış olduğu görülmüştür.



Şekil 88. Şebinkarahisar ilçesi yerinde yapılan ölçümlerin dağılımı

Elde edilen tüm sonuçlardan yola çıkılarak ölçüm bölgelerinde, sonuçları etkileyen en önemli etkenin karasal kökenli radyonüklitler olduğu ve bu karasal kökenli radyonüklitlere ek olarak kozmik ışınlarda da katkı geldiği tespit edilmiştir.

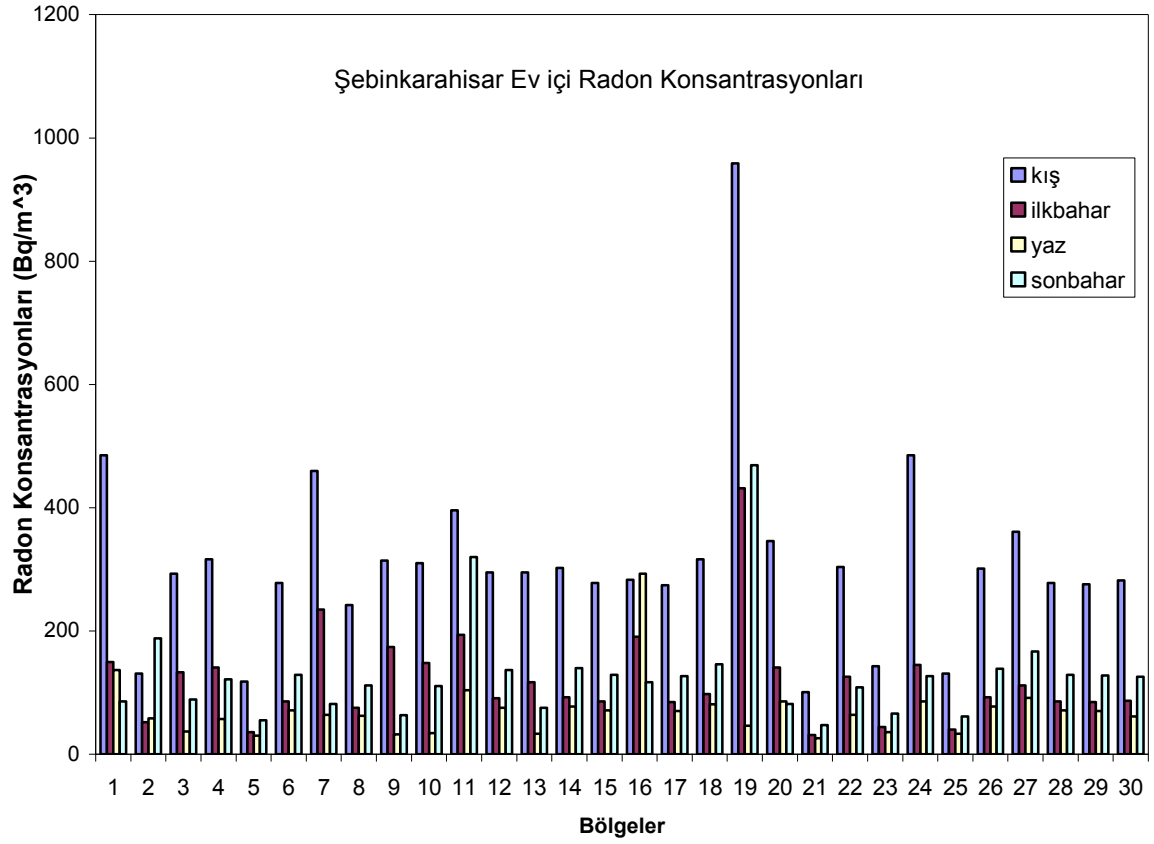
3.2.4. Şebinkarahisar Evlerindeki Radon Konsantrasyonu ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri

Şebinkarahisar ilçesinde ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi, dozimetre dağıtılan evlerin kat numaraları ve radondan dolayı maruz kalınan yıllık etkin doz değerleri Tablo 72'de verilmektedir.

Tablo 72 irdelendiğinde, radon dozimetresi dağıtılan 30 ev için kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde ortalama ev içi radon konsantrasyonu sırasıyla, 312 Bq/m^3 , 120 Bq/m^3 , 71 Bq/m^3 ve 129 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde radon konsantrasyonunun 31 Bq/m^3 ile 432 Bq/m^3 arasında, yaz mevsiminde 26 Bq/m^3 ile 293

Bq/m³ arasında, kış mevsiminde 101 Bq/m³ ile 959 Bq/m³ arasında ve sonbahar mevsiminde 47 Bq/m³ ile 469 Bq/m³ değerleri arasında değişim gösterdiği bulunmuştur.

Tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyonları dikkate alındığında, radon konsantrasyonunun yıllık ortalama değeri 158 Bq/m³ olarak belirlenmiş ve insanların bir yıl içinde radondan aldığı radyasyon dozu eşdeğeri 3,99 mSv/y olarak hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan tüm evlerdeki radon konsantrasyonlarının dağılımı Şekil 89'da görülmektedir.



Şekil 89. Şebinkarahisar ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımı

Tablo 72. Şebinkarahisar ilçesi ev içi radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

Örnek No	Kat No	Kış Mevsimi	İlkbahar Mevsimi	Yaz Mevsimi	Sonbahar Mevsimi	AEDE (mSv/y)
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	
1	Zemin	485	150	137	86	5,41
2	Zemin	131	52	58	188	2,71
3	2	293	133	37	89	3,48
4	1	316	141	57	122	4,01
5	3	118	36	30	55	1,51
6	2	278	86	71	129	3,55
7	Zemin	460	235	64	82	5,30
8	2	242	75	62	112	3,09
9	1	314	174	32	63	3,68
10	2	310	148	34	111	3,80
11	Zemin	396	194	104	320	6,40
12	Zemin	295	91	75	137	3,77
13	2	295	117	33	75	3,28
14	2	302	93	77	140	3,86
15	2	278	86	71	129	3,55
16	2	283	191	293	117	5,58
17	1	274	85	70	127	3,50
18	Zemin	316	98	81	146	4,04
19	Zemin	959	432	46	469	12,02
20	1	346	141	86	82	4,13
21	3	101	31	26	47	1,29
22	1	304	126	64	109	3,80
23	3	143	44	36	66	1,83
24	Zemin	485	145	86	127	5,32
25	3	131	40	33	61	1,67
26	1	301	93	77	139	3,85
27	1	361	112	92	167	4,62
28	2	278	86	71	129	3,55
29	2	276	85	70	128	3,53
30	2	282	87	61	126	3,51
ORT:		312	120	71	129	3,99

Ortalama radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında, en yüksek konsantrasyona kış mevsiminde ve en düşük değere yaz mevsiminde rastlanmaktadır. Çalışma bölgesinin karasal iklime sahip olduğu ve radon konsantrasyonunun kapalı ortamlarda artış gösterdiği göz önüne alındığında, kış mevsiminde radon konsantrasyonunun diğer mevsimlere oranla yüksek seviyede çıkması normal bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Radon dozimetrelerinin dağıtıldığı 30 evin kat sıralamasına göre analizleri yapıldığında, zemin, 1., 2. ve 3. katlarda bulunan evlerdeki yıllık ortalama radon konsantrasyonlarının sırasıyla 186 Bq/m³, 156 Bq/m³, 147 Bq/m³ ve 62 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkılarak, bina zeminindeki toprak ve kayalardan uzaklaştıkça radon konsantrasyonunda bir düşüş olduğu söylenebilmektedir. Radonun, toprakta bulunan ²³⁸U'un bozunma ürünü olduğu düşünüldüğünde, sonuçların anlamlı olduğu görülmektedir.

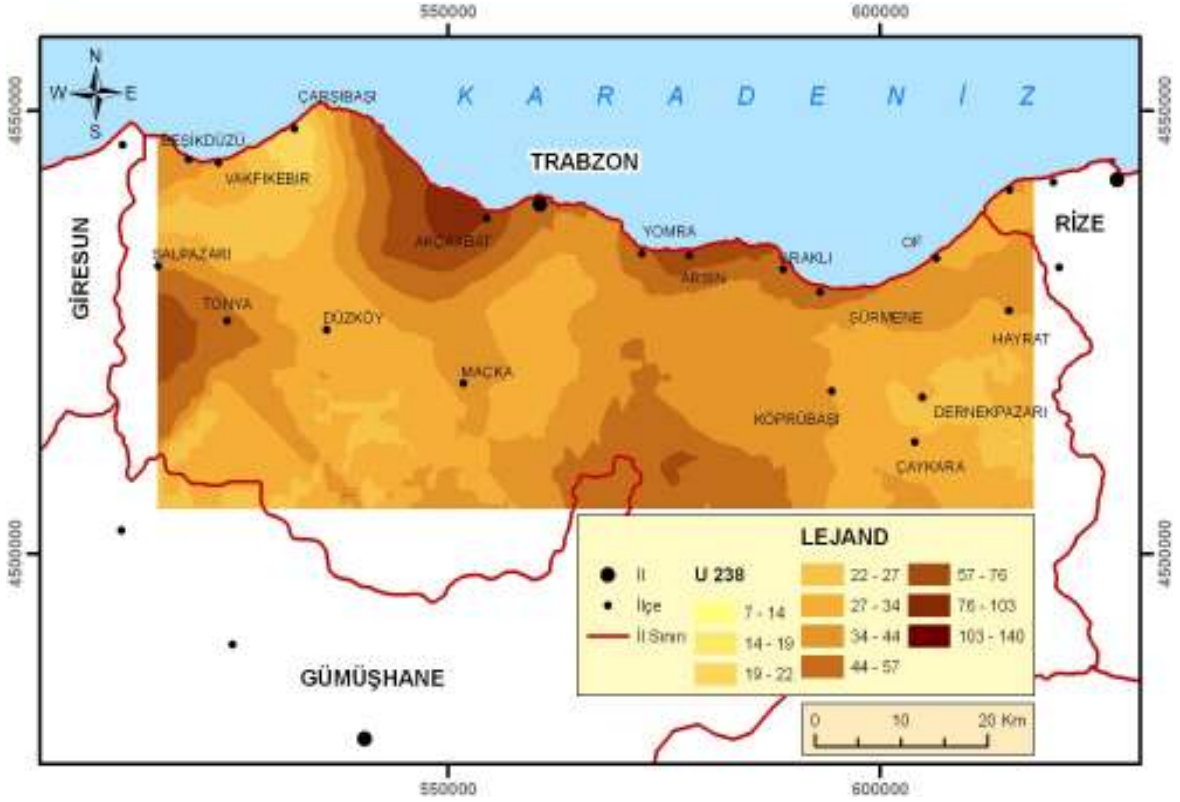
4. SONUÇLAR

4.1. Radyometrik Analiz Sonuçları

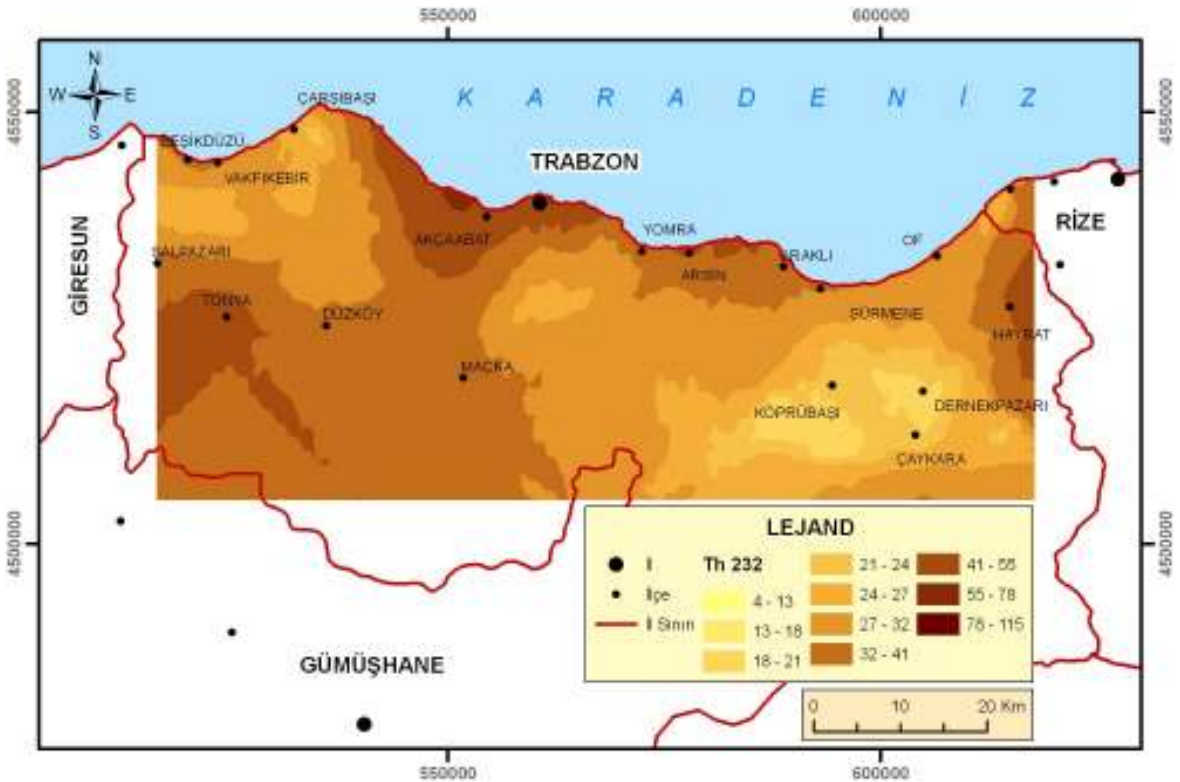
Trabzon ili ve ilçelerinden toplanmış olan toplam 256 toprak örneğinin yapılan radyometrik analizleri sonucunda belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K doğal radyonüklitleri ve ^{137}Cs yapay radyonüklitinin aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre belirlenen ortalama değerleri, bu konsantrasyonlardan yararlanılarak hesaplanan ve yine ilçelere göre ortalamaları belirlenen gama dozu ve yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 73'de verilmektedir. Şekil 90-93'de ise belirlenen radyonüklitlerin, aktivite konsantrasyonlarının Trabzon geneline dağılımı gösterilmektedir. Tablo 73 ve Şekil 90-93 beraber değerlendirilecek olursa, Trabzon ili için toplam 18 ilçede yürütülmüş olan çalışmada, en yüksek ^{238}U ortalamasının Akçaabat ilçesi topraklarında bulunduğu ve bu değer dünya ortalaması olarak belirlenen değerden 1,78 kat daha yüksek olduğu, en yüksek ^{232}Th ortalamasının Trabzon merkez ilçe topraklarında bulunduğu ve ayrıca bu değer dünya ortalamasından 1,98 kat yüksek olduğu tespit edilmiştir. ^{40}K aktivite konsantrasyonları açısından Tablo 90 incelendiğinde en yüksek aktivite konsantrasyonunun da Akçaabat ilçesinde belirlendiği görülmektedir. ^{137}Cs radyonüklitinin ise en düşük değerine Çaykara ilçesinde, en yüksek değerlerine Maçka ve Of ilçelerinde rastlanılmaktadır. İlçelere göre ayrı ayrı belirlenen bu aktivite konsantrasyonlarının ortalamaları alındığında Trabzon ili için ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının değerleri sırasıyla $42,51 \pm 1,48$ Bq/kg, $35,47 \pm 1,88$ Bq/kg, $437,89 \pm 10,96$ Bq/kg ve $21,29 \pm 0,99$ Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bu değerler dünya ortalama değerleriyle kıyaslandığında, aralarında çok büyük farklar olmamakla beraber Trabzon ili için belirlenen değerlerin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Trabzon ilindeki radyonüklit konsantrasyonlarının dünya ortalama değerlerinden fazla çıkması, jeolojik yapısında bulunan volkanik kayalardan ileri gelmektedir. Belirlenen bu radyonüklitlerin spesifik aktiviteleri kullanılarak Trabzon ili için hesaplanan gama dozu (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) değerleri dünya ortalamaları ile kıyaslandığında, değerlerin hemen hemen birbirine yakın oldukları görülmektedir. Bu veriler ışığında Trabzon ili topraklarında belirlenen radyonüklitlerin, insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde aktivite konsantrasyonuna sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 73. Trabzon ili toprak örneklerinin radyometrik analiz sonuçları

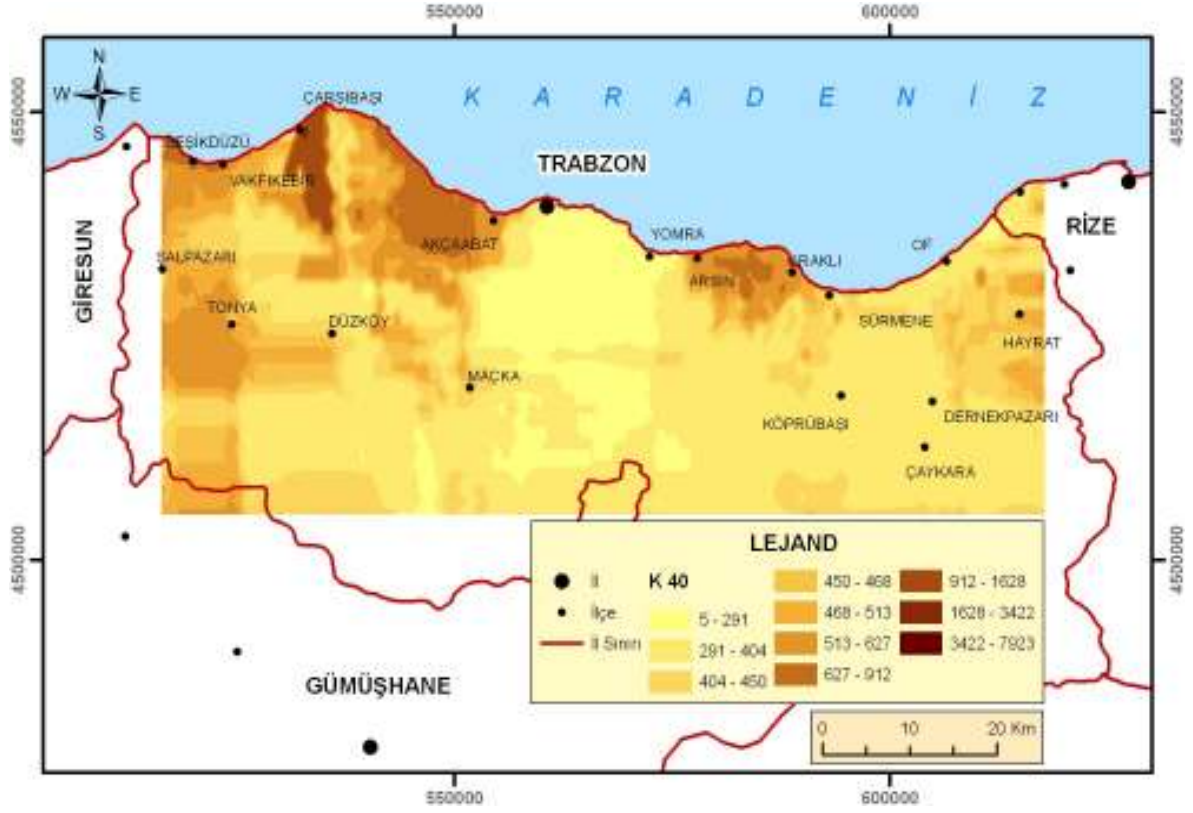
Yer Adı	Örnek sayısı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
Trabzon merkez	15	48,08±1,12	59,48±2,17	372,59±7,69	25,43±0,54	73,68	90,36
Akçaabat	22	62,30±2,28	48,69±2,64	634,02±17,21	16,98±1,21	84,63	103,79
Araklı	26	43,66±1,23	28,52±1,36	388,65±10,15	14,27±0,64	53,60	65,74
Arsin	23	50,93±1,72	36,45±1,82	481,65±9,38	25,86±1,16	65,63	80,49
Beşikdüzü	17	32,21±0,98	27,34±1,05	580,18±9,03	10,49±0,50	55,58	68,17
Çarşıbaşı	17	26,24±1,25	22,77±0,80	387,86±7,15	18,89±0,90	42,05	51,57
Çaykara	7	32,04±1,85	27,88±1,43	357,76±6,32	7,06±0,67	46,57	57,11
Dernekpazarı	9	44,06±0,66	26,95±0,78	438,84±5,96	19,33±0,71	54,93	67,37
Düzköy	8	36,51±0,66	25,62±0,42	75,82±1,52	16,86±0,68	35,50	43,54
Hayrat	9	35,42±1,04	36,53±2,37	442,83±8,43	26,09±1,08	56,90	69,78
Köprübaşı	9	51,83±1,49	36,65±1,15	452,35±8,11	12,44±0,68	64,94	79,64
Maçka	18	32,44±1,39	32,46±1,76	308,19±11,11	43,72±1,92	47,44	58,18
Of	15	33,08±1,35	29,68±1,67	416,38±9,78	45,10±1,20	50,69	62,17
Sürmene	11	44,78±1,23	32,01±1,53	437,85±8,07	15,78±0,45	58,28	71,48
Şalpazarı	10	57,20±1,11	41,49±1,87	459,63±6,12	14,08±0,81	70,65	86,65
Tonya	17	40,21±1,22	40,76±1,61	510,44±6,20	20,75±0,61	64,48	79,08
Vakfikebir	9	30,23±0,79	32,28±1,31	504,93±6,41	21,03±0,89	54,52	66,86
Yomra	14	49,48±1,87	43,16±1,98	384,19±7,60	25,20±0,92	64,95	79,65
TRABZON	ORT:	42,51±1,48	35,47±1,88	437,89±10,96	21,29±0,99	59,33	72,76



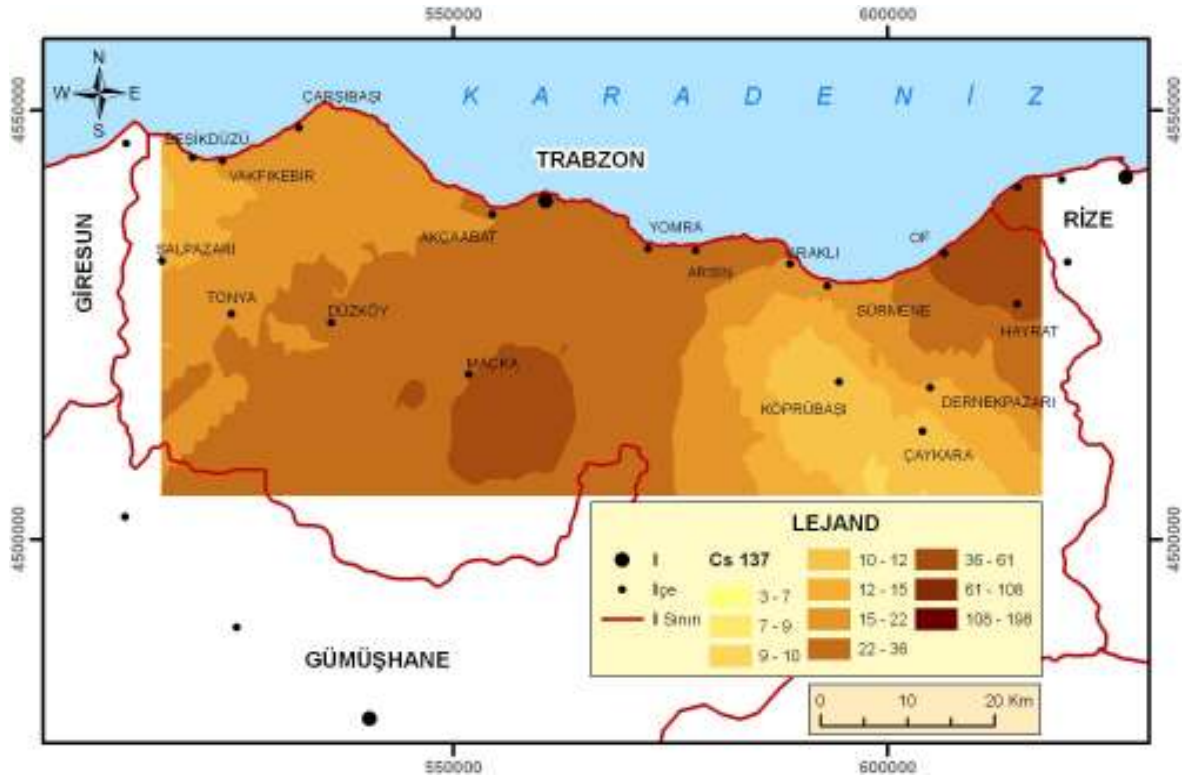
Şekil 90. Trabzon ilinde ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 91. Trabzon ilinde ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

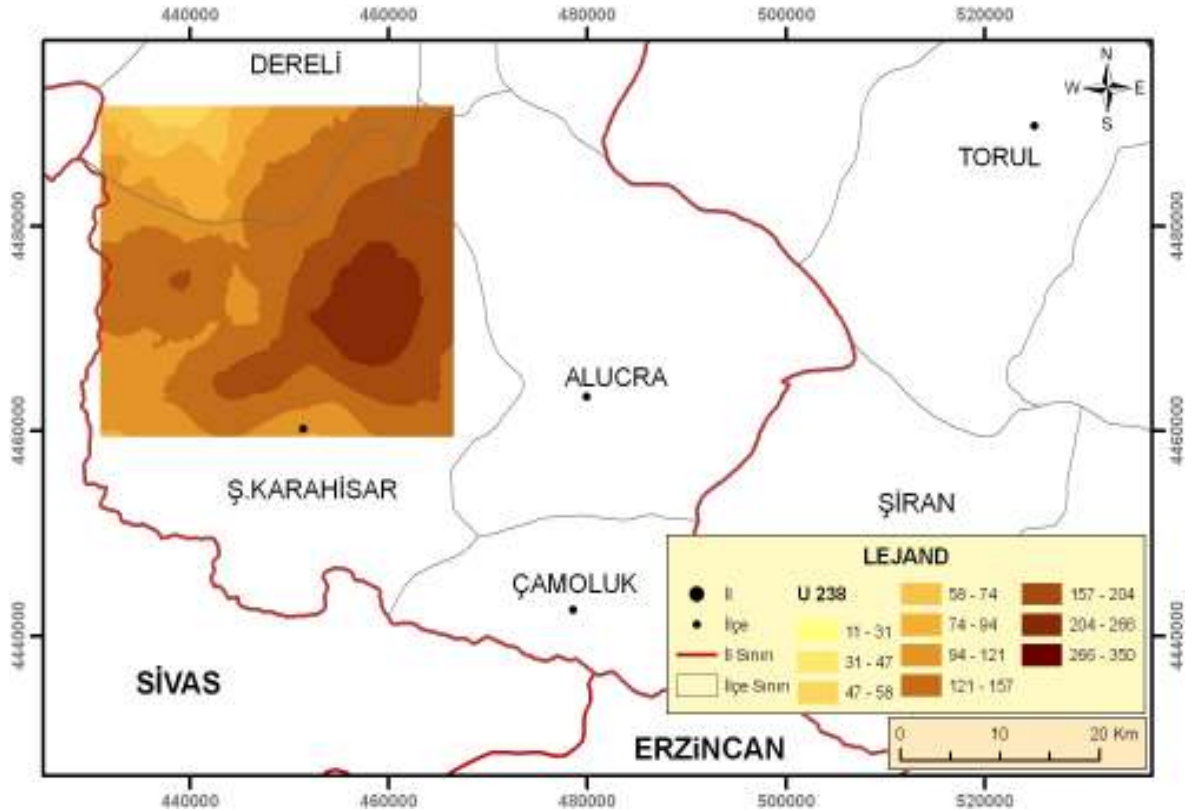


Şekil 92. Trabzon ilinde ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

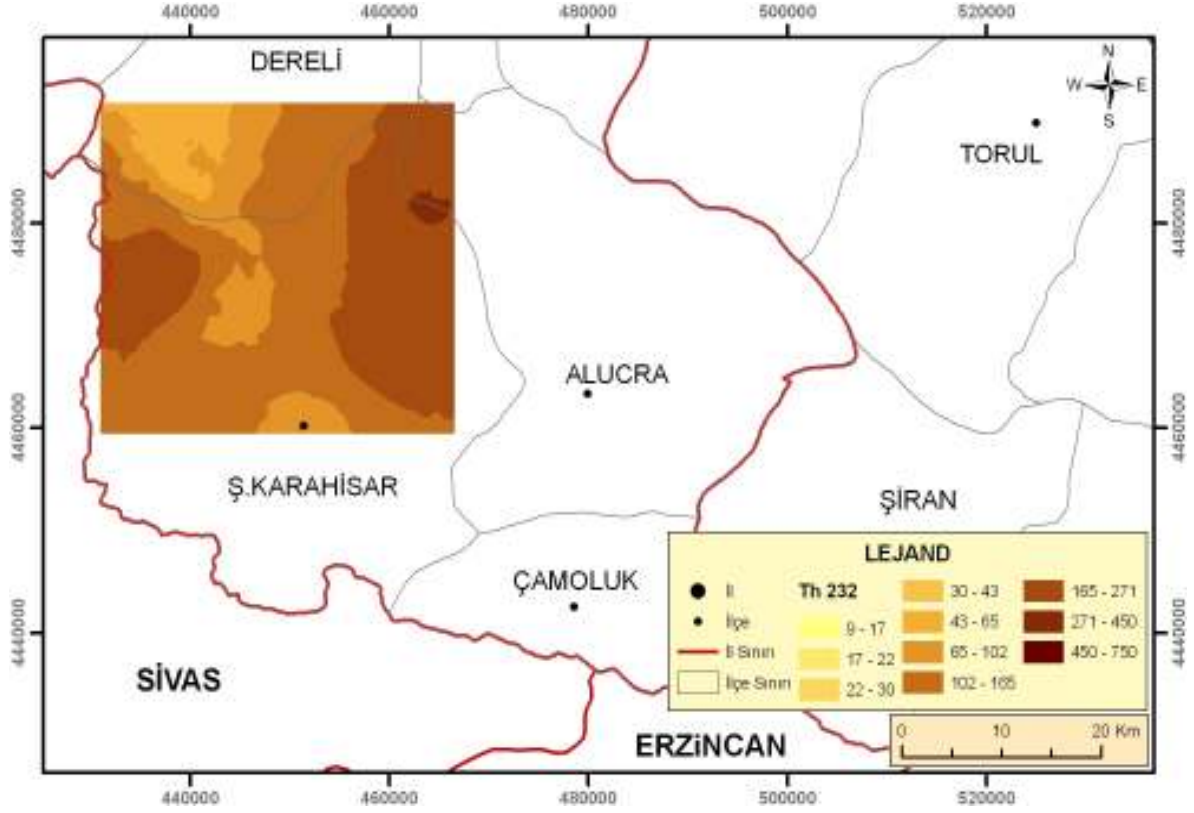


Şekil 93. Trabzon ilinde ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

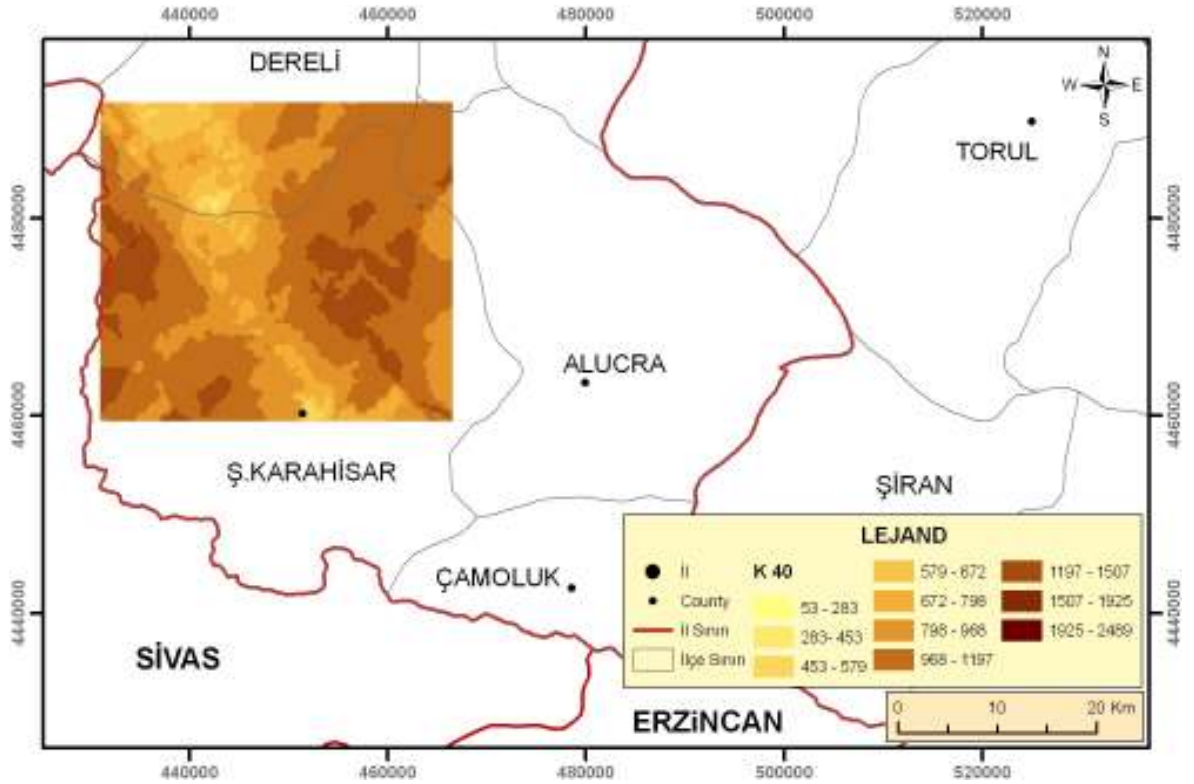
Diğer çalışma bölgesi olan Şebinkarahisar (Giresun) ilçe merkezi ve tüm köylerinden toplanan toplam 73 toprak ve 50 kaya örneklerinin radyometrik analizlerinin neticesinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonları toprak örnekleri için sırasıyla $129,82 \pm 2,10$ Bq/kg, $123,96 \pm 3,99$ Bq/kg, $914,27 \pm 18,44$ Bq/kg ve $26,37 \pm 0,70$ Bq/kg olarak ve kaya örnekleri için sırasıyla $110,95 \pm 1,94$ Bq/kg, $109,69 \pm 4,20$ Bq/kg ve $828,65 \pm 13,94$ Bq/kg olarak belirlenmiştir. Kaya örneklerinin hiçbirinde ^{137}Cs radyoizotopuna rastlanılmamıştır. Toprak örneklerinde belirlenen radyonüklilerin spesifik aktiviteleri kullanılarak Şebinkarahisar için hesaplanan gama dozu (D) ve yıllık etkin doz eşdeğeri (AEDE) değerleri sırasıyla 137 nGy/s ve 212 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ olarak belirlenmiş olup bu değerler dünya ortalamaları ile kıyaslandığında, gama dozu için dünya ortalaması olarak belirlenen 60 nGy/s değerinden $2,88$ kat yüksek, yıllık etkin doz eşdeğeri için dünya ortalaması olarak belirlenen 70 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ değerinden de $3,03$ kat yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şekil 94-97'de ise belirlenen radyonüklitlerin, aktivite konsantrasyonlarının Şebinkarahisar geneline dağılımı gösterilmektedir.



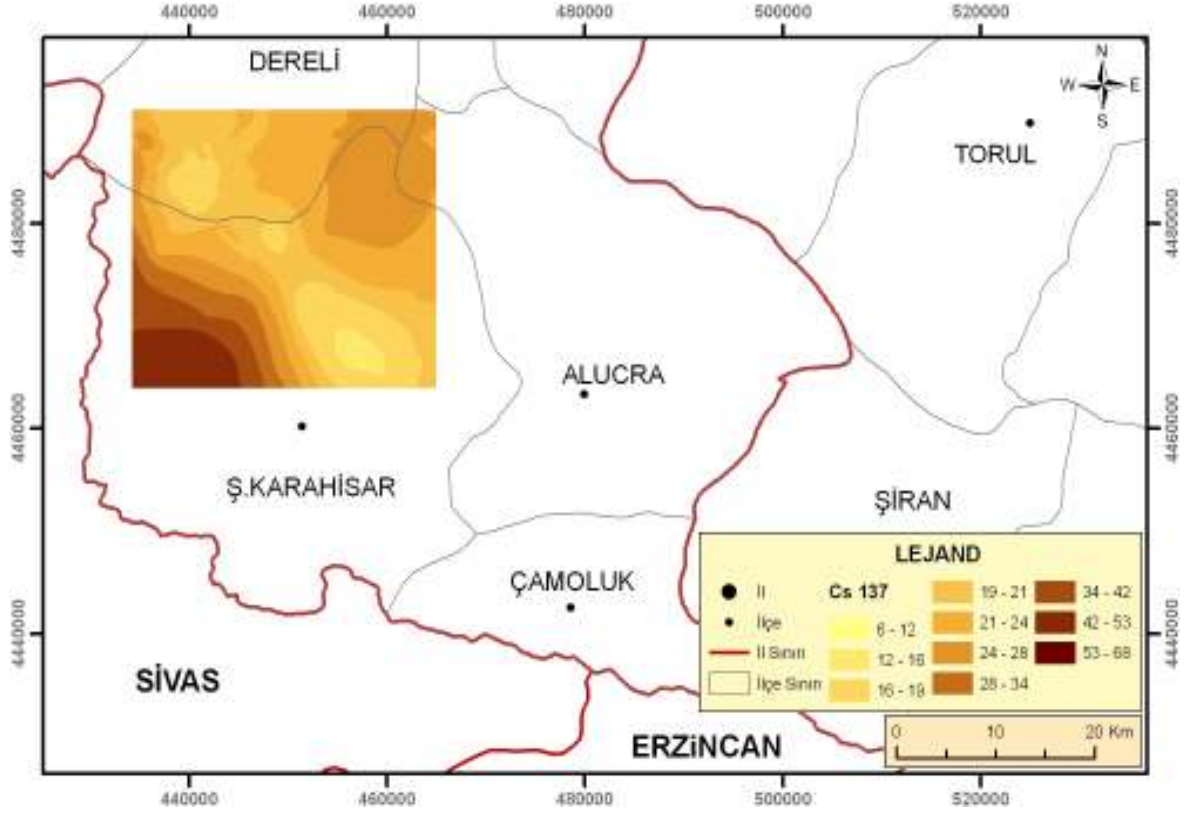
Şekil 94. Şebinkarahisar'da ^{238}U aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 95. Şebinkarahisar'da ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 96. Şebinkarahisar'da ^{40}K aktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 97. Şebinkarahisar'da ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Bulgularımızla jeolojik birimler eşleştirildiğinde; Trabzon yöresi için, Eosen volkanik kayalar ve bu kayalardan itibaren oluşmuş tortul kayaların (Pliyosen killeri) yüksek oranda ^{238}U ve ^{232}Th içerdiği gözlenmektedir. Benzer şekilde, Şebinkarahisar'da da Pliyosen yaşlı volkanik kayaların yüzeyletiği alanlarda en yüksek ^{238}U ve ^{232}Th anomalileri gözlenmektedir.

Tablo 74'de Türkiye'de ve diğer ülkelerde, toprak örneklerindeki radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan çalışmaların sonuçları görülmektedir. Türkiye'de yapılmış olan çalışmalara bakıldığında, Trabzon ili için belirlenmiş olan ^{238}U aktivite konsantrasyonunun, Fırtına vadisi ve Çanakkale hariç diğer tüm çalışmaların sonuçlarından büyük olduğu, ^{232}Th aktivite konsantrasyonunun Fırtına vadisi, Çanakkale, İstanbul ve Tekirdağ dışındaki tüm çalışmaların sonuçlarından büyük olduğu, ^{40}K aktivite konsantrasyonunun Fırtına vadisi, Çanakkale, Kastamonu ve Tekirdağ haricindeki diğer çalışmaların sonuçlarından büyük olduğu ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunun Fırtına vadisi ve Artvin çalışmaları dışındaki tüm çalışma sonuçlarından büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 74. Türkiye ve dünya’da bazı bölge topraklarında radyoaktivite düzeyleri

	Bölgeler	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	Referans
Türkiye	İstanbul	21	37	342	18	Karahan ve Bayülgen, 2000
	Manisa	29	27	340	-	Ereeş vd., 2006
	Kastamonu	33	27	431	8	Kam ve Bozkurt, 2007
	Tekirdağ	29	39	579	5	Yarar ve Kam, 2005
	Şanlıurfa	21	25	299	9	Bozkurt vd., 2007
	Gaziantep	25	24	289	8	Osmanlıoğlu vd., 2008
	Adana	18	21	298	7	Değerlier vd., 2008
	Çanakkale	115	192	1207	18	Merdanoğlu ve Altınsoy, 2006
	Rize, Fırtına Vadisi	50	42	643	85	Kurnaz vd., 2007
	Batman	35	25	274	12	Damla vd., 2008
	Ardahan	36	31	342	11	Yeşilbağ, 2008
	Artvin	23	20	357	54	Yeşilbağ, 2008
	Trabzon	43	35	438	21	Çalışma Bölgesi
	Şebinkarahisar	130	124	914	26	Çalışma Bölgesi
Diğer ülkeler	İrlanda	37	26	350	-	McAulay ve Moran, 1988
	Yunanistan	42	36	496	-	Psichoudaki ve Papaefthymiou, 2008
	Çin	40	47	567	-	Ziqiang vd., 1988
	Pakistan	10	25	307	3	Younis vd., 2005
	Hindistan (Kaiga Bölgesi)	4	8	350	-	Patra vd., 2005
	Güney Kıbrıs	5	7	105	-	Tzortzis vd., 2004
	Libya	11	10	270	-	Shenber, 1997
	Nijerya	16	24	35	-	Arogunjo vd., 2004
	Sırbistan-Karadağ	34	42	614	-	Dragovic vd., 2006
	Pakistan (Güney Punjab)	22	31	393	2	Fatima vd., 2007
	Hindistan (Bangalore Bölgesi)	26	53	635	-	Prasad Shiva vd., 2008
Dünya ortalaması	35	30	400	-	UNSCEAR, 2000	

Şebinkarahisar ilçesi topraklarındaki radyoaktivite sonuçları Türkiye’de yapılmış olan diğer çalışmalarla kıyaslandığında, ²³⁸U aktivite konsantrasyonunun diğer tüm çalışmalardan daha yüksek olduğu, ²³²Th ve ⁴⁰K aktivite konsantrasyonlarının yalnızca Çanakkale için belirlenen değerlerden düşük diğerlerinden büyük olduğu ve ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonunun Fırtına vadisi ve Artvin için belirlenen değerler hariç diğerlerinden

yüksek olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Çanakkale'nin granit bölgesi olması, Şebinkarahisar'ın ise MTA raporlarında uranyum yataklarının bulunduğu tespit edilmiş bir bölge olması, toprak örneklerindeki radyoaktivitenin diğer tüm bölgelere oranla daha yüksek çıkmasını anlamlı kılmaktadır.

Trabzon ve Şebinkarahisar'da yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 74'deki dünya literatürü ile karşılaştırıldığında, Şebinkarahisar sonuçlarının diğer tüm çalışmaların sonuçlarına ve dünya ortalaması olarak belirlenen değerlere oranla oldukça büyük olduğu, Trabzon ili sonuçlarının birkaç çalışma dışında diğer çalışmalardan büyük olduğu fakat dünya ortalama değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Bina İçi ve Bina Dışı Gama Dozu Ölçüm Sonuçları

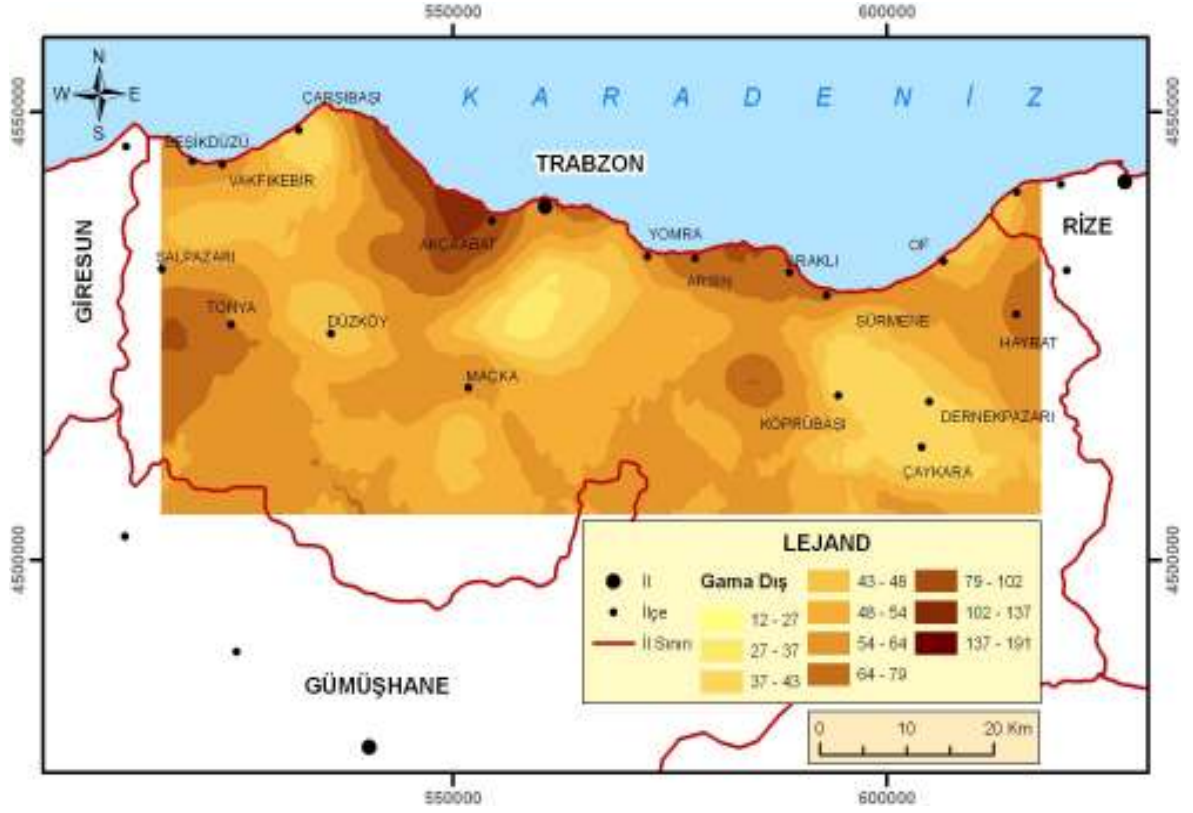
Trabzon il merkezi ve tüm ilçelerinde portatif NaI dedektörü ile toprak örneklerinin toplandığı 256 noktada yerden 1 m yükseklikte ölçümler alınarak bina içi ve bina dışı gama dozları belirlenmiş ve bu sonuçlar kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Her bir ilçe için bulunan ortalama değerler Tablo 75'de ve gama dozu ölçümlerinin örnek noktalarına göre dağılımı da Şekil 102 ve 103'de gösterilmektedir.

Tablo 75 ve Şekil 98'deki bina dışında yapılan ölçüm sonuçları irdelendiğinde, gama dozunun en yüksek değerinin Akçaabat ilçesinde, en düşük değerinin ise Düzköy ilçesinde olduğu belirlenmiştir. Eşitlik (46) ve dış gama dozu değerleri kullanılarak, Trabzon ili için yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalama değeri 72,76 $\mu\text{Sv/y}$ olarak bulunmuştur ve bu değer, yıllık etkin doz eşdeğerinin dünya ortalaması olarak belirlenen 80 $\mu\text{Sv/y}$ (UNSCEAR, 2000) değeri ile yıllık etkin doz eşdeğerinin sınır değeri olarak ICRP tarafından belirlenen 1 mSv/y değerinden küçüktür (ICRP, 1990).

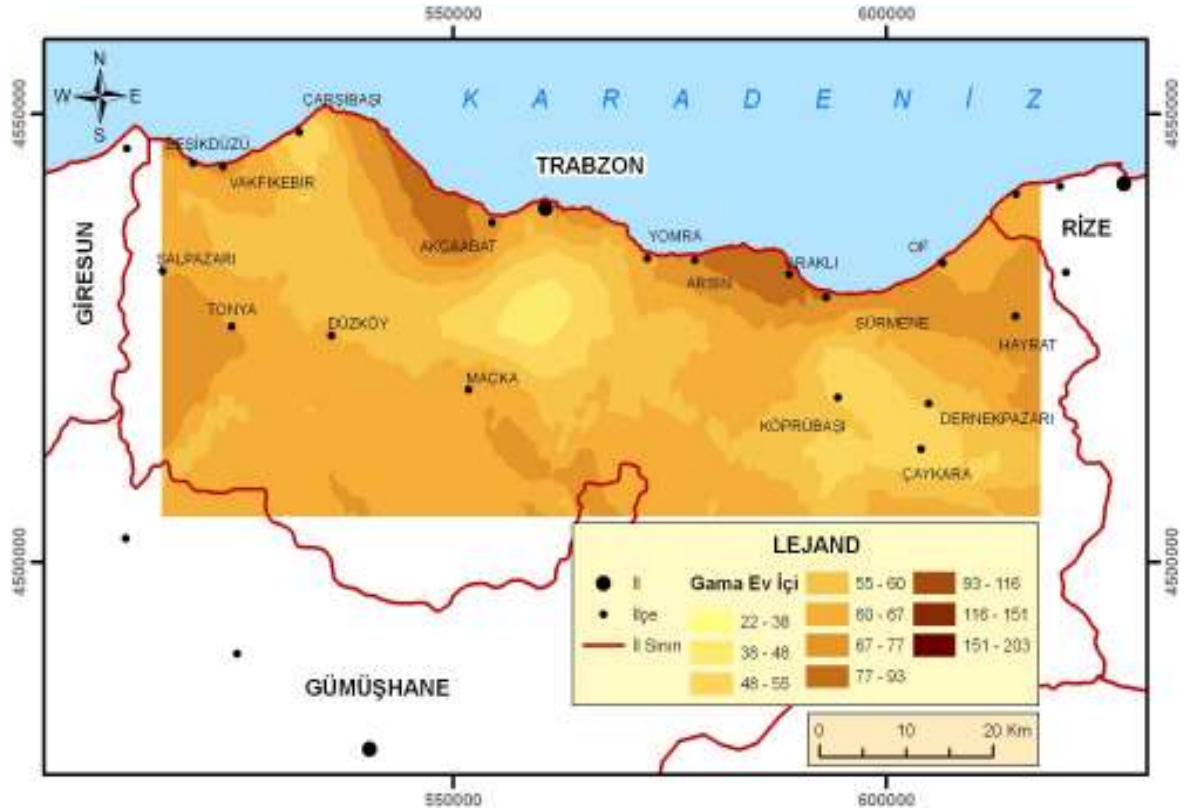
Tablo 75 ve Şekil 99'daki bina içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında ise Trabzon ili genelinde en düşük değerin Düzköy ilçesinde olduğu, en yüksek değerin ise Trabzon merkez ilçede olduğu tespit edilmiştir. İnsanların zamanlarının çoğunu kapalı ortamlarda geçirdikleri düşünülürse bina içinde alınan gama radyasyon dozu bina dışına oranla daha büyük sorun teşkil edebilmektedir. Şekil 100'de ise Şebinkarahisar'da bina dışında ölçülen gama dozu değerlerinin dağılımı görülmektedir. Ek-2'de verilmiş olan değerler harita üzerine koordinatlarına göre yerleştirilmiştir.

Tablo 75. Trabzon ilinde ortalama bina dışı ve bina içi gama dozları

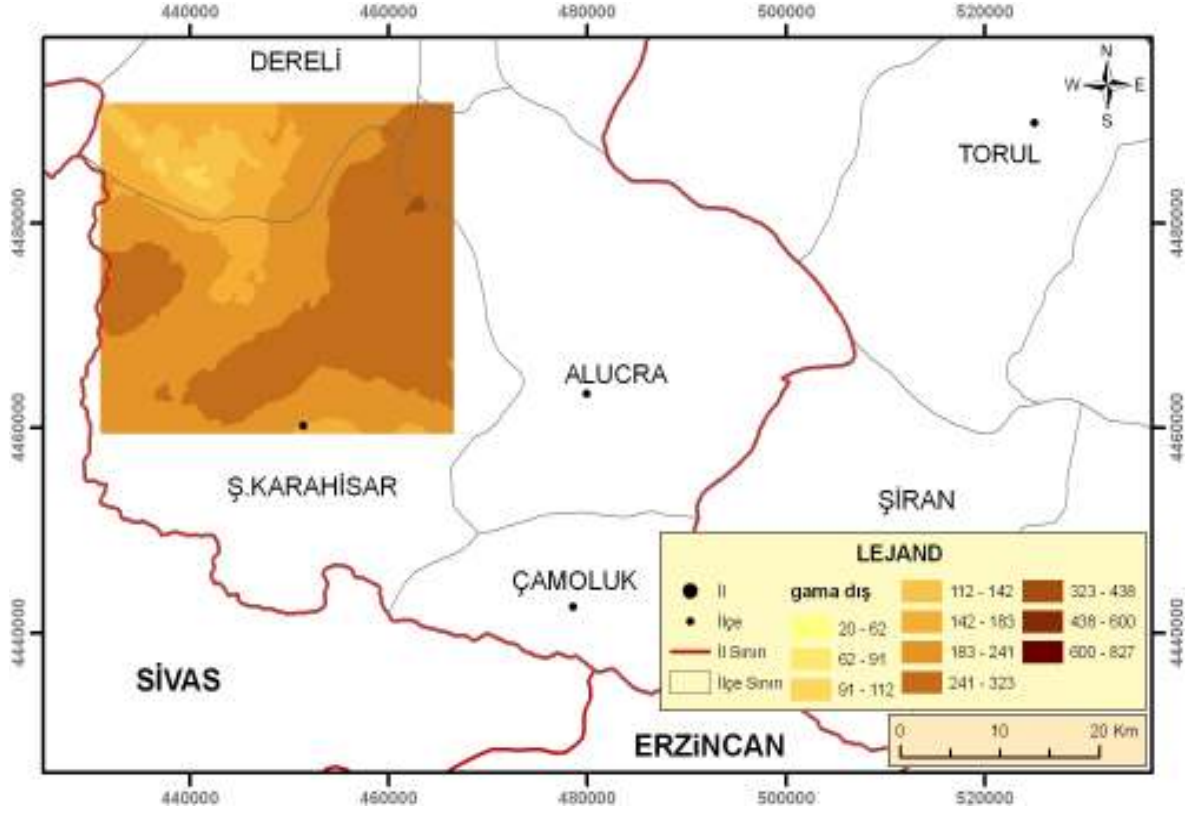
Yer Adı	Örnek Sayısı	Bina Dışı		Bina içi	
		D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
Trabzon merkez	15	78,88	96,74	81,45	399,58
Akçaabat	22	79,84	97,92	73,83	362,20
Araklı	26	60,36	74,03	66,58	326,61
Arsin	23	65,82	80,72	75,15	368,65
Beşikdüzü	17	53,84	66,03	65,51	321,37
Çarşıbaşı	17	42,58	52,22	53,91	264,46
Çaykara	7	44,99	55,18	56,41	276,73
Dernekpazarı	9	51,05	62,60	55,93	274,39
Düzköy	8	33,16	40,66	52,51	257,59
Hayrat	9	56,92	69,80	70,58	346,24
Köprübaşı	9	58,46	71,70	71,72	351,82
Maçka	18	46,59	57,14	55,39	271,72
Of	15	53,65	65,80	65,39	320,78
Sürmene	11	55,92	68,58	61,63	302,32
Şalpazarı	10	65,35	80,15	70,20	344,38
Tonya	17	61,67	75,63	64,12	314,54
Vakfikebir	9	54,81	67,22	70,07	343,75
Yomra	14	64,46	79,05	66,75	327,43
TRABZON	ORT:	58,97	72,32	66,20	324,76



Şekil 98. Trabzon ilinde bina dışı gama dozlarının dağılımı



Şekil 99. Trabzon ilinde bina içi gama dozlarının dağılımı



Şekil 100. Şebinkarahisar'da bina dışı gama dozlarının dağılımı

Tablo 73'de verilen toprak analiz sonuçları da ele alınacak olursa, topraktaki radyonüklitlerin spesifik aktiviteleri kullanılarak hesaplanan dış gama dozunun en düşük ve en yüksek değerlerine sırasıyla Düzköy ve Akçaabat ilçelerinde rastlanılmış olması, Trabzon il geneli için portatif dedektör kullanılarak belirlenen ortalama dış gama dozu değeri ile topraktaki radyonüklitler yardımıyla hesaplanan dış gama dozu değerinin birbirine çok yakın olması ve ayrıca bina içi için belirlenen gama dozu değerinin bunlardan yüksek olması, Trabzon ili için dış gama dozuna, topraktaki karasal kaynaklı radyonüklitlere ilave olarak az miktarda kozmik ışınlardan da bir katkının geldiği ve bina içi gama dozuna da karasal kaynaklı radyonüklitlere ek olarak yapı malzemelerinin yapısında bulunan radyonüklitlerden katkı geldiği ve hatta bu katkının kozmik ışınlardan gelen katkıya oranla daha yüksek olduğu sonuçlarına ulaşmamızı sağlamaktadır.

Türkiye’de ve diğer ülkelerde yapılmış olan bina dışı gama dozu ölçüm çalışmalarının sonuçları Tablo 76’da verilmektedir. Tablo 76 Türkiye’de yapılan çalışmalar bakımından irdelendiğinde, Trabzon ili için belirlenmiş olan gama dozu değerinin diğer çalışma bölgelerinden çok farklı olmadığı fakat Şebinkarahisar için belirlenen gama dozu değerinin hem Trabzon’dan hem de diğer çalışma bölgeleri için belirlenmiş değerlerden yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 76. Türkiye’de ve diğer ülkelerde yapılmış bina dışı gama dozu ölçümleri

	Bölgeler	Bina Dışı Gama Dozları (nGy/s)	Referanslar
Türkiye	İstanbul	65	Karahan ve Bayülken, 2000
	Manisa	54	Ereeş vd., 2006
	Kastamonu	48	Kam ve Bozkurt, 2007
	Tekirdağ	43	Yarar ve Kam, 2005
	Şanlıurfa	61	Bozkurt vd., 2007
	Gaziantep	50	Osmanlıoğlu vd., 2007
	Adana	67	Değerlier vd., 2008
	Trabzon	59	Çalışma Bölgesi
	Şebinkarahisar	205	Çalışma Bölgesi
Diğer Ülkeler	Norveç	670	Stranden ve Strand, 1986
	Çin	69	Ziqiang vd., 1988
	Libya	23	Shenber, 1997
	Tayvan	54	Selvasekarapandian vd., 2000
	Japonya	83	Selvasekarapandian vd., 2000
	Hindistan	137	Malathi vd., 2008
	Dünya Ortalaması	60	UNSCEAR, 2000

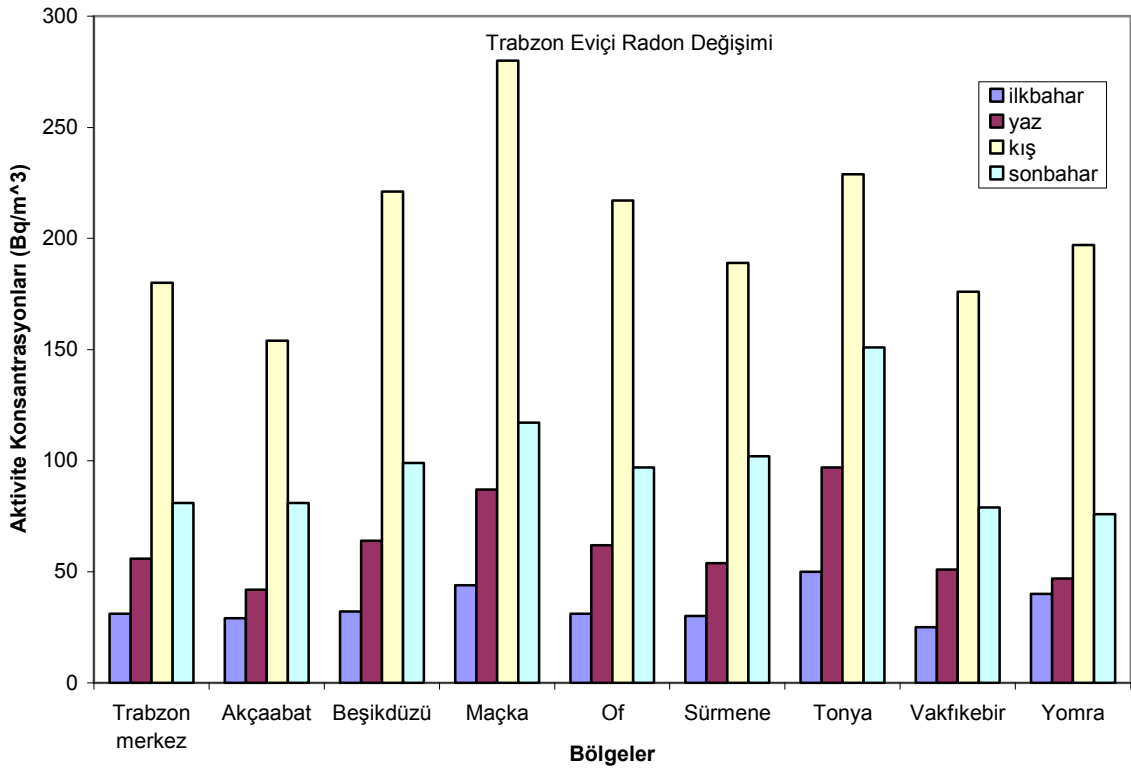
Diğer ülkelerde yapılmış olan çalışmalardan ise yalnız Norveç için belirlenen dış gama dozu değeri Şebinkarahisar için belirlenmiş olandan daha büyüktür. Trabzon için belirlenen gama dozu sadece Libya ve Tayvan için belirlenen değerlerden daha büyük olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Trabzon için belirlenen dış gama dozu değeri, dünya ortalaması değeriyle hemen hemen aynı iken Şebinkarahisar için belirlenmiş olan dış gama dozunun dünya ortalamasından 3,42 kat büyük olduğu bulunmuştur.

4.3. Ev İçi Radon Konsantrasyonları

Ev içi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla Trabzon ili geneline dağıtılmış olan 97 radon dozimetresinin ilçelere göre ve mevsimsel olarak dağılımı Tablo 77'de ve Şekil 101'de gösterilmektedir. Tüm ilçeler için ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerindeki ortalama radon konsantrasyonlarına bakıldığında en yüksek değerlerin Tonya ilçesinde olduğu, en düşük değerlerin ise ilkbahar mevsiminde Vakfikebir ilçesinde olduğu, yaz mevsiminde Akçaabat ilçesinde olduğu ve sonbahar mevsiminde ise Yomra ilçesinde olduğu belirlenmiştir. Kış mevsimi için de en düşük ve en yüksek değerlerin sırasıyla Akçaabat ve Maçka ilçelerinde olduğu belirlenmiştir. Trabzon ili için yıllık radon konsantrasyonunun $112,60 \text{ Bq/m}^3$ olduğu belirlenmiştir. Tüm radon sonuçları ele alındığında Trabzon ilinde yaşayan insanların 1 yıl içinde radon kaynaklı aldıkları doz miktarının $2,46 \text{ mSv}$ olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 77. Trabzon’da ilçelere göre ev içi radon konsantrasyonları

Yer Adı	Örnek Sayısı	İlkbahar	Yaz	Kış	Sonbahar	AEDE (mSv/y)	
		Mevsimi	Mevsimi	Mevsimi	Mevsimi		
		Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)	Aktivite (Bq/m ³)		
Trabzon merkez	27	31	56	180	81	2,19	
Akçaabat	9	29	42	154	81	1,93	
Beşikdüzü	8	32	64	221	99	2,62	
Maçka	9	44	87	280	117	3,33	
Of	9	31	62	217	97	2,57	
Sürmene	8	30	54	189	102	2,37	
Tonya	8	50	97	229	151	3,33	
Vakfikebir	6	25	51	176	79	2,09	
Yomra	13	40	47	197	76	2,27	
TRABZON	ORT:	34	60	201	94	2,46	



Şekil 101. Trabzon’da ev içi mevsimsel radon değişiminin ilçelere göre dağılımı

Trabzon ili için radon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimine bakıldığında en büyük değer kış mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri ve en küçük değer ilkbahar mevsimindeki ortalama radon konsantrasyon değeri olduğu görülmüştür. Kış dönemindeki radon konsantrasyonu sonbahar dönemine göre ve sonbahar dönemindeki radon konsantrasyonu ise yaz dönemine oranla artış göstermektedir. Birbirini izleyen mevsimlerdeki düzgün seyreden konsantrasyon değişimi göz önüne alındığında, ilkbahardan yaz geçildiğinde radon konsantrasyonunda bir azalma olması beklenmekte idi. Fakat yazın sıcak havalarda insanların köylere ve yaylalara gidip evleri kapalı bıraktıkları gerçeği göz önüne alındığında, kapalı evlerde biriken radondan dolayı yaz mevsimindeki konsantrasyon değerinin ilkbahara göre daha yüksek çıkması normal bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şebinkarahisar ilçesindeki ev içi radon konsantrasyonunu belirlemek amacıyla dağıtılan 30 adet radon dozimetresinin kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerine göre ortalama konsantrasyon değerleri sırasıyla 312 Bq/m^3 , 120 Bq/m^3 , 71 Bq/m^3 ve 129 Bq/m^3 olarak belirlenmiştir. Tüm bu veriler dikkate alındığında, Şebinkarahisar için ortalama radon konsantrasyonu 158 Bq/m^3 olarak ve Şebinkarahisar ilçesinde yaşayan insanların 1 yıl içinde radon kaynaklı aldıkları doz miktarı ise $3,99 \text{ mSv}$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 78 ve 79'da Trabzon ili ve Şebinkarahisar ilçesi için ev içi radon konsantrasyonlarının kat numaralarına göre dağılımı verilmektedir. Tablolar incelendiğinde, zemin katlardaki radon konsantrasyonlarının en yüksek düzeyde olduğu ve zeminden yukarılara doğru çıkıldıkça radon konsantrasyonlarında düzgün bir düşüş olduğu görülmektedir. Radonun asıl kaynağının toprak olduğu gerçeğinden yola çıkarak sonuçların anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 78. Trabzon’da evlerin kat sıralamasına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı

Kat Numarası	Örnek Sayısı	Radon Konsantrasyonları (Bq/m ³)											
		İlkbahar			Yaz			Kış			Sonbahar		
		Min	Max	Ort	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort
Zemin	3	139	187	156	81	374	182	235	415	348	70	583	259
1. Kat	4	61	106	78	26	160	86	178	556	377	46	250	116
2. Kat	14	40	57	48	18	112	81	173	389	280	105	194	145
3. Kat	25	31	40	34	48	101	71	154	314	233	67	175	107
4. Kat	25	20	30	25	40	67	50	139	212	173	57	94	76
5. Kat	26	8	20	16	16	40	30	76	139	109	25	62	49

Trabzon için tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyon sonuçlarına bakıldığında, hiçbir evde, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) ve Uluslararası Radyasyon’dan Korunma Komitesi (ICRP)’nin evlerde radon konsantrasyonu için izin verilebilir seviye olan 400 Bq/m³ veya 10 mSv değerini aşan bir değere rastlanılmamıştır (ICRP, 1990). Şebinkarahisar için tüm mevsimlerdeki radon konsantrasyonları irdelendiğinde, kış mevsiminde 4 evde, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ise birer evde radon konsantrasyonunun, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) ve Uluslararası Radyasyon’dan Korunma Komitesi (ICRP)’nin evlerde radon konsantrasyonu için izin verilebilir seviye olan 400 Bq/m³ veya 10 mSv değerini aştığı belirlenmiştir (TAEK, 2000). Şebinkarahisar’da ölçüm yapılan 30 ev için yıllık ortalama radon konsantrasyonuna bakıldığında ise sadece 1 evde izin verilen seviyenin üzerinde bir radon konsantrasyon değeri belirlenmiştir.

Tablo 79. Şebinkarahisar’da evlerin kat sıralamasına göre radon konsantrasyonlarının dağılımı

Kat Numarası	Örnek Sayısı	Radon Konsantrasyonları (Bq/m ³)											
		Kış			İlkbahar			Yaz			Sonbahar		
		Min	Max	Ort	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort	Min	Max	Ort
Zemin	8	131	959	441	52	432	175	46	137	81	82	469	194
1. Kat	7	274	361	317	85	174	125	32	92	68	63	167	116
2. Kat	11	242	310	283	75	191	108	33	293	80	75	140	117
3. Kat	3	101	143	123	31	44	38	26	36	31	47	66	57

Türkiye’de ve dünyada daha önce yapılmış ev içi radon konsantrasyonu belirleme çalışmalarına ait bulgular Tablo 80’de verilmektedir. Tablo 80’deki Türkiye için yapılmış olan çalışmaların sonuçları ile Trabzon ve Şebinkarahisar için yapılan çalışmaların sonuçları kıyaslandığında, Trabzon ilindeki radon konsantrasyonunun İstanbul, Erzurum, Şanlıurfa, Manisa, Kastamonu, Edirne, Batman, Elazığ, Antalya ve Tekirdağ illerinden büyük, Çanakkale, Isparta, Giresun, Ardahan ve Artvin illerinden küçük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Şebinkarahisar için belirlenen radon konsantrasyonunun sadece Ardahan ili için bulunan değerden küçük, Çanakkale hariç diğer tüm çalışma sonuçlarından büyük ve Çanakkale ile aynı düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 80. Türkiye’de ve dünya’da ev içi radon konsantrasyonları

	Bölgeler	Radon konsantrasyonu (Bq/m³)	Referanslar
Türkiye	İstanbul	50	Köksal vd., 1993
	Erzurum	85	Köksal vd., 2004
	Şanlıurfa	68	Köksal vd., 2004
	Çanakkale	160	Çelebi ve Alkan, 1997
	Elazığ	47	Selçuk vd., 1998
	Ankara	55	Vaizoglu ve Güler, 1999
	Isparta	164	Uluğ vd., 2004
	Antalya	29	Köksal vd., 2004
	Tekirdağ	87	Yarar ve Kam, 2005
	Manisa	97	Erees vd., 2006
	Kastamonu	98	Kam ve Bozkurt, 2007
	Edirne	49	Bozkurt ve Kam, 2007
	Kars	114	Çelik vd., 2008
	Giresun	130	Çelik vd., 2008
	Batman	84	Damla vd., 2008
	Ardahan	173	Yeşilbağ, 2008
	Artvin	132	Yeşilbağ, 2008
	Trabzon	113	Çalışma Bölgesi
Şebinkarahisar	158	Çalışma Bölgesi	
Diğer Ülkeler	İspanya (Barcelona)	40	Gutierrez vd., 1992
	İspanya (Madrid)	69	Gutierrez vd., 1992
	Çin	30	Wenbin vd., 1990
	Yunanistan (Patras)	38	Papaefthymio vd., 2003
	Hindistan	63	Subba Ramu vd., 1990
	Suudi Arabistan (Yemen)	42	Khayrat vd., 2003
	Hindistan (Nurpur bölgesi)	253	Singh vd., 2004
	Meksika	67	Quirino vd., 2007
	Suudi Arabistan (Riyad)	18	Al-Saleh, 2007
	Pakistan	72	Rahman vd., 2007

Tablo 80'deki diğer ülkeler için yapılmış olan çalışmaların sonuçları ile Trabzon ve Şebinkarahisar sonuçları kıyaslandığında, aktivite konsantrasyonlarının, Hindistan (Nurpur bölgesi) bölgesi hariç diğer tüm çalışmalardan daha yüksek değerde olduğu belirlenmiştir.

Trabzon ve Şebinkarahisar için bulunan radon konsantrasyonları kendi aralarında kıyaslandığında ise aktivite konsantrasyonları arasında 1,63 kat farklılık olduğu görülmektedir. MTA raporlarında uranyum bölgesi olarak gösterilen Şebinkarahisar'ın toprak örneklerindeki ^{238}U aktivite konsantrasyonu da Trabzon ili için belirlenen ^{238}U aktivite konsantrasyonundan 3,02 kat büyük olarak tespit edilmiştir.

^{238}U 'in asıl kaynağının toprak olduğu ve radonun, ^{238}U 'in bozunma ürünlerinden biri olduğu göz önüne alındığında, iki çalışma bölgesi arasındaki radon konsantrasyon farklılığının sebebinin, çalışma bölgelerinin jeolojik yapısından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmaktadır.

4.4. NaI Dedektörü ile Yerinde Yapılan Ölçümler

Trabzon ilinde toprak örneklerinin toplandığı noktalarda, portatif NaI dedektörü ile yapılan ölçümler sonucunda, yerden 1 m yükseklikte ölçülmüş olan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre hesaplanan ortalama değerleri ve her bir ilçedeki ölçüm yapılan bölgelerin sayısı Tablo 81'de verilmektedir.

Tablo 81 irdelendiğinde, ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklit konsantrasyonlarının Trabzon ili için ortalama değerlerinin sırasıyla $0,130\pm 0,010$ μCi , $0,064\pm 0,004$ μCi , $0,561\pm 0,004$ μCi ve $0,031\pm 0,002$ μCi olduğu belirlenmiştir. En yüksek ve en düşük, ^{238}U aktivitelerinin Araklı ve Çarşıbaşı ilçelerinde olduğu, ^{232}Th aktivitelerinin Akçaabat ve Düzköy-Çarşıbaşı ilçelerinde olduğu, ^{40}K aktivitelerinin Akçaabat ve Düzköy ilçelerinde olduğu ve ^{137}Cs aktivitelerinin Maçka ve Beşikdüzü-Çaykara-Düzköy ilçelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 81. Trabzon'da ilçelere göre yerinde yapılan ölçüm sonuçları

Yer Adı	Örnek Sayısı	²³⁸ U (μ Ci)	²³² Th (μ Ci)	¹³⁷ Cs (μ Ci)	⁴⁰ K (μ Ci)
Trabzon Merkez	15	0,224±0,012	0,074±0,002	0,024±0,001	0,777±0,004
Akçaabat	14	0,276±0,009	0,198±0,011	0,028±0,001	0,797±0,004
Araklı	14	0,497±0,024	0,046±0,002	0,037±0,001	0,575±0,004
Arsin	17	0,091±0,004	0,055±0,001	0,042±0,001	0,485±0,004
Beşikdüzü	10	0,052±0,002	0,058±0,001	0,017±0,001	0,660±0,004
Çarşıbaşı	8	0,039±0,001	0,033±0,002	0,029±0,001	0,552±0,002
Çaykara	5	0,057±0,001	0,036±0,001	0,017±0,001	0,447±0,002
Dernekpazarı	9	0,061±0,001	0,040±0,001	0,023±0,001	0,503±0,002
Düzköy	5	0,050±0,001	0,033±0,001	0,017±0,001	0,147±0,004
Hayrat	6	0,046±0,001	0,050±0,001	0,029±0,001	0,514±0,003
Köprübaşı	6	0,068±0,002	0,044±0,001	0,019±0,001	0,502±0,004
Maçka	11	0,041±0,001	0,048±0,001	0,063±0,002	0,409±0,002
Of	8	0,052±0,001	0,045±0,001	0,045±0,002	0,528±0,003
Sürmene	6	0,070±0,002	0,051±0,001	0,025±0,001	0,548±0,001
Şalpazarı	6	0,079±0,002	0,063±0,001	0,021±0,001	0,543±0,001
Tonya	9	0,068±0,003	0,059±0,002	0,036±0,004	0,583±0,002
Vakfikebir	5	0,053±0,003	0,056±0,001	0,031±0,002	0,666±0,002
Yomra	14	0,068±0,004	0,059±0,002	0,037±0,002	0,476±0,004
TRABZON	ORT:	0,130±0,010	0,064±0,004	0,031±0,002	0,561±0,004

Şebinkarahisar ilçesi için ise ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs radyonüklit aktivitelerinin sırasıyla 2,032±0,017 μ Ci, 1,062±0,006 μ Ci, 0,979±0,009 μ Ci ve 0,040±0,001 μ Ci olduğu bulunmuştur. Bu bölgede ²³⁸U ve ²³²Th aktivitelerinin en yüksek değerlerine, Şebinkarahisar'da MTA tarafından uranyum bölgesi olarak belirtilen bölgelerden biri olan Çatakhandamları bölgesinde rastlanılmıştır. Hem toprak örneklerinden elde edilen hem de portatif NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümler neticesinde bulunan ²³⁸U ve ²³²Th aktivitelerinin yüksek olarak belirlendiği yerlerin MTA tarafından uranyum bölgesi olarak belirtilen bölgeler olması, bu çalışmanın, MTA bilgilerini doğruladığını göstermektedir.

Trabzon ve Şebinkarahisar için belirlenen bu değerler birbiriyle kıyaslandığında ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktiviteleri arasında sırasıyla 15,63, 16,59, 1,75 ve 1,29 kat farklılık olduğu görülmektedir. Bu iki bölgenin toprakları için belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları arasında da yine sırasıyla 3,05, 3,49, 2,09 ve 1,24 kat farklılık olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak, NaI dedektörü ile yerinde yapılan ölçümlerin sonuçlarını etkileyen en önemli faktörün, toprağın yapısında bulunan radyonüklitler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

5. ÖNERİLER

Çağımızda doğal enerji kaynaklarının azalması, enerji umutlarının nükleer enerjiye bağlanması, bunun için radyoaktif rezervlere ihtiyaç duyulması doğal radyoaktivite üzerine çalışmalar yapmayı gerektirmektedir.

Nükleer enerji santrallerinde yakıt hammaddesi olarak kullanılan uranyum ve toryum gibi radyoaktif element rezervlerinin ülkemizde tam olarak bilinmemesi bu konularda bilimsel çalışmalar yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Çevresel örneklerdeki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivitelerinin belirlenmiş olması ileride doğabilecek herhangi bir Çernobil nükleer kazası benzeri durumda radyasyon takibi açısından ve insan sağlığına yönelik radyolojik risklerin değerlendirilmesi bakımından çok faydalı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Abdi, M. R., Faghihian, H., Mostajaboddavati, M., Hasanzadeh, A. ve Kamali, M., 2006. Distribution of natural radionuclides and hot points in coasts of Hormozgan, Persian Gulf, Iran. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 270, 2, 319-324.
- Ahad, M. A., Rehman, S. ve Mirza, M. L., 2003. Indoor Radon Levels and Lung Cancer Risk Estimates in Seven Cities of the Bahawalpur Division, Pakistan. Radiation Protection Dosimetry, 107, 4, 269-276.
- Al-Jarallah, M. I. ve Fazal-ur-Rehman, 2006. Indoor radon concentration measurement in the dwellings of Al-Jauf region of Saudi Arabia. Radiation Protection Dosimetry, 121, 3, 293-296.
- Al-Saleh, F. S., 2007. Measurement of indoor gamma radiation and radon concentrations in dwellings of Riyadh city, Saudi Arabia. Applied Radiation and Isotopes, 65, 7, 843-848.
- Arafa, W., 2004. Specific activity and hazards of granite samples collected from the Eastern Desert of Egypt. Journal of Environmental Radioactivity, 75, 3, 315-327.
- Arogunjo, A. M., Farai, I. P. ve Fuwape, I. A., 2004. Dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the Delta Region of Nigeria. Radiation Protection Dosimetry, 108, 1, 73-77.
- Arya, P. A., 1999. Çekirdek Fiziğinin Esasları, Yusuf Şahin, Balkanlar Matbaacılık, Erzurum.
- Atakan, Y., 2006. İyonlayıcı Radyasyon Etkileri ve Sağlık Riski. Radyasyon ve Çevre Sempozyumu, Haziran, Çanakkale, Bildiriler Kitabı, 25.
- BEIR VI, 1999. Health Effects of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon. Board on Radiation Effects Research (BEIR VI). National Academy Press.
- Bozkurt, A. ve Kam, E., 2007. Indoor Radon Measurement in the City of Edirne, Turkey. Sixth International Conference of the Balkan Physical Union, AIP conference proceedings, 899, 395–396.
- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlıoğlu, A. E., 2007. Assessment of environmental radioactivity for Şanlıurfa region of Southeastern Turkey. Radiation Measurements, 42, 8, 1387-1391.

- Canbazoğlu, C., 2004. Elazığ Yöresinde Doğal Radyoaktivite Tayini, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Çelebi, N. ve Alkan, H., 1997. Evaluation of Natural Radiation in The Kestanbol Spa Region. Radiation Protection Dosimetry, 69, 3, 227-230.
- Çelik, N., Poffijn, A., Çevik, U. ve Schepens, L., 2008. Indoor Radon Survey in Dwellings of the Kars Province, Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 128, 4, 432-436.
- Çelik, N., Çevik, U., Çelik, A. ve Küçükömeroğlu, B., 2008. Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. Journal of Environmental Radioactivity, 99, 8, 1349-1354.
- Damla, N., Cevik, U., Kobya, A. I., Ataksor, B. ve Isık, U., 2008. Assessment of environmental radioactivity for Batman, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, DOI 10.1007/s10661-008-0704-9.
- Değerlier, M., Karahan, G. ve Özger, G., 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. Journal of Environmental Radioactivity, 99, 7, 1018-1025.
- Doerfel, H. ve Piesch, E., 1987. Radiological Consequences in The Federal republic of Germany of The Chernobyl Reactor Accident. Radiation Protection Dosimetry, 19, 4, 223-234.
- Dragovic, S., Jankovic, Lj., Onjia, A. ve Bacic, G., 2006. Distribution of primordial radionuclides in surface soils from Serbia and Montenegro. Radiation Measurements, 41, 611-616.
- Enflo, A., 2002. Where are the radon-induced lung cancer cases? Is it time for a re-evaluation of the radon problem? International Congress Series, 1236, 23-25.
- EPA, 1992. U. S. Environmental Protection Agency, A Citizen's Guide to Radon, Washington, D.C.
- Ereeş, F. S., Aközcan, S., Parlak, Y. ve Çam, S., 2006. Assessment of dose rates around Manisa. Radiation Measurements, 41, 5, 598-601.
- Farai, I. P., Obed, R. I. ve Jibiri, N. N., 2006. Soil Radioactivity and incidence of Cancer in Nijeria. Journal of Environmental Radioactivity, 90, 1, 29-36.
- Fatima, I., Zaidi, H. J., Arif, M., Daud, M. ve Tahir, S. N. A., 2007. Measurement of natural radioactivity and dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the soil of southern Punjab, Pakistan. Radiation Protection Dosimetry, 128, 2, 206-212.
- Franco-Marina, F., Segovia, N., Ruiz, W., Godinaz, L., Tavera, L., Lopez, A., Chavez, A., Pena, P. ve Ponciano, G., 2001. Short and long term indoor radon survey in Mexico City. Radiation Measurements, 34, 1-6, 545-548.

- Gutierrez, J., Baixeras, C., Robles, B., Saez, J. C. ve Font, L., 1992. Indoor Radon Levels and Dose Estimation in Two Major Spanish Cities. Radiation Protection Dosimetry, 45, 1/4, 495-498.
- Hamori, K., Toth, E., Pal, L., Köteles, G., Losonci, A. ve Minda, M., 2006. Evaluation of indoor radon measurement in Hungary. Journal of Environmental Radioactivity, 88, 189-198.
- IAEA, 1996. International Atomic Energy Agency, "Radiation Safety" IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.
- IARC, 1988. International Agency for Research on Cancer, In :Man-made mineral fibres and radon. In: IARC Mono-graphs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 43 (Lyon, France: IARC).
- Ibrahiem, N. M., 1993. Measurement of Radioactivity Levels in Soil in the Nile Delta and Middle Egypt. Health Physics, 64, 6, 620-627.
- ICRP, 1990. The International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60. Recommendations of the International Commission on the Radiological Protection, Pergamon Press Inc., ICRP, USA.
- Jibiri, N. N. ve Bankole, O. S., 2006. Soil radioactivity and radiation absorbed dose rates at roadsides in high-traffic density areas in Ibadan Metropolis, Southwestern Nigeria. Radiation Protection Dosimetry, 118, 4, 453-458.
- Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 65, 4, 440-444.
- Karahan, G. ve Bayülken, A., 2000. Assesment of Gamma Dose Rates Around İstanbul. Journal of Envriotional Radioactivity, 47, 2, 213-221.
- Karakelle, B., Öztürk, N., Köse, A., Varinlioğlu, A., Erkol, A. Y. ve Yılmaz, F., 2002. Natural radioactivity in soil samples of Kocaeli basin, Turkey. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 254, 3, 649-651.
- Khayrat, A. H., Al-Jarallah, M. I., Fazal-ur Rehman, X. ve Abu-Jarad, F., 2003. Indoor radon survey in dwellings of some regions in Yemen. Radiation Measurements, 36, 1-6, 449-451.
- Köksal, E. M., Çelebi, N., Ataksor, B., Uluğ, A., Taşdelen, M., Kopuz, G., Akar, B. ve Karabulut, M. T., 2004. A survey of ^{222}Rn concentrations in dwellings of Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 259, 2, 213-216.
- Köksal, E. M., Çelebi, N. ve Özçınar, B., 1993. Indoor ^{222}Rn Concentrations in Istanbul Houses. Health Physics, 65, 1, 87-88.
- Krane, K. S., 1988. Introductory Nuclear Physics, Canada.

- Krane, K. S., 2001, Nükleer Fizik, Başar Şarer, 1. Cilt, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N. T., Kormaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., 2007. Determination of Radioactivity Levels and Hazards of Soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize,Turkey). Applied Radiation and Isotopes, 65, 11, 1281–1289.
- Malathi, J., Selvasekarapandian, S., Brahmanandhan, G. M., Khanna, D., Meenaks hisundaram, V., Jose, M. T., Rajan, M. P. ve Hedge, A. G., 2008. Gamma dose measurement in the dwellings of Agastheeswaram Taluk of Kanyakumari district, lying 30 km radius from Kudankulam nuclear power plant site. Environmental Monitoring Assessment, 137, 1-3, 163-168.
- McAulay, I. R. ve Moran, D., 1988. Natural Radioactivity in Soil in The Republic of Ireland. Radiation Protection Dosimetry, 24, 1/4, 47-49.
- Merdanoğlu, B. ve Altınsoy, N., 2006. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples from Kestanbol granite area, Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 121, 4, 399-405.
- Mireles, F., García, M. L., Quirino, L. L., Dávila, J. I., Pinedo, J. L., Ríos, C., Montero, M. E., Colmenero, L. ve Villalba, L., 2007. Radon survey related to construction materials and soils in Zacatecas, México using LR-115. Radiation Measurements, 42, 8, 1397-1403.
- Mjönes, L., 1986. Gamma Radiation in Swedish Dwellings. Radiation Protection Dosimetry, 15, 2, 131-140.
- Mollah, A. S., Das, S. C., Begum, A., Rahman, M. M. ve Molla, M. A. R., 1989. Indoor Gamma Radiation Exposure at The Cox's Bazar Coastal Area. Radiation Protection Dosimetry, 27, 1, 43-45.
- MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Türkiye Jeoloji Haritaları, 2002, Ankara.
- MTA, Maden Tetkik Ve Arama Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü, Giresun–Şebinkarahisar-Alucra-Çamoluk Yöresi Maden Potansiyeli Proje Önerisi, XVI, 2008 Trabzon.
- MTA, Maden Tetkik Ve Arama Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü, Giresun-Şebinkarahisar Bölgesi Uranyum Aramaları Proje Önerisi, XI, 2008, Trabzon.
- Ngachin, M., Garavaglia, M., Giovani, C., Kwato Njock, M. G. ve Nourreddine, A., 2008. Radioactivity level and soil radon measurement of a volcanic area in Cameroon. Journal of Environmental Radioactivity, 99, 7, 1056-1060.
- Osmanlıoğlu, A. E., Kam, E. ve Bozkurt, A., 2007. Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of southeastern Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 124, 4, 407-410.

- Örgün, N., 1972. Giresun-Şebinkarahisar civarının 1971 yılı detay prospeksiyon çalışmaları ve sondajlı uranyum aramaları. M.T.A. Enstitüsü. Radyoaktif Mineraller Serv. Rapor No. 437.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G. ve Çelebi, N., 2005. Natural Radioactivity Levels in Granitic Plutons and Groundwaters in Southeast part of Eskişehir, Turkey. Applied Radiation and Isotopes, 63, 2, 267-275.
- Papaefthymiou, H., Mavroudis, A. ve Kritidis, P., 2003. Indoor Radon Levels and Influencing Factors in Houses of Patras. Journal of Environmental Radioactivity, 66, 3, 247-260.
- Patra, A. K., Sudhakar, J., Ravi, P. M., James, J. P., Hegde, A. G. ve Joshi, M. L., 2006. Natural radioactivity distribution in geological matrices around Kaiga environment. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 270, 2, 307-312.
- Petalas, A. B., Vogianis, E., Nikolopoulos, D. ve Halvadakis, C. P., 2005. Preliminary survey of outdoor gamma dose rates in Lesbos Island (Greece). Radiation Protection Dosimetry, 113, 3, 336-341.
- Prakash, V., Narayana, Y. ve Siddappa, K., 2007. Concentration of natural radionuclides in and around Padubidri on the coastal Karnataka, India. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 274, 2, 367-372.
- Prasad Shiva, G. N., Nagaiah, N., Ashok, G. V. ve Karunakara, N., 2008. Concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K the soils of Bangalore region, India. Health Physics, 94.
- Psichoudaki, M. ve Papaefthymiou, H., 2008. Natural radioactivity measurements in the city of Ptolemais (Northern Greece). Journal of Environmental Radioactivity, 99, 7, 1011-1017.
- Quirino, L. L., Soriano, J. M., Mireles, F., Davila, J. I., Lopez, H., Pinedo, J. L. ve Rios, C., 2007. Indoor ^{222}Rn survey in Zacatecas State, Mexico. Applied Radiation and Isotopes, 65, 3, 371-374.
- Quindos, L. S., Fernandez, P. L., Rodenas, C., Gomez-Arozamena, J. ve Arteché, J., 2004. Conversion factors for external gamma dose derived from natural radionuclides in soils. Journal of Environmental Radioactivity, 71, 2, 139-145.
- Rahman, S., Mati, N., Matiullah. ve Ghauri, B. M., 2007. Seasonal indoor radon concentration in the North West Frontier Province and federally administered tribal areas-Pakistan. Radiation Measurements, 42, 10, 1715-1722.
- Ramli, A. T., Sahrone, S. ve Wagiran, H., 2005. Terrestrial gamma radiation dose study to determine the baseline for environmental radiological health practices in Melaka state, Malaysia. Journal of Radiological Protection, 25, 4, 435-450.

- Sajo-Bohus, L., Palfalvi, J., Urbani, F., Castro, D., Greaves, E. D. ve Liendo, J. A., 1999. Environmental Gamma and Radon Dosimetry in Venezuela. Radiation Measurements, 31, 1-6, 283-286.
- Selçuk, A. B., Yavuz, H., Köksal, E. M. ve Özçınar, B., 1998. Radon concentration in Elazığ houses and factories. Radiation Protection Dosimetry, 77, 3, 211-212.
- Selvasekarapandian, S., Sivakumar, R., Manikandan, N. M., Meenakshisundaram, V., Raghunath, V. M. ve Gajendran, V., 2000. Natural radionuclide distribution in soils of Gudalore, India. Applied Radiation and Isotopes, 52, 2, 299-306.
- Shenber, M. A., 1997. Measurement of natural radioactivity levels in soil in Tripoli. Applied Radiation and Isotopes, 48, 1, 147-148.
- Singh, S., Kumar, A. ve Singh, B., 2002. Radon level in dwellings and its correlation with uranium and radium content in some areas of Himachal Pradesh, India. Environment International, 28, 1-2, 97-101.
- Singh, S., Sharma, D. K. ve Kumar, A., 2004. Environmental radon studies using solid state nuclear track dedectors. Journal of Environmental Radioactivity, 76, 3, 369-376.
- Sroor, A., El-Bahi, S. M., Ahmed, F. ve Abdel-Haleem, A. S., 2001. Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. Applied Radiation and Isotopes, 55, 6, 873-879.
- Stranden, E. ve Strand, T., 1986. Natural Gamma Radiation in a Norwegian Area Rich in Thorium. Radiation Protection Dosimetry, 16, 4, 325-328.
- Subba Ramu, M. C., Ramachandran, T. V., Muraleedharan, T. S. ve Shaikh, A. N., 1990. Indoor Levels of Radon Daughters in Some High Background Areas in India. Radiation Protection Dosimetry, 30, 1, 41-44.
- TAEK, 2002. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Radyasyon ve Biz, Ankara.
- TAEK, 2000. Regulations for the Radiation Safety, No. 23999. Reports of the Turkish Atomic Energy Commission, Ankara, Turkey.
- Tzortzis, M., Svoukis, E. ve Tsertos, H., 2004. A comprehensive study of natural gamma radioactivity levels and associated dose rates from surface soils in Cyprus. Radiation Protection Dosimetry, 109, 3, 217-224.
- Uluğ, A., Karabulut, M. ve Çelebi, N., 2004. Radon Measurement with CR-39 Track Dedectors at specific Locations in Turkey. Nuclear Technology and Radiation Protection, 19, 1, 46-49.

- UNSCEAR, 1993. Ionizing Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations Sales Publication E.94.IX.2. United Nations, New York, USA.
- UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation to the General Assembly, Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, United Nations, New York, USA.
- URL-1, <http://populermedikal.com/radon.asp>, 12.05.2008.
- URL-2, <http://trabzon.gov.tr/?page-id=157/06.11.2000>.
- Vaizoglu, S. S. ve Güler, Ç., 1999. Indoor radon concentrations in Ankara dwellings. Indoor and Built Environment, 8, 5, 327–331.
- Wenbin, M., Yan, J., Chanzhu, Q. ve Weidao, Z., 1990. Investigation of Indoor and Outdoor Radon and its Daughters in the Region of Lianing, People's Republic of China. Radiation Protection Dosimetry, 30, 1, 37-40.
- Yarar, Y. ve Kam, E., 2005. Environmental radioactivity concentrations of Tekirdağ. International Congress Series, 1276, 387– 389.
- Yeşilbağ, Y. Ö., 2008. Artvin ve Ardahan İlleri Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Younis, M., Subhani, M. S., Khan, K. ve Orfi, S. D., 2005. Radioactivity mapping of North western areas of Pakistan. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 266, 2, 325-332.
- Ziqiang, P., Yin, Y. ve Mingqiang, G., 1988. Natural Radiation and Radioactivity in China. Radiation Protection Dosimetry, 24, 1/4, 29-38.
- Zunic, Z. S., Yarmoshenko, I. V., Birovljev., A., Bochicchio, F., Quarto, M., Obryk, B., Paszkowski, M., Celikovic, I., Demajo, A., Ujic, P., Budzanowski, M., Olko, P., Mclaughlin, J. P. ve Waligorski, M. P. R., 2007. Radon survey in the high natural radiation region of Niska Banja, Serbia. Journal of Environmental Radioactivity, 92, 3, 165-174.

7. EKLER

Ek Tablo 1. Şebinkarahisar kaya örneklerindeki radyonüklit konsantrasyonları, gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	İkisu yolu	10,57±0,92	24,69±3,61	365,24±18,88	35,03	42,96
2	İkisu	41,11±4,03	17,24±5,32	647,23±11,41	56,40	69,16
3	İkisu	16,24±2,03	25,47±4,38	384,71±16,52	38,93	47,74
4	Kızıлтаş	20,12±3,22	16,15±2,26	133,26±8,15	24,61	30,18
5	Kayaaltı	74,75±3,90	26,96±4,49	138,16±12,64	56,58	69,39
6	Kayaboğazı Güzdesi	97,45±4,06	126,36±9,44	1224,18±24,34	172,39	211,42
7	Sarak Göl	44,53±3,25	41,36±5,07	407,19±15,84	62,53	76,69
8	Kırlangıç	65,86±3,65	43,23±5,82	863,49±34,02	92,55	113,50
9	Kızıлтаş Köyü Yaylası	21,52±3,16	27,16±3,74	712,28±16,75	56,05	68,74
10	Kayalıyurt-İkizce Yatak	35,39±2,34	29,12±4,39	877,52±34,31	70,53	86,50
11	Kayalıyurt girişi	22,64±1,97	38,56±4,76	332,03±17,16	47,60	58,37
12	Kayalıyurt	50,43±3,42	47,86±5,98	785,02±32,57	84,94	104,17
13	Kayalıyurt-İkizce Yatak arası	22,15±3,41	14,39±2,74	548,03±26,45	41,78	51,24
14	İkizce yatak yolu	36,57±3,11	45,64±4,31	746,51±27,11	75,59	92,71
15	İkizce yatak	20,25±1,42	14,78±2,28	150,54±12,11	24,56	30,12
16	İkizce yatak	55,23±4,30	28,82±3,09	612,41±29,93	68,46	83,96
17	Kınık yaylası yolu	49,12±4,80	13,25±1,28	87,13±7,74	34,33	42,10
18	Kınık yaylası yolu	71,43±5,36	25,38±2,10	611,42±13,44	73,83	90,54
19	Kınık yaylası	85,38±3,11	24,71±2,22	185,54±10,57	62,11	76,17
20	Kınık yaylası	140,57±5,80	352,80±12,97	1369,77±45,75	335,15	411,03
21	Kınık Yaylası çıkışı	36,51±4,11	24,37±1,36	105,74±8,08	36,00	44,15
22	Eğribel	143,20±5,02	107,03±8,69	1030,64±38,34	173,78	213,13
23	Çukurovası Mevkii	241,56±3,87	223,64±4,22	983,38±6,08	287,69	352,82

Ek 1'in devamı

No	Yer Adı	²³⁸ U (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	D (nGy/s)	AEDE (μSv/y)
24	Çukurovası	233,15±2,72	271,60±7,28	1769,46±33,16	345,55	423,78
25	Sarıçiçek Yaylası Mevkii	42,14±3,85	34,52±3,94	448,06±16,78	59,00	72,36
26	Sarıçiçek Yaylası	34,28±2,74	60,16±6,55	677,46±29,80	80,42	98,63
27	Sarıçiçek yaylası	23,51±2,05	11,43±2,68	163,74±5,42	24,59	30,16
28	Tutak dağı Çileder Yaylası	265,74±4,88	137,51±5,74	1409,31±41,11	264,60	324,50
29	Tutak Dağı Duman Yaylası	288,26±7,16	41,22±4,34	841,28±30,06	193,15	236,88
30	Duman yaylası çıkışı	41,71±4,05	84,06±7,06	1441,09±42,51	130,14	159,60
31	Eskine Yayla Mevkii	177,66±7,18	472,61±20,11	1646,4±47,52	436,19	534,94
32	Eskine Yayla	249,22±9,16	208,15±12,32	1014,43±39,71	283,16	347,27
33	Üçköprü Ormanı	181,15±8,62	344,64±15,63	1441,75±46,74	351,97	431,66
34	Üçköprü Ormanları	210,35±7,36	263,41±13,05	1536,21±45,23	320,34	392,87
35	Üçköprü Ormanı	174,36±5,94	181,66±9,11	1137,71±48,52	237,72	291,54
36	Üçköprü Ormanı orman içi	168,46±6,21	206,13±16,41	1225,16±42,67	253,42	310,79
37	Tutak Dağı	214,63±6,23	114,26±8,15	978,41±31,82	208,97	256,28
38	Tutak dağı	145,43±4,16	98,15±7,21	895,37±30,76	163,81	200,89
39	Tutak dağı Uğurca Yolu Mevkii	136,29±5,16	105,3±6,50	1134,63±47,26	173,88	213,25
40	Maden	36,81±4,10	37,35±3,08	652,41±29,05	66,77	81,89
41	Eskine	185,32±9,02	269,83±8,79	1094,84±33,51	294,25	360,87
42	Tamzara	227,66±7,52	393,99±14,38	121,04±11,41	348,20	427,03
43	Dikmen Tepesi	67,38±4,65	41,27±6,22	738,92±29,67	86,87	106,54
44	Merkez-Gülmezler semti	32,42±2,44	22,41±2,07	842,30±9,23	63,64	78,05
45	Tamdere	136,26±3,94	94,88±7,66	1315,46±51,09	175,11	214,76
46	Çamağzı	125,21±2,64	114,33±2,68	415,64±8,06	144,23	176,89
47	Çatakhan Damları-Licese	196,83±5,47	164,49±8,77	1345,62±48,16	246,40	302,18
48	Licese sapağı	80,33±2,76	66,09±5,15	809,82±25,42	110,80	135,89
49	Saydere-Ormaniçi	238,74±3,10	145,62±4,03	1367,13±12,04	255,26	313,05
50	Saydere	231,38±2,56	160,44±6,15	1667,62±28,44	273,34	335,23
ORT:		110,95±1,94	109,69±4,20	828,65±13,94	152,06	186,49

Ek Tablo 2. Şebinkarahisar bina dışı toplam gama dozları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri

No	Yer Adı	Bina Dışı	
		D (nGy/s)	AEDE (µSv/y)
1	İkisu yolu	95,70	117,37
2	İkisu	104,40	128,04
3	İkisu	44,37	54,42
4	Kızıлтаş	478,50	586,83
5	Kayaaltı	226,20	277,41
6	Kayaboğazı Güzdesi	156,60	192,05
7	Sarak Göl	76,56	93,89
8	Kırlangıç	87,00	106,70
9	Kızıлтаş Köyü Yaylası	113,10	138,71
10	Kayalıyurt-İkizce Yatak	121,80	149,38
11	Kayalıyurt girişi	49,59	60,82
12	Kayalıyurt	139,20	170,71
13	Kayalıyurt-İkizce Yatak arası	87,00	106,70
14	İkizce yatak yolu	82,65	101,36
15	İkizce yatak	24,36	29,88
16	İkizce yatak	87,00	106,70
17	Kınık yaylası yolu	20,88	25,61
18	Kınık yaylası yolu	182,70	224,06
19	Kınık yaylası	58,29	71,49
20	Kınık yaylası	191,40	234,73
21	Kınık Yaylası çıkışı	36,54	44,81
22	Eğribel	217,50	266,74
23	Çukurovası Mevkii	469,80	576,16
24	Çukurovası	826,50	1013,62
25	Sarıçiçek Yaylası Mevkii	49,59	60,82
26	Sarıçiçek Yaylası	121,80	149,38
27	Sarıçiçek yaylası	34,80	42,68

Ek 2'nin devamı

No	Yer Adı	Bina Dışı	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
28	Tutak dağı Çileder Yaylası	121,80	149,38
29	Tutak Dağı Duman Yaylası	130,50	160,05
30	Duman yaylası çıkışı	200,10	245,40
31	Eskine Yayla Mevkii	539,40	661,52
32	Eskine Yayla	295,80	362,77
33	Üçköprü Ormanı	365,40	448,13
34	Üçköprü Ormanları	287,10	352,10
35	Üçköprü Ormanı	200,10	245,40
36	Üçköprü Ormanı orman içi	321,90	394,78
37	Tutak Dağı	156,60	192,05
38	Tutak dağı	113,10	138,71
39	Tutak dağı Uğurca Yolu Mevkii	208,80	256,07
40	Maden	70,47	86,42
41	Eskine	461,10	565,49
42	Tamzara	64,38	78,96
43	Dikmen Tepesi	87,00	106,70
44	Merkez-Gülmezler semti	84,39	103,50
45	Tamdere	130,50	160,05
46	Çamağzı	356,70	437,46
47	Çatakhhan Damları-Licese	200,10	245,40
48	Licese sapağı	339,30	416,12
49	Saydere-Ormaniçi	504,60	618,84
50	Saydere	182,70	224,06
51	Saydere Yolu üzeri	391,50	480,14
52	Merkez-Öğretmenevi Bahçesi	37,41	45,88
53	Diler-Kınık Arası	200,10	245,40
54	Altınçevre-Alucra yolu üzeri	46,98	57,62

Ek 2'nin devamı

No	Yer Adı	Bina Dışı	
		D (nGy/s)	AEDE (μ Sv/y)
55	Merkez-Avutmuş Mah.	38,28	46,95
56	Hocaoğlu Köyü-Sivas Sınırı	147,90	181,38
57	Hocaoğlu Yolu üzeri	95,70	117,37
58	Göldüzü	208,80	256,07
59	Göldüzü	104,40	128,04
60	Göldüzü yolu	95,70	117,37
61	Kazancı mah.	243,60	298,75
62	Kazancı mah.	95,70	117,37
63	İbilli damı yolu	348,00	426,79
64	İbilli Damı	156,60	192,05
65	İbilli Damı	304,50	373,44
66	Alucra yolu	339,30	416,12
67	Alucra yolu	200,10	245,40
68	Alucra yolu	287,10	352,10
69	Parçaçam Tepesi	243,60	298,75
70	Çukurovacık	348,00	426,79
71	Eskine yayla	374,10	458,80
72	Kırkgöze Pınarı	722,10	885,58
73	Buğday Tarla	348,00	426,79
ORT:		205,25	251,72

ÖZGEÇMİŞ

5.12.1979 tarihinde Ordu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ordu'da tamamladı. 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümün'e başladı ve 2001 yılında Bölüm 2.'liği ile mezun oldu. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisansa başladı. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2005 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamasını takiben, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde doktora eğitimine başladı. Uluslararası dergilerde ve kongrelerde yayınlanmış makaleleri ve bildirileri bulunan Araştırmacı, halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.