



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KIRIKKALE'DE (TÜRKİYE) DOĞAL RADYASYON
KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ VE
GAMA DOZ ORANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Fizik Müh. Nesli ALBAYRAK

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

Danışman

Yard. Doç. Dr. Pelin OTANSEV

Aralık, 2011

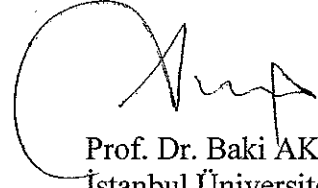
İSTANBUL

Bu çalışma 23/12/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Nükleer Fizik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Yard. Doç. Dr. Pelin OTANSEV
Danışman
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



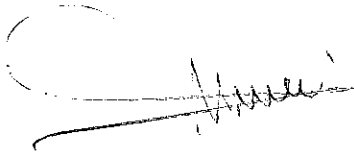
Prof. Dr. Baki AKKUŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Oya OĞUZ
Haliç Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi



Doç. Dr. Yeşim ÖKTEM
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Bayram DEMİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ayrıca gösterdiği her türlü destek, yardım, özveri ve anlayıştan dolayı çok değerli hocam Yard. Doç. Dr. Pelin OTANSEV'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım süresince bilgilerinden yararlandığım başta Dr. Berna ATAKSOR'a ve bana her türlü desteği sağlayan Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Sağlık Fiziki Birimi mesai arkadaşlarıma, Eylem KEKEÇ'e, M. Murat BİNGÖLDAĞ'a, toprak ve su örneklerinin analiz aşamasında yardımcı olan Dr. Ahmet VARİNLİOĞLU, Halim TAŞKIN, Nilgün ORHAN, Rezzan KÜÇÜKCEZZAR ve Ayhan YÜKSEL'e,

Radon dedektörlerin Kırıkkale il, ilçe ve köylerine dağıtılması esnasında gerekli araç ve personel yardımını sağlayan Kırıkkale Valiliğine, Kırıkkale İl Sağlık Müdürlüğüne ve personeline, ayrıca radon detektörlerini evlerinde bulundurma duyarlılığını gösteren Kırıkkale halkına,

Haritaların hazırlanmasında yardımını esirgemeyen, özveride bulunan Harita Mühendisi Mustafa ÇETİN'e,

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, sabır ve hoşgörülerıyla daima yanımda olan canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Aralık, 2011

Nesli ALBAYRAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
TABLO LİSTESİ	xii
HARİTA LİSTESİ	xv
SEMBOL LİSTESİ	xvi
KISALTMA LİSTESİ	xvii
ÖZET	xviii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE.....	5
2.2. RADYASYON ÇEŞİTLERİ	6
2.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar	6
2.2.1.1. Elektromanyetik Radyasyonlar (EMR)	6
2.2.1.2. Parçacıklı Radyasyonlar.....	7
2.3. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞMESİ.....	9
2.3.1. Ağır Parçacıkların Madde ile Etkileşmesi (Alfa Soğurulması)	9
2.3.2. Hafif Parçacıkların Madde ile Etkileşmesi (Beta Soğurulması)	11
2.3.2.1. Bremsstrahlung	12
2.3.3. X ve Gama Işınlığının Madde ile Etkileşmesi	13
2.3.3.1. Fotoelektrik Etkisi	13
2.3.3.2. Compton Etkisi	14

2.3.3.3. Çift Oluşumu	14
2.3.3.4. Göreceli Önemleri	15
2.4. RADYASYON BİRİMLERİ VE TANIMLARI.....	15
2.5. RADYASYON KAYNAKLARI	17
2.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	18
2.5.1.1. Toprakta Bulunan Doğal Radyasyon Kaynakları.....	22
2.5.1.2. Sularda Bulunan Doğal Radyasyon Kaynakları.....	29
2.5.1.3. Çevresel Doğal Radyasyon Kaynakları	29
2.5.1.4. Ev İçi Radon Kaynakları.....	30
2.5.1.5. Toprak ve Kayalardan Gelen Radon	32
2.5.1.6. İnşaat Yapı Malzemelerinden Gelen Radon.....	32
2.5.1.7. Sulardan Gelen Radon.....	33
2.5.1.8. Doğal Gazdan Gelen Radon	33
2.6. RADON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	34
2.7. RADON GAZININ İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ	34
2.8. RADONLA İLGİLİ RADYASYON KORUNMASI STANDARTLARI....	36
2.9. YILLIK ETKİN DOZ EŞDEĞERİ.....	37
2.10. LİTERATÜRDE BULUNAN BENZER ÇALIŞMALAR.....	38
3. MALZEME VE YÖNTEM	41
3.1. KIRIKKALE İLİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	41
3.2. ÇEVRESEL DOĞAL GAMA DOZ HIZLARININ BELİRLENMESİ.....	43
3.3. TOPRAK ÖRNEKLERDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE	
KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ.....	44
3.3.1. Toprak Örneklerin Toplanması ve Analize Hazırlanması.....	44
3.3.2. Toprak Örneklerin Analizinde Kullanılan Sayım Sistemi.....	45
3.2.2.1. Dedektör Sistemi.....	46
3.2.2.2. Çok Kanallı Analizör Sistemi.....	48
3.3.3. Enerji Kalibrasyonu	48
3.3.4. Verim Kalibrasyonu.....	50
3.3.5. Toprak Örneklerin Analizi.....	51
3.4. SU ÖRNEKLERİNDE TOPLAM ALFA ve TOPLAM BETA AKTİVİTE	
KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ.....	53

3.4.1. Su Örneklerin Alınması.....	53
3.4.2. Su Örneklerin Analize Hazırlanması.....	53
3.4.2.1. EPA 900.0 Yöntemi.....	53
3.4.2.2. SM 7110C Çöktürme Yöntemi.....	54
3.4.3. Su Örneklerin Analizinde Kullanılan Toplam Alfa ve Toplam Beta Sayım Sistemi.....	55
3.4.3.1. Gaz Akışlı Orantılı Sayıcı.....	56
3.4.4. Su Örneklerde Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivitelerinin Belirlenmesi.....	61
3.4.4.1. Sayaçların Veriminin Bulunması ve Kalibrasyonu.....	61
3.4.2.2.Sayaç Platoları ve En İyi Çalışma Noktasının Bulunması.....	62
3.4.5. Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Sayım Sisteminde Analizi	62
3.5. EVLERDE RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ.....	63
3.5.1. Evlerde Radon Ölçüm Sistemi	63
3.5.2. Radon Dozimetrelerinin Dağıtılması ve Toplanması.....	64
3.5.3. Radon Dedektörlerinin Sayıma Hazırlanması ve Değerlendirilmesi....	65
3.5.3.1. Kimyasal İz Kazıma Yöntemi.....	66
3.5.3.2. Radon Dedektörlerinin Sayılması ve Değerlendirilmesi.....	67
3.5.4. CR-39 Pasif Radon Dedektörlerin Karakteristik Özellikleri	67
3.6. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN DİĞER MALZEMELER	68
4. BULGULAR	70
4.1. ÇEVRESEL DOĞAL GAMA DOZ HIZI SEVİYELERİ.....	70
4.2. İLÇELERE GÖRE ÇEVRESEL DOĞAL GAMA DOZ HIZI DAĞILIMLARI	73
4.2.1. Merkez İlçe Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı.....	73
4.2.2. Bahşılı İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı.....	75
4.2.3. Balıseyh İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı.....	76
4.2.4. Çelebi İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı	78
4.2.5. Delice İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı.....	79

4.2.6. Karakeçili İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı	80
4.2.7. Keskin İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı	81
4.2.8. Sulakyurt İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı	83
4.2.9. Yahşihan İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı	85
4.3. KIRIKKALE İLİ EVLERİNDE BELİRLENEN RADON AKTİVİTE	
KONSANTRASYONLARI.....	86
4.3.1. Yaz Dönemi Evlerde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonları....	86
4.3.2. Kış Dönemi Evlerde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonları.....	88
4.3.3. Yaz ve Kış Dönemi Kırıkkale İlçelerinde Bulunan Köylerinde	
Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonları Karşılaştırılması	91
4.3.3.1. Bahşılı İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	91
4.3.3.2. Balıseyh İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	92
4.3.3.3. Çelebi İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	94
4.3.3.4. Delice İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	96
4.3.3.5. Karakeçili İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	97
4.3.3.6. Keskin İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	99
4.3.3.7. Merkez İlçe Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	101
4.3.3.8. Sulakyurt İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	103
4.3.3.9. Yahşihan İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu..	104
4.4. KIRIKKALE İLİ TOPRAK ÖRNEKLERDE BELİRLENEN	
RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİ	106
4.4.1. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Radium (^{226}Ra) Radyoizotopunun	
Dağılımı	106
4.4.2. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Toryum (^{232}Th) Radyoizotopunun	
Dağılımı	109
4.4.3. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Potasyum (^{40}K) Radyoizotopunun	
Dağılımı	111
4.4.4. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Sezyum (^{137}Cs) Radyoizotopunun	
Dağılımı	114
4.4.5. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonlarının	
İlçe Köylerine Göre Dağılımı	117
4.4.5.1. Bahşılı İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite	
Konsantrasyonu Dağılımı	117

4.4.5.2. Balışeyh İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı	120
4.4.5.3. Çelebi İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı	123
4.4.5.4. Delice İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı	125
4.4.5.5. Karakeçili İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı	128
4.4.5.6. Keskin İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı	131
4.4.5.7. Merkez İlçe Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı	134
4.4.5.8. Sulakyurt İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı	137
4.4.5.9. Yahşıhan İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı	141
4.5. KIRIKKALE İLİ SU ÖRNEKLERİNDE BELİRLENEN TOPLAM ALFA VE TOPLAM BETA RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİ	144
4.5.1. Kırıkkale İli Sularında Belirlenen Toplam Alfa Radyoaktivite Seviyeleri.....	144
4.5.2. Kırıkkale İli Sularında Belirlenen Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri.....	147
4.5.3. Kırıkkale İli Sularında Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyelerinin İlçelere Göre Karşılaştırılması	150
4.5.3.1. Bahşılı İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu.....	150
4.5.3.2. Balışeyh İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu	152
4.5.3.3. Çelebi İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu	154
4.5.3.4. Delice İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu	156
4.5.3.5. Karakeçili İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen	

Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu	158
4.5.3.6. Keskin İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu	160
4.5.3.7. Merkez İlçe Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu	162
4.5.3.8. Sulakyurt İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu	164
4.5.3.9. Yahşıhan İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu	167
4.6. DOZ DEĞERLENDİRMELERİ	169
4.6.1. Kırıkkale İli Çevresel Gama Işınlardan Alınan YEDE (Dış Işınlamalardan Alınan Dozlar).....	169
4.6.2. Kırıkkale İli Evlerinde Radon ve Ürünlerinden Alınan YEDE (İç Işınlamalardan Alınan Dozlar)	170
4.6.3. Tüm Vücut İçin İç ve Dış Işınlamalardan Alınan Toplam YEDE	172
4.7. RİSK DEĞERLENDİRMELERİ	173
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	175
5.1. KIRIKALE İLİNDE BELİRLENEN DOĞAL TEMEL RADYASYON SEVİYELERİ	175
5.1.1. Çevresel Doğal Gama Işınlama Doz Hızlarının Değerlendirilmesi	175
5.1.2. Sularda Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi.....	177
5.1.3. Toprakta Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi...	180
5.1.4. Evlerde Belirlenen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi...	182
5.2. DOZ VE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ	185
KAYNAKLAR	187
EKLER	194
ÖZGEÇMİŞ	209

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Alfa parçacıklarının menziline enerjiye bağlılığı.....	10
Şekil 2.2	: Dedektörün tespit ettiği alfa sayısının zırhın kalınlığına göre değişimi.....	11
Şekil 2.3	: Beta parçacıklarının Alüminyum ortamındaki menziline enerjilerine bağlılığı.....	11
Şekil 2.4	: ²¹⁰ Bi izotopunun beta enerji spektrumu.....	12
Şekil 2.5	: Fotoelektrik olay.....	13
Şekil 2.6	: Compton olayı.....	14
Şekil 2.7	: Çift oluşumu.....	14
Şekil 2.8	: Soğurucunun atom numarası ve fotonun enerjisine göre üç etkileşimin göreceli önemleri.....	15
Şekil 2.9	: Radyasyon kaynakları.....	18
Şekil 2.10	: Uranyum serisinin bozunum şeması.....	19
Şekil 2.11	: Toryum serisinin bozunum şeması.....	20
Şekil 2.12	: Aktinyum serisinin bozunum şeması.....	21
Şekil 2.13	: Radon-222 oluşumu ve bozunma ürünleri.....	26
Şekil 2.14	: ²²² Rn (Radon) ve ²²⁰ Rn (Toron) bozunum zinciri.....	27
Şekil 2.15	: Toprakta radon geçirgenliği.....	28
Şekil 2.16	: Radon potansiyelini etkileyen faktörler.....	28
Şekil 2.17	: Radonun ev ortamına giriş yolları.....	31
Şekil 2.18	: Ev içi radon konsantrasyonuna etki eden faktörler.....	31
Şekil 3.1	: Türkiye haritası.....	41
Şekil 3.2	: Kırıkkale ili deprem bölgeleri.....	42
Şekil 3.3	: 44-10 model NaI(Tl) gama sintilasyon dedektörüne bağlı Ludlum marka 2242-2 model taşınabilir cihaz.....	43
Şekil 3.4	: Boş marinelli kap ile içerisinde toprak örneği bulunan ağzı bantla kapatılmış dolu bir marinelli kap.....	45
Şekil 3.5	: Gama spektrometrik analiz sistemi blok diyagramı.....	45
Şekil 3.6	: Gama spektrometrik analiz sistemi düzeneği.....	46
Şekil 3.7	: Kurşun zırhla çevrelenmiş HPGe dedektör kristali.....	47
Şekil 3.8	: Enerji-Kanal grafiği.....	49
Şekil 3.9	: Enerji-Verim eğrisi.....	51
Şekil 3.10	: T-60 nolu toprak örnekten elde edilen gama spektrumu.....	52
Şekil 3.11	: Gazlı radyasyon sayacı ve dış devresi.....	56
Şekil 3.12	: Alfa/Beta için sayaç platoları ve çalışma voltajı.....	57
Şekil 3.13	: Alfa/Beta darbe yükseklik spektrumu.....	58
Şekil 3.14	: Berthold marka LB770-PC 10-kanallı düşük seviyeli planşet sayıcısı.....	59
Şekil 3.15	: Toplam Alfa-Beta sayım sisteminin blok diyagramı.....	59
Şekil 3.16	: Otomatik iz sayım sistemi.....	64

Şekil 3.17	: Radon dozimetreleri	64
Şekil 3.18	: CR-39 plastik pasif iz dedektörü	65
Şekil 3.19	: Dedektör tutucu (radoslide).....	66
Şekil 3.20	: Banyo ünitesi ve aparatları	66
Şekil 3.21	: Radon konsantrasyonuna bağlı olarak CR-39 plastiği üzerinde oluşan alfa izleri.....	66
Şekil 3.22	: Küresel yer belirleme sistemi (Global Positioning System, GPS)	69
Şekil 4.1	: İlçelere göre ortalama doğal gama doz hızı dağılımı	72
Şekil 4.2	: Kırıkkale ilinin çevresel ortalama doğal gama doz hızının ölçüm sayısına göre dağılımı	73
Şekil 4.3	: Merkez ilçe çevresel doğal gama doz hızı dağılımı	75
Şekil 4.4	: Bahşılı ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı	76
Şekil 4.5	: Balışeyh ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı.....	77
Şekil 4.6	: Çelebi ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı	78
Şekil 4.7	: Delice ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı.....	80
Şekil 4.8	: Karakeçili ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı.....	81
Şekil 4.9	: Keskin ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı	83
Şekil 4.10	: Sulakyurt ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı	84
Şekil 4.11	: Yahşihan ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı.....	85
Şekil 4.12	: Yaz dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	88
Şekil 4.13	: Kış dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	90
Şekil 4.14	: Bahşılı ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.15	: Balışeyh ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	94
Şekil 4.16	: Çelebi ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.17	: Delice ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	97
Şekil 4.18	: Karakeçili ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	98
Şekil 4.19	: Keskin ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	100
Şekil 4.20	: Merkez ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	102
Şekil 4.21	: Sulakyurt ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	104
Şekil 4.22	: Yahşihan ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....	105
Şekil 4.23	: İlçelere göre ortalama ²²⁶ Ra radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı..	108
Şekil 4.24	: İlçelere göre ortalama ²³² Th radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı..	111
Şekil 4.25	: İlçelere göre ortalama ⁴⁰ K radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı.....	113
Şekil 4.26	: İlçelere göre ortalama ¹³⁷ Cs radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı..	116
Şekil 4.27	: Bahşılı ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	118
Şekil 4.28	: Bahşılı ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	118
Şekil 4.29	: Bahşılı ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	119
Şekil 4.30	: Bahşılı ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....	119

Şekil 4.31	: Balıseyh ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı..121
Şekil 4.32	: Balıseyh ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı..121
Şekil 4.33	: Balıseyh ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....122
Şekil 4.34	: Balıseyh ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı..122
Şekil 4.35	: Çelebi ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....123
Şekil 4.36	: Çelebi ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....124
Şekil 4.37	: Çelebi ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....125
Şekil 4.38	: Çelebi ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....125
Şekil 4.39	: Delice ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....126
Şekil 4.40	: Delice ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....127
Şekil 4.41	: Delice ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....127
Şekil 4.42	: Delice ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....128
Şekil 4.43	: Karakeçili ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı129
Şekil 4.44	: Karakeçili ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı130
Şekil 4.45	: Karakeçili ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı...130
Şekil 4.46	: Karakeçili ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı130
Şekil 4.47	: Keskin ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....132
Şekil 4.48	: Keskin ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....133
Şekil 4.49	: Keskin ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....133
Şekil 4.50	: Keskin ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....134
Şekil 4.51	: Merkez ilçe Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....135
Şekil 4.52	: Merkez ilçe Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....136
Şekil 4.53	: Merkez ilçe K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....136
Şekil 4.54	: Merkez ilçe Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....137
Şekil 4.55	: Sulakyurt ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.139
Şekil 4.56	: Sulakyurt ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.139
Şekil 4.57	: Sulakyurt ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı....140
Şekil 4.58	: Sulakyurt ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.141
Şekil 4.59	: Yahşihan ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.142
Şekil 4.60	: Yahşihan ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.142
Şekil 4.61	: Yahşihan ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.....143
Şekil 4.62	: Yahşihan ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı.143
Şekil 4.63	: İlçelere göre toplam alfa aktivite konsantrasyonu dağılımı.....146
Şekil 4.64	: İlçelere göre toplam beta aktivite konsantrasyonu dağılımı.....149
Şekil 4.65	: Bahşılı ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....151
Şekil 4.66	: Bahşılı ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....151
Şekil 4.67	: Balıseyh ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....153
Şekil 4.68	: Balıseyh ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....153
Şekil 4.69	: Çelebi ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....155
Şekil 4.70	: Çelebi ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....155
Şekil 4.71	: Delice ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....157
Şekil 4.72	: Delice ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....157
Şekil 4.73	: Karakeçili ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....159
Şekil 4.74	: Karakeçili ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....160
Şekil 4.75	: Keskin ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....161
Şekil 4.76	: Keskin ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....162
Şekil 4.77	: Merkez ilçe sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....164
Şekil 4.78	: Merkez ilçe sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....164

Şekil 4.79	: Sulakyurt ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....	166
Şekil 4.80	: Sulakyurt ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....	166
Şekil 4.81	: Yahşihan ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı.....	168
Şekil 4.82	: Yahşihan ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı.....	168
Şekil 5.1	: Türkiye'nin farklı illerine ait ortalama gama doz hızlarının dünyanın ortalama gama doz hızı ile karşılaştırılması.....	176

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Gama ışını yayan bazı radyoaktif maddeler	7
Tablo 2.2	: Alfa ışını yayan bazı radyoaktif maddeler	8
Tablo 2.3	: Beta ışını yayan bazı radyoaktif maddeler	9
Tablo 2.4	: İyonlayıcı radyasyon birimleri ve dönüşümleri.....	16
Tablo 2.5	: Çeşitli radyasyon türleri için kalite faktörü.....	17
Tablo 2.6	: Çeşitli kaya tiplerinden gelen gama radyasyonu doz oranları.....	23
Tablo 2.7	: Toprakta bulunan doğal radyoizotop konsantrasyonları	23
Tablo 2.8	: Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu.....	24
Tablo 2.9	: Radonun radyoaktivite özellikleri	26
Tablo 2.10	: ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin ortalama aktivite kütle konsantrasyonu ve buna karşılık olarak havada soğurulan doz şiddetleri	30
Tablo 2.11	: İnşaat yapı malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri.....	33
Tablo 2.12	: Radon konsantrasyon limitleri (Bq/m^3).....	37
Tablo 2.13	: Bazı ülkelerin evlerinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonu (Bq/m^3).....	37
Tablo 3.1	: Enerji kalibrasyonu için kullanılan standart kalibrasyon kaynakları	49
Tablo 4.1	: İlçelere göre çevresel ortalama doğal gama doz hızı değerleri	70
Tablo 4.2	: Merkez ilçe çevresel doğal gama doz hızı değerleri	74
Tablo 4.3	: Bahşılı ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri.....	75
Tablo 4.4	: Balışeyh ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri.....	77
Tablo 4.5	: Çelebi ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri	78
Tablo 4.6	: Delice ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri	79
Tablo 4.7	: Karakeçili ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri	80
Tablo 4.8	: Keskin ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri.....	82
Tablo 4.9	: Sulakyurt ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri	84
Tablo 4.10	: Yahşihan ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri.....	85
Tablo 4.11	: Yaz dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonları	86
Tablo 4.12	: Kış dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonları	90
Tablo 4.13	: Bahşılı ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	91
Tablo 4.14	: Balışeyh ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	93
Tablo 4.15	: Çelebi ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	95
Tablo 4.16	: Delice ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	96
Tablo 4.17	: Karakeçili ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	98

Tablo 4.18	: Keskin ilçesi köylerde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	99
Tablo 4.19	: Merkez ilçe köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	101
Tablo 4.20	: Sulakyurt ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	103
Tablo 4.21	: Yahşihan ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları	105
Tablo 4.22	: Toprak örneklerde ²²⁶ Ra radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı.....	106
Tablo 4.23	: Toprak örneklerde ²³² Th radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı.....	109
Tablo 4.24	: Toprak örneklerde ⁴⁰ K radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı.....	113
Tablo 4.25	: Toprak örneklerde ¹³⁷ Cs radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı.....	116
Tablo 4.26	: Bahşılı ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyon değerleri.....	117
Tablo 4.27	: Balışeyh ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri.....	120
Tablo 4.28	: Çelebi ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri.....	123
Tablo 4.29	: Delice ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri	126
Tablo 4.30	: Karakeçili ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri.....	129
Tablo 4.31	: Keskin ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri.....	131
Tablo 4.32	: Merkez ilçe köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri.....	134
Tablo 4.33	: Sulakyurt ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri.....	138
Tablo 4.34	: Yahşihan ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri.....	141
Tablo 4.35	: Kırıkkale ili su örneklerinde toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu.....	144
Tablo 4.36	: Kırıkkale ili su örneklerinde toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu	147
Tablo 4.37	: Bahşılı ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	150
Tablo 4.38	: Balışeyh ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	152
Tablo 4.39	: Çelebi ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	154
Tablo 4.40	: Delice ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	156
Tablo 4.41	: Karakeçili ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	158

Tablo 4.42	: Keskin ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	161
Tablo 4.43	: Merkez ilçe köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	163
Tablo 4.44	: Sulakyurt ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	165
Tablo 4.45	: Yahşihan ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları.....	167
Tablo 4.46	: Kırıkkale ilçelerine göre ev dışı ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu alınan toplam dozlar.....	170
Tablo 4.47	: Ev içi radon solunumundan ve vücutta çözünen radondan alınan toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri (mSv).....	172
Tablo 4.48	: Gama ışınlarından dış gama ışınlama yolu ile radon ve ürünlerinden iç ışınlama yolu ile alınan toplam YEDE (mSv).....	172
Tablo 4.49	: Evlerde ortalama radon ve bozunma ürünlerinin solunmasıyla yaşam süresi içinde akciğer kanseri olma olasılıkları.....	174
Tablo 5.1	: Türkiye'nin farklı illerinin ve dünyanın ortalama gama doz hızı değerleri.....	176
Tablo 5.2	: İçme suyuna ilişkin radyolojik parametre ve limit değerler.....	178
Tablo 5.3	: Türkiye'nin farklı illerinin ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonu	180
Tablo 5.4	: Kırıkkale ilçelerine göre topraktaki konsantrasyonların minimum-maksimum değer aralıkları ve ortalamaları.....	181
Tablo 5.5	: Türkiye'nin farklı illerinde ve dünyada belirlenen ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonları	182
Tablo 5.6	: Türkiye'nin farklı illerinin RAC değerleri ile Türkiye ve dünyanın evlerde ortalama RAC değerleri	184

HARİTA LİSTESİ

Harita 4.1	: Kırıkkale ilinin çevresel doğal gama doz hızlarının dağılım haritası	71
Harita 4.2	: Yaz dönemi Kırıkkale evlerinde belirlenen radon radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası.....	87
Harita 4.3	: Kış dönemi Kırıkkale evlerinde belirlenen radon radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası	89
Harita 4.4	: Kırıkkale topraklarında belirlenen radyum (Ra-226) radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası.....	107
Harita 4.5	: Kırıkkale topraklarında belirlenen toryum (Th-232) radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası.....	110
Harita 4.6	: Kırıkkale topraklarında belirlenen potasyum (K-40) radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası.....	112
Harita 4.7	: Kırıkkale topraklarında belirlenen sezyum (Cs-137) radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası	115
Harita 4.8	: Kırıkkale sularında belirlenen toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası.....	145
Harita 4.9	: Kırıkkale sularında belirlenen toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası.....	148

SEMBOL LİSTESİ

α	: alfa parçacığı
Bq	: Becquerel, radyoaktivite birimi
β	: beta parçacığı
cm	: santimetre
C	: Coulomb, elektrik yükü birimi
Ci	: Curie, radyoaktivite birimi
cpm	: counts per minute, dakikadaki sayım sayısı
Cs	: Sezyum
dpm	: disintegrations per minute, dakikadaki parçalanma sayısı
eV	: elektron volt, enerji birimi, bir elektronun 1 voltluk bir potansiyel farkı altında kazandığı kinetik enerji
E	: enerji (keV, MeV)
γ	: gama ışını
Gy	: Gray, absorblanmış doz birimi
h	: saat
J	: Joule, iş birimi
K	: Potasyum
k	: kilo, 10^3
kg	: kilogram
L	: Litre
M	: mega, 10^6
μ	: mikro, 10^{-6}
m	: mili, 10^{-3}
mg	: miligram
ml	: mililitre
mm	: milimetre
n	: nano, 10^{-9}
p	: piko, 10^{-12}
pH	: çözeltinin asitlik veya alkalinite derecesini gösteren ölçü birimi
ppm	: particle per minute, dakikadaki parçacık sayısı
R	: Röntgen, radyasyon şiddeti birimi
Ra	: Radyum
Rad	: radiation absorbed dose, soğurulan doz birimi
Rb	: Rubidyum
Rem	: radiation equivalent man, biyolojik hasarı gösteren doz birimi
Rn	: Radon
Sv	: Sievert, eşdeğer doz birimi
$T_{1/2}$	: yarılanma süresi
Th	: Toryum
U	: Uranyum

KISALTMA LİSTESİ

BEIR	: Biological Effects of Ionizing Radiations
CLS	: Commission on Life Sciences
ÇNAEM	: Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
EEC	: Equilibrium Equivalent Concentration, Denge Eşdeğer Konsantrasyonu
EPA	: United States Environmental Protection Agency, Çevre Koruma Ajansı
GPS	: Global Positioning System, Küresel Yer Belirleme Sistemi
HPGe	: High-Purity Germanium, Yüksek Saflıkta Germanyum
IAEA	: International Atomic Energy Agency
ICRP	: International Commission on Radiological Protection, Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi
ICRU	: International Commission on Radiation Units
MKS	: Meter, Kilogram, Second
NCRP	: National Council on Radiation Protection
OECD	: The Organization for Economic Co-operation and Development
RAC	: Radon Activity Concentration, Radon Aktivite Konsantrasyonu
SI	: International System of Units, Uluslararası Birimler Sistemi
SM	: Standart Methods
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TSM	: Toplum Sağlığı Merkezi
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
WHO	: World Health Organization, Dünya Sağlık Örgütü
WL	: Working Level
WLM	: Working Level Month
YEDE	: Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

ÖZET

KIRIKKALE'DE (TÜRKİYE) DOĞAL RADYASYON KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ VE GAMA DOZ ORANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, sınırları içinde aktif faylar bulunan Kırıkkale ilinin doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi ve radyolojik açıdan incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, tüm Kırıkkale ilini temsil edecek şekilde 84 noktadan toprak örnek, 85 noktadan içme suyu alınmış ve 170 noktada havada gama doz hızı ölçülmüştür. Bölgenin radyasyon haritasının çıkartılması için örnek alınan yerlerin koordinatları küresel konum belirleme (GPS) cihazı kullanılarak belirlenmiş ve kaydedilmiştir.

Toprak örnekler, Canberra marka GX5020 model HPGe (High-Purity Germanium, Yüksek Safılıkta Germanyum) dedektör içeren gama spektrometre sayım sistemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucu toprak örneklerin içerdiği ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyoizotopların ve fisyon ürünü olan ^{137}Cs radyoizotopun aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Bu çalışmada, içme suyu örnekleri EPA 900.0 yöntemi ve SM 7110 C çöktürme yöntemi kullanılarak analize hazır hale getirilmiştir. İçme suyu örneklerinde toplam alfa ve toplam beta aktivitelerini belirlemek için, Berthold marka, LB770 model, 10 kanallı düşük seviyeli gaz akışlı orantılı sayım sistemi kullanılmıştır.

Açık alanlarda, gama doz hızlarını belirlemek için 44-10 model NaI(Tl) gama sintilasyon dedektörüne bağlı Ludlum marka 2242-2 model taşınabilir dijital cihaz kullanılmıştır. Gama doz hızları, gonad (üreme organları) hizasında toprak yüzeyinden 1 metre yükseklikte, 1 dakika süreyle alınarak $\mu\text{Sv/saat}$ olarak kaydedilmiştir.

Ev-içi radon aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için bölgede belirlenen 150 eve toplam 300 adet ticari adı CR-39 olan plastik pasif radon iz dedektörü yerleştirilmiştir. Bu çalışma mevsimsel farklılıkları gözlemleyebilmek amacıyla hem yaz hem de kış mevsimlerinde yapılmıştır. Radon dedektörleri, evlerde yaklaşık 80 gün bekletilmiştir. Bu süre sonunda radon gazına maruz kalan dedektörler toplanarak üzerindeki alfa izlerinin belirgin hale getirilmesi için kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Kimyasal iz kazıma işleminden sonra dedektörler, bilgisayara bağlı gelişmiş bir mikroskop sistemi ve yazılımdan oluşan otomatik radon iz okuma cihazında okunarak radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Ayrıca bu bölgede yaşayan insanların maruz kaldığı yıllık etkin doz eşdeğerleri ve radyolojik riskler de hesaplanmıştır.

En son bölümde de elde edilen tüm sonuçlar, Türkiye ve diğer ülkelerde yapılan benzer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, radon, doğal radyasyon kaynakları

SUMMARY

DETERMINATION OF NATURAL RADIATION SOURCES AND ASSESSMENT OF GAMMA DOSE RATES IN KIRIKKALE (TURKEY)

The aim of this study is to establish and radiologically investigate the background radiation levels of the city of Kırıkkale which contains active faults in its boundaries. For this goal, to represent the whole Kırıkkale, 84 soil and 85 drinking water samples have been collected and gamma radiation doses have been measured at 170 points. The coordinates of the sample points which are chosen to map the radiation levels of the region was found and saved by using a GPS instrument.

Soil samples were analyzed by using a Canberra, GX5020 model gamma spectrometer which had HPGe (High purity Germanium) detector. By analyzing the samples, the activity concentration of natural isotopes ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and fission product ^{137}Cs has been found.

In this study, water samples were prepared for analysis using EPA 900.0 method and SM 7110 C co-precipitation method. To find gross alpha and gross beta activities in the drinking water samples, a Berthold, LB770 model, 10 channel, low level gas flowing, proportional counter was used.

To establish gamma dose rate levels in open field, a Ludlum 2242-2 model mobile digital instrument with a 44-10 model, NaI(Tl) gamma scintillation detector was used. Gamma dose rates were measured for one minute intervals at 1 meter above ground around human gonad level and saved in $\mu\text{Sv/h}$ units.

To determine indoor radon activity concentrations, 300 CR-39 plastic passive radon track detectors were placed at 150 designated houses in the region. This study was done at both summer and winter seasons to observe seasonal changes. Detectors were left for 80 days in the houses. At the end of this time, radon detectors were collected and processed with chemical etching to make alpha tracks on them more distinct. After the chemical etching process, the radon activity concentrations were determined when the detectors were analyzed by an automatic radon track reading instrument which includes a computerized advanced microscope and software.

Moreover, the yearly effective doses and radiological risks were calculated for the people living in the region.

In the last part, the results of this study were discussed and compared with other results from Turkey and foreign countries.

Keywords: Radiation, radon, natural radioactivity

1. GİRİŞ

Bütün canlılar yaşamları boyunca toprakta ve havada bulunan uzun ömürlü doğal radyoaktif maddelerden yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyonlar ile güneş sisteminden gelen kozmik ışınlar, ısı ve ışık enerjisinden kaynaklanan radyasyonların etkisi altındadır. Bu doğal radyoaktif maddeler, yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon seviyesi oluşturmaktadır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç, rüzgâr yönü ve kutuplara olan uzaklık maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen faktörlerden bazılarıdır. En önemli faktör, yer kabuğunda, farklı radyoaktivite konsantrasyonlarının bulunmasıdır. Bu da ortamın jeolojik ve coğrafik yapısına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Örneğin, volkanik kayalardaki radyoaktivite konsantrasyonu, tortul kayalara göre daha yüksektir. Kozmik ışınların etkisi ise deniz seviyesinden yükseklerle çıkıldıkça ve ekvatorlardan kutuplara doğru gidildikçe artar (Eisenbud, 1987).

Doğada bulunan ve dünyanın çevre radyoaktivitesine katkıları oldukça fazla olan, uzun yarı ömre sahip karasal radyasyon kaynakları potasyum (^{40}K), uranyum (^{238}U) ve toryum (^{232}Th)'dur. Bu radyoizotopların konsantrasyonları ile dış ve iç ışınlamalar arasında doğrudan bağlantı vardır. Karasal radyasyonların insanlara etkisi dış ve iç ışınlamalarla olabilmektedir. Eğer radyoizotop konsantrasyonu bilinirse, bunun dış ve iç ışınlamalara ne oranda katkıda bulunduğu hesaplanabilmektedir (Merdanoğlu, 2004).

Dış ışınlama, genellikle diğer radyasyon türlerinden daha fazla olan gama (γ) ışınlarından kaynaklanmaktadır. Yapı malzemelerinde, toprakta ve kayalarda belli konsantrasyonlarda bulunan radyoizotoplar sürekli gama radyasyonu yayınlamaktadırlar. Bu durum insan vücudunun sürekli bir dış ışınlamaya maruz kalmasına sebep olmaktadır (Merdanoğlu, 2004).

Ayrıca, her türlü gereksinimlerimiz için kullandığımız sular, geçtikleri veya bulundukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler içerirler. Özellikle yeraltı suları değişik jeolojik oluşumlarla temas halindedir. Sularda daha çok alfa aktif olarak uranyum ve radyum bulunur. İçme sularının bir kısmı, çözülmüş madde olarak içerdikleri potasyum (^{40}K)'un miktarına bağlı olarak da beta aktiftir. Ancak, ^{40}K 'ın sularda meydana getirdiği beta aktivitesi düşük seviyededir. Suların radyoaktif kirlenmesine neden olabilecek bu doğal maddelerin dışında, doğada var olmayan fakat atmosferde yapılan nükleer denemeler ve nükleer tesislerden ortaya çıkan birçok radyonüklit de (^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{137}Cs vb.) radyoaktif serpintiler halinde yeryüzüne inerek radyoaktif kirlenmeyi oluşturur (Altay, 1998).

İç ışınlama, radyoaktif maddelerin sindirim sistemine alınması, gıda maddeleri ve sudaki radyoaktif maddelerin ağızdan vücuda girmesi ile olmaktadır. Havaya karışan radyoaktif serpintilerin ağız ve burundan vücuda alınması solunumla gerçekleşmektedir. Bu şekilde vücuda alınan maddeler iç ışınlamaya yol açmaktadır. İç ışınlamada, daha önce bahsedildiği gibi menzili kısa fakat enerjisi yüksek olan alfa (α) ve beta (β) ışınları daha etkili olmaktadır (Cothorn ve Lappenbusch, 1983).

Doğal radyasyon kaynaklarına ek olarak insanlar, enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanılan yapay kaynaklar nedeni ile de doz almaktadır. Yaşam standartları, yaşanılan ortamların fiziksel özellikleri ve coğrafi şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte, dünya genelinde kişi başına yıllık yaklaşık 0,6 mSv'lik yapay radyasyon kaynaklarından ve 2,4 mSv'lik doğal radyasyon kaynaklarından kaynaklanan doza maruz kalınmaktadır (UNSCEAR, 1988). Bununla birlikte, bazı ülkelerde bu miktar 10 mSv'in üzerindedir.

Yapılan çeşitli çalışmalar da, insanların maruz kaldıkları iyonlaştırıcı radyasyonların en önemli bölümünü, doğal radyasyon kaynaklarının oluşturduğunu göstermektedir (Surbeck, 1997; UNSCEAR, 2000).

Buna göre, insanlar ortalama yıllık etkin doz eşdeğerinin % 82'sini doğal radyasyon kaynaklarından, geri kalan % 18'ini de yapay radyasyon kaynaklarının etkisinde kalarak

alirlar. Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni ise radyoaktif radon (^{222}Rn) gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Doğal radyasyon kaynakları içinde radon, toplumun maruz kaldığı radyasyon dozunun % 55'ini oluşturur. Bu orana karşılık gelen radondan ötürü halkın alacağı ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 2 mSv'tir (Beir V, 1990). Özellikle evlerin yapımında kullanılan inşaat malzemeleri, havalandırma sistemleri ve bina tasarımı, insan faaliyetleri ve alışkanlıkları, ev-içi radon ve bozunma ürünleri miktarını etkileyen önemli etkenler arasında yer alır (UNSCEAR, 2000).

Daha önce bahsedildiği gibi, bölgenin jeolojik ve coğrafi yapısı, toprak ve kayaların mineralojik yapıları ile coğrafi yükseklik, bölgenin temel radyasyon seviyesini etkilemektedir. Bir bölgenin veya bir yerin doğal temel seviye radyasyonunun belirlenmesi demek, o yerin radyolojik açıdan incelenmesi, başka bir deyişle, o yer toprağında, suyunda ve havasında bulunan doğal radyoaktivitenin belirlenmesi demektir (UNSCEAR, 1993; IAEA, 1996; Karahan, 1997).

Literatürde, bu amaçla yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bu tür çalışmaların bazıları ülkeler bazında, bazıları da belli bir bölgeye ait çalışmalardır. Yapılan çalışmaların çoğu, bu konulardan sadece birini içermekte ve bunlar, genellikle toprakta, sularda ya da havada bulunan doğal radyoizotopların belirlenmesi için yapılmışlardır. Bazıları ise, ikisini veya üçünü kapsayacak şekilde yapılmışlardır.

Üzerinde yaşanan toprak, içilen su ve solunan hava canlıların sağlığı açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda özellikle doğal radyasyon kaynaklarının insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yarattığı da uzun yıllardır bilinmektedir. Günümüzde bu etkilerden en önemlisi kanser olma riskidir. Radyasyona maruz kalma dozu artarsa, kanser olma riskinin de artabileceği bilimsel çalışmalarla tespit edilmektedir (BEIR V, 1990; BEIR VI, 1999). USA Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA) yılda 20.000 akciğer kanser vakasının radon gazına bağlı olduğunu söylemektedir.

Akciğer kanserine neden olan radonun ana elementi, uzun yarı ömre sahip, toprakta, kayalarda ve bazı inşaat malzemelerinde fazla miktarda bulunan radyum (^{226}Ra)'dur. Radon, bir alfa yayınlayıcısı olan ^{226}Ra 'nın radyoaktif bozunumu sonucunda ortaya

çıkmaktadır. Serideki tek radyoaktif gaz olduğu için dünya üzerinde her yerde bulunabilmektedir. Coğrafi bölgenin jeolojik yapısıyla doğrudan ilgili olarak çevreye yayılarak kapalı ortamlarda birikip yüksek konsantrasyon seviyesine erişebilmektedir. Dolayısıyla radon ve bozunma ürünlerinin solunması ve yutulması önemli bir sağlık riski oluşturabilmektedir (Thomas ve diğ., 1985). Bu sebeple gelişmiş ülkeler radon ölçümü çalışmalarına ağırlık vermişlerdir.

Özmen ve diğ. (1997) tarafından hazırlanan “Türkiye’nin Deprem Bölgeleri Haritası” na bakıldığında Kırıkkale ili topraklarının çoğunun I. derece deprem bölgesi ve diri faylar üzerinde bulunduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı; sınırları içinde aktif faylar bulunan Kırıkkale ilinin toprak, hava ve sularında doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemektir. Ayrıca daha önce Kırıkkale ilinde, çevresel radyoaktivite seviyesini belirleme çalışmalarına rastlanmaması da bu çalışmanın yapılmasında önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, Bölüm 2’de Genel Kısımlar başlığı altında çalışmanın dayandığı teorik bilgiler, Bölüm 3’te analizlerin yapıldığı sayım sistemlerinden, kimyasal işlem ve metotlardan, dedektörlerden bahsedilmiştir. Bölüm 4’te Kırıkkale ilini temsil edecek şekilde belirlenen noktalarda, 0–10 cm derinlikten alınan toprak örneklerde ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları, il halkının içme suyu ihtiyacının karşılandığı şehir şebeke, kuyu ve kaynak sularında toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları, havada doğal gama doz hızları ve evlerde radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiş ve haritalandırılmıştır. Ayrıca bu bölgede yaşayan insanların maruz kaldığı yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanarak radyolojik riskler de hesaplanmıştır. Bölüm 5’te ise bulgulara belirtilen sonuçlardan yararlanılarak genel değerlendirmeler yapılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

Bütün canlılar, dünyanın oluşumundan bu yana sürekli ve kaçınılmaz olarak radyasyona maruz kalmaktadırlar. Günlük yaşantımızda karşılaştığımız bu radyasyonun önemli kısmını doğal radyasyon kaynakları oluşturmaktadır. Doğal radyasyon kaynakları, kozmik ışınlardan ve yer kabuğunda bulunan radyoizotoplardan kaynaklanmaktadır. Bunlara ilave olarak enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanımı kaçınılmaz olan yapay kaynaklardan da bir miktar etkilenmektedirler.

2.1. RADYASYON ve RADYOAKTİVİTE

Radyasyon, parçacık ya da elektromagnetik dalgalar halinde madde içinden kolayca geçebilen, duyu organlarımızla algılayamadığımız, bir noktadan başka bir noktaya enerji transferidir. Radyasyonla, bir atomun elektronlarından bir veya bir kaçının yörüngelerinden kopararak serbest hale gelmesi olayına iyonizasyon, madde ile etkileşmesi durumunda iyonlaşma meydana getiren yüksek enerjili radyasyonlara da iyonlaştırıcı radyasyon denir.

Doğada mevcut olan elementlerden hidrojen (^1_1H) hariç diğer bütün çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. Çekirdekte bulunan proton ve nötronlar hassas bir denge ile bir arada bulunurlar. Protonların, aralarındaki itici coulomb kuvvetine rağmen, bir arada durmalarının sebebi nötronlardır. Bu parçacıkların sayıları belli bir oranda olduğu sürece atom kararlı yapısını sürdürür. Bu oran aşıldığında, atom ışınlamalar yaparak kararlı duruma gelmeye çalışır. Kararsız atom çekirdeklerinin kendiliğinden bozunma yolu ile alfa (α), beta (β) ve gama (γ) radyasyonlarından birini veya birkaçını yayınlarak kararlı atom çekirdeklerine dönüşmesine radyoaktivite veya radyoaktif bozunum denir. “Radyoaktivite” birim zamanda ne kadar bozunum olduğunun bir göstergesi olup dışarıdan kontrol edilemeyen bir olaydır.

Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir. Doğada mevcut, ^{238}U ve ^{226}Ra gibi kararsız elementler radyoaktif ışınlar (radyasyon) salarlar. Bunlara doğal radyoaktif elementler, bunların radyoaktif ışın salma olayına da doğal radyoaktivite denir. Doğada kararlı olarak yer alan izotoplar da nötronlarla veya yüklü taneciklerle bombardıman edilerek yapay yolla kararsız yani aktif hale getirilebilirler. Bu işlemler nükleer reaktör veya parçacık hızlandırıcılarında yapılır. Aktif hale gelen çekirdek parçalanmaya uğrar, bu olay yapay radyoaktivite olarak adlandırılır. Parçalanmayla yayınlanan radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir (Yülek, 1992; Martin ve Harbison, 2006; Noz ve Maquire, 2007).

2.2. RADYASYON ÇEŞİTLERİ

Radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyonlar (X-ışınları, γ ışınları, α ve β radyasyonları, kozmik ışınlar, nötronlar) ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar) şeklinde sınıflandırılır.

2.2.1. İyonlaştırıcı Radyasyonlar

İyonlaştırıcı radyasyonlar (elektromanyetik veya parçacık tabiatlı radyasyonlar) çarptığı maddede yüklü parçacıklar yani iyonlar oluşturabilen radyasyon, demektir. İyon meydana gelmesi yani iyonizasyon olayı, herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir.

İyonlaştırıcı radyasyonlar ikiye ayrılır:

2.2.1.1. Elektromanyetik Radyasyonlar (EMR)

Eğer iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon atomun çekirdeğinden yayımlanıyorsa γ , yörüngeden yayımlanıyorsa X-ışını adını alır. Bunlar yüksek frekanslı görünen ışık ve radyo dalgaları gibi elektromanyetik dalgalardır. Bunların dalga boyları çok küçük fakat enerjileri yüksektir.

X ve γ Işınları

X ve γ ışınları elektromanyetik radyasyonlar olmakla beraber orijinleri bakımından farklıdırlar. X-ışınları ya hızlandırılmış elektronların ani durdurulması şeklinde ya da bir

atomun yörünge elektronları arasında seviye değişikliklerinde meydana gelirler. Yapay olarak X-ışınları röntgen tüplerinden elde edilir. Röntgen tüpünde bir elektron demeti oluşturulur ve yüksek bir potansiyel altında hızlandırılarak antikatot denilen bir metal üzerine çarptırılırlar. Hızla antikatot atomlarına çarpan elektronlar antikatot metalinin atomlarının iç tabakalarından elektronlar kopararak X-ışınlarını oluştururlar.

Gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Bu ışınlar atomun çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya beta parçacığı yayınladıktan sonra çok defa kararlı bir duruma geçemez, fazla kalan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlanır.

X ve γ ışınları çok girgin olup insan vücudundan kolayca geçerler ve enerjilerine bağlı olarak oldukça kalın beton duvarlarla veya kurşun gibi ağır metallerden yapılmış zırhlarla durdurulabilirler (Martin ve Harbison, 2006; Noz ve Maquire, 2007).

Gama ışını yayan bazı radyoaktif maddeler, yarı ömürleri ve kritik organlarıyla birlikte Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1 : Gama ışını yayan bazı radyoaktif maddeler

Radyoaktif Madde	Simgesi	Yarı ömrü	Kritik organ
Kobalt	Co-60	5,26 yıl	Akciğer
Teknesyum	Tc-99m	6 saat	Mide, bağırsak
Altın	Au-198	2,7 gün	Mide, bağırsak
Sezyum	Cs-137	30 yıl	Tüm vücut
İridyum	Ir-192	74 gün	Tüm vücut

2.2.1.2. Parçacıklı Radyasyonlar

Alfa Parçacıkları

Alfa parçacıkları, 2 proton ve 2 nötrondan oluşmuş 4-9 MeV enerjilerinde bulunan pozitif yüklü bir Helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir. Çekirdeğin alfa çıkararak bozunması olayı, atom numarası büyük radyoizotoplarda ve genellikle doğal radyoaktif izotoplarda görülür. Elektronlardan daha ağır olan alfa parçacıkları, sahip oldukları nispeten büyük elektrik yükleri nedeniyle, herhangi bir madde içerisinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirirler ve enerjilerini çabuk kaybederler. Bu yüzden de

erişme uzaklıkları çok kısa olup, havanın bir kaç santimetresi veya cildin ölü tabakası ya da bir kâğıt tabakası tarafından durdurulabilirler. Bu yüzden de dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak sindirim, solunum veya yara yolu ile vücuda girdikleri takdirde çok tehlikeli iç ışınlamalara neden olabilirler.

Alfa ışını yayan bazı radyoaktif maddeler, yarı ömürleri ve kritik organlarıyla birlikte Tablo 2.2’de verilmektedir.

Tablo 2.2 : Alfa ışını yayan bazı radyoaktif maddeler

Radyoaktif Madde	Simgesi	Yarı ömrü	Kritik organ
Radyum	Ra-226	1600 yıl	Kemik
Radon	Rn-222	3,82 gün	Akciğer
Amerisyum	Am-241	433 yıl	Böbrekler

Beta Parçacıkları

Beta parçacıkları, yüksek enerjili pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Bu parçacıkların salınması, çekirdek içindeki nötron fazlalığından dolayı ise salınan parçacıklar negatif yüklü olup β^- ile gösterilirler. Eğer beta yayınlanması çekirdekteki proton fazlalığından ileri geliyorsa yayınlanan parçacıklar pozitif yüklü olup pozitron adı verilerek β^+ ile gösterilir. Beta parçacıklarının maksimum enerjisi 0,5 ile 5 MeV olup kendilerini yayınlayan radyoizotopun bir karakteristiği olduğundan bu izotopun tanımlanmasında referans olarak kullanılırlar. Beta parçacıkları küçük kütleleri ve tek eleman yükleri nedeniyle alfa parçacıkları gibi kolayca durdurulamazlar ise de yüksek enerjilere çıkmadıkça madde içine fazla nüfuz edemezler. Beta parçacıklarının katılar içindeki erişme uzaklıkları çok fazla olmamakla birlikte hava içinde oldukça uzun mesafelere (birkaç metre) kadar yayılabilirler. Bu nedenle sırf beta parçacıkları yayınlayan radyoizotoplar dahi insanlarda özellikle göz ve deri için bir dış radyasyon tehlikesi yaratabilirler. Beta parçacıkları plastikte veya alüminyum gibi düşük atom numaralı metallerle durdurulabilirler. Kendisinden daha riskli X-ışını oluşturacağından beta ışınlamasını durdurmak için kurşun gibi ağır metaller kullanılmaz.

Beta ışını yayan bazı radyoaktif maddeler, yarı ömürleri ve kritik organlarıyla birlikte Tablo 2.3’de verilmektedir.

Tablo 2.3 : Beta ışını yayan bazı radyoaktif maddeler

Radyoaktif Madde	Simgesi	Yarı ömrü	Kritik organ
Trityum	H-3	12,3 yıl	Tüm vücut
Karbon	C-14	5730 yıl	Tüm vücut
Fosfor	P-32	14,3 gün	Kemik
Kükürt	S-35	88 gün	Tüm vücut
İyot	I-131	8 gün	Tiroit
İyot	I-125	60 gün	Tiroit
Stronsiyum	Sr-90	28,1 yıl	Kemik

Nötronlar

Kütleleri protonunkine eşit, elektrik yükleri olmayan parçacıklardır. Nötronlar normal radyoaktif bozunma olayı sonucunda meydana gelmezler. Atom çekirdeğinden nötron çıkışı Fisyon olayı sonucunda olur. Fisyon olayı, ağır bir çekirdeğin nötron bombardımanı sonunda ikiye bölünmesi ve bu arada birden fazla nötron ile büyük bir enerjinin açığa çıkması olayıdır. Nötronlar nispeten büyük olan kütlelerine rağmen yüksüz olduklarından madde içine kolayca nüfuz eder ve dolaylı olarak dokularda iyonizasyonla zararlar oluştururlar. Ancak bir çekirdeğe çarpmakla durdurulur. Nötronlar gama ışınlarına benzer olarak dış radyasyon tehlikesi en fazla olan radyasyonlardır (Martin ve Harbison, 2006; Noz ve Maquire, 2007).

2.3. RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞMESİ

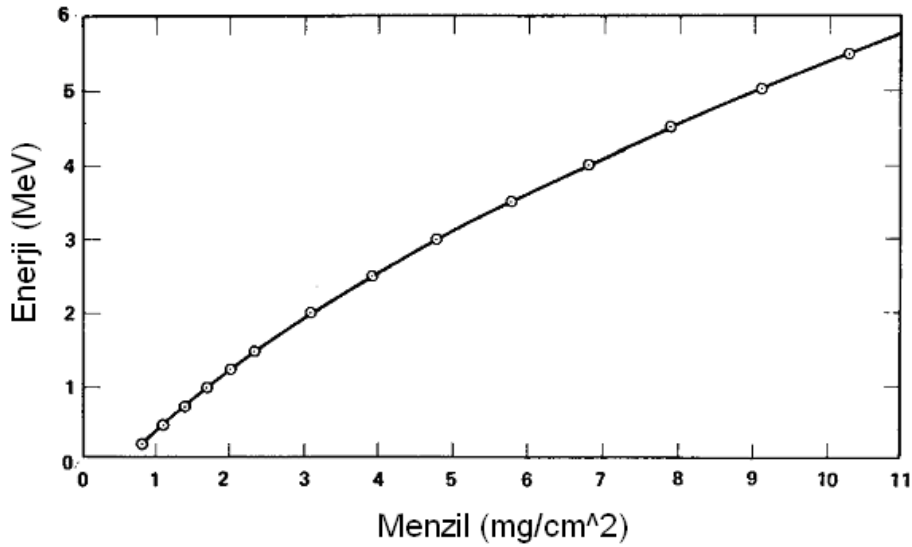
Radyasyonlar ister parçacık ister elektromagnetik dalga biçiminde olsun, bir ortam içinden geçerken enerjilerinin bir kısmını bırakırlar. Bu işlem soğurulma ya da saçılma şeklinde olur. Radyasyonun madde ile etkileşiminin nasıl olduğunu bilmek insan vücudunda yaptığı hasar hakkında bilgi verir. Ayrıca radyasyon ölçüm cihazlarının çalışma prensipleri de radyasyonların madde ile etkileşmesine dayanarak tasarımlanır. Radyasyondan korunma kurallarının hazırlanabilmesi ve radyasyonun hangi malzemeler ile zırhlaması gerektiği konularında da bu bilgiler önemlidir.

2.3.1. Ağır Parçacıkların Madde ile Etkileşmesi (Alfa Soğurulması)

Alfaların +2 değerlikli ağır parçacık olmaları, elektrik yükleri ve hızları nedeniyle içinden geçtikleri maddeler ile etkileşime girme olasılıkları çok yüksektir. Bu yüzden alfa parçacıkları kısa mesafede büyük miktarda iyonizasyona sebep olurlar. Ancak alfa

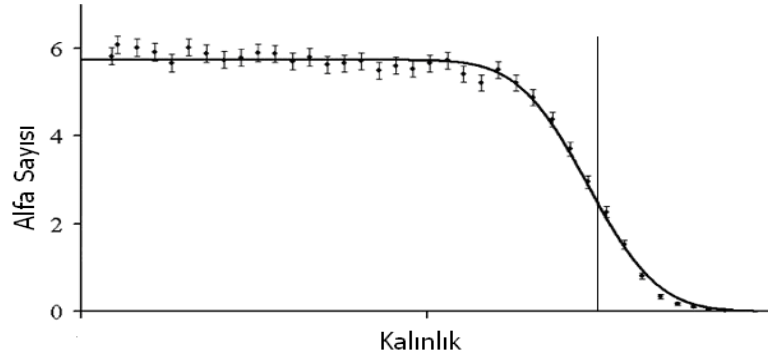
parçacıkları elektronlardan çok ağır olduklarından tek bir çarpışma ile enerjilerinin tamamını kaybetmezler. Radyoaktif atom çekirdeklerinden fırlatılan alfaların sahip olacağı enerji en fazla 9 MeV civarında olduğundan, alfaların hızı ışık hızının 20'sinde biri kadardır. İçinde hareket ettikleri ortamda enerjilerini cm başına neredeyse sabit bir miktarda bırakarak yollarına devam ederler. Enerjilerini tamamen kaybedinceye kadar gittikleri en uzak mesafeye “menzil” veya “erişme uzaklığı” denir. Alfa parçacığının menzili enerjisine ve içinden geçtiği maddenin cinsine, yoğunluğuna bağlıdır. Diğer radyasyon çeşitlerine kıyasla çok kısa erişme uzaklığına sahip olan alfaların havadaki erişme uzaklıkları birkaç cm, insan derisinde ise bir iki mikrondur. Dolayısıyla dış radyasyon tehlikesi çok azdır (Knoll, 1979; Yülek, 1992; Noz ve Maquire, 2007).

Şekil 2.1’de alfa parçacıklarının menzilinın enerjiye bağılılığı gösterilmektedir. Ortamın yoğunluğundan bağımsız olması için birimi cm değil mg/cm^2 olarak alınmıştır.



Şekil 2.1 : Alfa parçacıklarının menzilinın enerjiye bağılılığı (Knoll, 1979)

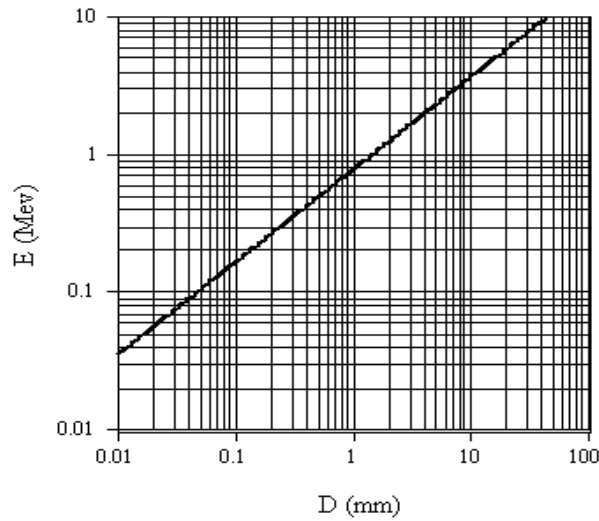
Bir radyoizotoptan çıkan bütün alfalar neredeyse aynı enerjiye sahiptirler. Bu yüzden belli bir kalınlığa kadar alfa parçacıklarının sayısı azalmaz (Şekil 2.2). Ancak toplam enerjileri her santimetrede düzenli olarak düşer (Knoll, 1979).



Şekil 2.2 : Dedektörün tespit ettiği alfa sayısının zırhın kalınlığına göre değişimi (Knoll, 1979)

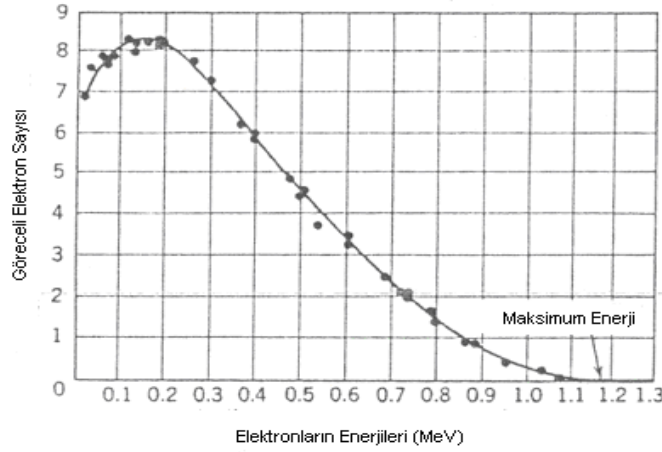
2.3.2. Hafif Parçacıkların Madde ile Etkileşmesi (Beta Soğurulması)

Bir beta parçacığı, atomdan bağımsız elektrondur. Negatif yüklü olduğundan yörüngelerdeki elektronlar ile elektrostatik etkileşme içindedir. Bu yüzden bir ortamdan geçerken yaptığı cm başına iyonlaştırma sayısı oldukça yüksektir. Ancak büyüklüğünün ve yükünün küçük olması sebebiyle etkileşme ihtimali alfaya göre düşüktür. Böylece aynı enerjideki betaların menzilleri alfalardan daha fazladır. Alüminyum ortamı için enerji-menzil arasındaki bağıntı Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Beta parçacıklarının Alüminyum ortamındaki menzilin enerjiye bağımlılığı (Knoll, 1979)

Bir izotoptan yayınlanan betalar için maksimum enerji tanımı yapılır. Ancak alfaların aksine, çıkan bütün parçacıklar aynı enerjide değildir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : ^{210}Bi izotopunun beta enerji spektrumu (Noz ve Maguire, 2007)

Çekirdekten salınan betaların enerjileri 0,015-5 MeV arasında değiştiğinden, betaların hızları ışık hızına eşit veya ışık hızının altı katı kadar olabilir. Bu kadar yüksek bir hıza sahip olan betalar çok daha erken enerjilerini kaybederler. Bu yüzden betaların çoğu daha yolculuklarının başında soğururlar. Betaların kütleleri ve yüklerinin küçük olması ve de hızlarının yüksek olması nedeniyle, betaların bir ortamda etkileşme olasılığı az ve dolayısıyla erişme uzaklıkları aynı enerjideki alfalardan daha uzundur.

Yörüngedeki elektronlarla aynı kütleye sahip olduklarından, beta parçacıkları tek bir çarpışma ile bütün enerjilerini kaybedebilirler. Ayrıca zırhtan kaçan betaların sayısı, alfalar gibi keskin bir şekilde değil, kademeli olarak düşer. Başka bir deyişle, zırh malzemesi çok ince dahi olsa betaların bir kısmı ortam tarafından tutulur.

2.3.2.1. Bremsstrahlung

Bremsstrahlung ışını, yüklü parçacıkların hızlarını yani kinetik enerjilerini hızlı bir şekilde kaybetmeleri sonucu ortaya çıkan X-ışınlarıdır. Tıpta ve endüstride kullanılan X-ışını tüpleri, bu prensipten yararlanılarak dizayn edilmiştir. Bremsstrahlung'un olma ihtimali elektronların çarptığı ya da hareket ettiği ortamın Z^2 'si (atom numarası) ile doğru orantılıdır. Bu yüzden kurşun gibi yüksek atom numaralı maddelerde betaların x-ışınına dönüşmeleri, su, plastik gibi düşük atom numaralı maddelerde dönüşmelerinden çok daha olasıdır. Bu nedenle betaların zırhlamasında küçük atom numaralı malzemeler tercih edilir ((Knoll, 1979; Yülek, 1992; Noz ve Maguire, 2007).

2.3.3. X ve Gama Işınlınının Madde ile Etkileşmesi

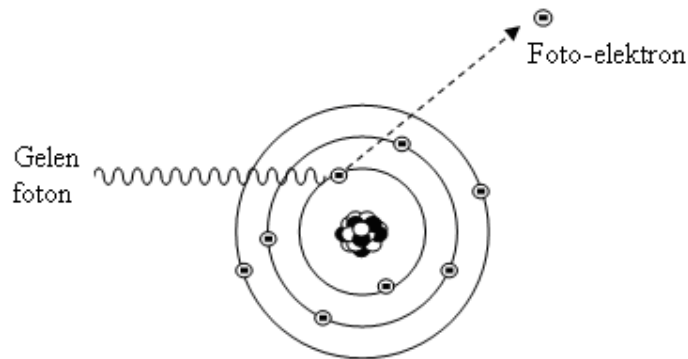
X ve gama ışınlarının orijinleri farklıdır. Gama ışınları kararsız atomun çekirdeğinden yayınlanırken, X-ışınları hızlandırılmış elektronların yüksek atom numaralı hedef atomlarının çekirdeklerine yaklaştıklarında frenlenmeleri ya da çekirdeğe çarpmalarıyla meydana gelir. Her ikisi de elektromanyetik dalga olup madde ile etkileşmeleri birbirinin aynıdır. Dolayısıyla gama ışınlamaları için anlatılacaklar x-ışınları için de geçerlidir.

Gama ışınları yüksüz, kütlesi olmayan, sadece enerji taşıyan elektromagnetik dalgalar. Elektronlarla ya da çekirdeklerle elektrostatik bir etkileşime girmezler. Böylece yolları üzerinde yaptıkları iyonlaşma alfa ve betalara göre düşüktür. Ancak etkileşime girdiklerinde enerjilerinin tamamını veya büyük bir kısmını kaybetmeleri daha yüksektir. Madde içindeki bu davranışları, enerjilerini yavaş ve her çarpışmada kademeli olarak kaybeden parçacık radyasyonlarından oldukça farklıdır.

Gama ve X-ışınları madde içinde esas olarak üç şekilde etkileşerek enerjilerini kaybederler: fotoelektrik etki (soğurma), compton etkisi (saçılması), çift oluşumu. Bu olayların fotonların zayıflamasındaki katkıları enerji aralıklarına bağlıdır (Krane, 1988).

2.3.3.1. Fotoelektrik Etkisi

Gama ışınının atomun yörüngelerindeki bir elektrona bütün enerjisini aktarması yani soğurulması ve atomun elektronlarından birinin yayınlanması olayıdır. Yayınlanan bu elektrona fotoelektron denir.

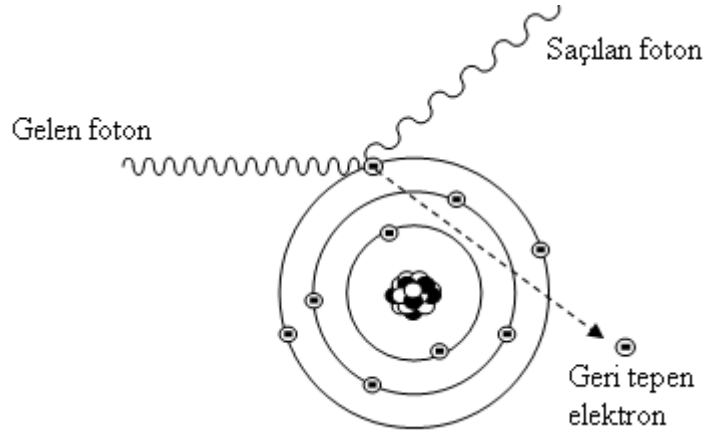


Şekil 2.5 : Fotoelektrik olay

Fotoelektrik soğurma olasılığı, soğurucu atomun Z sayısı ile hızla artar (kabaca Z^4) ve artan foton enerjisi ile hızla azalır (kabaca E_γ^{-3}). Başka bir deyişle, gama ışınının enerjisi arttıkça veya ortamın atom ağırlığı azaldıkça fotoelektrik etkisinin olma ihtimali çok hızlı azalır.

2.3.3.2. Compton Etkisi

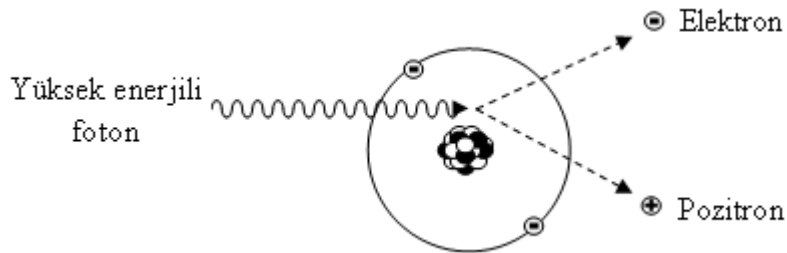
Gama ışını (foton), atomun hemen hemen serbest olan elektronu tarafından saçılır ve daha küçük enerjili foton ve foton tarafından kaybedilen enerjiyi taşıyan saçılmış bir elektronla sonuçlanır. Compton olayı, fotonların içinden geçtiği madde içerisinde bulunan elektronların sayısına bağlıdır. Bu olay, orta enerjili gama ışınları için en etkili soğurma olayıdır.



Şekil 2.6 : Compton olayı

Compton etkisi, gama enerjisinin enerjisi arttıkça azalır, ancak fotoelektrik etkisinden çok daha az etkilendiğinden, enerji arttıkça Compton etkisinin önemi artar. Ayrıca serbest kabul edilebilecek elektronlarla ilgilendiğinden, ortamın atom numarasına bağımlılığı yok gibidir.

2.3.3.3. Çift Oluşumu

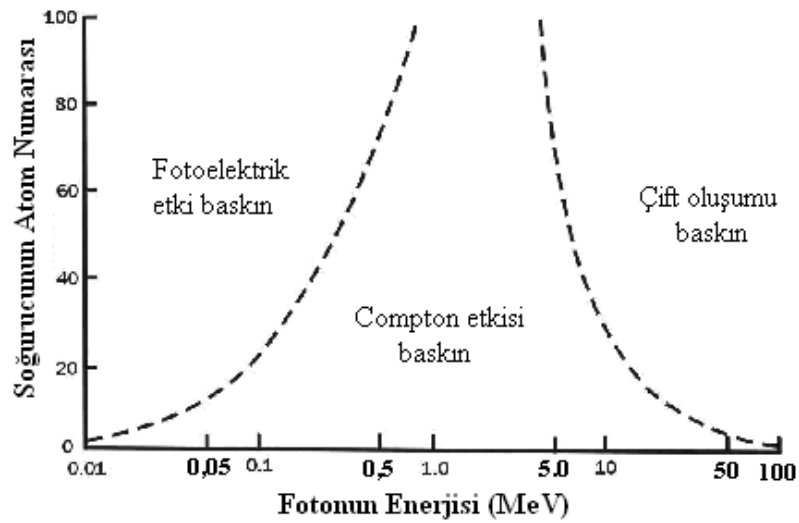


Şekil 2.7 : Çift oluşumu

Enerjisi 1,02 MeV'un üzerindeki gama ışınları, çekirdeğin yanından geçerken bütün enerjisini kaybedip bir elektron ve pozitrona dönüşür. Bu olayın olma ihtimali, yaklaşık olarak, ortam yani soğurucunun atom kütesinin karesiyle doğru orantılıdır ve belirtilen enerji limitinin çok üzerine çıkıncaya kadar düşük seviyede kalır.

2.3.3.4. Göreceli Önemleri

Genelde çift oluşumu sadece yüksek enerjili fotonlar için önem kazanmaktadır. Şekil 2.8, çift oluşumunun, diğer iki işleme göre önemini vurgulamaktadır; çift oluşumu 5 MeV'un üstündeki enerjiler için baskın hale gelmektedir (Knoll, 1979; Krane, 1988; Yülek, 1992).



Şekil 2.8 : Soğurucunun atom numarası ve fotonun enerjisine göre üç etkileşimin göreceli önemleri (Krane, 1988)

2.4. RADYASYON BİRİMLERİ VE TANIMLARI

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaşma da soğurulan radyasyonun enerjisine bağlıdır. Radyasyon ölçme metotlarının geliştirilebilmesi için, öncelikle radyasyonu değerlendirebilecek uygun birimlerin kullanılması gerekmektedir. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (International Commission on Radiation Units, ICRU) radyasyon çalışmalarında kullanılacak birimleri tanımlamıştır. Bunlar; soğurulan doz için rad (radiation absorbed dose), ışınlama için Röntgen (R), aktivite için Curie (Ci), doz eşdeğeri için ise rem (roentgen equivalent man)'dir. MKS (Meter, Kilogram, Second) sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (International System of Units, SI)'nin kabul edilmesiyle ICRU, 1971 yılında SI birimlerini tanımlamıştır. Bu

kabule göre eski birimlerin yerine yenilerinin kullanılması gerekmektedir. Tablo 2.4’de radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri verilmektedir.

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen miktarı demektir. Radyasyon dozu ise hedef kütle tarafından belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Risk, radyasyon ışınlamalarının sonucunda, kişilerde hasar meydana gelme olasılığıdır.

Tablo 2.4 : İyonlayıcı radyasyon birimleri ve dönüşümleri

Büyüklik	Eski Birimler	SI Birimi ve Sembolü	Dönüşüm Faktörü
Aktivite	curie (Ci)	becquerel (Bq)	1 Bq = $2,7 \times 10^{-11}$ Ci = 27 pCi
İşinlama Birimi	röntgen (R)	röntgen (C kg ⁻¹)	1 C kg ⁻¹ = 3876 R
Soğurulan Doz	rad (rad)	gray (Gy)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	rem (rem)	sievert (Sv)	1 Sv = 100 rem

Aktivite birimi, radyoaktif maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarıdır. Birimi bequerel (Bq)’dir. Bequerel, saniyede bir parçalanma veren radyoaktif madde miktarı ya da bu maddenin radyoaktivitesidir. 1 Bq, küçük bir değerdir. Eski birimi curie (Ci)’dir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}; \quad 1 \text{ Bq} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi}$$

İşinlama birimi, röntgen (R) olup normal hava şartlarında, havanın 1 kg’ında $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb’luk elektrik yükü değerinde pozitif veya negatif iyonlar oluşturan X ve γ radyasyon miktarı olarak tanımlanır. İşinlama, X ve γ ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür. SI birim sisteminde işinlama biriminin özel bir adı yoktur.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C kg}^{-1}; \quad 1 \text{ C kg}^{-1} = 3,876 \times 10^3 \text{ R}$$

Soğurulan doz birimi, her ortam ve her türdeki iyonlayıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Radyasyonlarla ışınlanan bir maddenin birim miktarında soğurulan radyasyon enerjisidir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi gray (Gy)’dir. Gray; 1 kg’lık bir maddeye 1 Joule’luk enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyon dozudur. 1 Gy yüksek bir doz değeridir. Eski birim rad (radiation absorbed dose)’dır.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}; \quad 1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy};$$

Eşdeğer doz birimi, radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan bir birim olup doku ve organlarda, birim kütlede soğurulan enerji miktarıyla orantılı bir değerdir. Vücut için eşdeğer doz olarak tanımlanır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi sievert (Sv)'dir. 1 Sv yüksek bir doz değeridir. Eski birim rem (roentgen equivalent man)'dir.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1};$$

$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv};$$

Eşdeğer doz birimi, absorblanmış doz ile kalite faktörünün çarpımına eşittir.

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

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

$$1 \text{ rem} = Q \times 1 \text{ rad} \quad ; \quad Q = \text{Kalite faktörü}$$

$$1 \text{ Gray} = Q \times 1 \text{ Sv}$$

X, γ ışınları ve β parçacıkları için kalite faktörü 1'dir (Tablo 2.5). X, γ ışınları ve β parçacıkları için $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Sv}$ 'dir, diyebiliriz.

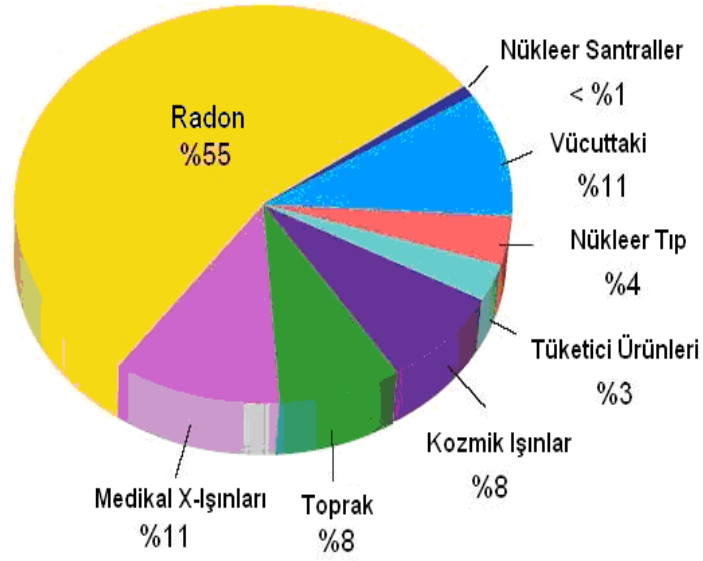
Etkin doz birimi, doku veya organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riski ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. Birimi sievert (Sv)'tir (Martin ve Harbison, 2006; Noz ve Maquire, 2007).

Tablo 2.5 : Çeşitli radyasyon türleri için kalite faktörü

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü
X ve Gama Işınları	1
Elektronlar ve Beta Parçacıkları	1
Nötronlar; enerjileri <10 keV	3
Nötronlar; enerjileri >10 keV	10
Alfa parçacıkları	20

2.5. RADYASYON KAYNAKLARI

Yeryüzündeki tüm canlı ve cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak, insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınlamına maruz kalmaktadırlar. Şekil 2.9'da doğal ve yapay radyasyon kaynaklarına maruz kalınma yüzdeleri verilmektedir. Buna göre, doğal radyasyon kaynaklarının etkisinin % 82 olduğu görülmektedir.



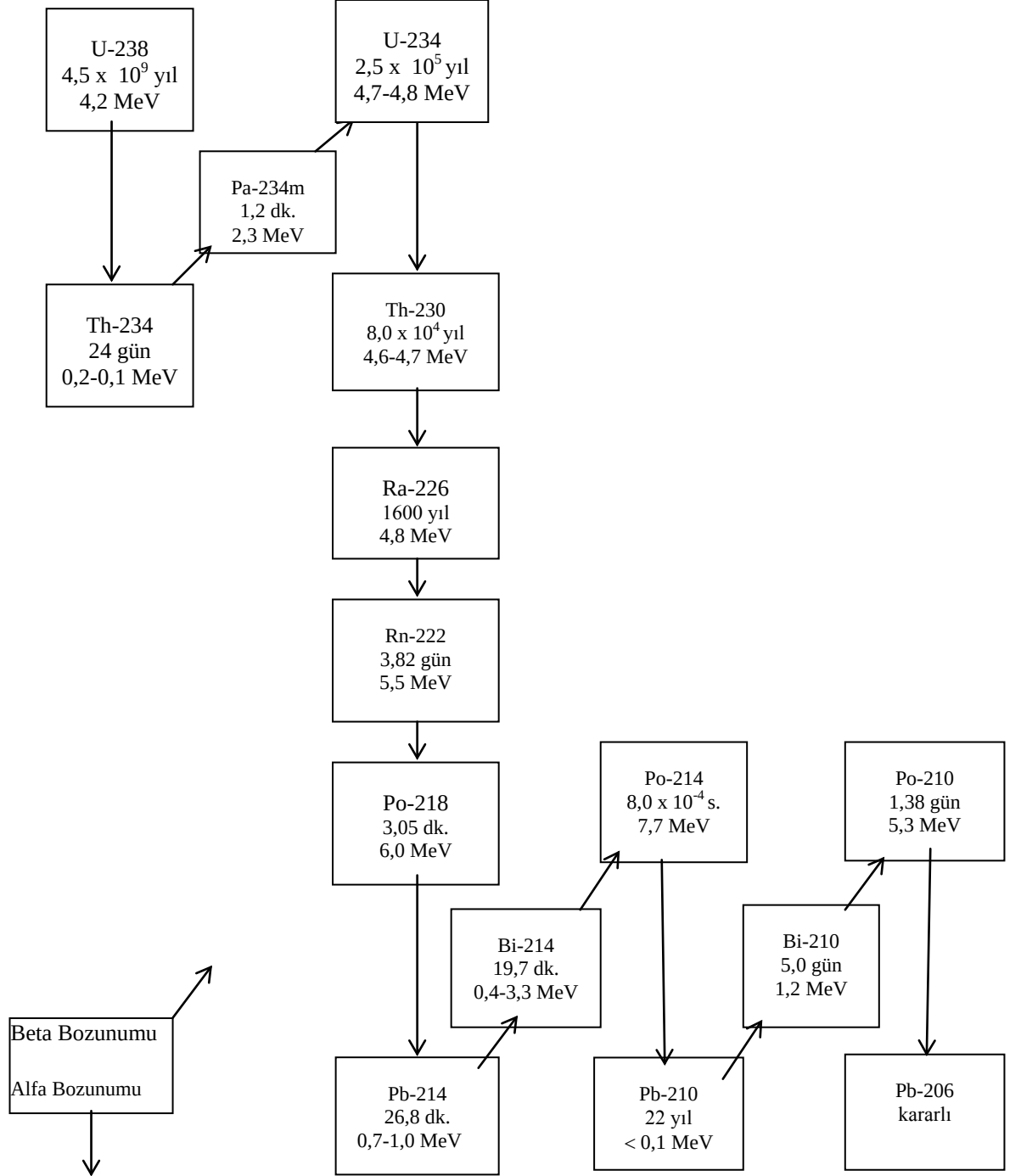
Şekil 2.9: Radyasyon kaynakları (Tüysüz, 2004)

2.5.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

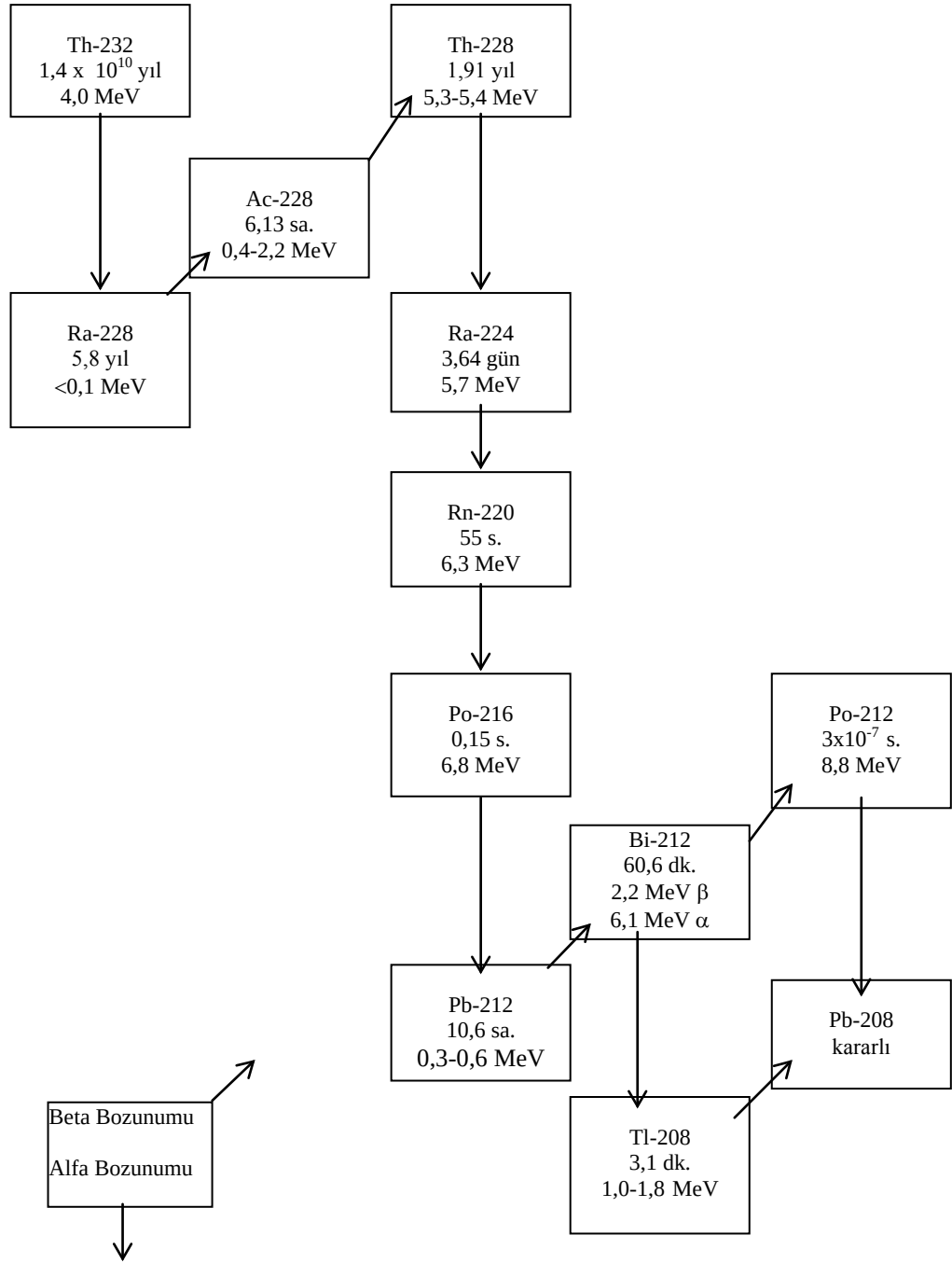
Çevredeki doğal ortam insanın maruz kaldığı en büyük radyasyon kaynaklarını içermektedir. İnsan yaşamı boyunca bu radyasyonlara sürekli maruz kalır. Doğal radyasyon kaynakları; uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferdeki etkileşimleri sonucu oluşan kozmik radyasyonlar ve atmosferdeki diğer nedenlerle oluşan radyasyonlar ile yerkabuğundaki ve sulardaki radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonlardır. Hepsi beraber (hava, su ve yerkabuğu) çevresel radyasyonu oluşturmaktadır.

İnsanların maruz kaldığı karasal orijinli radyasyonlar Uranyum (^{238}U kaynaklı), Toryum (^{232}Th kaynaklı) ve Aktinyum (^{235}U kaynaklı) radyoaktif serileri ve bunların bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Bu serilerin hepsi farklı bozunumlar ve dolayısıyla ara bozunum ürünlerinden sonra kararlı bir kurşun izotopunda son bulmaktadırlar (Eisenbud, 1987).

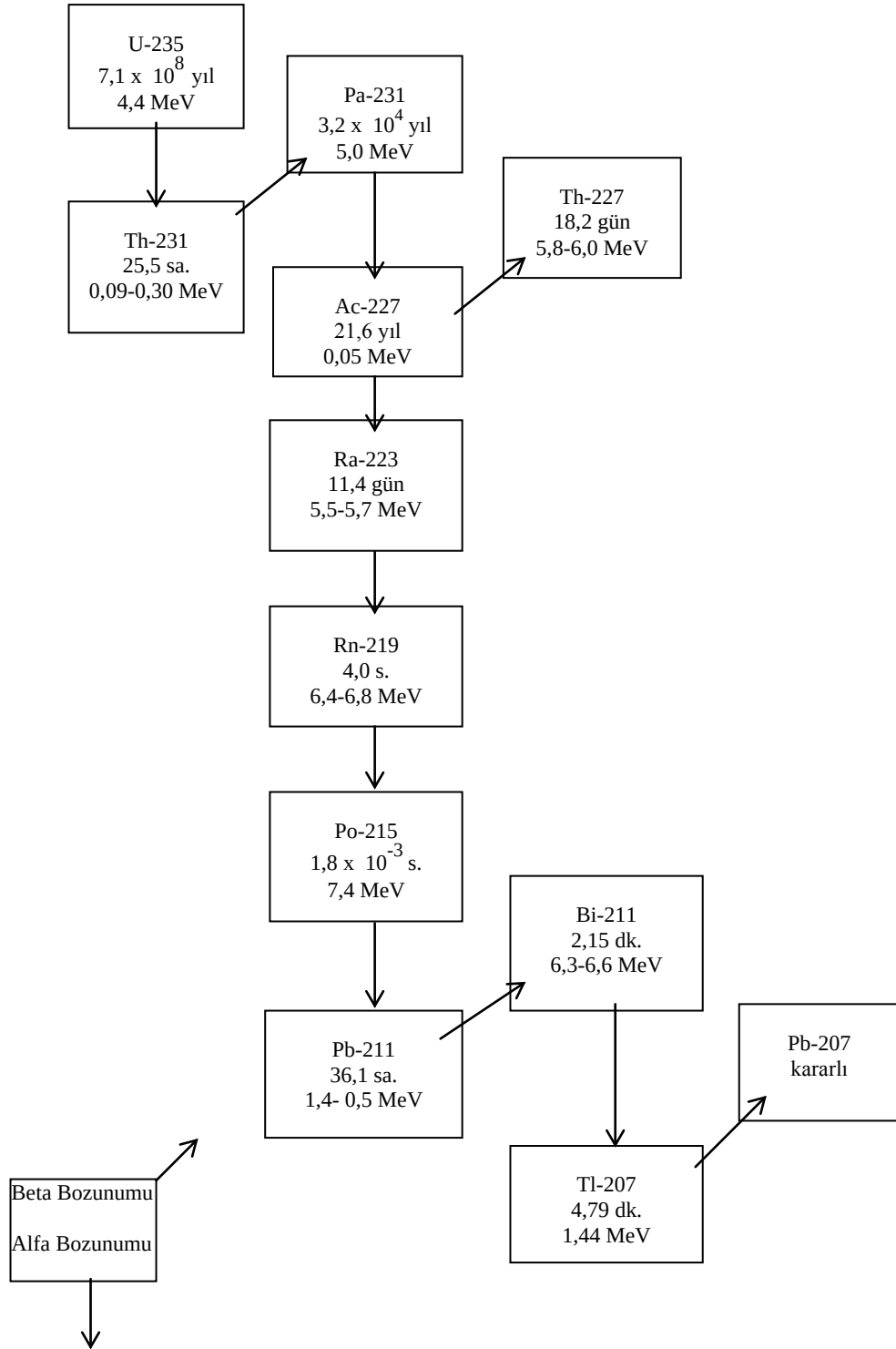
Bu seriler ve bunların bozunum ürünleri olan radyoizotoplar Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12’de gösterilmektedir.



Şekil 2.10 : Uranyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988)



Şekil 2.11 : Toryum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988)



Şekil 2.12 : Aktinyum serisinin bozunum şeması (NCRP 97, 1988)

2.5.1.1 Toprakta Bulunan Doğal Radyasyon Kaynakları

Dünyanın oluşumundan beri toprakta var olan radyasyon kaynakları, çok uzun yarı ömürlü olup, toprağın radyoaktif olmasına neden olmaktadır. Topraktaki bu doğal radyasyon kaynaklarının en önemlileri, yarı ömürleri ile birlikte aşağıda verilmektedir.

^{87}Rb (Rubidyum)	$4,70 \times 10^{10}$ yıl
^{232}Th (Toryum)	$1,41 \times 10^{10}$ yıl
^{238}U (Uranyum)	$4,47 \times 10^9$ yıl
^{40}K (Potasyum)	$1,28 \times 10^9$ yıl

Bu doğal radyoizotoplardan ^{40}K ve ^{87}Rb önemli radyasyon kaynaklarıdır. ^{40}K , β ve γ radyasyonu yayan önemli bir dış ve iç radyasyon kaynağı olup toprakta bol olarak bulunduğu için doğal radyasyon dozunun önemli bir kesrini oluşturmaktadır. ^{87}Rb ise sadece β radyasyonu yayan önemli bir iç radyasyon kaynağıdır (Choppin ve Liljenzin, 2002). ^{238}U ve ^{232}Th radyoizotoplarının ve bozunma ürünlerinin çevrede (hava, su, kayalar, gıda maddeleri) ve insanlardaki mevcudiyeti de iç ve dış radyasyon dozlarına kaynak olmaktadır (Çelebi, 1995).

Dünyanın jeolojik yapısı incelendiğinde, belli kalınlıktaki toprak tabakasının hemen altında kaya yataklarının olduğu görülmektedir. Bu kayalar yağmur, rüzgâr, kar gibi iklim şartlarına bağlı olarak, zamanla ufalanarak çok küçük parçalar halinde yağmur veya akıntı suları ile toprağa karışmaktadır. Böylece topraktaki doğal radyoaktivitenin artmasına neden olmaktadır (Eisenbud, 1987).

Topraktaki bu doğal radyoizotoplar daha çok volkanik, tortul, fosfat, granit ve tuz kayalarında yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Volkanik kayaların aktiviteleri, tortul kayalarinkinden daha fazladır (Eisenbud, 1987). Bu durum Tablo 2.6'da görülmektedir.

Tablo 2.6 : Çeşitli kaya tiplerinden gelen gama radyasyonu doz oranları (Eisenbud,1987)

Kaya Tipleri	Doz oranları (μSv/yıl)			
	Ra-226	U-238	Th-232	K-40
<u>Volkanik kayalar</u>	240	260	370	350
<u>Tortul kayalar</u>				
Kumtaşı	130	77	180	150
Kireçtaşı	200	77	310	360
Kalkerli	77	84	40	40

Topraktaki radyoaktivite, bulunduğu yer ve toprak derinliğine göre önemli farklılıklar göstermektedir. Toprak içindeki doğal radyoizotoplar (^{40}K , ^{87}Rb , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U), toprakta bulunma oranlarına bağlı olarak (Tablo 2.7), ortam veya çevre doğal radyasyonunun temel seviyesini belirlemekte ve o oranlarda insanların doğal radyasyonlara maruz kalmalarına sebep olmaktadır.

Tablo 2.7 : Toprakta bulunan doğal radyoizotop konsantrasyonları (Bq/kg) (UNSCEAR, 2000)

Toprakta Bulunan Doğal Radyoizotoplar				
Radyoizotop Konsantrasyonu (Bq / kg)				
	K-40	U-238	Ra-226	Th-232
Değişim Aralığı	140 -850	16 -110	17- 60	11- 64
Ortalama	400	35	35	30

Uranyum-238 (^{238}U)

Doğal olarak oluşan uranyum üç farklı izotopa sahiptir; bunlar ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U 'dir ve ağırlığının % 99,2745'ini ^{238}U , % 0,7200'ini ^{235}U ve % 0,0055'ini ^{234}U oluşturur. ^{238}U 'in yarı ömrü $4,47 \times 10^9$ yıldır. ^{238}U ve ^{235}U izotoplarının her ikisi de uzun ömürlü olup alfa tanecikleri yayarlar ve bir dizi radyoaktif ürün vererek sırasıyla ^{226}Pb ve ^{207}Pb 'ye dönüşerek kararlı hale gelirler.

14 esas çekirdeğin başı olan ve alt serilere bölünen ^{238}U , tüm kayalarda ve topraklarda bulunmaktadır (Çelebi, 1995). Tablo 2.8'de toprak ve kaya çeşitlerinin tipik uranyum radyoaktivite konsantrasyonları verilmektedir.

Tablo 2.8 : Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu (NCRP, 1977)

Kaya Tipleri	Uranyum Konsantrasyonu (ppm)
Volkanik kayalar	3,0
Fosfat kayalar (Florida)	120,0
Fosfat kayalar (Kuzey Afrika)	20-30
Granit	4,0
Kireçtaşı	1,3
Tortul kayalar	1,2

Sularda uranyumun bulunması, onunla temas halinde olan toprak veya kayalardan gelmektedir. Atmosferde, uranyum kaynağının varlığı topraktan gelen toz parçacıklarının havada asılı kalmasından kaynaklanmaktadır (NCRP 50, 1977).

Aynı zamanda uranyumun varlığı radon gazlarının da bir habercisi olmaktadır. Uranyumun toprak ve kayalardaki miktarı bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir.

Radyum-226 (^{226}Ra)

^{226}Ra , 1898 yılında Fransız fizikçileri Pierre Curie ve eşi Marie Curie tarafından bulunan, atom numarası 88, atom ağırlığı 226,05 olan bir elementtir. Bir α yayınlayıcısı olan radyumun yarı ömrü 1600 yıldır. Radyumun temel doğal kaynağı uranyum ve toryumdur. Bu nedenle toprakta, kayalarda, yapı malzemelerinde, su ve gıdalarda bulunmakta ve oldukça geniş bir dağılım göstermektedir. Radyum ve ürünleri insanların dış ve iç ışınlanmalarına neden olan doğal kaynakların en önemlilerindendir. Radyum vücuda alındığında kemiklerde birikerek omuriliği sürekli olarak ışınlamaktadır (Lucas, 1991). Radyum, uzun yarı ömürlü olması nedeniyle, radon (^{222}Rn) oluşumunda bir üreteç görevi yapmaktadır.

Potasyum-40 (^{40}K)

Doğal olarak bulunan potasyumun üç izotopundan sadece ^{40}K kararsız olup β yayınlayıcısıdır. Yarı ömrü $1,28 \times 10^9$ yıldır. Doğal potasyum, toprakta çok bulunduğu için doğal gama radyasyon dozunun önemli bir kesrini meydana getirmektedir.

Potasyum vücutta yaşamsal öneme sahip bir elementtir. Yetişkin bir insan için ortalama aktivite kütle konsantrasyonu, kg olarak vücut ağırlığı başına 2 g'dır (UNSCEAR, 1988).

Rubidyum-87 (^{87}Rb)

Doğada ^{85}Rb ve ^{87}Rb olmak üzere iki rubidyum izotopu bulunmaktadır. Bunlardan sadece ^{87}Rb radyoaktif olup saf β yayınlayıcısıdır. Spesifik aktivitesi 740 Bq/g olan ^{87}Rb , doğal rubidyumun % 27,8'ini oluşturmaktadır.

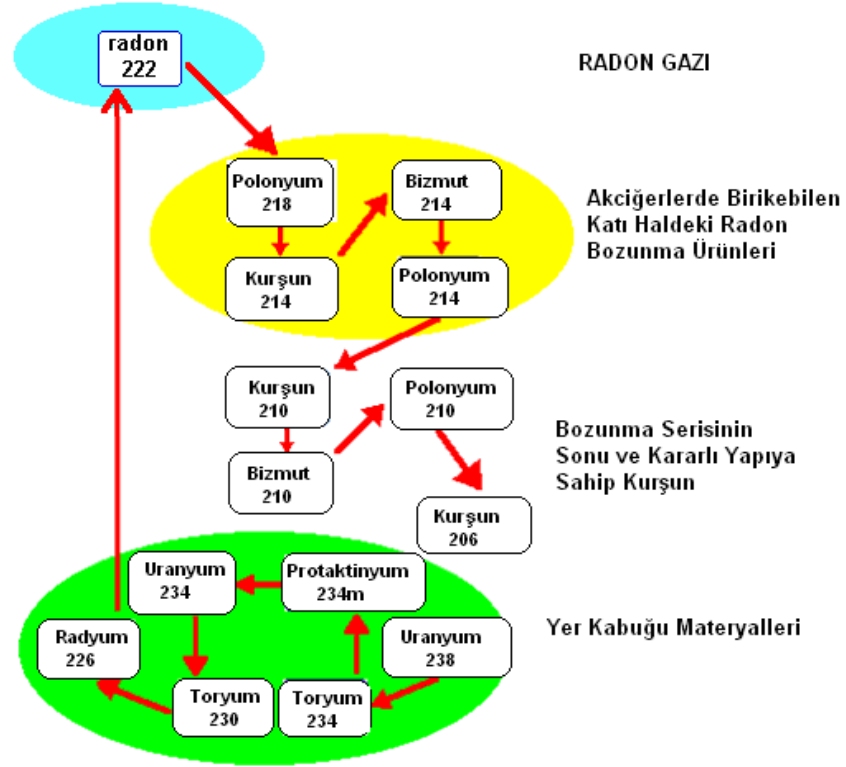
Rubidyumun çevredeki varlığı ile ilgili çok az bilgi vardır. ICRP 23 (1975) tarafından yayınlanan raporda, vücuttaki ^{87}Rb 'nin ortalama aktivite konsantrasyonunun 8,5 Bq/kg olduğu belirtilmektedir.

Toryum-232 (^{232}Th)

^{232}Th , doğada bulunan dört toryum izotopundan en yaygın olanıdır. Radyoaktif α partikülleri yaymakta olup uzun bir yarılanma süresine ($1,4 \times 10^{10}$ yıl) sahiptir. Toryum tabiatta uranyumdan yaklaşık üç kat daha fazla bulunmaktadır. Değişik tarihlerde yaptığı açıklamalarda Prof. Dr. Engin ARIK, dünyadaki bilinen 1,3 milyon ton toryum rezervinin 800 bin tonunun Türkiye'de bulunduğunu, "Türkiye'nin sonsuza kadar enerji ihtiyacını karşılayacak bir hazinenin üstünde oturuyoruz" ifadesi ile belirtmiştir.

Radon-222 (^{222}Rn)

Radon (^{222}Rn), radyoaktif bir madde olan ^{238}U serisindeki bozunum silsilesi içinde ^{226}Ra 'nın α bozunumu sonucu oluşmaktadır (Şekil 2.13). Atom numarası 86, atom ağırlığı 222 olan radon, renksiz, gözle görülmez, tatsız, kokusuz doğal oluşumlu radyoaktif bir gazdır (BEIR VI, 1999). Periyodik tabloda soy gazlar grubunda yer almaktadır. Yarı ömrü 3,82 gün olan radon, kısa yarı ömürlü bozunma ürünleri ile denge halinde bulunur. Havadan 7,5 kez, hidrojen den ise 100 kez daha ağırdır. 1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Friedrich Ernest Dorn tarafından keşfedilen radon gazı, α parçacığı yaymaktadır. Radon, α parçacığı yayarak polonyuma dönüşür.

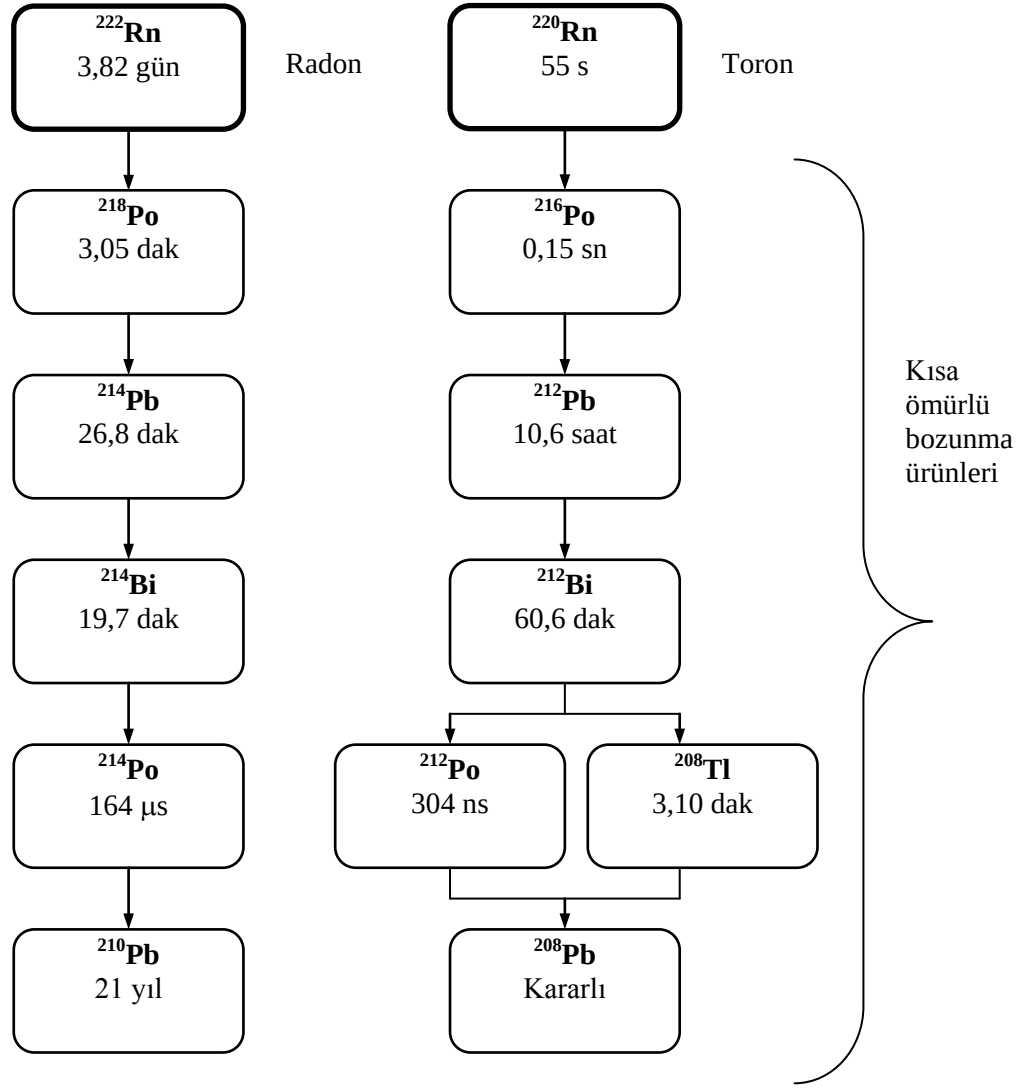


Şekil 2.13 : Radon-222 oluşumu ve bozunma ürünleri (Köksal ve Çelebi, 2003)

Doğal radyoaktif seriler içerisinde radonun, kütle numaraları 219, 220 ve 222 olan üç önemli izotopu bulunmaktadır. Bu izotoplara ait radyoaktivite özellikleri Tablo 2.9'da verilmektedir. Ayrıca Şekil 2.14'de ^{222}Rn (Radon) ve ^{220}Rn (Toron) bozunum zinciri de gösterilmektedir.

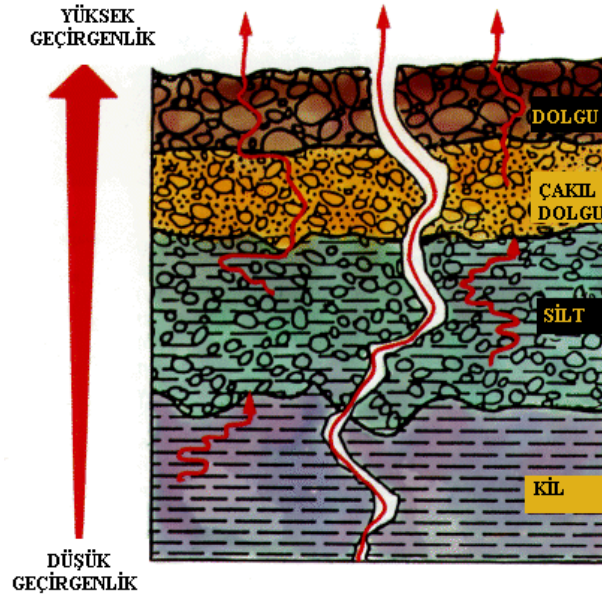
Tablo 2.9 : Radonun radyoaktivite özellikleri (CLS, 1999)

Radyoaktif Seri	Ana Element	Ürün Element	Tarihsel Adı	Yarı Ömrü	Bozunma Türü
^{238}U	^{226}Ra	^{222}Rn	Radon	3,82 gün	α, γ
^{232}Th	^{224}Ra	^{220}Rn	Toron	55,6 s	α, γ
^{235}U	^{223}Ra	^{219}Rn	Aktinon	3,96 s	α, γ



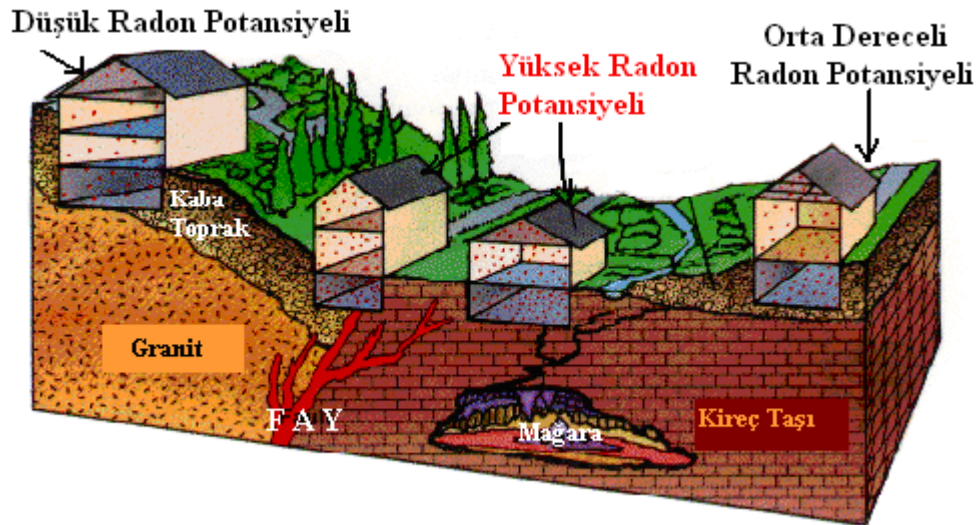
Şekil 2.14 : ^{222}Rn (Radon) ve ^{220}Rn (Toron) bozunum zinciri (TAEK Teknik Rapor, 2011)

Radon, özellikle inşaat yapı malzemesi olarak kullanılan taş, toprak, çimento ve kaynak suyunda doğal olarak bulunabilmekte ve sürekli ortama serbest olarak yayılabilmektedir. Radyumun toprakta bozunmasıyla oluşan radon, kayalarındaki kırıklardan ve toprak taneciklerinin arasından hava dolu gözeneklere kaçarak bu gözenekler arasından atmosfere geçmek için hareket eder. Radon gazının atmosfere geçmesini kontrol altında tutan en önemli değişkenler; toprağın nem oranı, topraktaki gözenek büyüklüğü ve toprağın hava ve suyu geçirgenliğidir. Radon atomlarının hareketi, yayılma veya taşınma yolu ile olmaktadır. Şekil 2.15'te görüldüğü gibi killi toprakların, kumlu ve çakıllı topraklara nazaran radon geçirgenliği daha azdır (Günaydı, 2004).



Şekil 2.15 : Toprakta radon geçirgenliği (Otton vd., 1995)

Radon potansiyeli, incelenen bölgenin jeolojisine ve toprak yapısına bağlıdır. Bölgede uranyum içeren kayaların bulunması, geçirgen toprak yapısı, kurak mevsimlerde toprağın derin çatlaklar oluşturması, bölgenin tepelik veya eğimli bir yerde olması, toprak katmanının sığı, hemen altının kayalık olması, zemindeki kayaçların kırık olması, kireçtaşı mağaralar içermesi, ortam havasında yüksek oranda radona rastlanması radon potansiyelini artırır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 : Radon potansiyelini etkileyen faktörler (<http://energy.cr.usgs.gov/radon/>)

2.5.1.2. Sularda Bulunan Doğal Radyasyon Kaynakları

Canlıların her türlü gereksinimleri için kullandıkları sular, tabiatta toprak ve kayalar ile temas halinde bulunmaktadır. Sulardaki doğal radyoaktivite araştırmalarına dair yapılan çalışmalar, başlangıçta sadece kaplıca sularını kapsamıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmaların neticesinde içme sularında bile bazı doğal radyoizotopların bulunduğu ortaya çıkmıştır (Karahan, 1997).

Yeraltı suları yüzey sularından daha radyoaktiftir. Bunun nedeni, yeraltı sularının içinden geçtikleri veya temas ettikleri değişik jeolojik oluşumlardaki radyoaktif maddelerden kaynaklanmaktadır. Genellikle volkanik kayalar içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kayalar içinden geçen sulara nispeten daha yüksektir (Eisenbud, 1987).

Farklı fiziksel ve kimyasal karakteristiklere sahip uranyum, toryum ve aktinyum serilerinde bulunan radyoizotopların sulardaki doğal radyoaktivite dengeleri gözlemlendiğinde uranyum ve aktinyum serilerindeki radyoizotoplar topraktan suya geçerken dengesizlikler gösterirler. Yeraltı sularında ^{222}Rn çok yavaş hareket eder ve atmosfere kaçması sınırlıdır. Konsantrasyonu 2-40 Bq/L arasında değişir (Scott ve Berker, 1962). Yarı ömrü 3,82 gündür. ^{226}Ra 'nın yeraltı sularındaki konsantrasyonu ^{222}Rn 'den daha azdır. Bu iki radyoizotop kaya ve toprağın alt tabakalarında radyoaktif dengeye daha yakın olarak bulunurlar (Samuel, 1964).

2.5.1.3. Çevresel Doğal Radyasyon Kaynakları

Çevresel doğal gama radyasyonları, ana kaynaklarının kara ve uzay kökenli olması nedeniyle, bölgenin toprak yapısında bulunan radyoizotopların konsantrasyonlarıyla doğrudan ilgilidir. Çevredeki doğal ortam, insanın yaşamı boyunca sürekli maruz kaldığı en büyük radyasyon kaynaklarını içermektedir. İnsan bu radyasyonlara, dış ışınlamalarla maruz kaldığı gibi solunum ve sindirim yoluyla vücutlarına alarak iç ışınlamalarla da maruz kalmaktadır. Bu radyasyonlara dışardan maruz kalınmışsa buna dış ışınlama, içerden maruz kalınmışsa, buna da iç ışınlama denir. γ ve β 'lar dış ışınlamalarla, α 'lar ise iç ışınlamalarla daha çok zarar verirler. Buradan hareketle doğal radyasyon kaynaklarını dış ve iç radyasyon kaynakları olarak da iki ana grupta toplamak mümkündür.

^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K gibi doğal radyoizotopların, toprak ve kaya tiplerine göre, yıllık gama radyasyon doz oranları değişmektedir (Tablo 2.5). Bundan dolayı insanların aldıkları dış radyasyon dozları dünyanın her yerinde farklılıklar göstermektedir. İnsanın meşgul olduğu işi, oturduğu meskenin yapımında kullanılan malzemelerde bulunan doğal radyoizotop konsantrasyon oranları bile, maruz kaldığı radyasyon dozunu etkilemektedir. Ayrıca dağlık ve rakımı yüksek yerlerde yaşayan insanlar, deniz seviyesine yakın yerlerde yaşayan insanlardan daha fazla dış radyasyonlara maruz kalmaktadırlar. Çünkü deniz seviyesinden yükseklerle çıkıldıkça, kozmik ışınların şiddetleri de artmaktadır (Eisenbud, 1987).

Bir radyoizotopun birim kütle başına aktivite konsantrasyonu, yerden 1 m yükseklikte havadaki soğurulmuş doza karşılık gelen radyasyon şiddetidir (Beck, 1982). Dış gama ışınlamaları, kütle aktivite konsantrasyonlarıyla doğrudan ilgilidir. Dış radyasyon kaynaklarının en önemlilerinden olan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th için bu durum Tablo 2.10'da verilmektedir. Dış ışınlama hesapları topraktaki radyoizotopların bozunma ürünlerinin dengeye gelmesi durumuna göre yapılmaktadır (Karahana, 1997; Kam, 2004).

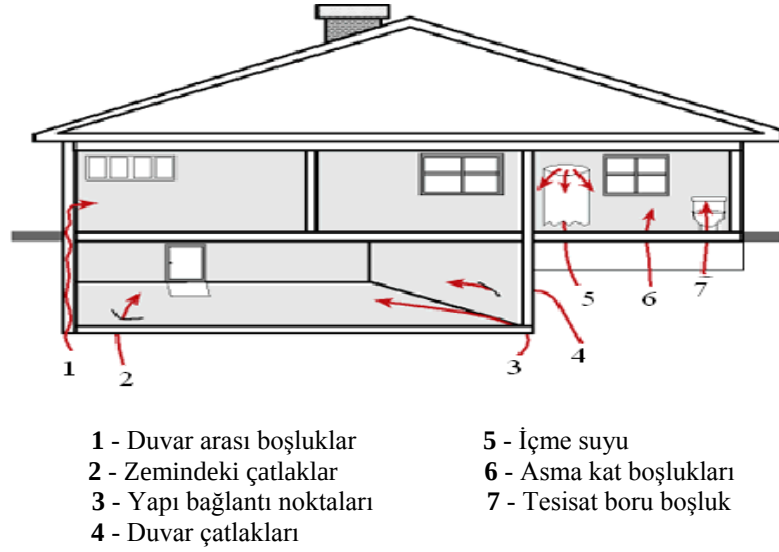
Tablo 2.10 : ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th 'nin ortalama aktivite kütle konsantrasyonu ve buna karşılık olarak havada soğurulan doz şiddetleri (UNSCEAR, 1988)

Doğal Radyoizotoplar	Ortalama Aktivite Kütle Konsantrasyonu (Bq/kg)	Havada Soğurulan Doz Şiddeti (nGy/saat)
^{40}K	370 (100-700)	16 (4-30)
^{238}U	25 (10-50)	11 (4-21)
^{232}Th	25 (7-50)	17 (5-33)

2.5.1.4. Ev İçi Radon Kaynakları

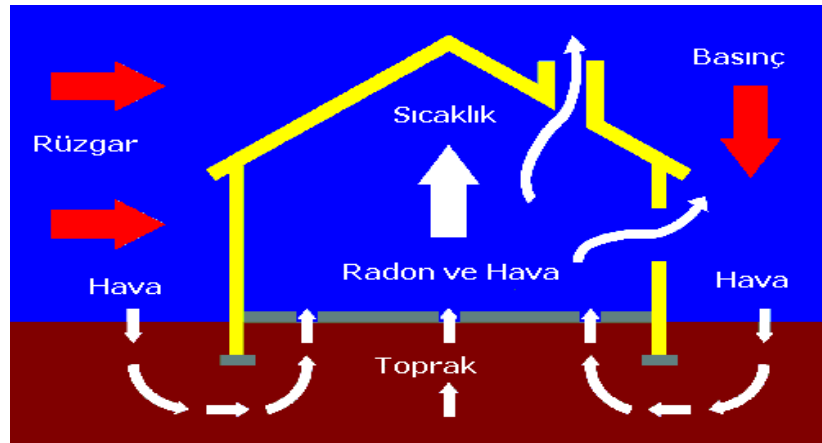
Genelde insanlar, zamanlarının yaklaşık % 90'ını kapalı mekanlarda geçirmektedir. Radon ve bozunma ürünlerinin açık havada ve oda içindeki fiziksel davranışlarında temelde farklılıklar yoktur. Evlerimizin yapıldığı arazide bulunan doğal uranyumun miktarı ve uranyumdan oluşan radonun ev tabanında bulunan aralıklardan eve sızması; evdeki yapı malzemesinden kaynaklanan radonun havaya karışması; su kaynakları, doğal gaz ve dışarıdaki hava insanların maruz kalacağı miktarı etkiler (Şekil 2.17).

Radon gazının havadaki miktarı bölgeden bölgeye ve ülkeden ülkeye göre değişim göstermektedir.



Şekil 2.17 : Radonun ev ortamına giriş yolları (Özkorucuklu ve diğ., 2006)

Özellikle soğuk havalarda evlerin ısıtılması sonucu, evdeki basınç az ve dışarıdaki basınç fazla olur ve bu nedenle içerdeki radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgarlı havalar için de geçerlidir. Yaz aylarında ise iyi havalandırılmış işyeri ve evlerde, dışarısı ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki radon seviyesi azalır (Şekil 2.18). Yaz ve kış dönemi radon konsantrasyonlarının, yaz aylarında kapı ve pencere açık olmadıkça aynı olması beklenir. Ev içinin havalandırılması radon konsantrasyonunu düşürür. Evlerin daha çok havalandırıldığı yaz mevsiminde radon konsantrasyonu kış mevsiminden çok daha düşüktür (Köksal ve Çelebi, 2003).



Şekil 2.18 : Ev içi radon konsantrasyonuna etki eden faktörler (Köksal ve Çelebi, 2003)

2.5.1.5. Toprak ve Kayalardan Gelen Radon

Radon, gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Radon sızıntısının, aktif faylar üzerinde daha fazla olduğu, atmosferik koşullara ve sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği bilinmektedir. Yerkabuğundaki şekil değişimleri ve episantr (dış merkez)* alanı içinde veya yakınındaki kayalarda oluşan genleşmeler nedeniyle, kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişi artmaktadır. Bunun sonucu olarak da, sismik faaliyetin başlamasından önce çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon konsantrasyonunda bir artış gözlenmektedir. Ev içi ve dışı arasındaki sıcaklık ve basınç farklılıkları, toprak geçirgenliği ve nem gibi faktörler de bu kaçıışı hızlandırmaktadır (Garash ve diğ., 1995).

Havadaki radon konsantrasyonu bölgeye, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik koşullara bağlıdır. Radon kaynağının toprak olmasından ve çok kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı, radon konsantrasyonu yükseklikle sabit bir şekilde azalma gösterir.

Adalar ve Kutup Bölgesi gibi radon çıkışını sağlayan toprağın azaldığı yerleşim bölgelerinde, radon konsantrasyonu düşük olmaktadır (Iakovleva ve Ryzhakova, 2003).

2.5.1.6. İnşaat Yapı Malzemelerinden Gelen Radon

Eve giren radonun asıl kaynağı, inşaat yapı malzemelerinde doğal olarak bulunan ²²⁶Ra'nın varlığıdır. İnşaat yapı malzemeleri, dış radyasyon kaynaklarına karşı bir koruyucu olmasına rağmen, ev içlerinde bir radyasyon kaynağı gibi davranırlar. Özellikle fosfat kayaların, inşaat yapı malzemesi olarak kullanılması, gama radyasyon dozlarını artırmaktadır. Ev içi ışınlamalar, dış havadaki ışınlamalar ile karşılaştırıldığında inşaat yapı malzemelerinin etkisinin doz oranlarını %40-%50 artırdığı görülmüştür (UNSCEAR, 1988).

* Deprem dalgaları, odak noktasından başlayarak küresel olarak yayıldığı için, dalganın yeryüzüne ulaştığı ilk nokta episantr olarak adlandırılır. Yani depremin odak noktasına en yakın yer üzerindeki, depremin en çok hasar verdiği noktadır.

Aşağıda bazı inşaat malzemeleri için radyum konsantrasyonları ve radon çıkış hızları verilmektedir (Tablo 2.11). Beton ve tuğla, en yaygın kullanılan inşaat malzemesidir. Betondaki ^{226}Ra konsantrasyonu, tuğlaya göre daha az, ^{222}Rn çıkış oranı ise betonda, tuğladan daha yüksektir. Taş yapıdan oluşan binalarda da ^{222}Rn yüksektir (Çelebi, 2007).

Tablo 2.11 : İnşaat yapı malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri (UNSCEAR, 1988)

İnşaat malzemesi	^{226}Ra konsantrasyonu (Bq/kg)	^{222}Rn çıkış oranı ($\mu\text{Bq/kg.s}$)
Tahta	-	0,2
Kum	10	3,0
Alçı taşı	12	6,3
Beton	9-32	2,5-20
Tuğla	45	1,0
Çimento	50	1,0
Fosfattan elde edilen alçı taşı	580-740	0,13-0,20

2.5.1.7. Sulardan Gelen Radon

Günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası olan su, yaşamamızı sürdürmemiz için gereklidir. Suda ölçülen radon, suyun geçtiği yerlerdeki toprak ve kayalarda bulunan radyumdan ileri gelmektedir.

Sudan ortama yayılan radonun miktarı, sudaki miktarına bağlıdır. Suyun sıcaklığı arttıkça, ortama verilen radon miktarı da artar (UNSCEAR, 1993).

Evdeki alışkanlıklar ve uygulamalar; duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radonun salınmasına neden olur. Sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini önemli derecede etkileyebilecek kadar yüksektir. Bazı bölgelerde evlere ulaşan sular özel kuyulardan gelir. Yeraltı sularındaki radon konsantrasyonu, yüzeysel sulardan daha yüksektir. İnşaat malzemesinden gelen ışınlamalara, yüzeysel sulardan katkı % 0,2, yeraltı sularından ise % 20'dir (UNSCEAR, 1988).

2.5.1.8. Doğal Gazdan Gelen Radon

Doğalgaz da bir ev içi radon kaynağıdır. Doğalgazda radonun mevcut olması, doğalgazı işleme ve transfer işleminden kaynaklanır. Doğalgaz, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında bu radon gazı ortaya çıkarak ev içi radon konsantrasyon

seviyesini artırır (Gesell, 1975). Yanma ürünleri havalandırmayla dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilebilir (UNSCEAR, 1988).

2.6. RADON ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Radon, insan duyu organlarıyla tespit edilemez. Ancak, geliştirilmiş özel tekniklerle radon ölçümleri yapılabilir. Radon ve ürünlerini ölçmek için geliştirilmiş iki temel yöntem vardır: Bunlar aktif ölçüm yöntemi ve pasif ölçüm yöntemidir (Urban ve Piesch, 1981).

Aktif ölçüm yönteminde, anlık radon ölçümleri yapılmaktadır. İyon Odaları, Sintilasyon Hücreleri, Elektrostatik Toplayıcılar ve Filtreler aktif radon ölçümlerinde kullanılan cihazlara örnek olarak verilebilir (Durrani ve Iliç, 1997).

Pasif ölçüm yönteminde termoluminesans detektörler (CaSO_4 : Dy veya LiF gibi), veya katı hal nükleer iz detektörleri; selüloz nitrat (LR-115) veya allyl diglycol karbonat (CR-39) kullanılarak uzun süreli entegre radon ölçümleri yapılmaktadır. Pasif alfa detektörü kullanılarak yapılan radon dozimetreleri üç farklı yolla oluşturulabilir:

- 1- Detektörün önünde bulunan bir filtre üzerinde radon ürünlerinin toplandığı gaz akışlı aktif cihazlar.
- 2- Gaz akışı olmayan ağız kapaklı odacıklar; Radon oda içine difüzlenerak, oda hacmi içinde ürünlerini de oluşturarak, radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacık izlerini bu odacık içine yerleştirilmiş bir alfa detektörü üzerinde bırakır.
- 3- Açık bir detektör üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif aygıtlar.

2.7. RADON GAZININ İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

1980'lerin sonlarında doğal radon gazı, sağlığa ciddi biçimde zarar verebilecek bir madde olarak kabul edilmeye başladı. Kayaçların ve toprağın içinden yukarı yükselerek bina temellerinin ya da boru sistemlerinin içinden dışarı sızabilen radon gazı, havalandırması yeterli olmayan binaların zemin katlarında birikebilmektedir. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, kısa ömürlü havada askıda kalan ve

solunum yolu ile vücuda alındığında akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Akciğerlere yerleşen bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusuna zarar vererek akciğer kanseri oluşturma riskini arttırmırlar. Hem ev ortamındaki radon seviyesi yüksek hem de ortamda sigara içiliyorsa bu risk giderek yükselir. Yapılan risk araştırmalarına göre akciğer kanseri oluşturma açısından radon, sigaradan sonra ikinci sırada yer almaktadır.

Uranyum madenlerindeki radon ve bozunma ürünlerinin solunumu üzerine yapılan epidemiyolojik çalışmalar, uranyum madencilerinin en yüksek kanser riskine maruz meslek grubu olduğunu ortaya çıkarmıştır (UNSCEAR, 1988; BEIR V, 1990; UNSCEAR, 1993).

Özellikle akciğer kanser vakalarının % 20 kadarı havadaki radyoaktif ^{222}Rn gazı ve bunun bozunma ürünlerinin solunumu sonucu akciğer bronşlarının aldığı doza bağlanmaktadır (ICRP, 1990; UNSCEAR, 2000; BEIR VII Phase 2, 2006).

Bugün ABD’de sigara içmeyen akciğer kanserlilerin de büyük çoğunluğunun hastalık nedeninin radon gazı olduğu saptanmıştır. En çok risk altında olanlar ise madenciler ve uranyum minareli yataklarının bulunduğu jeolojik oluşumların üzerine kurulan binalarda yaşayanlar olarak belirlenmiştir (UNSCEAR, 2000).

ABD Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA) yılda 20.000 akciğer kanseri vakasının radon gazına bağlı olduğunu söylemektedir. Ayrıca her yıl gerçekleşen 10.000 kanser sonucu ölüme radon gazı neden olmaktadır. Radon ev ortamının yanında özellikle maden ocaklarında, tünellerde, mağaralarda ve yeraltı sularında çok görülmektedir. BEIR (Rapor No: VI, 1999)’in yayınına göre kapalı madenlerde yapılan epidemiyolojik araştırmada madenlerde çalışan 68.000 maden işçisinin içinde 2.700 işçi ışınlanmaya maruz kalma nedeniyle mesleki olarak akciğer kanserine yakalanmıştır.

2.8. RADONLA İLGİLİ RADYASYON KORUNMASI STANDARTLARI

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarına sürekli olarak maruz kalmasının toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyeceği görüşü, Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi tarafından yayınlanan UNSCEAR raporları ile desteklenmiştir (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000).

Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi (ICRP), radona maruz kalmayı sınırlandırarak “Evde ve işte Radon-222’ye karşı korunma” konusunda 65 nolu bir rapor yayınlamıştır (ICRP 65, 1994). Bu raporda, limit değerler tavsiye ederek yıllık doz için bir eylem seviyesi tespit etmiştir. Eylem seviyesinin, 3-10 mSv arasında sınırlandırılmasını tavsiye etmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon konsantrasyonu; evler için 200-600 Bq/m³, iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında olacak şekilde bir değer tespit edilmesini önermiştir (Taşkın, 2006).

Türkiye’de ev içi müsaade edilebilir radon konsantrasyonu, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’nde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (TAEK, 2000).

Radonun asıl kaynağının uranyum olması nedeniyle radon konsantrasyonu yer kabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle radon konsantrasyonunda izin verilen limit değerler de ülkeler arasında değişiklikler göstermektedir. Buna göre çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen evler için müsaade edilebilir radon konsantrasyon limitleri Tablo 2.12’de verilmektedir.

Bazı ülkelerin evlerinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonları da Bq/m³ olarak Tablo 2.13’de verilmektedir.

Tablo 2.12 : Radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³) (EPA, 1992)

Ülkeler	Sınır	Ülkeler	Sınır	Ülkeler	Sınır
A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO***	100

* Avrupa Birliği

** Uluslararası Radyasyondan Korunma Birliği

*** Dünya Sağlık Örgütü

Tablo 2.13 : Bazı ülkelerin evlerinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonu (Bq/m³) (UNSCEAR, 2000)

Ülke Adı	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Ülke Adı	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Ülke Adı	Ortalama Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
ABD	46	Fransa	62	Macaristan	107
Almanya	50	Hindistan	57	Mısır	9
Arjantin	37	Hollanda	23	Norveç	73
Avustralya	11	İngiltere	20	Polonya	41
Belçika	48	İran	82	Portekiz	62
Cezayir	30	İspanya	86	Romanya	45
Çek Cum.	140	İsveç	108	Slovakya	87
Çin	24	İsviçre	70	Slovenya	87
Danimarka	53	İtalya	75	Suriye	44
Ermenistan	104	Japonya	16	Tayland	23
Finlandiya	120	Kanada	34	Yunanistan	73

2.9. YILLIK ETKİN DOZ EŞDEĞERİ

Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE), insanın farklı radyasyon kaynaklarından yayınlanan ışınlarla gerek dışardan maruz kalmak suretiyle, gerekse yediği ve içtiği gıdalar veya teneffüs ettiği havada bulunan değişik radyoizotoplardan yayınlanan ışınlarla içerden maruz kalmak suretiyle bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanır. Eşdeğer doz birimi rem, SI birimler sisteminde Sv (Sievert) adını alır. 1 Sv, 100 rem'e eşittir.

Yıllık etkin doz eşdeğerinin hesaplanmasında her radyoizotopun yayınladığı radyasyon tipi ve enerjisi kullanılarak her radyoizotop için birim aktivite başına yayınladığı radyasyonun doz dönüşüm faktörleri belirlenir. Birim hacim veya birim ağırlık başına

tespit edilen aktivite konsantrasyonu ile doz dönüşüm faktörü çarpılarak yıllık etkin doz eşdeğeri bulunur (Karahan, 1997).

$$YEDE = DDF \times A \quad (2.1)$$

Burada;

DDF = Doz dönüşüm faktörü

A = Aktivite konsantrasyonu,

dur.

2.10. LİTERATÜRDE BULUNAN BENZER ÇALIŞMALAR

Literatürde, bir bölgenin veya bir yerin doğal temel seviye radyasyonunun belirlenmesi ve o yerin radyolojik açıdan incelenmesi amacıyla yapılmış pek çok çalışma mevcuttur.

Örneğin; ABD’de yapılmış bir çalışmada sadece toprakta bulunan doğal radyoizotopların aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir (Myrick ve diğ., 1983).

Yine ABD’de, yüzeye yakın atmosferde bulunan doğal radyoizotopların aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Lal ve Petters, 1967; Liboff, 1975).

İstanbul’un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerlerinin hesaplandığı bir çalışma yapılmıştır (Karahan, 1997).

Başka bir çalışmada, ABD’ye içme suyu sağlayan kaynaklarda bulunan radyum konsantrasyonları ve toplam alfa ile toplam beta radyoaktiviteleri tayin edilmiştir (Cothorn ve Lappenbusch, 1983).

Yugoslavya’da kırsal bir kesimde belirlenen 62 evde radon ve toron aktivite konsantrasyonu tespiti çalışmaları yapılarak halkın maruz kalabileceği tahmini yıllık eşdeğer doz hesaplamaları yapılmıştır (Zunic ve diğ., 1999).

Rusya’da ev karakteristiklerinin ve bulundukları bölgenin jeolojik yapısının ev-içi radon ve toron konsantrasyonuna etkilerini araştıran çalışmalar yapılmıştır (Zhukovsky ve Yarmoshenko, 1999).

Türkiye’de, Haliç Havzası yüzey sularında 1 yıllık çalışma süresince değişik dönemlerde toplam alfa ve beta radyoaktivite seviyesi tayini yapılmıştır (Ataksor, 2002).

Tekirdağ ilinin çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini amacıyla hem havada, toprakta, suda radyoaktivite analizleri hem de evlerde radon konsantrasyon tespiti çalışması yapılmıştır (Kam, 2004).

İzmir-Dikili jeotermal sahalarına yakın yerleşim alanlarından alınan toprakta, suda ve evlerde radon konsantrasyonlarının belirlenmesi çalışması yapılarak radon solunmasından kaynaklanan eşdeğer dozlar ile kanser oluşturma riskleri hesaplanmıştır (Günaydı, 2004).

Ezine-Kestanbol (Çanakkale) civarından alınan granit, toprak ve su örneklerinde doğal radyoaktivitenin belirlenmesi amaçlanarak yedi su, dokuz toprak örneği ve dört farklı parke taşı ocağından granit örnekleri alınmış ve analizleri yapılmıştır (Merdanoğlu, 2004).

Ankara ili Şereflikoçhisar ilçesindeki Tuz gölü civarı 13 farklı noktadan alınan toprak ve bir yerden alınan tuz örneğinde doğal radyonüklidlerin belirlenmesi çalışmaları yapılarak çıkan sonuçlar dünya ortalamaları ve Türkiye’de yapılan bazı çalışmaların il ortalamaları ile karşılaştırılmıştır (Keskin, 2008).

Urfa ili sınırları içerisinde ili temsil edecek şekilde 112 noktada havada gama doz hızları belirlenmiştir. Ayrıca 45 farklı yerden toprak örnek alınarak toprakta radyoaktivite konsantrasyonları, 53 su örnekte toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları ve yıllık efektif dozlar hesaplanmıştır (Bozkurt ve diğ., 2007).

İnsan sağlığı ve çevre kirliliği açısından Kırklareli ilinin fon radyasyonunun belirlenmesi amacıyla havada, toprakta, suda ve evlerde radon konsantrasyonları belirlenerek haritalandırılması yapılmıştır (Taşkın, 2006).

Rize ili ve ilçelerindeki doğal gama radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesi için, belirli periyotlarda düzenli olarak portatif gama dedektörü ile ölçümler alınarak analizler yapılmıştır (Dizman, 2006).

Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesini saptamak amacıyla havada, toprakta, suda ve evlerde radon konsantrasyon çalışmaları yapılarak o bölgede yaşayan insanların bir yılda maruz kaldıkları radyasyon dozları da hesaplanmıştır (Değerlier, 2007).

Kayseri ilinden alınan 82 toprak örnekte, bölgenin doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi çalışmaları yapılarak sonuçlar Türkiye’de yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır (Otansev ve diğ., 2011).

Damla ve arkadaşları Batman ilinin 16 farklı noktasından içme suyu örneği alarak içme sularında toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarını belirlemişlerdir (Damla ve diğ., 2009).

Bursa ili çevresel doğal gama radyasyon seviyesini tespit etmek amacıyla, ili temsil edecek şekilde belirlenen 200 farklı noktada gama doz hızları ölçülmüş ve bölgeden 50 adet toprak örnek alınarak toprakta radyoaktivite konsantrasyonlarının elde edildiği bir çalışma yapılmıştır. Bölgede yaşayan insanların maruz kaldığı yıllık dozlar da hesaplanmıştır (Karahan, 2010).

Literatürde, birçok ülkede veya bazı bölgelerde yapılmış gama radyasyonlarının temel seviyelerinin belirlenmesi çalışmaları da vardır (Maroff ve diğ.,1962; Niewiadomski ve diğ., 1982; Yaşar ve diğ., 1984; Tieh-Chi Chu ve diğ., 1989).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Kırıkkale ilinin doğal radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Bunun için küresel yer belirleme (Global Positioning System, GPS) cihazı ile koordinatları belirlenen noktalarda çevresel doğal gama doz hızları ölçülmüştür. Yine bu noktalardan alınan toprak ve su örneklerin içerdiği radyoizotop konsantrasyonları ve ev içi radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

3.1. KIRIKKALE İLİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde yer alan Kırıkkale, 1989 yılında il olmuştur. Kırıkkale ilinin konumu Şekil 3.1'de verilen Türkiye haritasında gösterilmektedir. 4.365 km² yüzölçümüne sahip olan ilin 2009 yılı ölçüm sonuçlarına göre; toplam nüfusu 280.834'dür. İl toprakları, kuzeyinde yer alan Çamlıca, Karakaya ve Kırıkkale tepelerinin ovaya indikleri meyil üzerinde bulunmaktadır. İl topraklarının denizden ortalama yüksekliği 700 m'dir. Kırıkkale ili sınırları içerisinde, yükseklikleri 1200-1600 m arasında değişen yaylalar bulunmaktadır. İlde hakim bitki topluluğu steptir.

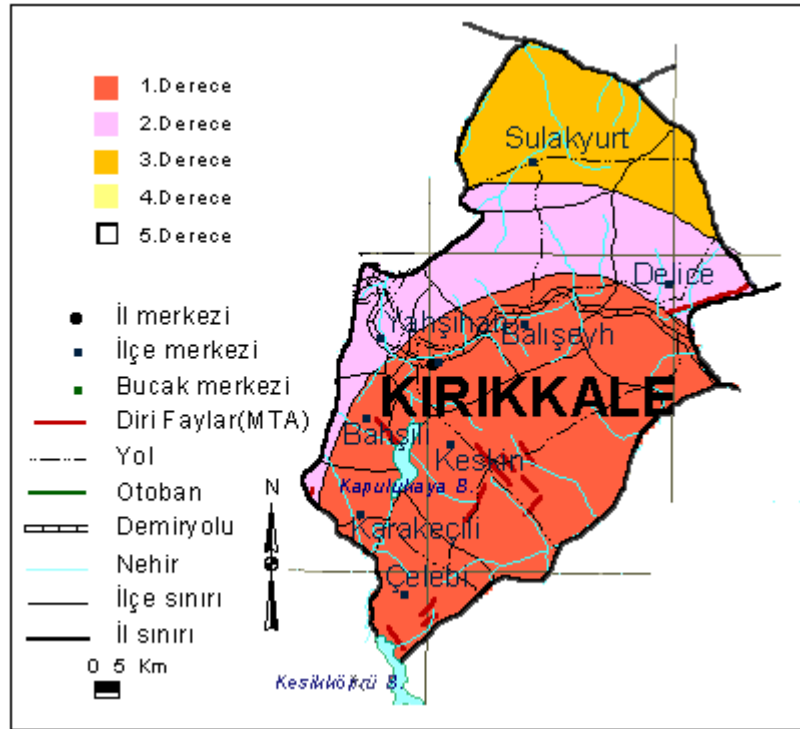


Şekil 3.1: Türkiye haritası

İl sınırları içinde ovalık alanlar çok azdır. En önemlisi Kırıkkale Ovasıdır. Kırıkkale Ovası; kuzeyde Çamlıca ve Karakaya tepelerine, güneyde de Denek Dağı'nın batısına kadar uzanmaktadır. Kuzeydeki tepeler ovaya meyilli bir şekilde inerek birleşir. Kırıkkale yerleşiminin çekirdeği bu meyilde oluşmuştur.

Bölge; volkanik olayların olduğu Keskin, Hirfanlı, Kesikköprü, Kırıkkale ve Kızılırmak boyunca uzanan “Kırşehir Masifi’nde” yer almaktadır. Kırşehir Masifi’nde; granit, homblengranit, siyenit, monzonit, tonolit, ağılit, pegmatit, granodiyorit, kuvarşlı diyorit ve bitotit granitler mevcuttur. Bunları Kırıkkale merkez ile Keskin arasında görmek mümkündür.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi Kırıkkale il topraklarının 1., 2. ve 3. derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır (Özmen ve diğ., 1997). İlin büyük bir bölümü ise 1. derece deprem bölgesi içinde kalmaktadır.



Şekil 3.2 : Kırıkkale ili deprem bölgeleri (Özmen ve diğ., 1997)

Kırıkkale ili, maden cevherleri çeşitliliği yönünden zengin ancak rezerv itibariyle fakirdir. MTA tarafından Kırıkkale ve çevresinde yapılan araştırmalarda bölgede,

asbest, mermer, fluorit, bakır, çinko, kromit ve manyezit varlığı tespit edilmiş, ancak bunlar düşük kalitede olduğundan işletmeye elverişli bulunmamış, planlama ve projelendirme çalışmalarında dikkate alınmıştır.

İl topraklarını genelde kahverengi topraklar oluşturmaktadır. Kireç oranı oldukça yüksektir. Ana kayası volkanik özellik gösterir. Bu topraklar çok engebeli alanlarda çukurumsu bölümlerde birikmiştir. Mineral bakımından zengin olduklarından verimlidirler. Tarla tarımına ve sulu tarıma elverişlidir. Yörenin az yağış alması ve kuraklık, toprak oluşumunda önemli etmendir. Kırıkkale ili ılıman iklim kuşağında yer almaktadır. Ancak bulunduğu alanın denizden uzak oluşu, günlük sıcaklık farkının bozkır olmasından dolayı değişmelere uğraması gibi nedenlerle iklim karasallaşmaktadır (www.kirikkale.gov.tr).

3.2. ÇEVRESEL DOĞAL GAMA DOZ HIZLARININ BELİRLENMESİ

Çevresel doğal gama radyasyonları, karasal ve kozmik radyasyondan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bölgenin toprak ve coğrafi yapısına bağlı olarak dış gama radyasyon doz hızı değerleri değişim göstermektedir.

Bu çalışmada çevresel doğal gama radyasyon seviyelerinin belirlenmesi için, özel olarak tasarımı ve çoklu okuma (500'den fazla) yapabilme özelliğine sahip, 44-10 model NaI(Tl) gama sintilasyon dedektörüne bağlı Ludlum marka 2242-2 model taşınabilir dijital cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : 44-10 model NaI(Tl) gama sintilasyon dedektörüne bağlı Ludlum marka 2242-2 model taşınabilir dijital cihaz

Doğal gama doz hızları, Kırıkkale ilini temsil edecek şekilde toplam 170 adet ölçüm noktasından, açık havada, gonad (üreme organları) hizasında toprak yüzeyinden 1 m yükseklikte, 1 dakika süreyle alınarak $\mu\text{Sv/saat}$ olarak kaydedilmiştir. Bu çalışmada elde edilen gama doz hızları EK-A'da verilmektedir. Doz hesapları nGy/saat birimine dönüştürülerek yapılmıştır. Ayrıca Kırıkkale ili çevresel doğal gama ışınlama doz hızlarının coğrafi dağılımı Harita 4.1'de gösterilmektedir.

3.3. TOPRAK ÖRNEKLERDE DOĞAL RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

3.3.1. Toprak Örneklerin Toplanması ve Analize Hazırlanması

Toprak örnekler, özellikle insanların daha çok bulunduğu yerleşim alanlarına yakın, ekim yeri olmayan, işlenmemiş, su geçirgenliği iyi, açık ve düz alanlardan 0-10 cm derinliğe kadar inebilen 15 cm çapında toprak alma aleti ve kürek kullanılarak alınmıştır. Ayrıca örneklerin, toprak yüzeyinin sel ve yağmur suyu ile zarar görmemiş, vadi eteklerinden uzak alanlardan alınmasına dikkat edilmiştir.

GPS cihazı ile koordinatları belirlenen, 84 ölçüm noktasından yaklaşık 2 kg olarak alınan toprak örnekler, cam, taş, ot vs. yabancı maddelerden ayıklandıktan sonra temiz poşetlere konularak etiketlenmiş ve laboratuvar ortamına getirilmiştir. Burada, kâğıt üzerine serilen örnekler bir hafta süreyle oda sıcaklığında kurutularak nemi alınmıştır. Kurutulan her örnek, öğütülerek 1 mm gözenekli eleklerden geçirilmiş ve darası alınmış marinelli sayım kaplarına konulmuştur. Bu çalışmada marinelli ölçüm kaplarının tercih edilme nedeni, yüksek verim sağlamalarındandır. Tüm toprak örneklerin ağırlıkları tartılarak kaydedilmiş ve her kabın ağzı, dışarıdan hava girmeyecek şekilde geniş bantla kapatılmıştır. Şekil 3.4'de boş marinelli kap ile içerisinde toprak örnek bulunan ağzı bantla kapatılmış dolu bir marinelli kap gösterilmektedir.

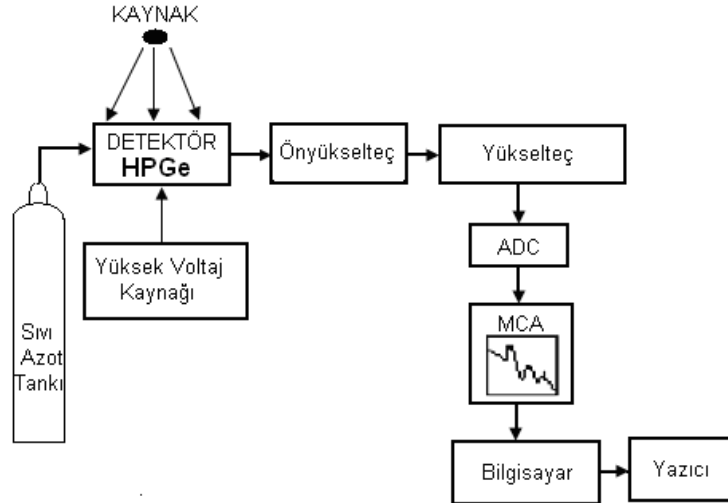
Ağzı bantla kapatılmış marinelli kaplardaki her örnek, toprak içinde bulunan radon ve toron gibi bozunma ürünlerinin, ^{238}U ve ^{232}Th ile radyoaktif dengeye gelmeleri için yaklaşık 40 gün bekletilerek sayıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.4: Boş marinelli kap ile içerisinde toprak örneği bulunan ağzı bantla kapatılmış dolu bir marinelli kap

3.3.2. Toprak Örneklerin Analizinde Kullanılan Sayım Sistemi

Kırıkkale toprak örneklerinin doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesinde Şekil 3.5’de blok diyagramı verilen analiz sistemi kullanılmıştır. Analiz sistemi HPGe yarı-iletken detektör, beraberinde önyükselteç ve yüksek voltaj filtresi ile güç kaynağı, anayükselteç, sayısal-örneksel dönüştürücü (Analog-to-Digital Converter, ADC), çok kanallı analizör (Multi Channel Analyzer, MCA), bilgisayar ve yazıcıdan oluşmaktadır.



Şekil 3.5 : Gama spektrometrik analiz sistemi blok diyagramı

Bu çalışmada radyoaktif dengeye gelen toprak örneklerin analiz işlemleri, Şekil 3.6’da gösterilen ÇNAEM Radyoaktivite Ölçüm ve Analiz Birimi Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.6 : Gama spektrometrik analiz sistemi düzeneği (ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Laboratuvarı)

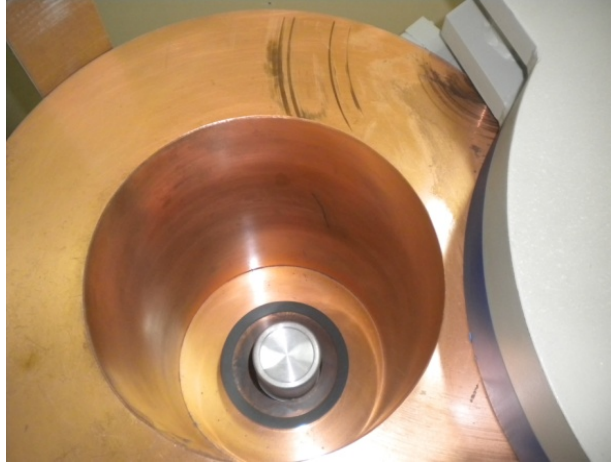
Bu çalışmada kullanılan gama spektrometre sistemindeki üniteler ayrı ayrı aşağıda açıklanmaktadır:

3.3.2.1. Dedektör Sistemi

Dedektör: Bu çalışmada Canberra marka GX5020 model HPGe (High-Purity Germanium, Yüksek Saflıkta Germanyum) yarı iletken dedektör kullanılmıştır. Yarı iletken dedektörlerin enerji ayırma güçlerinin çok iyi olması, birbirine yakın olan pikleri kolaylıkla ayırt edebilmesi özelliğinden dolayı spektrometrik gama analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

HPGe dedektörlerde safsızlığın az, direncin yüksek olmasından dolayı ayırma gücünün çok yüksek olması ve besleme gerilimi uygulanmadığında oda sıcaklığında tutulabilir olması, avantajlarıdır. Çalışırken ise sıvı azot sıcaklığında tutma gereği ve düşük verim, dezavantajlarıdır.

Toprak örneklerde radyoaktivite ölçümleri için kullanılan dikey eksenli HPGe dedektör etrafına, 1 L'lik marinelli kapların sığabileceği, 40 cm iç boşluk bırakılmış şekilde, çevreden gelecek radyasyonu engellemek amacıyla 5-10 cm duvar kalınlığında kurşun zırhla çevrelenmiş ve dedektör 30 L'lik sıvı azot kabı üzerine monte edilmiştir. Şekil 3.7'de kurşun zırhla çevrelenmiş HPGe dedektörü gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Kurşun zırhla çevrelenmiş HPGe dedektörü

1,33 MeV gama enerjisinde dedektör verimi %10'dan küçük, ayırma gücü ise 1332 keV ile 2,1 keV arasında ve spektrum çalışma aralığı 50 keV ile 10 MeV arasındadır.

Örnek sayım geometrisi, analiz edilecek örneğin fiziksel durumuna, miktarına, aktivitesine ve tayin sınırına bağlıdır. Marinelli kaplardaki toprak örnekler, kurşun zırh ile çevrili odacıkta, belirli bir sayım geometrisinde, sayım verimini arttırmak amacıyla dedektör kristaline olabildiğince yakın konumda yerleştirilmiştir. Gelen foton kristalle etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda, kristalde elektron-boşluk çiftleri meydana gelir ve dedektöre uygulanan yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alan ile dinotlara sürüklenir. Gelen radyasyonun enerjisi ile orantılı olarak biriken bu yük, analizörde ölçülebilen bir voltaj pulsu meydana getirir.

Önyükselteç: Önyükselteç, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Dedektör ile elektronik devre arasında empedans uyumu sağlar.

Güç Kaynağı: Bu çalışmada dedektör +3500 V ile beslenmektedir.

Anayükselteç: En iyi sinyal/gürültü oranını elde etmek için, dedektör çıkışındaki darbeler bir yükselticide yükseltip şekillendirilir.

3.3.2.2. Çok Kanallı Analizör Sistemi

Çok Kanallı Analizör (MCA): Yükseltici çıkış sinyalleri çok kanallı bir darbe yüksekliği analizörü ile analiz edilir.

Sayısal-Örneksel Dönüştürücü (ADC): Bir MCA'nın kalbi, elektrik darbesini sayısal niceliğe çeviren sayısal-örneksel dönüştürücü birimi olup darbe yüksekliğinin analog büyüklüğünü (volt), kanal başına düşen sayısal niceliğe dönüştürür.

Kaydedici: MCA'dan veya MCA bağlantılı bilgisayardan alınan bilgilerin kaydedilmesi için yazıcı veya grafik çizici kullanılmıştır.

Gama spektrometresi çeşitli radyoaktif örneklerdeki radyoizotopların tanımlanmasında en çok kullanılan tekniktir; Çünkü gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristiktir (Ayçık, 2000).

Gama spektrometresinin bazı üstünlükleri şöyle özetlenebilmektedir:

- 1- Aynı örnekte farklı radyoaktif çekirdekler tek tek ve aynı anda analiz edilebilir.
- 2- Malzeme, emek ve zaman kaybına neden olan kimyasal ayırma işlemleri gerekmediğinden, örnek hazırlanması kolay ve hızlıdır.
- 3- Ölçümlerdeki yüksek kararlılık, bilgi işlemedeki doğruluk ve analiz edilen bilgilerin güvenilirlik düzeyleri yüksektir.
- 4- Düşük tayin sınırı nedeniyle özellikle çevre örnekleri analizinde kullanılır.

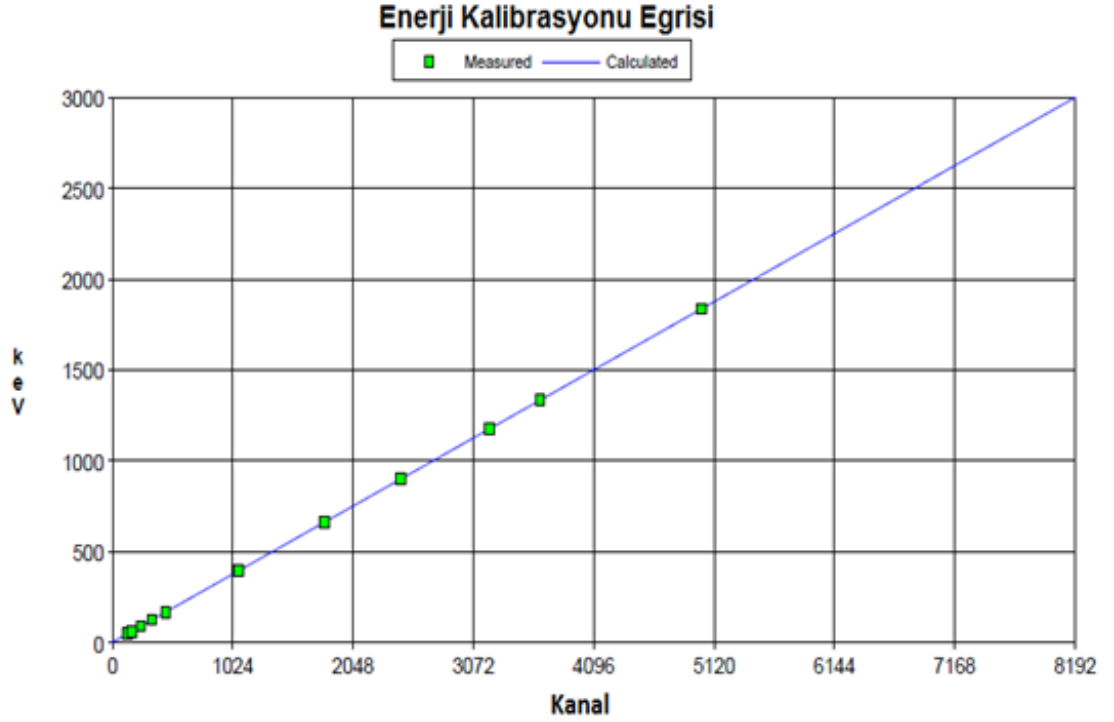
3.3.3. Enerji Kalibrasyonu

Dedektöre gelen fotonların enerjisini tam olarak belirleyebilmek için sayım sisteminin enerji kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için enerjileri bilinen radyoizotoplardan oluşmuş standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Çünkü sayım sisteminde sayımı yapılarak spektrumu elde edilen örneğin gama spektrumlarının doğru olarak analiz edilebilmeleri için, sayım sisteminin kalibrasyonunun yapılması yani hangi kanalın hangi enerjiye karşılık geldiğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan ve aktivitesi bilinen çoklu standart radyoaktif kaynaklar özellikleri ile birlikte Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1 : Enerji kalibrasyonu için kullanılan standart kalibrasyon kaynakları

Gama Işın Enerjisi (keV)	Nüklid	Yarı Ömür	Bolluk (%)	Aktivite (μCi)	Toplam Belirsizlik (%)
47	Pb-210	22.3±0.2 yıl	4,18	0,3037	7
60	Am-241	432.17±0.66 yıl	36	0,02969	3
88	Cd-109	462.6±0.7 gün	3,63	0,4339	3
122	Co-57	271.79±0.09 gün	85,6	0,01502	3,1
166	Ce-139	137.64±0.023 gün	79,9	0,01882	3,1
279	Hg-203	46.595±0.013 gün	81,5	0,06112	3
392	Sn-113	115.09±0.04 gün	64,9	0,07511	3
514	Sr-85	64.849±0.004 gün	98,4	0,09418	3
662	Cs-137	30.17±0.16 yıl	85,1	0,06572	3
898	Y-88	106.63±0.025 gün	94	0,152	3
1173	Co-60	5.272±0.001 yıl	99,86	0,08045	3
1333	Co-60	5.272±0.001 yıl	99,98	0,08045	3
1836	Y-88	106.63±0.025 gün	99,4	0,152	3

Bu amaçla bu standart kaynakların sayım sisteminde sayılması sonucu elde edilen spektrumda her bir pik tepesine karşılık gelen enerji ve kanal değerleri belirlenmiştir. Şekil 3.8’de bu çalışmada elde edilen enerji-kanal grafiği verilmektedir.



Şekil 3.8 : Enerji - Kanal grafiği

3.3.4. 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. Bu amaçla, bu çalışmada dedektör veriminin belirlenmesi için standart kalibrasyon kaynakları kullanılmıştır. Enerji-verim grafiğinin elde edilebilmesi için standart kalibrasyon kaynakları sayım sisteminde sayılmış ve spektrum elde edilmiştir. Dedektör verimi, farklı gama enerjileri için denklem 3.1 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\varepsilon = \frac{P.A.}{(A \cdot F_{\gamma} \cdot T_s)} \quad (3.1)$$

Burada;

$$\varepsilon = \text{Verim}$$

P.A. = İlgilenilen enerji için tam enerji tepesi altındaki net sayım

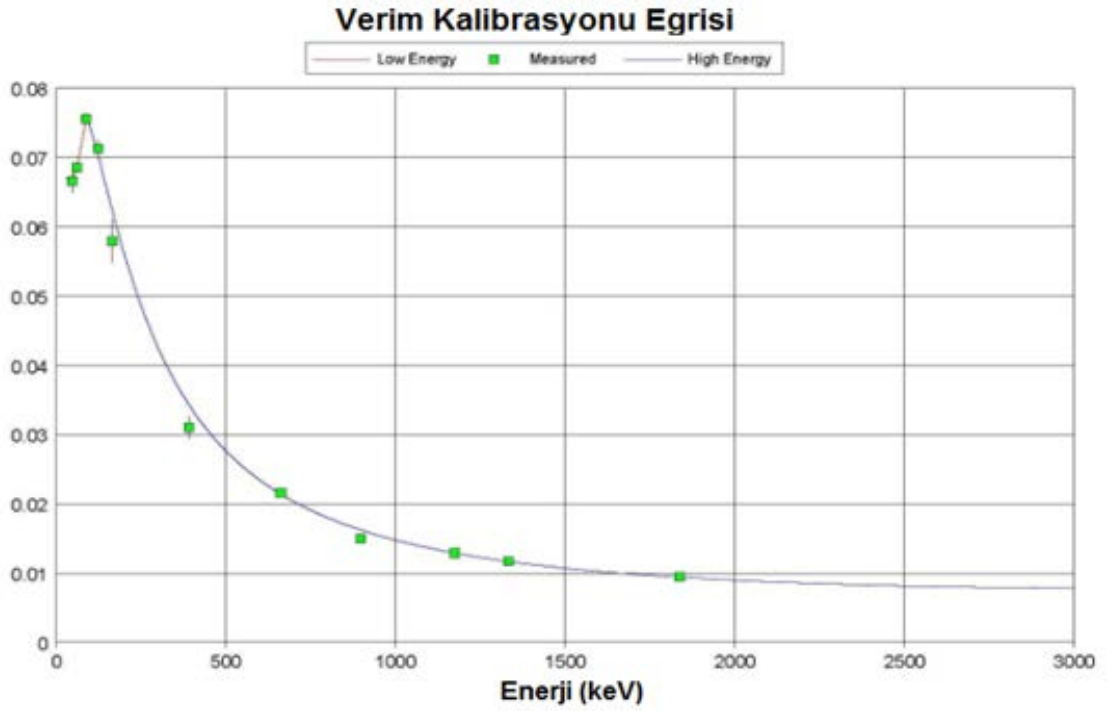
A = Standartta bulunan radyoizotopun bilinen aktivitesi (Bq)

F_{γ} = Bolluk

T_s = Standart kaynağın dedektörde sayım süresi (s)

dir.

Bu çalışmada standart kalibrasyon kaynaklarının gama sayım sisteminde sayılması sonucu elde edilen enerji-verim eğrisi Şekil 3.9'da verilmektedir.

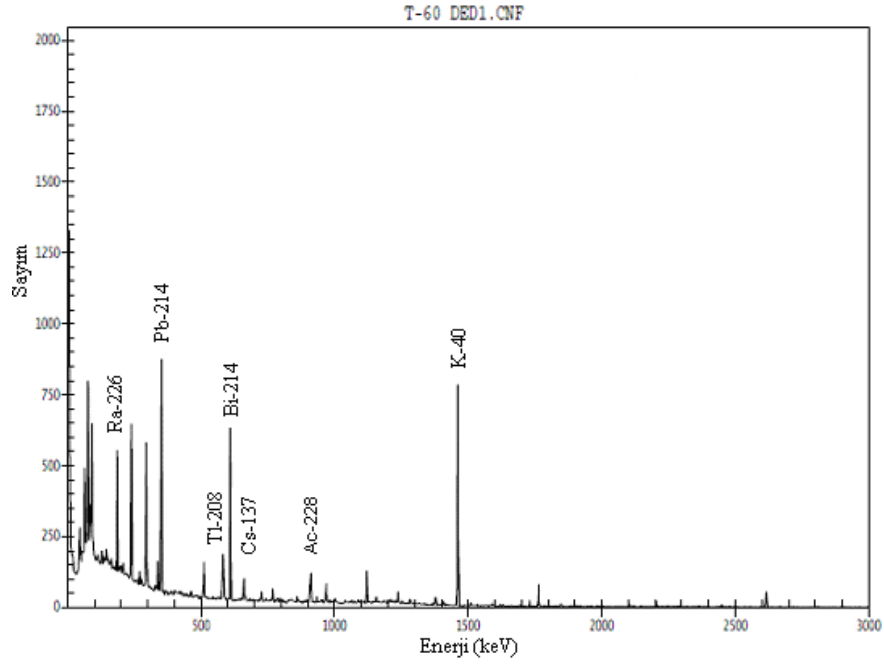


Şekil 3.9 : Enerji-Verim eğrisi

3.3.5. Toprak Örneklerin Analizi

Marinelli kaplarda yaklaşık 40 gün boyunca bekletilen toprak örnekler, yayınladıkları gama enerjileri (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K doğal radyoizotoplar ile fisyon ürünü olan ve radyoaktif kontaminasyon seviyesini açıkça gösteren ^{137}Cs radyoizotopu)'ne göre radyoizotop analizleri yapılmak üzere, Şekil 3.6'da görülen gama spektrometrik analiz cihazına konularak yaklaşık 25000 ve 50000 saniye süre ile sayılmıştır. Sayım işlemi her radyoizotopun yayınladığı fotopik enerjisine göre kalibre edilmiş 47-1836 keV enerji aralığında gerçekleştirilmiştir.

^{238}U 'in bozunma ürünü olan ^{226}Ra 186 keV'de, ^{214}Pb 352 keV'de, ^{214}Bi 609 keV'de pik oluşturmaktadır. ^{232}Th 'nin bozunma serisinden ^{228}Ac 911 keV'de, ^{208}Tl 583 keV'de pik oluşturmaktadır. ^{40}K 1461 keV'de ve ^{137}Cs ise 661 keV'de pik oluşturmaktadır. Şekil 3.10'da T-60 nolu toprak örnekten elde edilen gama spektrumu verilmektedir.



Şekil 3.10 : T-60 nolu toprak örnekten elde edilen gama spektrumu

Toprak örneklerde bulunan doğal radyoizotopların spesifik aktivite konsantrasyonları denklem 3.2 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\text{Aktivite (Bq/kg)} = \frac{\text{P.A.}}{(\epsilon \cdot F_{\gamma} \cdot T_s \cdot M)} \quad (3.2)$$

Burada; P.A. = İlgilenilen enerji için tam enerji tepesi altındaki net sayım

ϵ = Verim

F_{γ} = Bolluk

T_s = Toprak örneklerin dedektörde sayım süresi (s)

M = Örnek miktarı (kg)

dır.

Bu çalışmada Kırıkkaleli ilinden alınan toprak örneklerde belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu sonuçlarının tamamı Bq/kg olarak EK-C’de verilmektedir. Ayrıca bu çalışmada Kırıkkale toprak örneklerde aktivite konsantrasyonları belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların dağılım haritaları sırasıyla Harita 4.4, Harita 4.5, Harita 4.6 ve Harita 4.7’de verilmektedir.

3.4. SU ÖRNEKLERİNDE TOPLAM ALFA ve TOPLAM BETA AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

3.4.1. Su Örneklerinin Alınması

Sulardaki radyoaktivite doğrudan vücudumuzda iç ışınlamaya neden olduğu için, örnek alımında bölgede yaşayan halkın içme suyu olarak kullandıkları sular tercih edilmiştir. Çalışma esnasında bazı bölgelerde içme suyu olarak şehir şebeke suyunun bazı bölgelerde de doğal kaynak suyunun kullanıldığı belirlendiği için örnekleme buna göre yapılmıştır. Ayrıca örnek alım yerlerinin koordinatları GPS cihazı ile belirlenerek kaydedilmiştir.

İlk olarak, önceden yıkanarak saf su ile çalkalanmış çift kapaklı 2,5 L'lik plastik şişelere su örnekleri alınmıştır. Bu şişelere üzerinde örnek adı, numarası, alındığı yerin adı, alım tarihi ve sıcaklık gibi bilgilerin bulunduğu bir etiket yapıştırılmıştır. Alınan içme suyu örnekleri içerisindeki elementlerin partiküler hale gelerek çökelek oluşturmaması ve örnek kabının çeperlerine yapışmaması için, örneklere nitrik asit (HNO_3) eklenerek $\text{pH} < 2$ olması sağlanmış ve kabın ağzı sıkıca kapatılmıştır.

3.4.2. Su Örneklerin Analize Hazırlanması

Su örneklerin analiz edilebilmesi için öncelikle rezidü (kalıntı) tayini yapılması gerekir. Bu nedenle her bir örnekten ilk olarak 20 ml alınarak düşük sıcaklıkta kuruluğa yakın olana kadar buharlaştırılıp etüvde kurutulduktan sonra tartım yapılarak rezidü miktarına bakılmış ve 1 L'deki çözünmüş madde miktarı hesaplanmıştır. Rezidü miktarı 500 mg'a kadar olan örnekler için EPA 900.0 buharlaştırma yöntemi ve 500 mg'ın üzerinde olan örnekler içinde SM 7110 C çöktürme yöntemi kullanılmıştır:

1. EPA 900.0 Yöntemi
2. SM 7110 C Çöktürme Yöntemi

3.4.2.1. EPA 900.0 Yöntemi

Bu metot içme suları ve kaynak suları için belirlenen güvenli içme limitlerine göre ileri analize gerek olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir tarama tekniği olup maksimum enerjisi 0.1 MeV'in üzerinde olan beta ve 3.9 MeV'in üzerindeki alfa yayıcıları için uygulanır. Bu metodun minimum konsantrasyon sınırı; sayım süresi, background, sayım sistemi özelliklerine ve örnek miktarına bağlıdır. Gerekli dedeksiyon

limiti toplam alfa için 3 pCi/L ve toplam beta için 4 pCi/L'dir. Su örneklerine ait sayım planşetindeki rezidü yoğunluğu 5 mg/cm²'yi geçmemelidir. Sayımlarda kullanan 6 cm çapındaki bir planşetin yüzey alanı 34,8 cm² olduğu için rezidü miktarı 150 mg'ı geçmemelidir. Ayrıca rezidü miktarı >500 ppm olan içme suları için bu metot önerilmemektedir (EPA 900.0, 1980).

Bu çalışmada, buharlaştırma işlemini yapmak için yaklaşık 100 mg rezidü bırakacak miktarda alınan içme suyu örneği, üzeri etiketlenmiş olan (Örnek kabul no'su, örnek ismi ve alınan miktar) temiz bir behere koyulmuştur. Buharlaştırma sırasında, beherin çeperlerine örnek içerisindeki maddelerin yapışmasını önlemek ve örneğin homojenliğini sağlamak için, her 100 ml için 1 ml % 65'lik HNO₃ (Nitrik Asit) ilave edilmiştir. Beherlerdeki su, çeker ocakta 60°C'ye ayarlanmış ısıtıcı (hot plate) üzerine konularak, yaklaşık 30-50 ml kalana dek bu sıcaklıkta yavaş yavaş buharlaştırılmıştır.

Buharlaştırma işlemi, önceden darası ve boş sayımı alınan temiz özel kaplar (planşet) içinde, kabı taşırmayacak şekilde, beherde kalan yoğunlaştırılmış örnek azar azar aktararak kuruluğa yakın olana kadar sürdürülmüştür. Buharlaştırma işlemi sürerken, rezidünün planşet içinde homojen bir şekilde dağılmasına dikkat edilmiştir. Buharlaştırma işlemi bittikten sonra planşetler yaklaşık 4 saat etüvde bekletilmiştir. Daha sonra planşetler etüvden desikatöre alınarak 10-15 dakika oda ısısına gelinceye kadar bekletilmiştir. Hassas terazide tartılan her bir örnek için rezidü miktarları tayin edilerek kaydedilmiştir. Planşetler LB-770 model toplam alfa ve toplam beta sayım cihazında sayımı yapılana kadar desikatörde bekletilmiştir.

3.4.2.2. SM 7110 C Çöktürme Yöntemi

Bu yöntemde çözünmüş madde miktarı önemli değildir. Ancak maliyeti artıracak için genellikle EPA 900.0 yönteminin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılmaktadır. Alfa partikülleri yayınlayan tüm radyonüklidler (Ra, U, Th izotopları), BaSO₄ ve Fe(OH)₃ ile birlikte çöktürülür. Böylece, çöktürme ile alfa yayınlayan radyonüklidlerin diğer çözünmüş katılardan ayrılımları sağlanır. Çöken örnek filtre edilir ve sayım sisteminde sayılarak alfa aktivitesi belirlenir (Standart Methods 7110 C, 2005).

Bu çalışma da, analiz edilecek örnekten 500 ml alınmış ve viskoziteyi düşürmek için içine 5 damla seyreltilmiş kimyasal deterjan (1 damla tween 80 + 4 damla su) ilave

edilmiştir. Beher, 100 °C'de ısıtıcı/magnetik karıştırıcı üzerine koyulduktan sonra magnetik karıştırıcı balık, çözeltinin içine atılmıştır. Daha sonra çözeltiye 20 ml 2N H₂SO₄ eklenerek çözeltinin kaynaması beklenmiş ve 10 dakika daha karıştırılmıştır. Böylece örnekte karbonat ve bikarbonatlar varsa bunların CO₂ şeklinde ortamdan uzaklaştırılması sağlanmıştır.

Daha sonra çözeltinin sıcaklığı, kaynama noktasının altında olacak şekilde azaltılmıştır. Çözelti içine 1 ml baryum taşıyıcı eklenmiş ve 30 dakika karıştırmaya devam edilmiştir. Yine çözelti içine sırası ile 1 ml 1/1000'lik bromocresol purple indikatör çözeltisi, 1 ml demir taşıyıcı çözeltisi ve 5 ml kağıt lifi/su karışımı ilave edilmiştir. İndikatör çözeltisi saman sarısı rengini gösterir. Bu da bize asitlik derecesini verir. Karıştırma işleminden sonra damla damla 6 N NH₄OH (Amonyak) baz ilavesiyle çözeltinin renginin sarıdan mora dönüşmesi sağlanmıştır. Isıtmaya ve karıştırmaya 30 dakika daha devam edilmiştir. Böylece asidik bir çözeltiden bazik bir çözelti elde edilmiştir. Burada amacımız, çökelek oluşturmaktır. Çözeltinin çökmesi için bir müddet daha bekletilmiş ve çökelek 0.45 µm gözenekli filtre kâğıdından süzülerek 25 ml destile su ile yıkanmıştır. Tüm bu işlemlerden sonra filtre kâğıdındaki çökelek en az 3 saat radon ürünlerinin uzaklaşması için bekletilmiş ve 105°C etüvde kurutulmuştur. Daha önce tartılarak kaydedilen boş filtreler, daha sonra çökelekli haliyle de tartılmış ve net rezidü elde edilmiştir. Çöken örnekler Bölüm 3.4.3.'de bahsedilen sayım sisteminde sayılarak örneklerin toplam alfa aktivitesi ölçülmüştür. Aynı işlemler background aktivitesini belirlemek amacıyla blank için de uygulanmıştır.

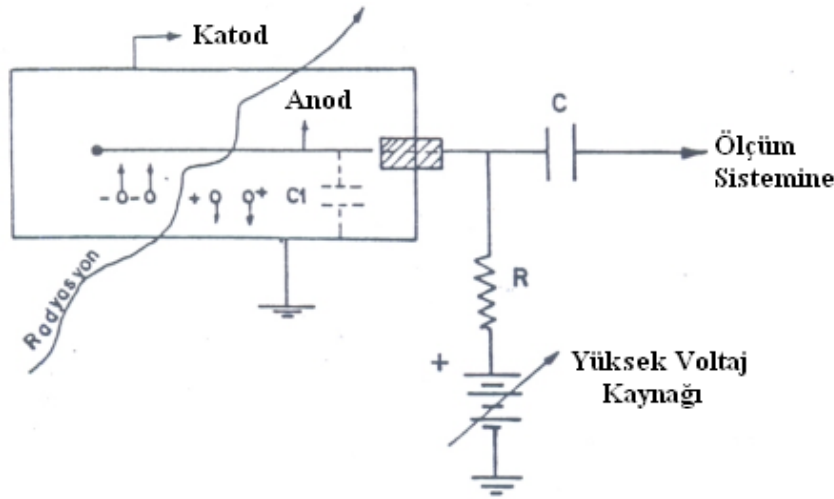
3.4.3. Su Örneklerin Analizinde Kullanılan Toplam Alfa ve Toplam Beta Sayım Sistemi

Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle düşük seviyelerde olduğu için, kullanılacak cihazların yeterince hassas ve güvenilir olması gerekir. Bu tür ölçümler için geliştirilmiş gaz, sıvı ve katı ortamlı dedektörler kullanılır. Düşük temel radyasyon seviyeli çevresel örneklerin tayininde en çok gaz akışlı orantılı sayıcılar kullanılır (Karahana, 1997). Bunun nedeni, spesifik radyoizotop analizleri ile karşılaştırıldığında bu yöntemin kolay uygulanabilir olması, hayli düşük maliyet ile çok kısa sürede sonuca ulaşılması ve çevresel örneklerdeki radyoaktivite seviyesi hakkında yeterli ön bilgiyi sağlamalarıdır (NCRP Report No 50, 1977; Semkow ve diğ., 2001;

Ataksor, 2002). Bu nedenle bu çalışmada su örneklerin analizi için gaz akışlı orantılı sayıcı kullanılmıştır.

3.4.3.1. Gaz Akışlı Orantılı Sayıcı

Yüklü parçacıkların sayılmasında kullanılan en yaygın yöntem, bu parçacıkların bir gaz içinde meydana getirdikleri iyonlaşmadan yararlanmaktır. Genel olarak iyonlayıcı parçacıkların gaz içinde meydana getirdiği iyonları, bir elektrik alanı yardımıyla bir elektrot üzerinde toplamak suretiyle yüklü parçacığın dedeksiyonu sağlanır. Bu tür dedeksiyon yapan radyasyon sayaçlarına gazlı sayaçlar denir. Bu sayaçlarda esas olan kısım neon, argon, metan gibi gazlarla doldurulmuş bir odacık ve bu odacık duvarından çok iyi yalıtılmış bir merkezi elektrottan ibarettir (Şekil 3.11).

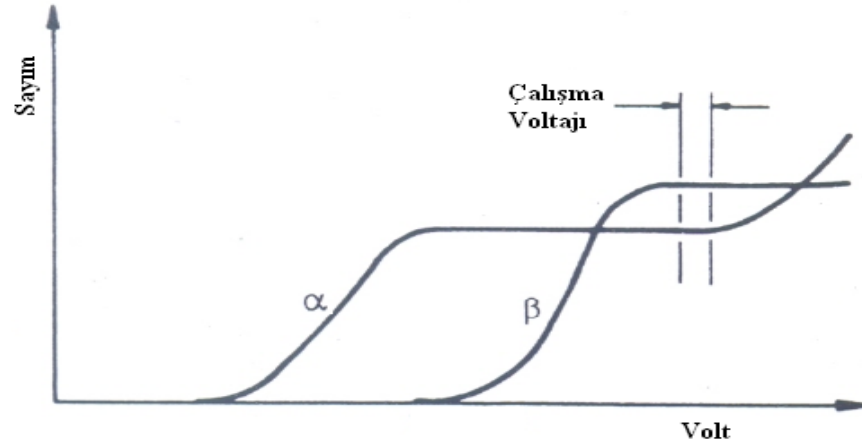


Şekil 3.11 : Gazlı radyasyon sayacı ve dış devresi

Odacık duvarı ile merkezi elektrot arasına R direnci, odacığın C sığası ile bir yüksek voltaj uygulanmıştır. Gelen yüklü bir parçacık ortamdaki gaz moleküllerini (+) ve (-) yüklü iyonlarına ayırır. Odacık içindeki bu iyonlar, yüksek voltajın oluşturduğu elektrik alanının doğrultusunda merkezi elektroda (anot) ve odacık duvarına (katot) doğru hareket ederler. Anotta toplanan elektronlar bir anot akımı oluşturur ve bu akım, RC devresiyle bir voltaj darbesi (pulsu) haline dönüştürülür. Bu darbeler, ön yükselteç, lineer yükselteç ve diğer darbe işleme devreleri tarafından sayıma uygun hale getirilerek bir sayıcı vasıtasıyla sayılırlar.

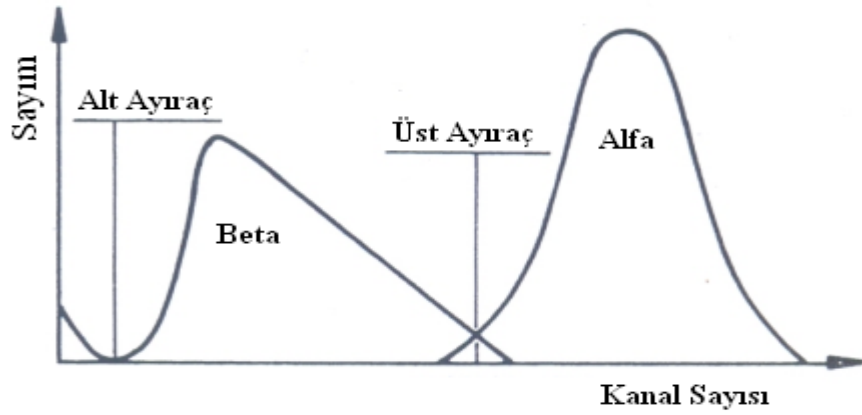
Bu darbelerin yükseklikleri nükleer parçacıkların cinsine ve sayaca uygulanan yüksek voltaja bağlıdır (orantılı sayaç özelliği). Şekil 3.12’de alfa ve beta gibi nükleer parçacıkların ürettiği sayaç darbelerinin sayısını sayaca uygulanan voltaja bağımlılığı görülmektedir. Sayaca uygulanan belli bir voltaj değerinden itibaren darbe sayısının voltaja göre bağımlılığının değişmediği bir bölgeye ulaşılır. Bu bölgeye sayacın platosu denir.

Alfaların, etkileştiği ortamın moleküllerini daha kolay iyonlaştırmaları nedeniyle bu parçacıklar için sayacın platosuna ulaşmak için uygulanan voltaj, betaların platosuna erişme voltajından daha küçüktür. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi orantılı bölgede çalıştırılan bir sayacın içinden geçirilen gazın %90 argon ve %10 metan olması durumunda alfa ve betaların platosu üst üste biner. Bu özellik sayesinde alfa ve beta radyasyonunu aynı anda gözlemlemek mümkün olur.



Şekil 3.12 : Alfa/Beta için sayaç platoları ve çalışma voltajı

Ölçüm sisteminin sayaçlarına uygulanan gerilim, alfa ve betaların platosunun üst üste bindiği bir değere (en uygun çalışma voltajı) ayarlandıktan sonra sistemimizin yükselteç çıkışından alınan alfa ve betalara ait darbeleri sistemimizin tek kanallı analizörü yerine çok kanallı bir analizöre (nükleer parçacıkların enerji spektrumunu ve darbe yüksekliklerini izlemek amacıyla geliştirilen sistem) gönderirsek, Şekil 3.13’deki gibi bir darbe yükseklik spektrumu elde edilir.



Şekil 3.13 : Alfa/Beta darbe yükseklik spektrumu

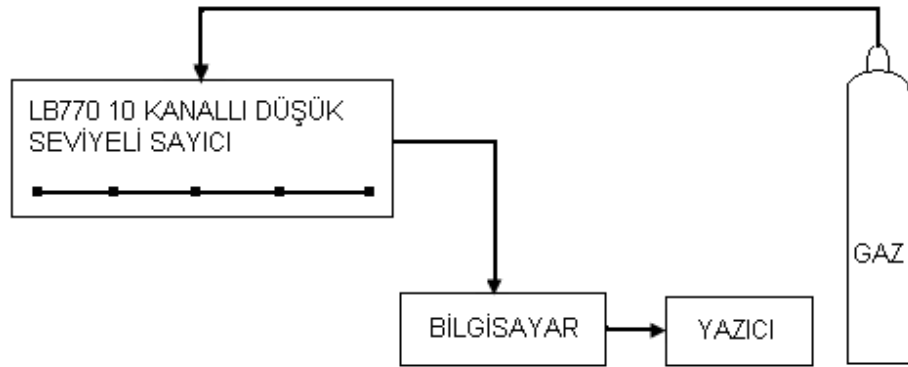
Şekil 3.13’de düşey çizgilerle gösterilen tek kanallı analizöre ait Ayıraç’ın (discriminator) alt ve üst eşikleri (Ayıraç penceresi) sayımı yapılan radyonüklidin yayınladığı betaların uygun olduğu minimum ve maksimum enerji seviyelerine göre (beta sürekli spektrumu) ayarlanırsa, Ayıraç’ın üst eşiği, alfaların darbe yüksekliğinin daha büyük olması nedeniyle alfalar için alt eşik olur. Yani, alfaların meydana getirdiği pikler, bu alt eşik seviyesinin üzerinde olacağı için, alfa ve betaların meydana getirdiği darbeler birbirinden elektronik olarak ayrılır (Altay, 1998).

Ölçüm prensibi bu esasa dayanan ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Laboratuvarında toplam alfa ve toplam beta aktivite analizleri için kullanılan Berthold marka, LB770 model toplam alfa ve toplam beta sayım sistemi Şekil 3.14’de verilmektedir. Bu toplam alfa ve toplam beta sayım sisteminin blok diyagramı da Şekil 3.15’de verilmektedir.

Bu cihaz, doğal sayım seviyesi (background)’ni azaltmak için, etrafı kurşun zırhla kaplı, 10 ayrı kanaldan alfa ve beta partiküllerini aynı anda sayabilme imkanı sunmaktadır. Dedektörlerin etkin yüzeyleri (dedektör penceresi) çok ince alüminyumdan yapılmıştır. Kullanılan planşet çapı 60 mm’dir (Berthold Technologies, 2008).



Şekil 3.14 : Berthold marka LB770-PC 10-kanallı düşük seviyeli planşet sayıcısı (ÇNAEM Radyoaktivite Ölçme ve Analiz Birimi Laboratuvarı)



Şekil 3.15 : Toplam Alfa-Beta sayım sisteminin blok diyagramı

Bu tip alfa ve beta sayıcıları, dedektör sistemi ve sayıcı devresi olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelmektedir.

1-Dedektör Sistemi

Alfa veya beta sayımında kullanılan bu gaz akışlı orantılı sayıcılar genellikle yarım küre şeklinde bir sayım odasına sahiptir. Ortalarında tungstenden yapılmış tel bulunur. Tel, anot görevi, oda duvarları da katot görevi görür. Örnekten gelen alfa ve beta parçacıkları oda içinde doygunluğa ulaşmış gazı iyonlaştırır. Sayıcı sistemimiz, % 90 argon (Ar) ve % 10 metan (CH₄) gaz karışımı içermektedir. Cihazın alfa sayma verimi % 15-20 civarında ve temel seviye sayımı dakikada 0,1'in altındadır. Cihazın beta sayma verimi % 37-40 arasında ve temel seviyesi dakikada 1,0 sayımdan küçüktür. Sayıcı sistemi 0,8 mg/cm²

kalınlığında bir pencereye sahiptir. Aynı zamanda sayıcı sistemi antikoinsidans devresi olup uzaydan gelen kozmik ışınların oluşturacağı iyonizasyon dolayısıyla meydana gelecek ilave sayımları da ortadan kaldırma işlevi görür (Karahana, 1997).

Ölçüm yapılacak örneklerin radyoizotop karışım içerikleri bilinmediğinden sayım sisteminin kalibrasyonu ve kullanılacak standartların seçimi önem taşımaktadır. Bilinen miktarlarda izotop içeren kalibrasyon kaynaklarının; sayılacak örneklerin alanı, yoğunluğu, kalınlığı ve aktivite dağılımı ile benzer özellikleri taşıyacak şekilde hazırlanması gerekmektedir. Çevresel örneklerde ölçülen doğal radyoaktivite konsantrasyonları genellikle çok düşük seviyelerde olduğundan, kullanılacak bu tür cihazlarla çok düşük doğal sayım seviyesine ve yüksek duyarlık özelliklerini sağlamak mümkün olmaktadır (Yaşar, 1987).

Sularda toplam alfa radyoaktivitesi değerlendirilmeleri yapılırken, su örnekte çözünmüş madde miktarına dikkat etmek gerekmektedir. Rezidü miktarı fazla ise self-absorbsiyon (öz yutulma) da yüksek olacaktır. Radyasyonun örnekten ayrılarak öncelikle sayıcıya girmesi ve ardından sayıcı devrelerinde bir puls olarak algılanması gerekir. Ancak belirli bir kütleye sahip olan örnekler, yayınlanan radyoaktivitenin bir kısmını soğurarak “self-absorbsiyon” denilen olay meydana gelmektedir. Artan rezidü miktarı radyasyonun self-absorbsiyon etkisini artırıp daha az sayıda parçacığın dedektöre ulaşmasına neden olmaktadır. Sayıcının verimini etkileyen diğer bir faktör de, geri saçılma (back-scattering) olayıdır. Radyasyon tipi ve enerjisinin bir fonksiyonu olan ve artan atom numarası ile arttığı belirlenen geri saçılmanın neden olduğu hatalardan kaçınmak için örnek ve standardın aynı fiziksel ve geometrik özelliklere sahip olmasını sağlamak gerekmektedir. Sayım sonucunu etkileyen başka bir faktör ise, geometrik etkidir. Radyasyon, kaynaktan küresel yani 4π geometri ile çıkar ve sayıcı tarafından algılanan kısmı sayılabilmektedir. En yüksek verim, örneğin sayıcının hassas hacmi içinde bulunması ile elde edilmektedir (Ataksor, 2002).

2- Sayıcı devresi:

Bu çalışmada kullanılan gaz akışlı orantılı sayıcıda elektronik devre ön yükselteç, ayırt edici (ayırıcı, diskriminatör), sayıcı, kaydedici ve zaman saatinden ibarettir.

Her sayıcı içinde örnek olmaksızın çevresel, kozmik ve sayıcının yapıldığı malzemeden kaynaklanan doğal sayımları kaydeder. Sayıcının yapımında uygun malzeme seçimi ve zırhlaması, backgroundun önemli oranda düşmesine neden olmaktadır (Ataksor, 2002).

3.4.4. Su Örneklerde Toplam Alfa ve Toplam Beta Aktivitelerinin Belirlenmesi

Su örneklerde toplam alfa ve toplam beta aktivitesinin belirlenebilmesi için sayım sisteminde kullanılan sayıcının hem alfalar hem de betalar için veriminin belirlenmesi gerekir.

3.4.4.1. Sayaçların Veriminin Bulunması ve Kalibrasyonu

Verim hesabı için kullanılacak olan standartların, sularda bulunan radyoaktif elementlerin yayımladığı alfa ve betaların enerjilerine ve ayrıca hazırlanan örneğin geometrisine uygun olarak seçilmesi gerekir.

Bu çalışmada, sayıcının verimini belirlemek için sularda bulunan radyoaktif elementlerin alfa enerjisi yaklaşık 5 MeV civarında olduğundan, alfa ölçümleri için 3.68 kBq (99.5 nCi) aktiviteli ^{241}Am ($E=5,49$ MeV, $T_{1/2}=432,2$ yıl) ve beta ölçümleri için 3.72 kBq (101 nCi) aktiviteli ^{90}Sr ($E=0,546$ MeV, $T_{1/2}=28,5$ yıl) standartlar kullanılmıştır.

Verim analizi için ilk olarak 10 adet behere sırasıyla 20, 40, 60,...., 200 ml musluk suyu koyulmuş ve her birinin içine 1 Bq aktiviteye sahip sıvı standart ilave edilmiştir. Daha sonra hazırlanan her bir örnek buharlaştırılarak rezidü miktarları mg olarak kaydedilmiştir. Bu standart örnekler, toplam alfa ve toplam beta sayım sisteminde sayıldığında kütleye (mg) karşı gittikçe azalan sayım (cpm) değerleri, hem alfalar hem de betalar için ayrı ayrı elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan sayım sistemindeki sayıcının sayım verimini belirlemek için denklem 3.3'ten yararlanılmıştır.

$$\text{Verim (cpm/dpm)} = \frac{\text{Standart kaynağın sayılma hızı (cpm)}^*}{\text{Standart kaynağın bozunma hızı (dpm)}^{**}} \quad (3.3)$$

* cpm (counts per minute)=sayım x (dakika)⁻¹

** dpm (disintegrations per minute) = parçalanma x (dakika)⁻¹

Elde edilen cpm değerlerinden denklem 3.3 kullanılarak kütleyle karşılık gittikçe azalan verim değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden hem alfa hem de betalar için verim-kütle grafiği çizilerek verim denklemleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

Alfa için;

$$\text{Verim}_\alpha (\text{cpm/dpm}) = 0,2097.\exp (-0,0064 \times \text{Kütle}(\text{mg}))$$

Beta için;

$$\text{Verim}_\beta (\text{cpm/dpm}) = 0,3867.\exp (-0,001 \times \text{Kütle}(\text{mg}))$$

3.4.4.2. Sayaç Platolarının Çizimi ve En İyi Çalışma Noktasının Bulunması

Örnek ile aynı geometride hazırlanmış katı standart kaynaklar (alfa için ^{241}Am , beta için ^{90}Sr) kullanılarak 1100 V'tan 2000 V'a kadar 1 dakika sürelerde sayımlar alınmış ve bu işleme 50'şer volt artışlarla devam edilmiştir. Elde edilen alfa ve beta platosunun üst üste bindiği değer en uygun çalışma voltajı olarak belirlenmiştir. Bu belirlenen voltaj değeri bizim sistemimiz için 1650 Volt'dur.

3.4.5. Su Örneklerinin Toplam Alfa ve Toplam Beta Sayım Sisteminde Analizi

Sularda alfa ve beta radyasyonu iç ışınlamalarda insan sağlığı açısından önemli olduğu için, içme sularında alfa ve beta radyoaktivite değerleri Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organisation, WHO)'nın koyduğu sınırları aşmamalıdır. Bu nedenle, alfa ve beta radyoaktivitelerini doğru tespit etmek için örneğin hazırlanması ve sayılması esnasında yapılacak olan hataları (örnek hazırlama hatası, cihaz verimi hatası, sayım geometrisi hatası, geri saçılma hatası) en aza indirmek gerekmektedir. Kırıkkale yerleşim alanlarından alınan su örneklerinin analizleri yapılırken tüm bunlara dikkat edilmiştir.

Su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta analizleri, Şekil 3.14'de gösterilen Berthold marka LB770-PC 10 kanallı düşük seviyeli alfa-beta sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır. 10 örneği aynı anda sayma kapasiteli bu cihazda örnekler, 500 dakika sürelerde ikişer kez sayılmış ve ortalamaları alınarak aktivite sonuçları elde edilmiştir.

Her bir örnek için aktivite, denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Aktivite (Bq/L)} = \frac{C_a - C_b}{60. \epsilon . V} \quad (3.4)$$

Burada;

ϵ = Sayım sisteminin verimi (Efficiency, cpm/dpm)

V = Analiz edilen örneğin hacmi (L)

C_a = Dakikada örnek sayımı (cpm)

C_b = Dakikada blank sayımı (cpm)

$C_a - C_b$ = Net sayım (cpm)

dır.

Aktivite hesaplanırken, kullanılan kaplar, sıcaklık, background ve sayımdan kaynaklanan belirsizlikler belirlenerek belirsizlik bütçesi oluşturulmuş ve hesaba katılmıştır.

Elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite sonuçları Bq/L olarak EK-D’de verilmektedir.

Kırıkkale ili su örneklerindeki toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite dağılım haritaları sırasıyla Harita 4.8 ve Harita 4.9’da gösterilmektedir.

3.5. EVLERDE RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

3.5.1. Evlerde Radon Ölçüm Sistemi

Türkiye’deki evlerde, radondan alınan radyasyon dozunu hesaplamak ve radonu yüksek bölgeleri tespit etmek amacıyla, 1984 yılında çalışmalara başlanmıştır. 2004 yılından itibaren de radon ölçümlerinde otomasyona geçilmiş olup RadoSys Ltd. firmasından temin edilen otomatik iz sayım sistemi kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 3.16). RadoSys sistemi bilgisayara bağlı gelişmiş bir mikroskop, kimyasal iz kazıma banyo ünitesi ve radon dozimetrelerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.16 : Otomatik iz sayım sistemi (ÇNAEM Sağlık Fiziği Birimi Laboratuvarı)

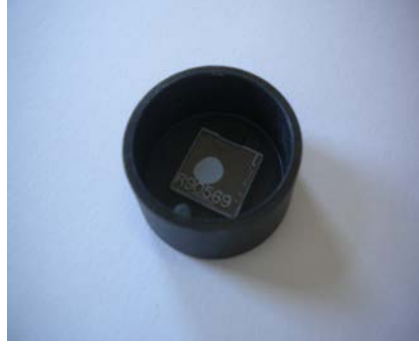
Doğal fon alfa ışını izlerinin düşük olması nedeniyle, kapalı ortamlarda yani ev içi (indoor) radon aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi için CR-39 ve yapısı “allyl diglycol karbonat” olan alfa radyasyonuna duyarlı plastik pasif iz dedektörleri tercih edilmiştir. Bu dedektörlerin karakteristik özellikleri Bölüm 3.5.4’te verilmektedir.

3.5.2. Radon Dozimetrelerinin Dağıtılması ve Toplanması

Ev içi (indoor) radon aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi için kullanılan CR-39 plastik pasif iz dedektörleri, (1x1) cm boyutlarında kesilmiş, kodlanmış ve radon dozimetreleri (Şekil 3.17)’nin kapağına yerleştirilmiştir. Şekil 3.18’de radon dozimetre kapağına yerleştirilmiş CR-39 plastik pasif iz dedektörü gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Radon dozimetreleri



Şekil 3.18 : CR-39 plastik pasif iz dedektörü

Kırıkkale ilinde seçilen 150 eve, mevsimsel farklılıkları da gözlemleyebilmek amacıyla, yaz ve kış dönemlerinde toplam 300 adet dedektör yerleştirilmiş ve koordinatları kaydedilmiştir. Radon aktivite konsantrasyonu ölçümü yapılacak evlere, kapağında CR-39 dedektörü bulunan radon dozimetreleri ile birlikte, yapılan çalışma ile ilgili halkı bilgilendirmek amaçlı “Radon nedir?” yazısı ve bina yapı malzemesi, konumu, havalandırma şartları, yaşayan kişilere ait bilgiler vb. soruları içeren anket formu dağıtılmıştır. Anket formu ve bilgilendirme yazısı örneği EK-E ve EK-F’de verilmektedir. Ev içi uygun yerlere konulan dedektörler, yaklaşık 80 gün boyunca evlerde bekletilmiştir. Bu süre sonunda folyolara sarılarak toplanılan radon dozimetreleriyle birlikte dedektörler Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) Sağlık Fiziği Birimi Radon Sayım Laboratuvarı’na getirilmiştir.

3.5.3. Radon Dedektörlerinin Sayıma Hazırlanması ve Değerlendirilmesi

Evlerden toplanarak laboratuara getirilen radon dozimetrelerinin kapakları özel açma aparatı kullanılarak açılmıştır. Bu dozimetrelerin içerisindeki CR–39 plastik pasif iz dedektörleri özenle çıkarılarak her biri 12 dedektör kapasiteli özel slâyt (radoslide)’lara takılmıştır (Şekil 3.19). Dedektörlerin slâytlara takılması işleminden sonra ilk olarak kimyasal iz kazıma yöntemi uygulanmış ardından da dedektörlerin iz sayım işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.20’de kimyasal iz kazıma (etching) işleminin yapıldığı banyo ünitesi ve aparatları gösterilmektedir.



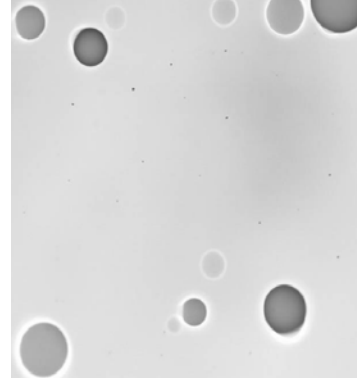
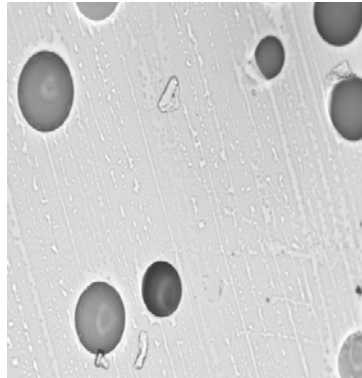
Şekil 3.19 : Dedektör tutucu (radoslide)



Şekil 3.20: Banyo ünitesi ve aparatları

3.5.3.1. Kimyasal İz Kazıma İşlemi

Radon ve bozunma ürünlerinin yayınladıkları alfa tanecikleri difüzyon kaplarının içine girerek dedektörle etkileşmekte ve dedektör yüzeyinde gözle görülemeyecek büyüklüklerde izler oluşturmaktadır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 : Radon konsantrasyonuna bağlı olarak CR-39 plastiği üzerinde oluşan alfa izleri

Kimyasal iz kazıma yöntemi, yaklaşık 80 gün evlerde bekletilen ve radona maruz bırakılan CR-39 plastik pasif iz dedektörleri üzerinde oluşan alfa izlerinin optik mikroskop altında görünür hale getirilebilmesi için uygulanmaktadır. Bu yöntemde ilk olarak banyo sistemi içerisine 4 L saf su ilave edilmiş ve suyun 60°C'ye ısıtılması sağlanmıştır. Daha sonra önceden tartılan 1 kg % 30'luk NaOH, her seferinde yaklaşık 25 mg alan özel küreğiyle banyo sistemi içerisine 1'er dakika aralıklarla ilave edilmiştir. Bu işlem yaklaşık 40 dakika sürmüştür. Böylece sıcak baz çözeltisi oluşturulmuştur. Bu sıcak baz çözeltisi içerisine slaytların yerleştirildiği kapak ilave edilmiş olup 4 saat bekletilmiştir. Bu esnada karıştırıcının çalışıyor olmasına dikkat edilmiştir. Bu süre sonunda sıcak baz çözeltisi boşaltılarak banyo sistemi içerisine % 25 sirke ve % 75 saf

su bileşiminden oluşan 4 L'lik bir karışım ilave edilmiştir. Bu karışımla dedektörler yıkanarak nötralize edilmiştir. Nötralize edilen dedektörler banyo sisteminden çıkarılarak kendi halinde kurumaya bırakılmıştır.

3.5.3.2. Radon Dedektörlerinin Sayılması ve Değerlendirilmesi

Kuruma işlemi tamamlanan dedektörler, bilgisayar bağlantılı, özel yazılım ve gelişmiş bir mikroskop sisteminden oluşan otomatik iz sayım sisteminde sayılmışlardır.

RadoSys değerlendirme programı LINUX işletim sistemi ile çalışmaktadır. Sayılan iz yoğunluğunu fiziksel Radon Aktivite Konsantrasyonu (Radon Activity Concentration, RAC) değerine dönüştürmek için, dedektörlerin evlerde bekletilme süreleri bilgisayara kaydedilmiş ve RAC değerleri Bq/m³ olarak bilgisayardan otomatik elde edilmiştir.

Slaytlara takılı dedektörlerin sayım işlemleri 5'er kez tekrarlanarak elde edilen RAC değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak oluşturulan tablo, EK-B'de verilmektedir.

Yaz ve kış dönemi dağıtılan CR-39 plastik pasif iz dedektörlerinin radon aktivite konsantrasyon dağılımlarını gösteren haritalar da sırasıyla Harita 4.2 ve Harita 4.3'de gösterilmektedir.

3.5.4. CR-39 Pasif Radon Dedektörlerin Karakteristik Özellikleri

CR-39, camın optik özellikleri ile mekanik ve fiziksel özellikleri birleştirilerek yapılmış ve ısı altında sertleştirilmiş bir tür plastiktir. Diğer plastiklerden daha üstün özelliklere ve kullanım kolaylıklarına sahiptirler.

Bu detektörlerin karakteristik özellikleri şunlardır:

- 1- Camla kıyaslanabilecek optik özelliklere sahip olup yüzeyi cam gibi parlak ve pürüzsüzdür.
- 2- CR-39 sahip olduğu üstün optik özellikleri sayesinde her türlü şartlarda kullanılabilir. Solventlerle temas edildiğinde veya uzun süre solvent içinde bekletildiğinde iç ve dış yüzey çatlamalar veya kırılmalar olmaz.
- 3- Aşınma direnci akrilik plastiklerden 30-40 kat daha fazladır. Kimyasal maddelere, aseton ve benzin içeren çözücülere karşı dayanıklıdır.

- 4- 100 milyon röntgen şiddetindeki gama ışınlarına maruz bırakıldığında saydamlığından % 5 oranında kayıp verir. Bu kayıp akrilik materyallerde % 45 civarındadır. Birçok cam radyasyon karşısında akrilikten de daha fazla etkilenir.
- 5- CR-39'un özgül ağırlığı birçok plastikten daha az ve camın da yarısı kadardır (Karahan, 1997).

3.6. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN DİĞER MATERYALLER

Etüv: Kurutma, ısıtma veya yakma işlemlerinde kullanılan, fırına benzeyen çok amaçlı bir cihazdır. Buradan çıkarılan maddeler desikatörde soğumaya bırakılmıştır.

Hot Plate (Sıcak Tabla): Su örneklerinin buharlaştırılmasında kullanılan ısı kontrollü cihazlardır. Bu çalışmada örnekler 60 °C'de sabit ısıda buharlaştırılmıştır.

Hassas Terazî: Su örneklerinin rezidülerinin ve planşetlerin tartımında kullanılan 0,001 mg hassasiyetteki bir cihazdır.

Toprak-Taş Öğütücü: Toprak örneklerinin 1 mm çapında öğütülmesi ve homojen hale getirilmesi için kullanılan cihazdır.

Çeker Ocak: Cihaz çalışma alanında oluşan asit buharı, ısı, proses aroması gibi gazları uzaklaştırabilecek emiş gücüne sahip olup, sisteme bağlı bulunan baca bağlantısı ile dış ortama açılan bir yapıya sahiptir. Su örnekleri, dış etkileşimleri minimize etmek için, çeker ocakta hazırlanmıştır.

pH metre: pH değerini ölçen laboratuvar cihazıdır. Su örnekleri nitrik asitle $\text{pH} \leq 2$ 'ye getirilerek ve koruma altına alınarak saklanabilmiştir.

Desikatör: Tamamı ısıya dayanıklı, kalın camdan yapılmış, bombeli bir kapağı olan tencere biçimli, içindeki delikli porselen yüzeyin altında birkaç santimetre kalınlığında nem tutucu tanecikler bulunan ve soğumaya bırakılan kroze veya cam kâse içerisindeki örneklerin soğurken nem kapıp ağırlaşmalarını veya tepkimeye girmelerini önleyen cihazdır.

Planşet: Paslanmaz çelik ve alüminyumdan yapılan 6 cm çapında özel kaptır.

Küresel Yer Belirleme Sistemi (Global Positioning System, GPS): Düzenli olarak kodlanmış bilgi yollayan bir uydu ağıdır ve uydularla aramızdaki mesafeyi ölçerek dünya üzerindeki kesin yerimizi tespit etmeyi mümkün kılmaktadır. Bu sistem, ABD savunma bölümüne ait, yörüngede sürekli olarak dönen 24 uydudan oluşmaktadır. Bu uydular çok düşük güçlü radyo sinyalleri yaymaktadırlar. Yeryüzündeki GPS alıcısı, bu sinyalleri alarak, konum belirlenmesini mümkün kılmaktadır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 : Küresel yer belirleme sistemi (Global Positioning System, GPS)

4. BULGULAR

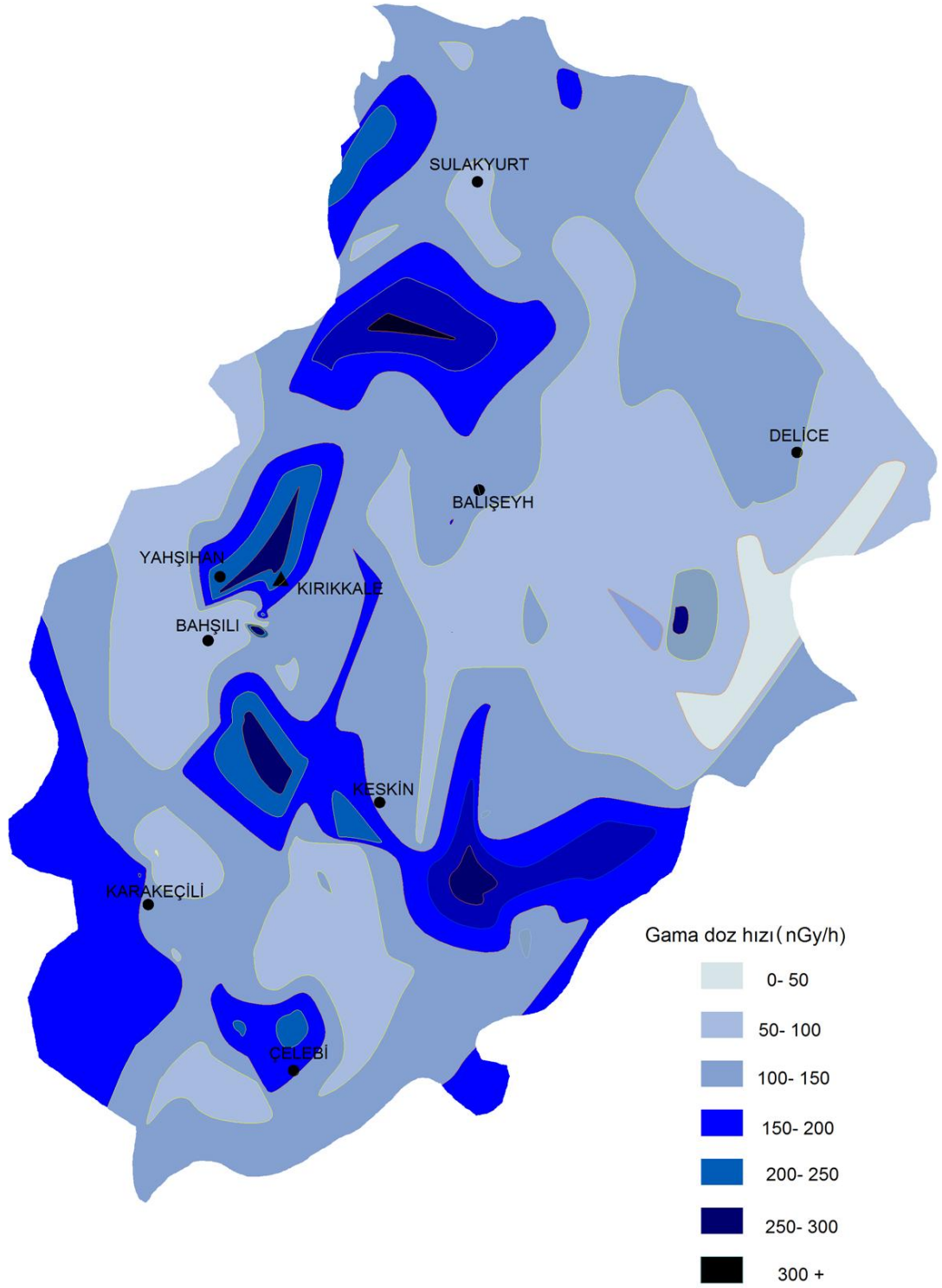
4.1. ÇEVRESEL DOĞAL GAMA DOZ HIZI SEVİYELERİ

Kırıkkale ilini temsil edecek şekilde, açık alanlarda 170 noktada, çevresel doğal gama doz hızı ölçümleri, Ludlum marka taşınabilir bir sintilasyon dedektörü kullanılarak yerden 1 m yükseklikte, gonad hizasında, yaklaşık 1'er dakika süreyle yapılmıştır. Ölçüm noktalarının koordinatları GPS cihazı ile belirlenerek kaydedilmiştir. Bu çalışmada elde edilen gama doz hızları nGy/saat olarak EK-A ve ilçelere göre çevresel ortalama doğal gama doz hızları Tablo 4.1'de verilmektedir. Kırıkkale ilinin çevresel doğal gama doz hızlarının dağılım haritası da Harita 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1 : İlçelere göre çevresel ortalama doğal gama doz hızı değerleri

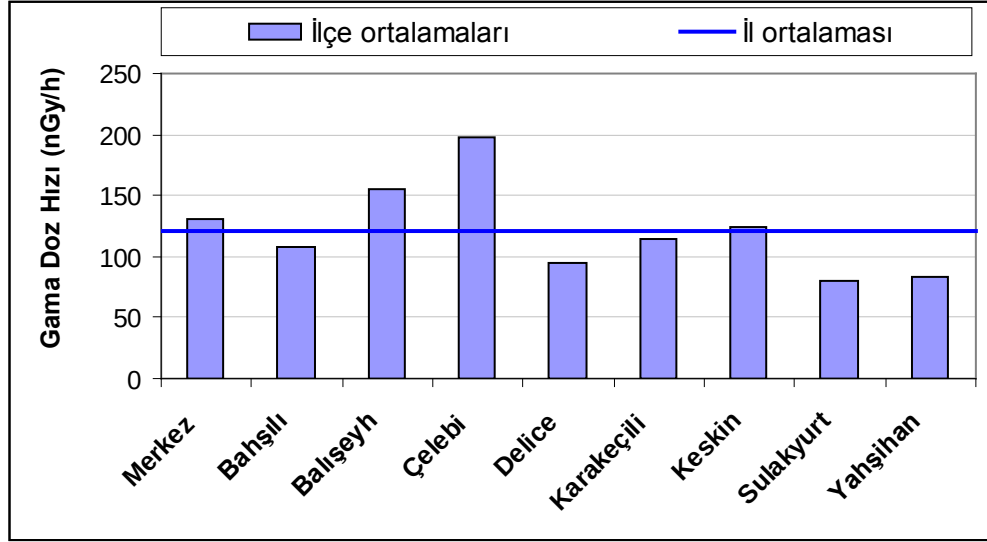
İlçe Adı	Ölçüm Sayısı	Minimum Gama Doz Hızı (nGy/saat)	Maksimum Gama Doz Hızı (nGy/saat)	Ortalama Gama Doz Hızı (nGy/saat)
Merkez	31	50	320	131
Bahşılı	7	80	152	108
Balışeyh	22	62	299	155
Çelebi	12	95	285	198
Delice	27	56	133	94
Karakeçili	3	95	125	114
Keskin	39	23	288	125
Sulakyurt	22	44	136	80
Yahşıhan	7	56	104	84
İl Geneli	170	23	320	121

Kırıkkale il genelinde alınan çevresel doğal gama doz hızı ölçümleri sonucunda, minimum gama doz hızı 23 nGy/saat olarak Keskin ilçesi Polatyurdu köyünden elde edilirken, maksimum gama doz hızı da 320 nGy/saat olarak Merkez ilçe Ahılı köyünden elde edilmiştir. İlçelere göre ortalama gama doz hızlarına bakıldığında, Çelebi ilçesi 198 nGy/saat ile en yüksek değere sahip iken Sulakyurt ilçesi 80 nGy/saat ile en düşük değere sahiptir.



Harita 4.1: Kırıkkale ilinin çevresel doğal gama doz hızlarının dağılım haritası

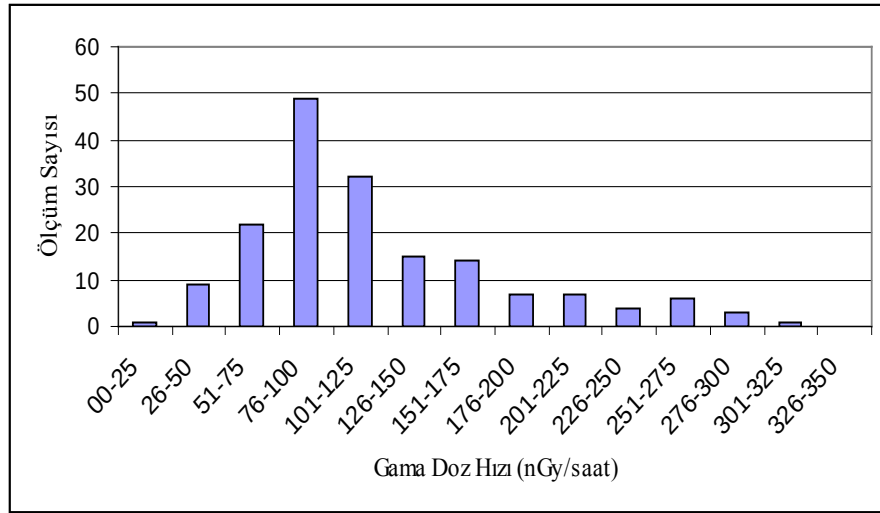
İl geneli olarak ortalama gama doz hızı 121 nGy/saat'dir. Sulakyurt, Yahşıhan, Delice, Bahşılı, Karakeçili, il ortalama gama doz hızı değerinin altında kalan ilçeler olup Merkez, Balışeyh, Çelebi ve Keskin bu ortalama değerin üstünde kalan ilçelerdir. İlçelere göre ortalama gama doz hızı dağılımı Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1 : İlçelere göre ortalama doğal gama doz hızı dağılımı

Tablo 4.1 ve Harita 4.1 ile Kırıkkale ilinin deprem haritası verilen Şekil 3.2 karşılaştırıldığında en düşük ortalama doğal gama doz hızına sahip ilçenin Sulakyurt olup 3. deprem bölgesinde bulunduğu görülmektedir. Delice ve Yahşıhan ilçesi ise 2. deprem bölgesi sınırları içinde kalmaktadır. En yüksek değerlere sahip Çelebi, Balışeyh ve Merkez ilçeleri ise 1. deprem bölgesi içindedir. Bu da bize, yapılan analizlerin hassaslığı ve sonuçların deprensellelikle bağlantısını göstermesi açısından oldukça önemlidir.

Kırıkkale ilinin ilçelere göre çevresel ortalama doğal gama doz hızının ölçüm sayısına göre dağılımı da Şekil 4.2'de verilmektedir. Bu dağılımdan, Kırıkkale ilinden alınan çevresel ortalama doğal gama doz hızı değerlerinin 76-100 aralığında çoğunluk gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.2 : Kırıkkale ilinin çevresel ortalama doğal gama doz hızının ölçüm sayısına göre dağılımı

4.2. İLÇELERE GÖRE ÇEVRESEL DOĞAL GAMA DOZ HIZI DAĞILIMLARI

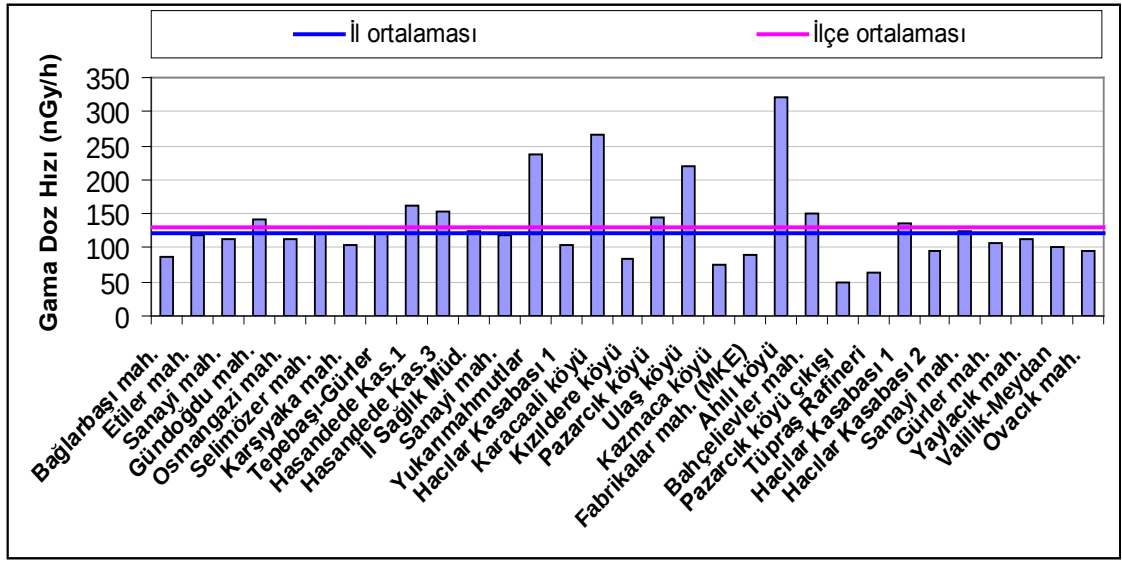
4.2.1. Merkez İlçe Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

Merkez ilçede belirlenen 31 noktadan alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.2’de gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde, en yüksek değer 320 nGy/saat olarak Merkez ilçenin Ahılı köyünden, en düşük değerin de 50 nGy/saat olarak Pazarcık köyü çıkışından elde edildiği görülmektedir.

Merkez ilçe çevresel doğal gama doz hızı dağılımı Şekil 4.3’de gösterilmektedir. Burada Gündoğdu ve Bahçelievler mah., Hasandede kasabası¹, Hasandede kasabası³, Yukarımahmutlar köyü, Karacaali köyü, Pazarcık köyü, Ulaş köyü, Ahılı köyü ve Hacılar kasabası¹’den alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri ilçe ortalamasının (131 nGy/saat) üzerindedir. Gama doz hızının il ortalamasına göre çok üzerinde olduğu Karacaali, Ulaş, Yukarımahmutlar, Hacılar, Hasandede ve Ahılı köylerinin Merkez ilçenin güneyini oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca bu bölge Şekil 3.2’de görüldüğü gibi 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. EK-A’ya bakıldığında da tüm Kırıkkale ilinden alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri içinde 320 nGy/saat olan en yüksek değerin Merkez ilçe Ahılı köyünden elde edildiği görülmektedir.

Tablo 4.2 : Merkez ilçe çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (µSv/h)
	Kuzey	Doğu		
Bağlarbaşı mah.	40,12210	33,75868	86	0,086
Etiler mah.	40,23930	33,74197	120	0,12
Sanayi mah.	40,21313	33,79563	112	0,112
Gündoğdu mah.	40,17260	33,80358	142	0,142
Osmangazi mah.	40,17997	33,86633	114	0,114
Selimözer mah.	40,25522	33,88627	121	0,121
Karşıyaka mah.	40,23817	33,94150	103	0,103
Tepebaşı-Gürler	40,26067	33,92685	122	0,122
Hasandede Kas.1	40,25200	33,84135	162	0,162
Hasandede Kas.3	40,26642	33,84385	152	0,152
İl Sağlık Müd.	40,31618	33,78302	125	0,125
Sanayi mah.	40,30893	33,67132	119	0,119
Yukarımahmutlar	40,22483	33,63135	237	0,237
Hacılar Kasabası 1	40,16660	33,70507	104	0,104
Karacaali köyü	40,07192	33,64657	265	0,265
Kızıldere köyü	40,12657	33,61680	85	0,085
Pazarcık köyü	40,09305	33,59705	145	0,145
Ulaş köyü	40,05438	33,58475	221	0,221
Kazmaca köyü	39,83760	33,50135	76	0,076
Fabrikalar mah. (MKE)	39,79108	33,54750	90	0,09
Ahlı köyü	39,83363	33,51805	320	0,32
Bahçelievler mah.	39,89668	33,61490	150	0,15
Pazarcık köyü çıkışı	39,75865	33,45660	50	0,05
Tüpraş Rafineri	39,72585	33,43027	63	0,063
Hacılar Kasabası 1	39,72108	33,42973	136	0,136
Hacılar Kasabası 2	39,57730	33,43443	96	0,096
Sanayi mah.	39,55205	33,44960	125	0,125
Gürler mah.	39,44197	33,54057	107	0,107
Yaylacık mah.	39,44833	33,43777	112	0,112
Valilik-Meydan	39,43310	33,39513	100	0,1
Ovacık mah.	39,48005	33,41980	95	0,095
İlçe Ortalaması			131	0,131
İl Ortalaması			121	0,121



Şekil 4.3 : Merkez ilçe çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

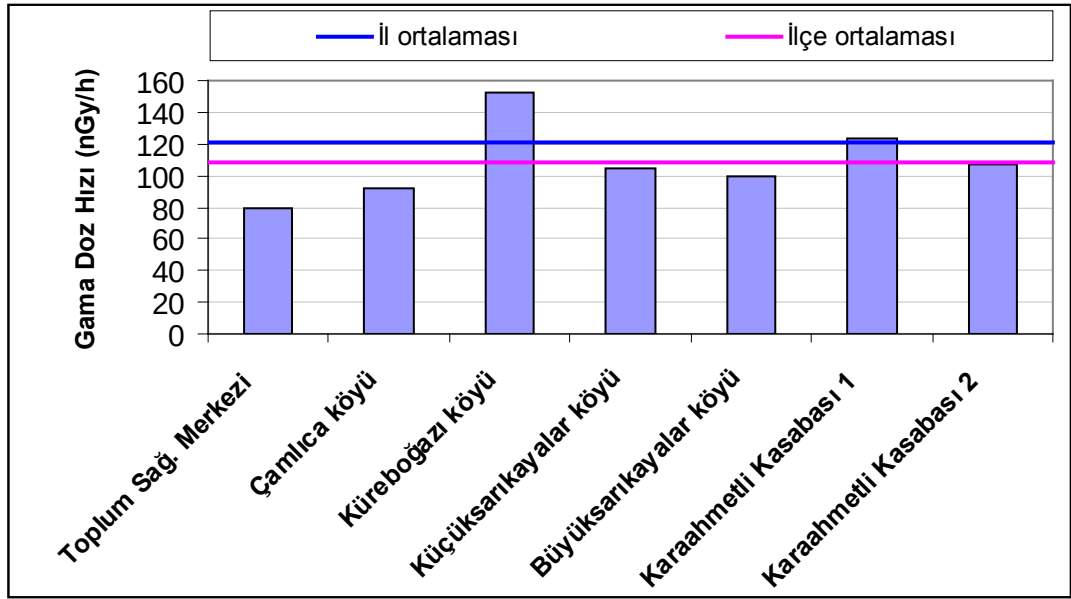
4.2.2. Bahşılı İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

Bahşılı ilçesinde belirlenen 7 noktadan alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.4’de gösterilmektedir. En yüksek değer 152 nGy/saat olarak Küreboğazı köyünden elde edilirken en düşük değer de 80 nGy/saat olarak ilçe merkezinde bulunan Toplum Sağlığı Merkezi’nden elde edilmiştir.

Tablo 4.3 : Bahşılı ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (µSv/h)
	Kuzey	Doğu		
Toplum Sağ. Merkezi	39,85473	33,49275	80	0,08
Çamlıca köyü	39,85105	33,51638	92	0,092
Küreboğazı köyü	39,84897	33,52425	152	0,152
Küçükсарıkayalar köyü	39,84198	33,53692	105	0,105
Büyükсарıkayalar köyü	39,84198	33,37022	99	0,099
Karaahmetli Kasabası 1	39,82942	33,53622	123	0,123
Karaahmetli Kasabası 2	39,82285	33,52048	107	0,107
İlçe Ortalaması			108	0,108
İl Ortalaması			121	0,121

Bahşılı ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı Şekil 4.4’de gösterilmektedir. Sadece Küreboğazı köyü ve Karaahmetli kasabasından alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri 108 nGy/saat olan ilçe ortalamasının üzerindedir.



Şekil 4.4 : Bahşılı ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

4.2.3. Balıışeyh İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

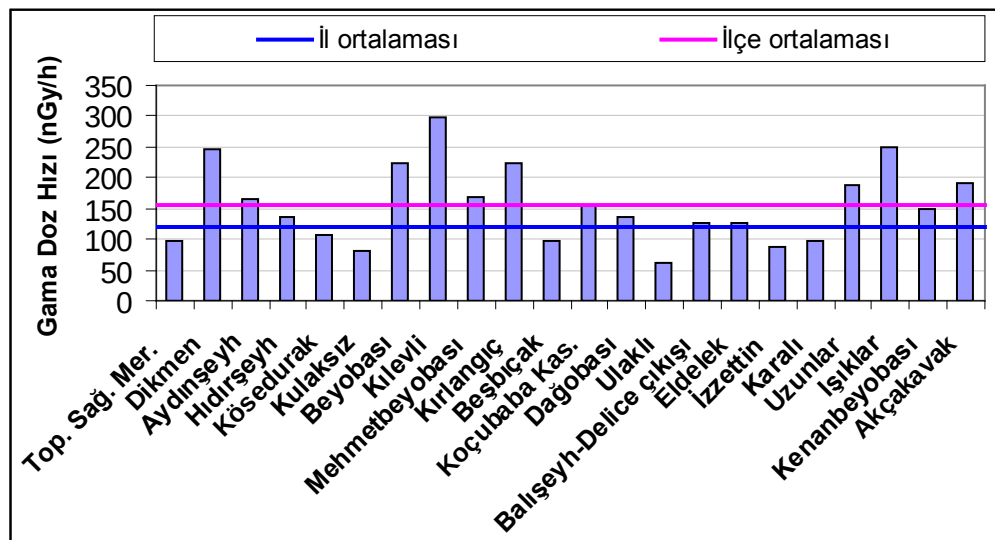
Balıışeyh ilçesinde 22 noktadan alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.5’de gösterilmektedir. En yüksek değer Kilevli köyünden 299 nGy/saat olarak elde edilirken en düşük değerde 62 nGy/saat olarak Ulaklı köyünden elde edilmiştir. Balıışeyh ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerlerinin ortalaması da 155 nGy/saat olarak il ortalamasının (131 nGy/saat) çok üzerindedir. Balıışeyh ilçesinin ortalama çevresel doğal gama doz hızı değeri diğer Kırıkkale ilçelerinden sadece Çelebi ilçesinin ortalama doğal gama doz hızı (198 nGy/saat)’nın altındadır.

Şekil 3.2’ye bakıldığında, Balıışeyh ilçesi güneyinin 1. derece deprem bölgesinde bulunduğu görülmektedir. İlçenin çevresel gama doz hızı değerlerinin yüksek elde edildiği köylerin (Beyobası, Kilevli, Mehmetbeyobası, Kırlangıç, Uzunlar, Işıklar, Akçakavak ve Dikmen) de ilçenin güneyinde yani 1. derece deprem bölgesinde bulunması, elde edilen değerlerin depremsellikle örtüştüğünü gösterir.

Tablo 4.4 : Balışeyh ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (μSv/h)
	Kuzey	Doğu		
Toplum Sağ. Merkezi	39,84510	33,51118	96	0,096
Dikmen köyü	39,67375	33,61655	247	0,247
Aydınşeyh köyü	39,48197	33,74108	165	0,165
Hıdırşeyh köyü	39,56615	33,78292	136	0,136
Kösedurak köyü	39,56130	33,79143	107	0,107
Kulaksız köyü	39,59218	33,78335	80	0,08
Beyobası köyü	39,63442	33,78932	222	0,222
Kılevli köyü	39,63555	33,73157	299	0,299
Mehmetbeyobası	39,65823	33,66975	168	0,168
Kırlangıç köyü	39,69347	33,73197	224	0,224
Beşbıçak köyü	39,68635	33,74333	98	0,098
Koçubaba Kasabası	39,77263	33,74735	154	0,154
Dağobası köyü	39,77025	33,78888	135	0,135
Ulaklı köyü	39,76550	33,82657	62	0,062
Balışeyh-Delice çıkışı	39,70713	33,84050	126	0,126
Eldelek köyü	39,71188	33,86238	128	0,128
İzzettin köyü	39,74477	33,90185	89	0,089
Karalı köyü	39,70722	33,94118	98	0,098
Uzunlar köyü	39,68010	33,95397	188	0,188
Işıklar merkez	39,66383	33,87763	249	0,249
Kenanbeyobası köyü	39,73955	33,57593	150	0,15
Akçakavak köyü	39,73742	33,57772	190	0,19
İlçe Ortalaması			155	0,155
İl Ortalaması			121	0,121

Balışeyh ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



Şekil 4.5 : Balışeyh ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

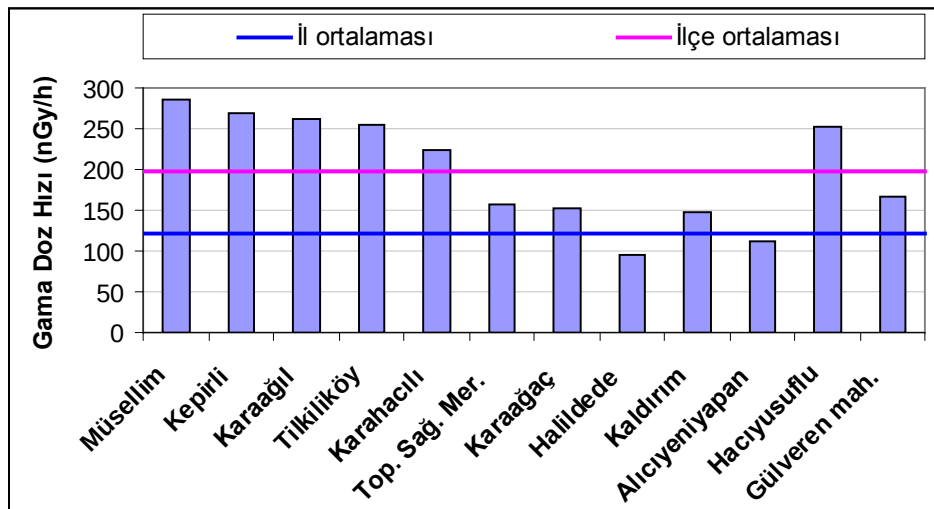
4.2.4. Çelebi İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

Çelebi ilçesinin 12 noktasından alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.5’de gösterilmektedir. En yüksek değer Müsellim köyünden 285 nGy/saat olarak elde edilirken en düşük değerde 95 nGy/saat olarak Halildede köyünden elde edilmiştir. Ayrıca Tablo 4.1’e bakıldığında Çelebi ilçesi 198 nGy/saat çevresel doğal gama doz hızı ile tüm Kırıkkale ilçeleri içinde ortalaması en yüksek değere sahiptir. Bu değer 121 nGy/saat olan il ortalamasının da çok üzerindedir.

Tablo 4.5 : Çelebi ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (μ Sv/h)
	Kuzey	Doğu		
Müsellim köyü	39,71847	33,54097	285	0,285
Kepirli köyü	39,76363	33,50860	270	0,27
Karaağıl köyü	39,76147	33,50685	262	0,262
Tilkiliköy	39,86275	33,48050	255	0,255
Karahacılı köyü	39,84573	33,52430	225	0,225
Toplum Sağ. Merkezi	39,87132	33,64093	156	0,156
Karaağaç köyü	39,91583	33,71535	152	0,152
Halildede köyü	39,95968	33,66585	95	0,095
Kaldırım köyü	39,99050	33,62113	147	0,147
Alıcıyenyapan köyü	40,02263	33,65963	111	0,111
Hacıyusuflu köyü	40,06030	33,71902	252	0,252
Gülveren mah.	40,00260	33,72368	166	0,166
İlçe Ortalaması			198	0,198
İl Ortalaması			121	0,121

Çelebi ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı da Şekil 4.6’da gösterilmektedir.



Şekil 4.6 : Çelebi ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

Şekil 3.2'ye bakıldığında görüldüğü gibi, Çelebi ilçesinin tamamı 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu da ilçe ortalamasının yüksek çıkmasını anlamlı kılar.

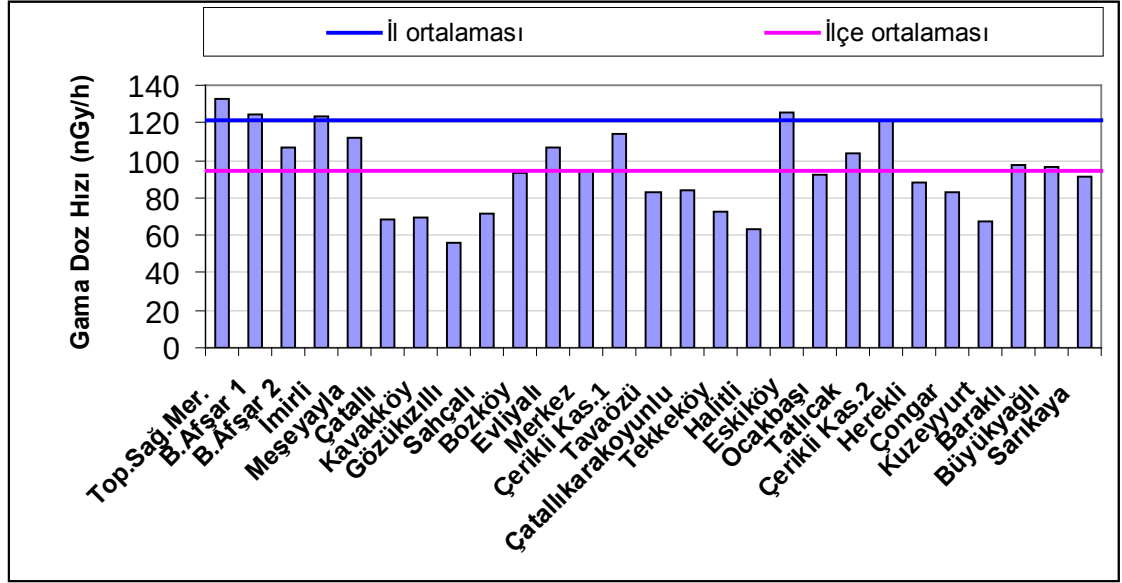
4.2.5. Delice İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

Delice ilçesinin 27 noktasından alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.6'da gösterilmektedir. En yüksek değer ilçe merkezi Toplum Sağlığı Merkezi'nden 133 nGy/saat olarak elde edilirken en düşük değerinde 56 nGy/saat olarak Gözükızıllı köyünden elde edilmiştir. Delice ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerlerinin ortalaması 94 nGy/saat olarak elde edilmiştir. Bu değer 121 nGy/saat olan il ortalamasının altındadır.

Tablo 4.6 : Delice ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (µSv/h)
	Kuzey	Doğu		
Toplum Sağ.Merkezi	39,93988	34,03175	133	0,133
B.Avşar köyü 1	40,05313	33,95208	124	0,124
B.Avşar köyü 2	40,04490	33,95390	107	0,107
İmirli köyü	40,07963	33,93917	123	0,123
Meşeyayla köyü	40,10698	33,94668	112	0,112
Çatalı köyü	40,13502	33,97743	68	0,068
Kavakköy	40,16443	33,99022	70	0,07
Gözükızıllı köyü	40,15155	34,02688	56	0,056
Sahçalı köyü	40,12602	34,02667	72	0,072
Bozköy	40,10327	34,03625	93	0,093
Evliyali köyü	40,03882	34,08308	107	0,107
Merkez	39,66693	33,68055	94	0,094
Çerikli Kas.1	39,73418	33,82822	114	0,114
Tavaözü köyü	39,57060	33,63825	83	0,083
Çatalıkarakoyunlu	39,52800	33,60782	84	0,084
Tekkeköy	39,58297	33,57843	73	0,073
Halitli köyü	39,56135	33,53918	63	0,063
Eskiköy	39,59702	33,49317	126	0,126
Ocakbaşı köyü	39,61843	33,53673	92	0,092
Tatlıcak köyü	39,64010	33,58148	104	0,104
Çerikli Kas.2	39,64458	33,53183	121	0,121
Herekli köyü	39,66552	33,55447	88	0,088
Çongar köyü	39,87480	33,72085	83	0,083
Kuzeyyurt köyü	39,85488	33,75772	67	0,067
Baraklı köyü	39,80548	33,78955	97	0,097
Büyükyağlı köyü	39,87823	33,79335	96	0,096
Sarıkaya köyü	40,01993	33,81955	91	0,091
İlçe Ortalaması			94	0,094
İl Ortalaması			121	0,121

Delice ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı da Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Delice ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

Delice ilçesi Şekil 3.2’de görüldüğü gibi 2. ve 3. derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Bu da Delice ilçesinden elde edilen çevresel doğal gama doz hızlarının düşük olmasında etken olabilir.

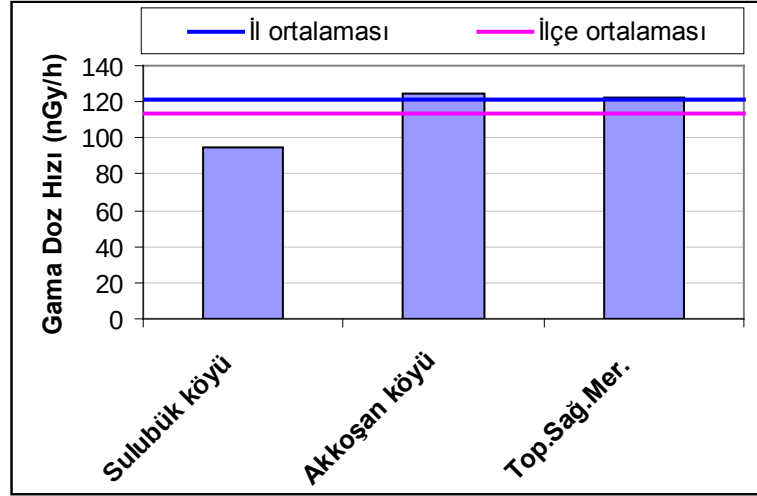
4.2.6. Karakeçili İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

Karakeçili ilçesinin 3 noktasından alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.7’de gösterilmektedir. Akkoşan köyü ve ilçe merkezi olan Toplum Sağlığı Merkezi’nden alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri il ortalama değerine yaklaşık eşit değerde iken ilçe ortalamasının üzerinde elde edilmiştir. Sulubük köyünden elde edilen değer ise hem il hem de ilçe ortalamasının altındadır.

Tablo 4.7 : Karakeçili ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (µSv/h)
	Kuzey	Doğu		
Sulubük köyü	40,06992	33,87897	95	0,095
Akkoşan köyü	40,07210	33,91593	125	0,125
Toplum Sağ.Merkezi	39,94860	34,03083	122	0,122
İlçe Ortalaması			114	0,114
İl Ortalaması			121	0,121

Karakeçili ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı da Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 : Karakeçili ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

Karakeçili ilçesi topraklarının, Şekil 3.2’ye bakıldığında 1. derece deprem bölgesinde bulunduğu görülmektedir.

4.2.7. Keskin İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

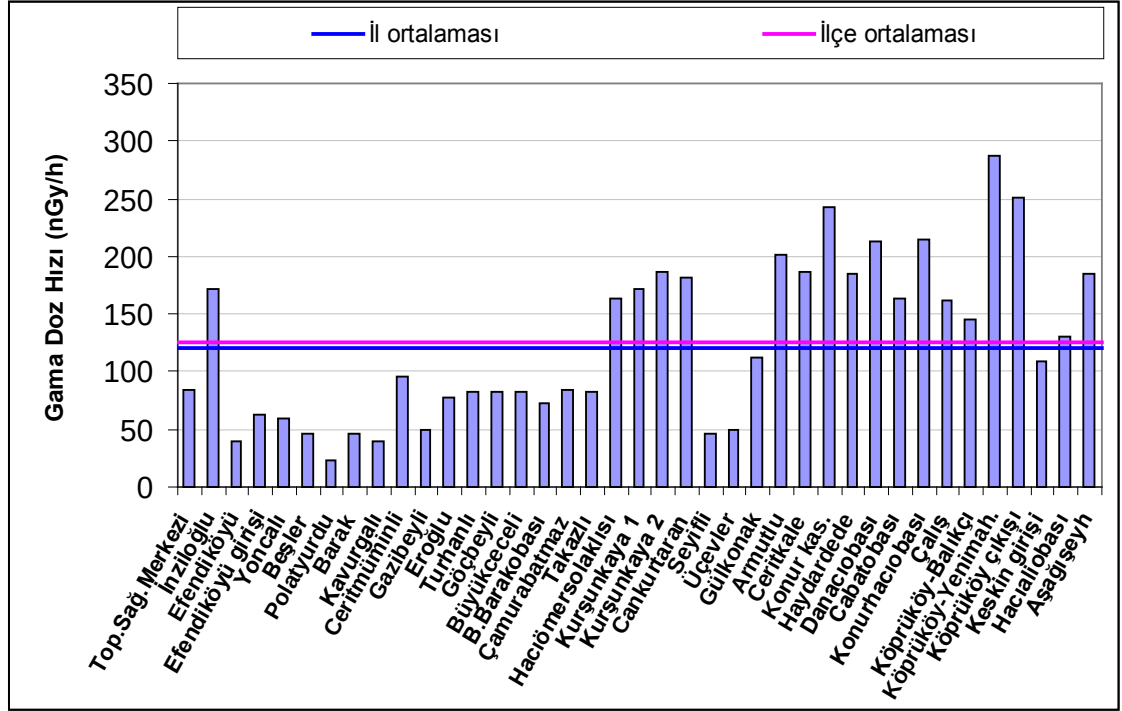
Keskin ilçesinin 39 noktasından alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.8’de gösterilmektedir. En yüksek değer 288 nGy/saat olarak Köprüköy’den elde edilirken en düşük değer de 23 nGy/saat olarak Polatyurdu köyünden elde edilmiştir. Keskin ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerlerinin ortalaması 125 nGy/saat olarak 121 nGy/saat olan il ortalamasının üzerinde elde edilmiştir.

Çevresel doğal gama doz hızı ilçe ortalamasının üzerinde olan Keskin ilçesinin özellikle çevresel doğal gama doz hızı değerleri yüksek olan köyleri, Şekil 3.2’de görüldüğü gibi diri fayların üzerinde ve 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

Tablo 4.8 : Keskin ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (µSv/h)
	Kuzey	Doğu		
Toplum Sağ.Merkezi	39,89427	33,99442	85	0,085
İnziloğlu köyü	39,83702	33,94055	172	0,172
Efendiköyü	39,82788	33,92713	39	0,039
Efendiköyü girişi	39,81238	33,88960	63	0,063
Yoncalı köyü	39,79463	33,91922	60	0,06
Beşler köyü	39,77568	33,99365	47	0,047
Polatyurdu köyü	39,75018	33,99522	23	0,023
Barak köyü	39,83127	34,01857	46	0,046
Kavurgalı köyü	39,89672	34,00285	40	0,04
Ceritmüminli	39,87800	33,94213	95	0,095
Gazibeyli köyü	39,86455	33,87077	50	0,05
Eroğlu köyü	39,99240	33,53425	77	0,077
Turhanlı köyü	39,97460	33,50013	82	0,082
Göçbeyli köyü	39,92527	33,47522	83	0,083
Büyükceceli köyü	39,92463	33,43580	82	0,082
B.Barakobası köyü	39,84730	33,45218	72	0,072
Çamurabatmaz köyü	39,80693	33,45917	85	0,085
Takazlı köyü	39,77125	33,37363	83	0,083
Hacıömersolaklısı	39,72593	33,43005	164	0,164
Kurşunkaya köyü 1	39,72213	33,36818	172	0,172
Kurşunkaya köyü 2	39,67310	33,34752	186	0,186
Cankurtaran köyü	39,66793	33,33118	182	0,182
Seyifli köyü	39,66000	33,41530	46	0,046
Üçevler köyü	39,65710	33,41652	50	0,05
Gülkonak köyü	39,62488	33,40605	113	0,113
Armutlu köyü	39,64272	33,39857	201	0,201
Ceritkale köyü	39,59585	33,38155	187	0,187
Konur kasabası	39,52525	33,55167	242	0,242
Haydardede köyü	39,53017	33,52102	185	0,185
Danacıobası köyü	39,52463	33,49473	213	0,213
Cabatobası köyü	39,54442	33,47360	164	0,164
Konurhacıobası köyü	39,57508	33,43268	215	0,215
Çalış köyü	39,66188	33,54092	162	0,162
Köprüköy-Balıkçı	39,46558	33,52875	145	0,145
Köprüköy-Yenimah.	39,88775	33,53793	288	0,288
Köprüköy çıkışı	39,94467	33,56050	251	0,251
Keskin girişi	39,92652	33,61068	109	0,109
Hacıaliobası köyü	39,87758	33,57680	131	0,131
Aşağışeyh köyü	40,06430	33,79893	185	0,185
İlçe Ortalaması			125	0,125
İl Ortalaması			121	0,121

Keskin ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı da Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4.9 : Keskin ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

4.2.8. Sulakyurt İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

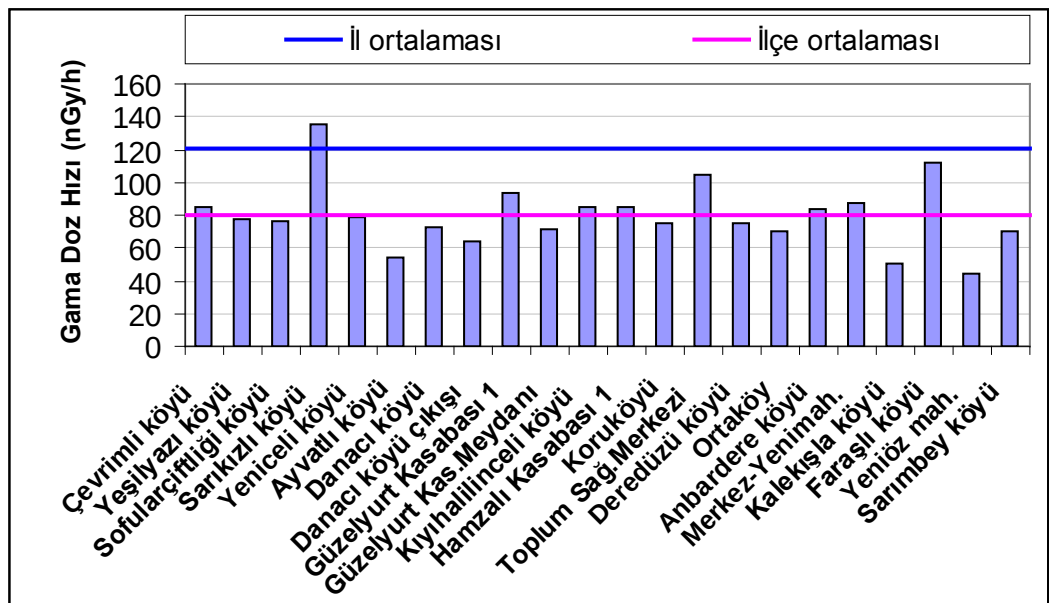
Sulakyurt ilçesinin 22 noktasından alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.9’da gösterilmektedir. En yüksek değer 136 nGy/saat olarak Sarıkızlı köyünden elde edilirken en düşük değer de 44 nGy/saat olarak ilçe merkezine bağlı Yeniöz mahallesinden elde edilmiştir. Kırıkkale ilinin en kuzeyinde bulunan Sulakyurt ilçesinin çevresel doğal gama doz hızı ortalaması 80 nGy/saat olarak ilçe ortalamalarının en alt değerini oluşturmaktadır. Sulakyurt ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı da Şekil 4.10’da gösterilmektedir.

Şekil 3.2’ye bakıldığında Sulakyurt ilçesi 3. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu ise Sulakyurt ilçesinin çevresel doğal gama doz hızı ortalamasının tüm Kırıkkale ilçeleri içinde en düşük değere sahip olması ile örtüşmektedir.

Tablo 4.9 : Sulakyurt ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (μSv/h)
	Kuzey	Doğu		
Çevrimli köyü	39,49675	33,46497	85	0,085
Yeşilyazı köyü	39,66497	33,61440	77	0,077
Sofularçiftliği köyü	39,91535	33,74458	76	0,076
Sarıklı köyü	39,95225	33,74627	136	0,136
Yeniceli köyü	39,93058	33,84982	79	0,079
Ayvatlı köyü	39,97093	34,20038	54	0,054
Danacı köyü	39,94025	34,10018	73	0,073
Danacı köyü çıkışı	39,95533	33,91935	64	0,064
Güzelyurt Kasabası 1	39,97593	33,87605	93	0,093
Güzelyurt Kas.Meydanı	39,93027	33,39675	72	0,072
Kıyılilinceli köyü	39,81208	33,71280	85	0,085
Hamzalı Kasabası 1	39,86655	33,67010	85	0,085
Koruköyü	40,16013	33,71752	75	0,075
Toplum Sağ.Merkezi	40,12827	33,81208	105	0,105
Deredüzü köyü	40,13255	33,83798	75	0,075
Ortaköy	39,84385	33,45390	70	0,07
Anbardere köyü	39,62735	33,56968	84	0,084
Merkez-Yenimah.	39,83792	33,52085	87	0,087
Kalekişla köyü	39,83968	33,51160	51	0,051
Faraşlı köyü	39,83973	33,79277	112	0,112
Yeniöz mah.	39,95168	34,15402	44	0,044
Sarımbey köyü	39,90918	33,65805	70	0,07
İlçe Ortalaması			80	0,08
İl Ortalaması			121	0,121

Sulakyurt ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10 : Sulakyurt ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

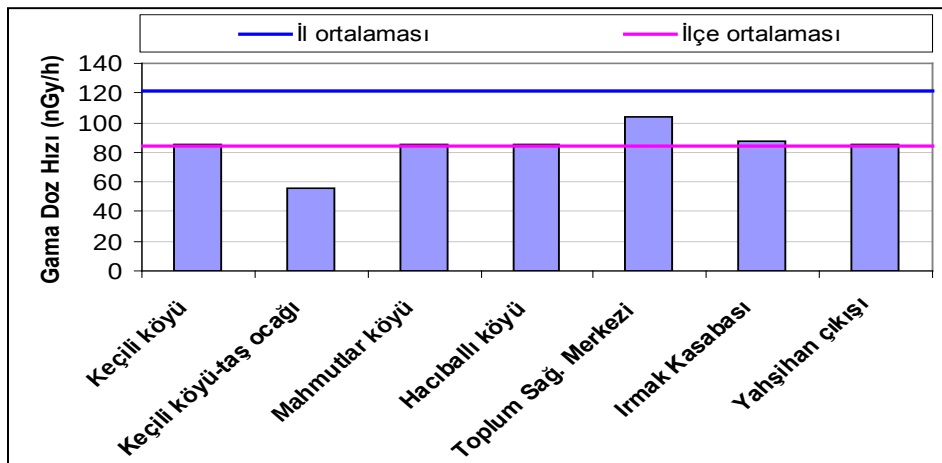
4.2.9. Yahşıhan İlçesi Çevresel Doğal Gama Doz Hızı Dağılımı

Yahşıhan ilçesinin 7 noktasından alınan çevresel doğal gama doz hızı değerleri Tablo 4.10'da gösterilmektedir. En yüksek değer 104 nGy/saat olarak ilçe merkezi Toplum Sağlığı Merkezi'nden elde edilirken en düşük değer de 56 nGy/saat olarak Keçili köyüne giderken taş ocağından alınmıştır. Yahşıhan ilçesinin çevresel doğal gama doz hızı ortalaması 84 nGy/saat olarak il ortalamasının çok altındadır. Bu değer, ilçe ortalamaları arasında Sulakyurt ilçesinden sonra en düşük ikinci sırayı almaktadır. Ayrıca ilçenin, il ortalama değeri (121 nGy/saat) üzerinde olan çevresel doğal gama doz hızı değeri de bulunmamaktadır.

Tablo 4.10 : Yahşıhan ilçesi çevresel doğal gama doz hızı değerleri

ÖLÇÜM YERİ	KOORDİNATLAR		GAMA DOZ HIZI (nGy/h)	GAMA DOZ HIZI (μ Sv/h)
	Kuzey	Doğu		
Keçili köyü	39,49458	33,61140	85	0,085
Keçili köyü-taş ocağı	39,46292	33,52333	56	0,056
Mahmutlar köyü	39,84223	33,50158	85	0,085
Hacıbalı köyü	39,84018	33,50488	85	0,085
Toplum Sağ. Merkezi	40,15843	33,71808	104	0,104
Irmak Kasabası	40,27972	33,72973	87	0,087
Yahşıhan çıkışı	39,84400	33,50552	85	0,085
İlçe Ortalaması			84	0,084
İl Ortalaması			121	0,121

Yahşıhan ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 : Yahşıhan ilçesi çevresel doğal gama doz hızı dağılımı

Yahşıhan ilçesinin, Şekil 3.2'ye bakıldığında topraklarının çoğunun 2. derece deprem bölgesinde bulunduğu görülmektedir.

4.3. KIRIKKALE İLİ EVLERİNDE BELİRLENEN RADON AKTİVİTE KONSANTRASYONLARI

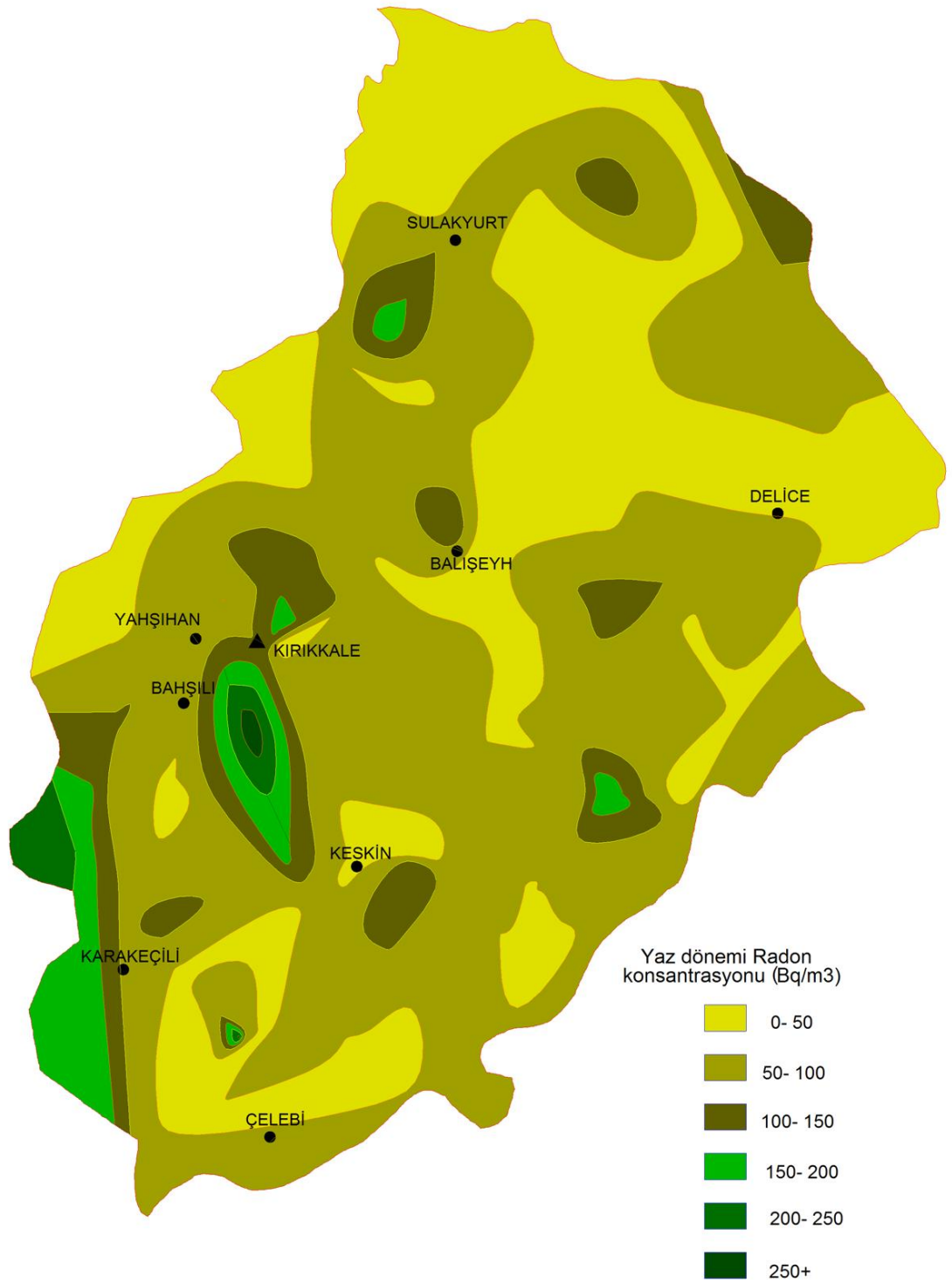
Kırıkkale ilinin ev içi radon aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla bölgede belirlenen 150 eve yaz ve kış dönemlerinde olmak üzere toplam 300 adet ticari adı CR-39 olan plastik pasif radon iz dedektörü dağıtılmıştır. Yaklaşık 80 günlük sürelerle evlerde radon gazına maruz bırakılan bu dedektörlere, toplandıktan sonra kimyasal iz kazıma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem dedektörler üzerindeki alfa izlerinin daha belirgin hale getirilmesini ve izlerin optik mikroskopta sayılabilmelerini sağlamaktadır. Yıkama ve nötralizasyon işlemlerinden sonra dedektörler, bilgisayara bağlı gelişmiş bir mikroskop sistemi ve yazılımdan oluşan otomatik radon iz sayım cihazında, 5'er kez sayılarak evlerin yapı malzemelerinden ve bulunduğu konumdan kaynaklanan ortalama radon aktivite konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Aritmetik ortalamalar alınarak oluşturulan yaz ve kış dönemi radon aktivite konsantrasyonlarına ait tüm değerler EK-B'de verilmiştir.

4.3.1. Yaz Dönemi Evlerde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonları

Yaz döneminde evlere dağıtılan 150 adet radon dedektöründen toplanabilen 149 adeti değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre; yaz dönemi Kırıkkale evlerinde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu dağılım haritası Harita 4.2'de ve ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonları Tablo 4.11'de verilmektedir.

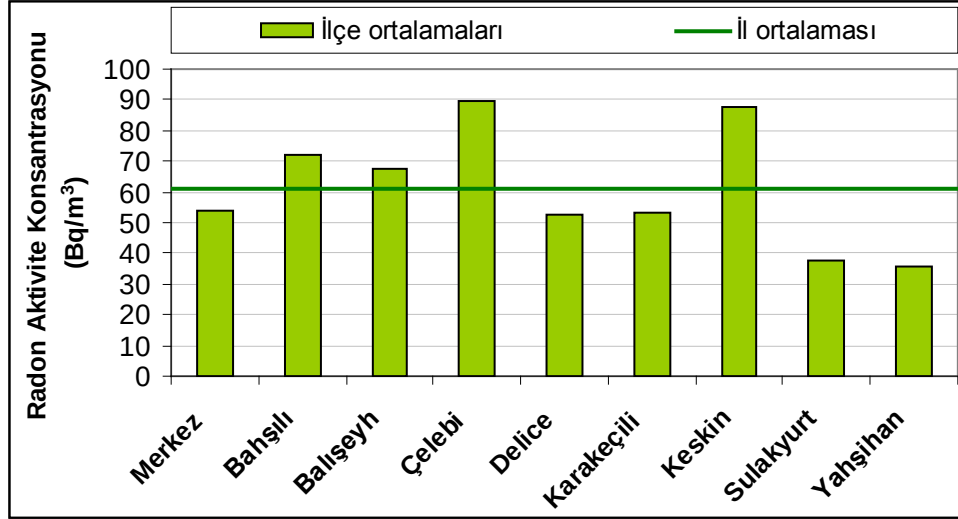
. Tablo 4.11 : Yaz dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonları

İlçe Adı	Yaz Dönemi Dedektör Sayısı	Minimum Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Maksimum Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Ortalama Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Merkez	29	24	183	54
Bahşılı	8	29	171	71,875
Balıkeşih	19	14	190	67,37
Çelebi	11	42	288	89,36
Delice	20	22	115	52,35
Karakeçili	6	39	73	53,5
Keskin	31	28	264	87,74
Sulakyurt	20	17	82	37,84
Yahşıhan	6	16	98	36
İl Geneli	149	14	288	61,1



Harita 4.2 : Yaz dönemi Kırıkkale evlerinde belirlenen radon radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası

Ayrıca yaz dönemi Kırıkkale evlerinde ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonu dağılımı da Şekil 4.12’de verilmektedir.

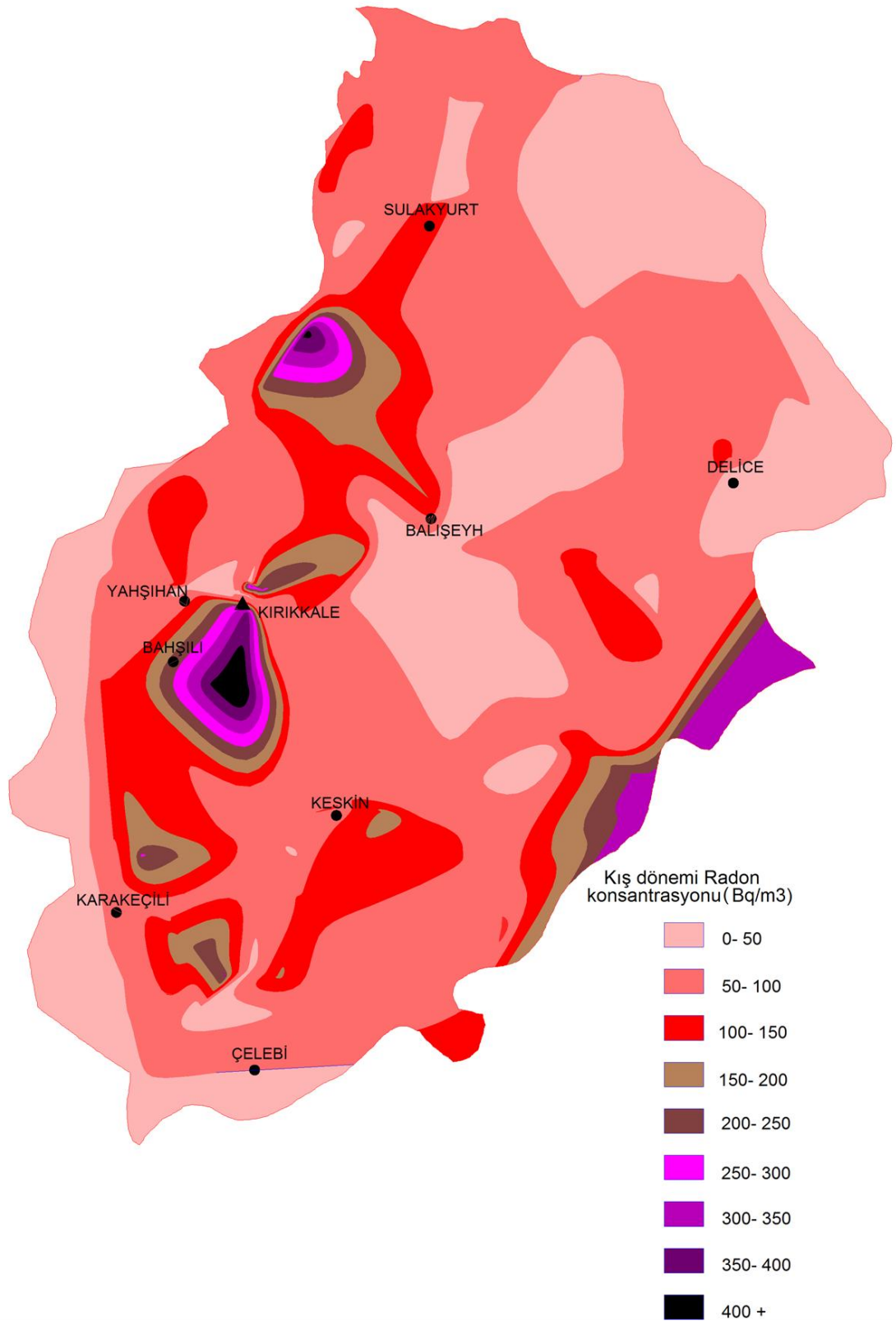


Şekil 4.12 : Yaz dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Harita 4.2, Tablo 4.11 ve Şekil 3.2 karşılaştırıldığında ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının sırasıyla en yüksek olduğu Çelebi, Keskin ilçelerinin 1. derece deprem bölgesinde, Bahşılı ve Balışeyh ilçelerinin topraklarının çoğunluğu 1. derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının düşük olduğu Yahşihan ve Delice ilçe topraklarının çoğunun 2. derece, Sulakyurt ilçesi topraklarının çoğunun da 3. derece deprem bölgesinde olduğu görülmektedir.

4.3.2. Kış Dönemi Evlerde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonları

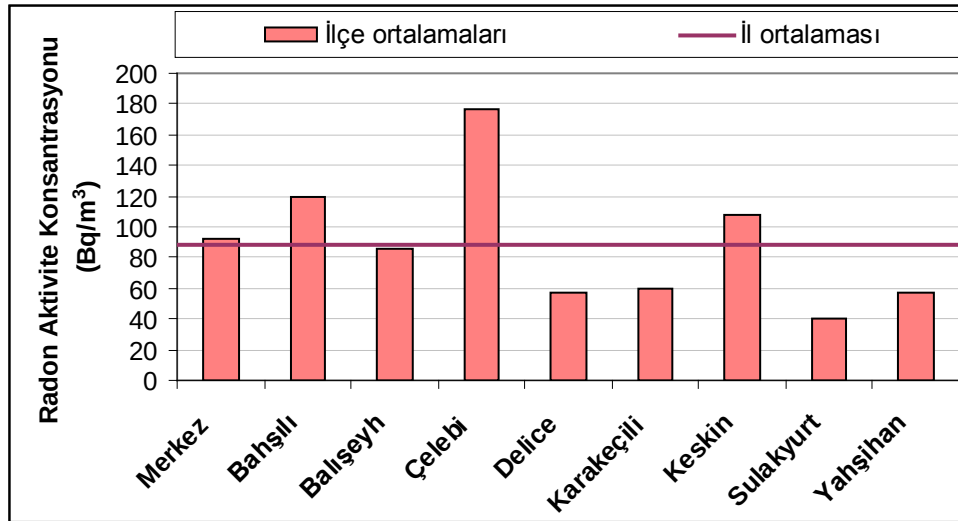
Yaz döneminde evlere dağıtılan 153 adet radon dedektöründen toplanabilen 148 adeti değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre; kış dönemi Kırıkkale evlerinde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu dağılım haritası Harita 4.3’de ve ilçelere göre ortalama radon aktivite konsantrasyonları Tablo 4.12’de verilmektedir. Ayrıca kış dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonları dağılımı da Şekil 4.13’de verilmektedir.



Harita 4.3 : Kış dönemi Kırıkkale evlerinde belirlenen radon radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası

Tablo 4.12 : Kış dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonları

İlçe Adı	Kış Dönemi Dedektör Sayısı	Minimum Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Maksimum Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Ortalama Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Merkez	28	30	419	92
Bahşılı	9	37	372	120
Balıkeşih	19	18	316	86
Çelebi	11	42	484	176
Delice	19	21	111	57
Karakeçili	6	33	108	60
Keskin	31	33	257	108
Sulakyurt	22	17	87	40
Yahşihan	6	24	120	57
İl Geneli	148	17	484	88,4



Şekil 4.13 : Kış dönemi ilçelere göre belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Harita 4.3, Tablo 4.12 ile Şekil 3.2 karşılaştırıldığında ortalama radon aktivite konsantrasyonlarının en yüksek olduğu Çelebi ve Keskin ilçelerinin 1. derece deprem bölgesinde olduğu, Bahşılı ilçesi topraklarının çoğunun da 1. derece deprem bölgesi içinde yer aldığı görülmektedir. Kış dönemi radon aktivite konsantrasyonu değerleri ile yaz dönemi değerleri arasında bölgenin depremselliği açısından benzerlik olduğu görülmektedir.

4.3.3. Yaz ve Kış Dönemi Kırıkkale İlçelerinde Bulunan Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

4.3.3.1 Bahşılı İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

Bahşılı ilçesine bağlı köylerde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.13’de gösterilmektedir.

Tablo 4.13 : Bahşılı ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

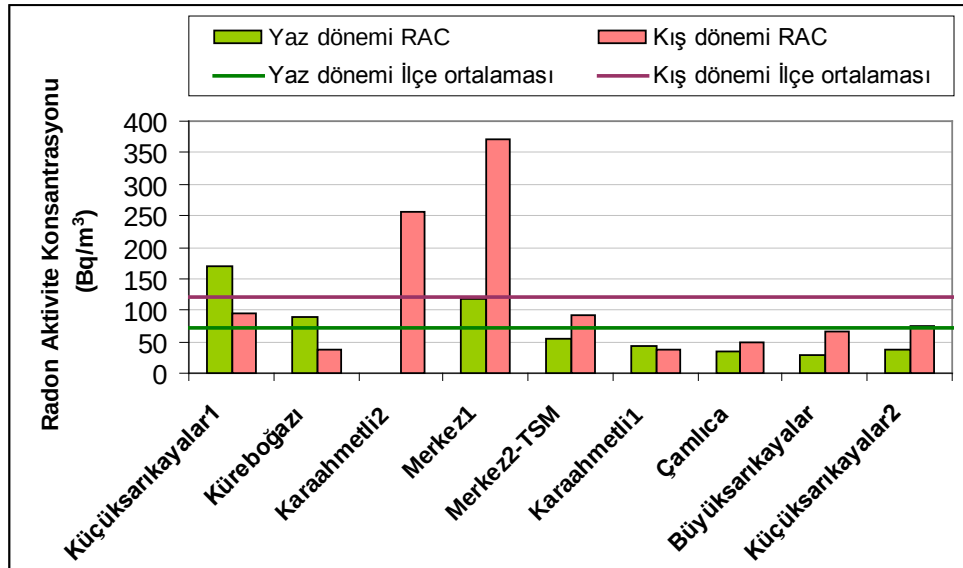
Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Küçüksarıkayalar1	171	96
Küreboğazı	88	37
Karaahmetli2	118	372
Merkez1-Ata dönmez mah.	55	92
Merkez2-TSM lojmanı	42	37
Karaahmetli1	35	49
Çamlıca	29	66
Büyüksarıkayalar	37	75
Küçüksarıkayalar2	-	255
İlçe Ortalaması	72	120
İl Ortalaması	61,1	88,4

Tablo 4.13’de görüldüğü gibi yaz dönemi Bahşılı ilçesine bağlı Küçüksarıkayalar1 (171 Bq/m³), Karaahmetli2 (118 Bq/m³) ve Küreboğazı (88 Bq/m³) köylerinde evlerde ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerleri ilçe ortalaması (72 Bq/m³)’nın üzerindedir. Diğer köyler ortalamanın altında kalmaktadır. Kış döneminde ise Karaahmetli2 (372 Bq/m³) ve Küçüksarıkayalar2 (255 Bq/m³) köylerinde ölçülen radon aktivite konsantrasyon değerleri ilçe ortalamasının üzerinde olup diğer köyler ortalamanın altında kalmaktadır. Yaz ve kış dönemindeki bu farklılık evlerin havalandırılma sıklığı ve süresi, toprağın kuruluğu, gözenekliliği vb. gibi nedenlerden kaynaklanabilir.

Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de Bahşılı ilçesinin yaz ve kış dönemi radon aktivite konsantrasyonu değerlerinin Kırıkkale il ortalamasının üzerinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca Şekil 3.2’de görüldüğü gibi Bahşılı ilçesi topraklarının çoğu 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır.

Bahşılı ilçesine bağlı köylerde yaz ve kış dönemi evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu seviyelerinin karşılaştırıldığı dağılım da Şekil 4.14’te verilmektedir. Ortalama kış dönemi değerleri, ortalama yaz dönemi değerlerinden beklenildiği gibi daha yüksektir. Fakat köyler ayrı ayrı incelendiğinde 3 köyün yaz dönemi değerlerinin kış dönemi değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, yazın bu evlerin kapalı kalması ve kullanılmaması olabilir.



Şekil 4.14 : Bahşılı ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonların karşılaştırılması

4.3.3.2. Balıseyh İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

Balıseyh ilçesine bağlı köylerde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.14 ve değerlerin karşılaştırmaları Şekil 4.15’te verilmektedir.

Tablo 4.11’de görüldüğü gibi Balıseyh ilçesinin yaz dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu $67,37 \text{ Bq/m}^3$ olup Kırıkkale ilinin ortalaması ($61,1 \text{ Bq/m}^3$)’nın üzerindedir. Tablo 4.12’de ise Balıseyh ilçesi kış dönemi ortalama radon aktivite

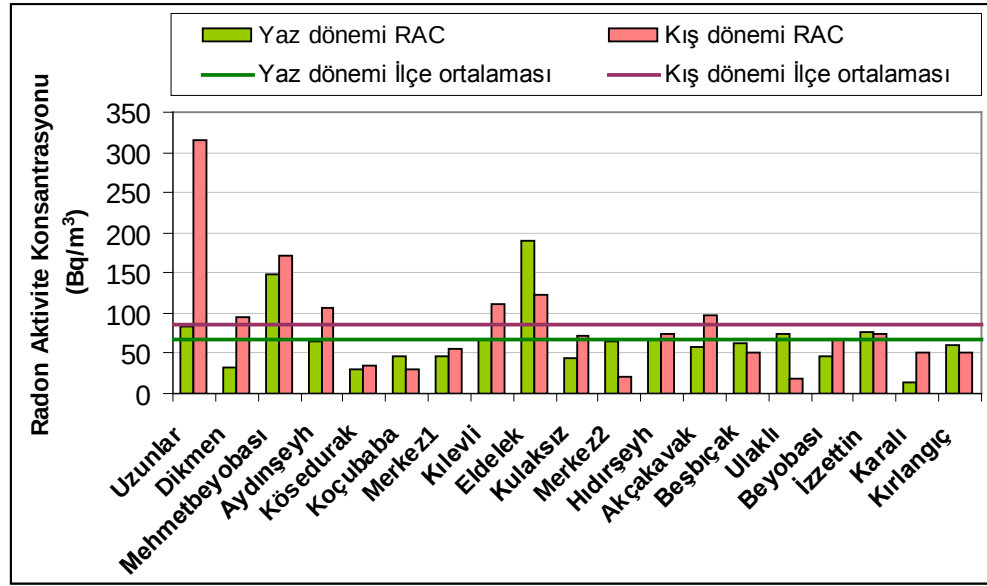
konsantrasyonu 86 Bq/m^3 olup Kırıkkale il ortalaması ($88,4 \text{ Bq/m}^3$)'nın çok az altında olduğu görülmektedir.

Ayrıca yaz dönemi en yüksek radon aktivite konsantrasyonu değeri (190 Bq/m^3) Eldelek köyünden, en düşük değerde (14 Bq/m^3) Karalı köyünden elde edilmiştir. Kış dönemi en yüksek radon aktivite konsantrasyonu değeri (316 Bq/m^3) Uzunlar, en düşük değerinde (18 Bq/m^3) Ulaklı köyünden elde edildiği Tablo 4.14 ve Şekil 4.15'de görülmektedir.

Balışeyh ilçesi 7 köyünden elde edilen yaz dönemi konsantrasyon değerleri kış dönemi elde edilen değerlerden daha yüksek çıkmasına rağmen beklenildiği gibi, yaz dönemi Balışeyh evlerinden elde edilen ortalama radon aktivite konsantrasyon değerleri kış döneminden daha düşüktür.

Tablo 4.14 : Balışeyh ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m^3)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m^3)
Uzunlar	83	316
Dikmen	33	96
Mehmetbeyobası	148	172
Aydınşeyh	64	107
Kösedurak	29	35
Koçubaba	46	31
Merkez1	47	55
Kılevli	68	112
Eldelek	190	124
Kulaksız	43	72
Merkez2	66	22
Hıdırşeyh	68	74
Akçakavak	58	97
Beşbiçak	63	50
Ulaklı	75	18
Beyobası	47	68
İzzettin	77	75
Karalı	14	50
Kırlangıç	61	51
İlçe Ortalaması	67	86
İl Ortalaması	61,1	88,4



Şekil 4.15 : Balıışeyh ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonların karşılaştırılması

4.3.3.3. Çelebi İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

Çelebi ilçesine bağlı köylerde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.15 ve bu değerlerin seviyelerinin karşılaştırılması da Şekil 4.16'da verilmektedir.

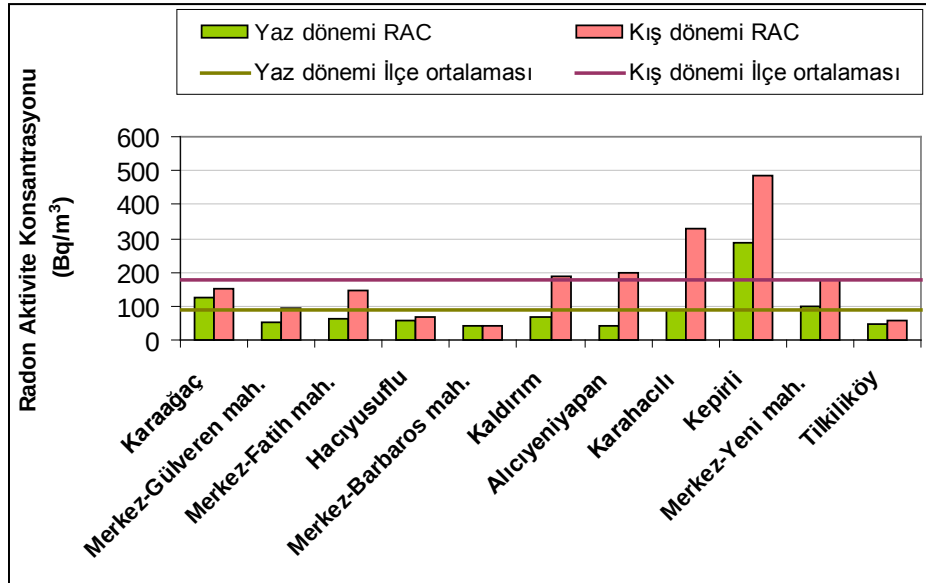
Tablo 4.15'den görüldüğü gibi Çelebi ilçesinin yaz ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu sırasıyla 89 Bq/m^3 ve 176 Bq/m^3 'dür. Bu değerler Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'ye bakıldığında diğer Kırıkkale ilçelerinin yaz ve kış dönemi belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyon değerlerinin üzerindedir. Kış dönemi elde edilen ortalama radon aktivite konsantrasyon değeri (176 Bq/m^3), il ortalamasının ($88,4 \text{ Bq/m}^3$) iki katıdır.

Ayrıca Çelebi ilçesi Kepirli köyünden elde edilen yaz ve kış dönemine ait radon aktivite konsantrasyonları sırasıyla 288 Bq/m^3 ve 484 Bq/m^3 'tür Bu değerler Kırıkkale ili çevresinden elde edilen en yüksek radon aktivite konsantrasyon değerleridir.

Tablo 4.15 ve Şekil 4.16 incelendiğinde, beklenildiği gibi yaz dönemi elde edilen radon aktivite konsantrasyonu değerleri kış dönemi elde edilenlerden düşüktür.

Tablo 4.15 : Çelebi ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Karaağaç	127	150
Merkez-Gülveren mah.	53	96
Merkez-Fatih mah.	64	148
Hacıyusuflu	57	68
Merkez-Barbaros mah.	42	42
Kaldırım	68	187
Alıcıyenyapan	44	199
Karahacılı	91	328
Kepirli	288	484
Merkez-Yeni mah.	100	179
Tilkiliköy	49	56
İlçe Ortalaması	89	176
İl Ortalaması	61,1	88,4



Şekil 4.16 : Çelebi ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Çelebi ilçesinin 1. derece deprem bölgesi içinde bulunduğu göz önüne alındığında yaz ve kış dönemi en yüksek radon aktivite konsantrasyonlarının bu bölgede belirlenmesi oldukça anlamlıdır.

4.3.3.4. Delice İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

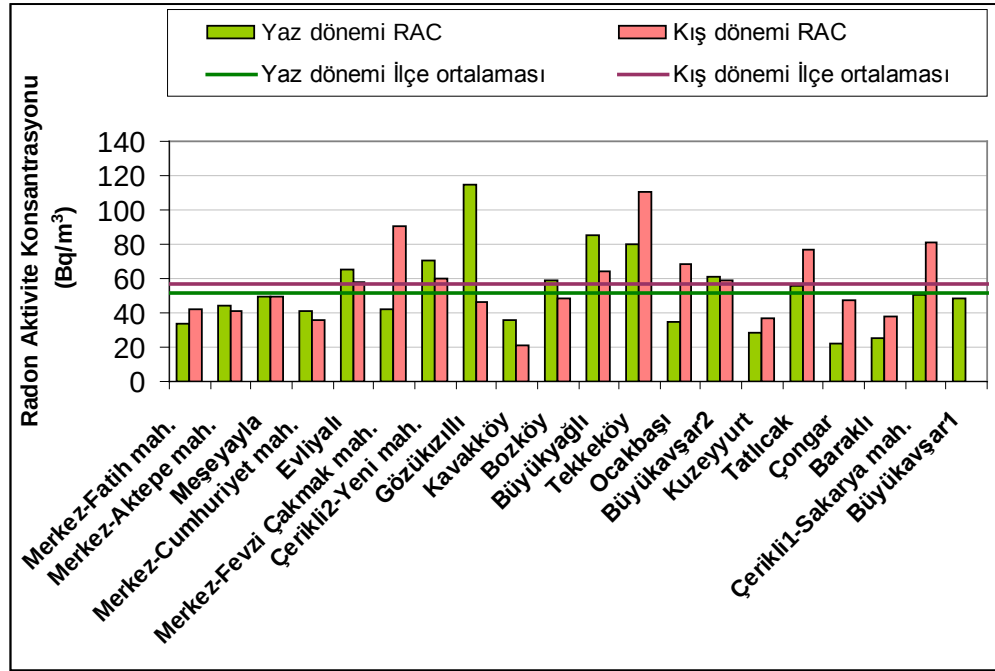
Delice ilçesine bağlı köylerde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.16’da ve radon aktivite konsantrasyonu seviyelerinin karşılaştırılması da Şekil 4.17’de verilmektedir.

Delice ilçesi yaz dönemi belirlenen maksimum radon aktivite konsantrasyon değeri (115 Bq/m^3) Gözükızıllı köyünden, minimum değer de (22 Bq/m^3) Çongar köyünden elde edilmiştir. Kış döneminde ise maksimum değer (111 Bq/m^3) Tekkeköy’den ve minimum değer (21 Bq/m^3) de Kavakköyden elde edilmiştir.

Tablo 4.16 ve Şekil 4.17’de görüldüğü gibi 7 köyde yaz dönemi değerleri kış dönemi değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bu da yazın evin kapalı olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.16 : Delice ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m^3)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m^3)
Merkez-Fatih mah.	34	42
Merkez-Aktepe mah.	44	41
Meşeyayla	49	49
Merkez-Cumhuriyet mah.	41	36
Evliyalı	65	58
Merkez-Fevzi Çakmak mah.	42	91
Çerikli2-Yeni mah.	71	60
Gözükızıllı	115	46
Kavakköy	36	21
Bozköy	59	48
Büyükyazlı	85	64
Tekkeköy	80	111
Ocakbaşı	35	68
Büyükavşar2	61	59
Kuzeyyurt	28	37
Tatlıcak	56	77
Çongar	22	47
Baraklı	25	38
Çerikli1-Sakarya mah.	51	81
Büyükavşar1	48	-
İlçe Ortalaması	52	57
İl Ortalaması	61,1	88,4



Şekil 4.17 : Delice ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonların karşılaştırılması

Delice ilçesi yaz ve kış dönemi belirlenen ortalama radon aktivite konsantrasyonu Tablo 4.16’da verildiği gibi 52 Bq/m^3 ve 57 Bq/m^3 ’tür. Şekil 3.2’ye bakıldığında, 2. ve 3. derece deprem bölgesinde bulunan Delice ilçesinin yaz ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyon değerlerinin, il ortalama değerlerinin çok altında olduğu görülmektedir.

4.3.3.5. Karakeçili İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

Karakeçili ilçesinin yaz ve kış döneminde evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.17 gösterilmektedir.

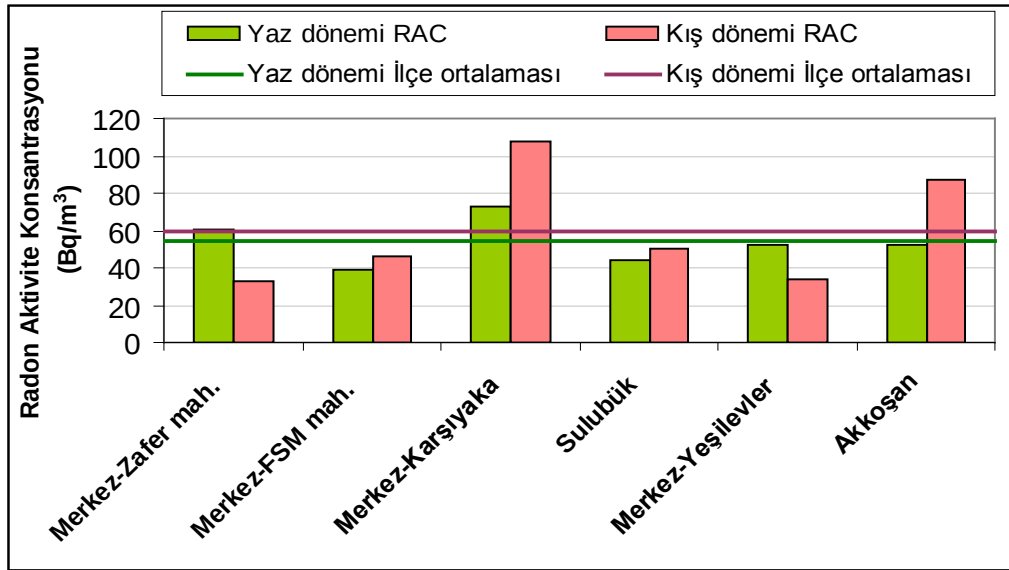
Tablo 4.17’de görüldüğü gibi Karakeçili ilçesinin yaz ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu sırasıyla 54 Bq/m^3 ve 60 Bq/m^3 olup bu değerler il geneli ortalaması olan $61,1 \text{ Bq/m}^3$ ve $88,4 \text{ Bq/m}^3$ ’ün altında kalmaktadır.

Ayrıca ilçenin yaz ve kış dönemi en yüksek radon aktivite konsantrasyonu değeri (73 Bq/m^3 ve 108 Bq/m^3) Karşıyaka mahallesinden elde edilmiştir. Yaz dönemi en düşük değer (39 Bq/m^3) Fatih Sultan Mahallesinden elde edilirken kış dönemi en düşük değer (33 Bq/m^3) Zafer mahallesinde belirlenmiştir.

Tablo 4.17 : Karakeçili ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Merkez-Zafer mah.	61	33
Merkez-FSM mah.	39	46
Merkez-Karşıyaka	73	108
Sulubük	44	50
Merkez-Yeşilevler	52	34
Akkoşan	52	87
İlçe Ortalaması	54	60
İl Ortalaması	61,1	88,4

Karakeçili ilçesinin yaz ve kış döneminde evlerde ölçülen radon aktivite konsantrasyonu seviyelerinin karşılaştırılması Şekil 4.18’te verilmektedir. Şekil 4.18 incelendiğinde ilçenin Zafer ve Yeşilevler mahallesinden elde edilen değerler de yaz dönemi radon aktivite konsantrasyonu kış dönemi değerinden yüksektir.



Şekil 4.18 : Karakeçili ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonların karşılaştırılması

Şekil 3.2’ye bakıldığında Karakeçili ilçesi topraklarının çoğu 1. derece deprem bölgesinde bulunmasına rağmen diri fay hattı görülmemektedir.

4.3.3.6. Keskin İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

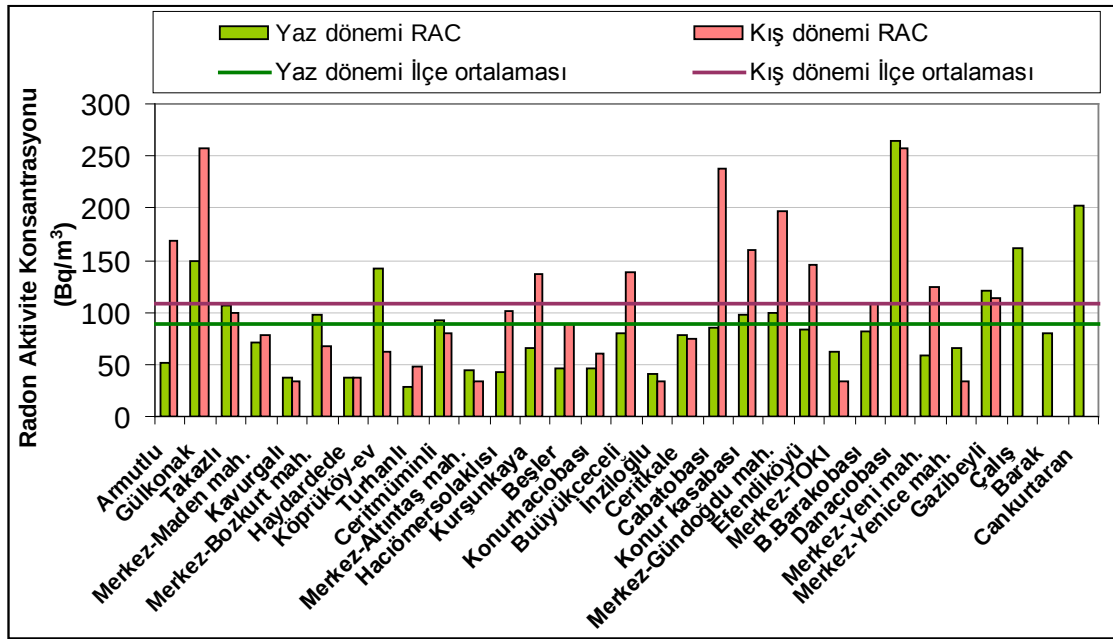
Keskin ilçesinin yaz ve kış döneminde evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.18’de gösterilmektedir. Keskin ilçesinin yaz ve kış döneminde evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu seviyelerinin karşılaştırılması da Şekil 4.19’ta verilmektedir.

Tablo 4.18 : Keskin ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m³)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m³)
Armutlu	52	169
Gülkonak	149	257
Takazlı	106	100
Merkez-Maden mah.	71	78
Kavurgalı	37	34
Merkez-Bozkurt mah.	97	68
Haydardede	38	37
Köprüköy-ev	142	62
Turhanlı	28	48
Ceritmüminli	93	80
Merkez-Altıntaş mah.	45	34
Hacıömersolaklısı	43	102
Kurşunkaya	66	136
Beşler	47	89
Konurhacıobası	46	60
Büyükceceli	79	139
İnziloğlu	41	34
Ceritkale	78	75
Cabatobası	85	237
Konur kasabası	97	160
Merkez-Gündoğdu mah.	100	197
Efendiköyü	83	145
Merkez-TOKI	63	33
B.Barakobası	81	108
Danacıobası	264	257
Merkez-Yeni mah.	59	124
Merkez-Yenice mah.	66	34
Gazibeyli	120	114
Çalış	162	-
Barak	80	-
Cankurtaran	202	-
İlçe Ortalaması	88	108
İl Ortalaması	61,1	88,4

Tablo 4.18 ve Şekil 4.19’da görüldüğü gibi; yaz dönemi en yüksek radon aktivite konsantrasyonu değeri (264 Bq/m^3) Danacıobası köyünden elde edilirken en düşük değer de Turhanlı köyünden elde edilmiştir. Kış dönemi en yüksek konsantrasyon değeri (257 Bq/m^3) Gülkonak ve Danacıobası köylerinden elde edilirken en düşük değer de (33 Bq/m^3) ilçe merkezi TOKİ evinde tespit edilmiştir.

Tablo 4.18’de Keskin ilçesinin yaz dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu 88 Bq/m^3 ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu ise 108 Bq/m^3 ’tür. Bu değerler Tablo 4.11 ve Tablo 4.12 karşılaştırıldığında il geneli yaz ve kış ortalamaları olan $61,1 \text{ Bq/m}^3$ ve $88,4 \text{ Bq/m}^3$ ’den çok daha yüksektir. Keskin ilçesi yaz dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerlerinin kış dönemi elde edilen değerden yüksek olduğu 11 köy tespit edilmiştir. Yaz ve kış dönemi ilçe ortalamasına bakıldığında ise beklenildiği gibi yaz dönemi elde edilen radon aktivite konsantrasyonu değeri kış döneminde elde edilenden düşüktür.



Şekil 4.19 : Keskin ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonların karşılaştırılması

Kırıkkale’nin Keskin ilçesi Şekil 3.2’de görüldüğü gibi 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır.

4.3.3.7. Merkez İlçe Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

Merkez ilçenin yaz ve kış döneminde evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.19 ve belirlenen radon aktivite konsantrasyonu seviyelerinin karşılaştırılması Şekil 4.20’de verilmektedir.

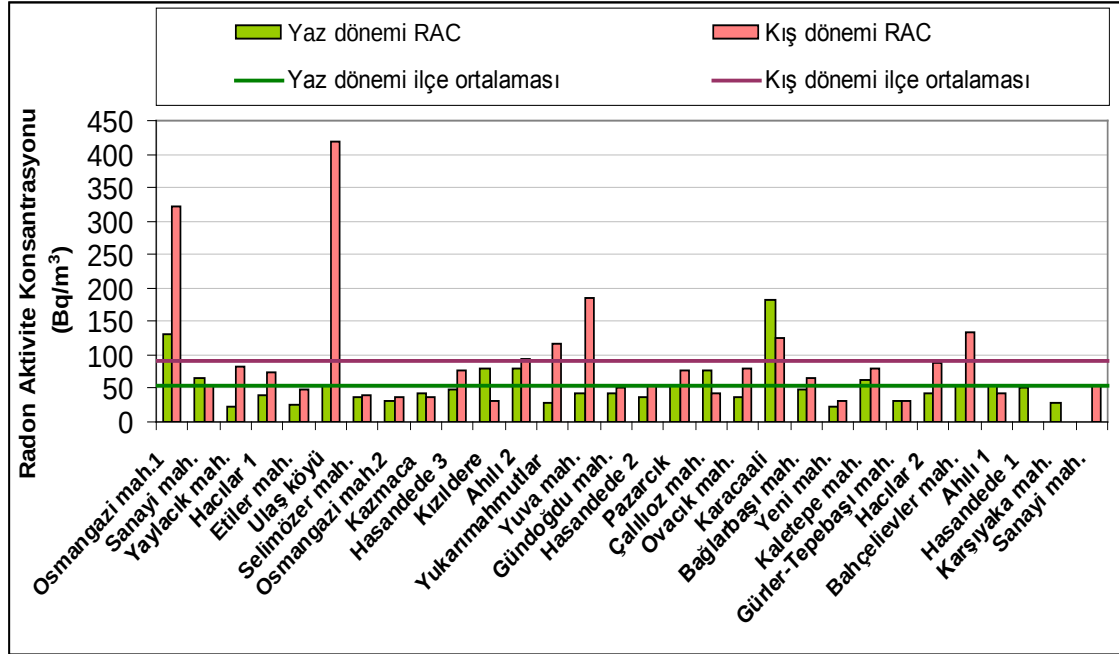
Tablo 4.19 : Merkez ilçe köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m³)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m³)
Osmangazi mah.1	131	323
Sanayi mah.	65	54
Yaylacık mah.	24	82
Hacılar 1	39	75
Etiler mah.	26	47
Ulaş köyü	53	419
Selimözer mah.	37	40
Osmangazi mah.2	31	36
Kazmaca	43	36
Hasandede 3	49	78
Kızıldere	81	30
Ahılı 2	81	93
Yukarımahmutlar	29	116
Yuva mah.	43	184
Gündoğdu mah.	44	52
Hasandede 2	37	54
Pazarcık	54	78
Çalılıoz mah.	78	44
Ovacık mah.	38	80
Karacaali	183	126
Bağlarbaşı mah.	48	65
Yeni mah.	24	30
Kaletepe mah.	64	79
Gürler-Tepebaşı mah.	32	30
Hacılar 2	44	87
Bahçelievler mah.	55	134
Ahılı 1	54	44
Hasandede 1	52	-
Karşıyaka mah.	28	-
Sanayi mah.	-	53
İlçe Ortalaması	54	92
İl Ortalaması	61,1	88,4

Merkez ilçe yaz dönemi radon aktivite konsantrasyonu değerleri 7 köyde, kış dönemi elde edilen değerin üzerinde tespit edilmiştir.

Merkez ilçe yaz dönemi köylerinde belirlenen en yüksek radon aktivite konsantrasyonu değeri (183 Bq/m^3) Karacaali köyünden, en düşük değer de (24 Bq/m^3) Yaylacık ve Yenimahalleden elde edilmiştir. Kış dönemi belirlenen en yüksek radon aktivite konsantrasyonu değeri (419 Bq/m^3) Ulaş köyünden elde edilirken en düşük değer Kızıldere köyü ile Yenimahalle ve Gürler-Tepebaşı mahallesinden elde edilmiştir.

Şekil 3.2’de Kırıkkale ili Merkez ilçesinin 1. derece deprem bölgesinde bulunduğu görülmektedir. Merkez ilçesinin yaz ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu Tablo 4.19’da görüldüğü gibi 54 Bq/m^3 ve 92 Bq/m^3 ’tür. Merkez ilçesi yaz dönemi radon aktivite konsantrasyonu Kırıkkale il ortalamasından ($61,1 \text{ Bq/m}^3$) düşük olup kış dönemi radon aktivite konsantrasyonu ise il ortalamasından ($88,4 \text{ Bq/m}^3$) yüksektir.



Şekil 4.20 : Merkez ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonların karşılaştırılması

4.3.3.8. Sulakyurt İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

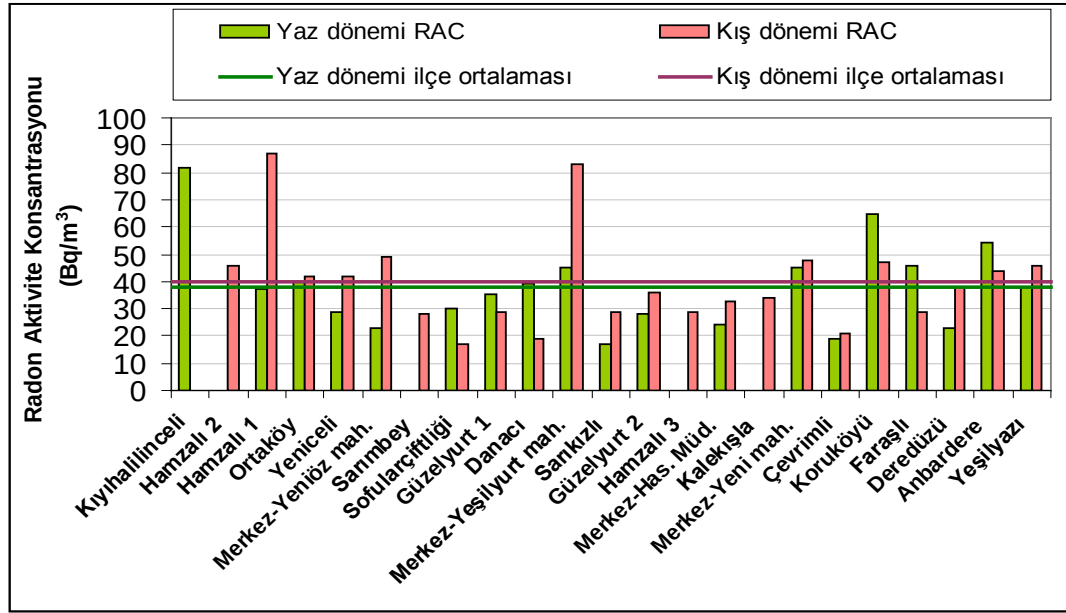
Sulakyurt ilçesinin yaz ve kış döneminde evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.20 ile yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu seviyelerinin karşılaştırılması Şekil 4.21’de verilmektedir.

Sulakyurt ilçesi yaz dönemi belirlenen en yüksek radon aktivite konsantrasyonu değeri (82 Bq/m^3) Kıyihalilinceli, en düşük değer de (17 Bq/m^3) Sarıkızlı köyünden elde edilmiştir. Kış dönemi belirlenen en yüksek radon aktivite konsantrasyonu değeri (87 Bq/m^3) Hamzalı1, en düşük değer de (17 Bq/m^3) Sofularçiftliği köyünde belirlenmiştir.

Tablo 4.20 : Sulakyurt ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m^3)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m^3)
Kıyihalilinceli	82	-
Hamzalı 2	-	46
Hamzalı 1	37	87
Ortaköy	40	42
Yeniceli	29	42
Merkez-Yeniöz mah.	23	49
Sarımbey	-	28
Sofularçiftliği	30	17
Güzelyurt 1	35	29
Danacı	39	19
Merkez-Yeşilyurt mah.	45	83
Sarıkızlı	17	29
Güzelyurt 2	28	36
Hamzalı 3	-	29
Merkez-Has. Müd.	24	33
Kalekişla	-	34
Merkez-Yeni mah.	45	48
Çevrimli	19	21
Koruköyü	65	47
Faraşlı	46	29
Deredüzü	23	38
Anbardere	54	44
Yeşilyazı	38	46
İlçe Ortalaması	38	40
İl Ortalaması	61,1	88,4

Tablo 4.20 incelendiğinde Sulakyurt ilçesinin yaz ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu sırasıyla 38 Bq/m^3 ve 40 Bq/m^3 olup Kırıkkale ili yaz ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu değerlerinden ($61,1 \text{ Bq/m}^3$ ve $88,4 \text{ Bq/m}^3$) çok daha düşüktür. Sulakyurt ilçesi kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu değeri (40 Bq/m^3) diğer ilçelerin altındadır.



Şekil 4.21 : Sulakyurt ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonların karşılaştırılması

Sulakyurt ilçesi yaz dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerlerinden 6 köyde elde edilen değer, kış dönemi belirlenen değerın üstündedir. Evin yaz dönemi kapalı kalması ve kullanılmaması bunun nedeni olabilir.

Sulakyurt ilçesi Şekil 3.2'ye bakıldığında Kırıkkale'nin kuzeyinde olup 3. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Sulakyurt ilçesi köylerinden yaz ve kış dönemi elde edilen ortalama radon aktivite konsantrasyonu değerleri diğer ilçelerin ortalama değerlerinden düşüktür. Bu sonuç beklenildiği gibidir.

4.3.3.9. Yahşıhan İlçesi Köylerinde Belirlenen Radon Aktivite Konsantrasyonu

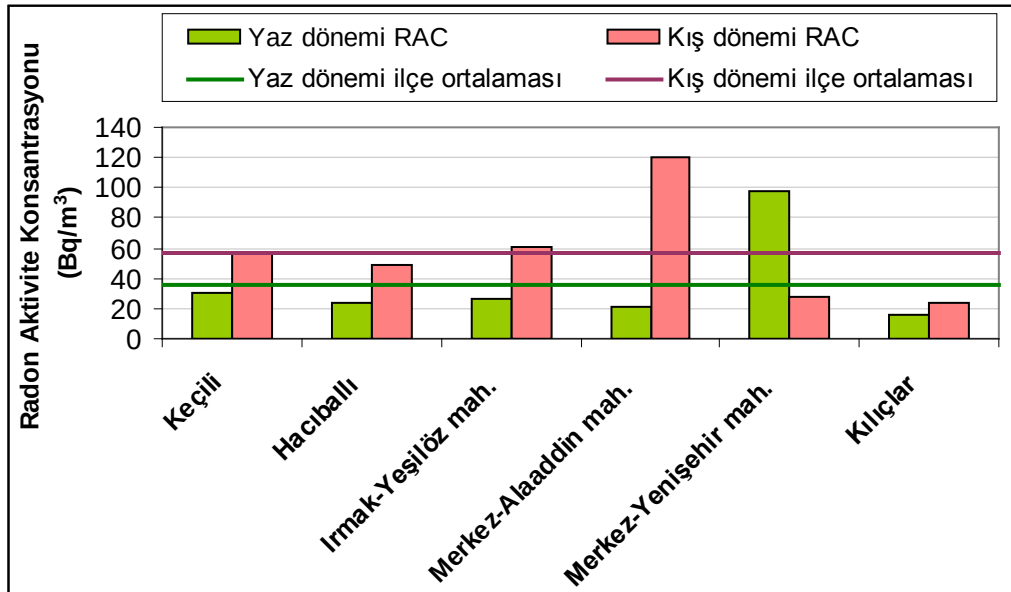
Yahşıhan ilçesinin yaz ve kış döneminde evlerde belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.21 ve yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu seviyelerinin karşılaştırılması Şekil 4.22'de verilmektedir.

Tablo 4.21 : Yahşıhan ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonları

Dedektörün Konulduğu Yer	Yaz Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Kış Dönemi Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)
Keçili	31	57
Hacıballı	24	49
Irmak-Yeşilöz mah.	26	61
Merkez-Alaaddin mah.	21	120
Merkez-Yenişehir mah.	98	28
Kılıçlar	16	24
İlçe Ortalaması	36	57
İl Ortalaması	61,1	88,4

Yahşıhan ilçesi Kırıkkale ilinin batısında olup topraklarının çoğu 2. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Tablo 4.21’de görüldüğü gibi Yahşıhan ilçesi yaz ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu sırasıyla 36 Bq/m³ ve 57 Bq/m³’tür. Bu değerler Kırıkkale ili yaz ve kış dönemi ortalamalarının (61,1 Bq/m³ ve 88,4 Bq/m³) çok altında bulunmaktadır.

Tablo 4.21 ve Şekil 4.22 incelendiğinde, sadece yenişehir mahallesinde yaz dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonu değeri (98 Bq/m³) kış dönemi değerinden (28 Bq/m³) yüksektir.



Şekil 4.22 : Yahşıhan ilçesi köylerinde yaz ve kış dönemi belirlenen radon aktivite konsantrasyonların karşılaştırılması

4.4. KIRIKKALE İLİ TOPRAK ÖRNEKLERDE BELİRLENEN RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİ

Kırıkkale ilini temsil edecek şekilde, GPS cihazı ile koordinatları belirlenen 84 noktadan toprak örnekler, toprak örnek alım kurallarına dikkat edilerek alınmıştır. Her bir toprak örnek, gama spektrometre sayım sistemi ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her toprak örneğin radyoizotop içeriği ve aktivite konsantrasyonları belirlenmiş olup her bir radyoizotop için Kırıkkale ili radyoaktivite dağılım haritaları çizilmiştir.

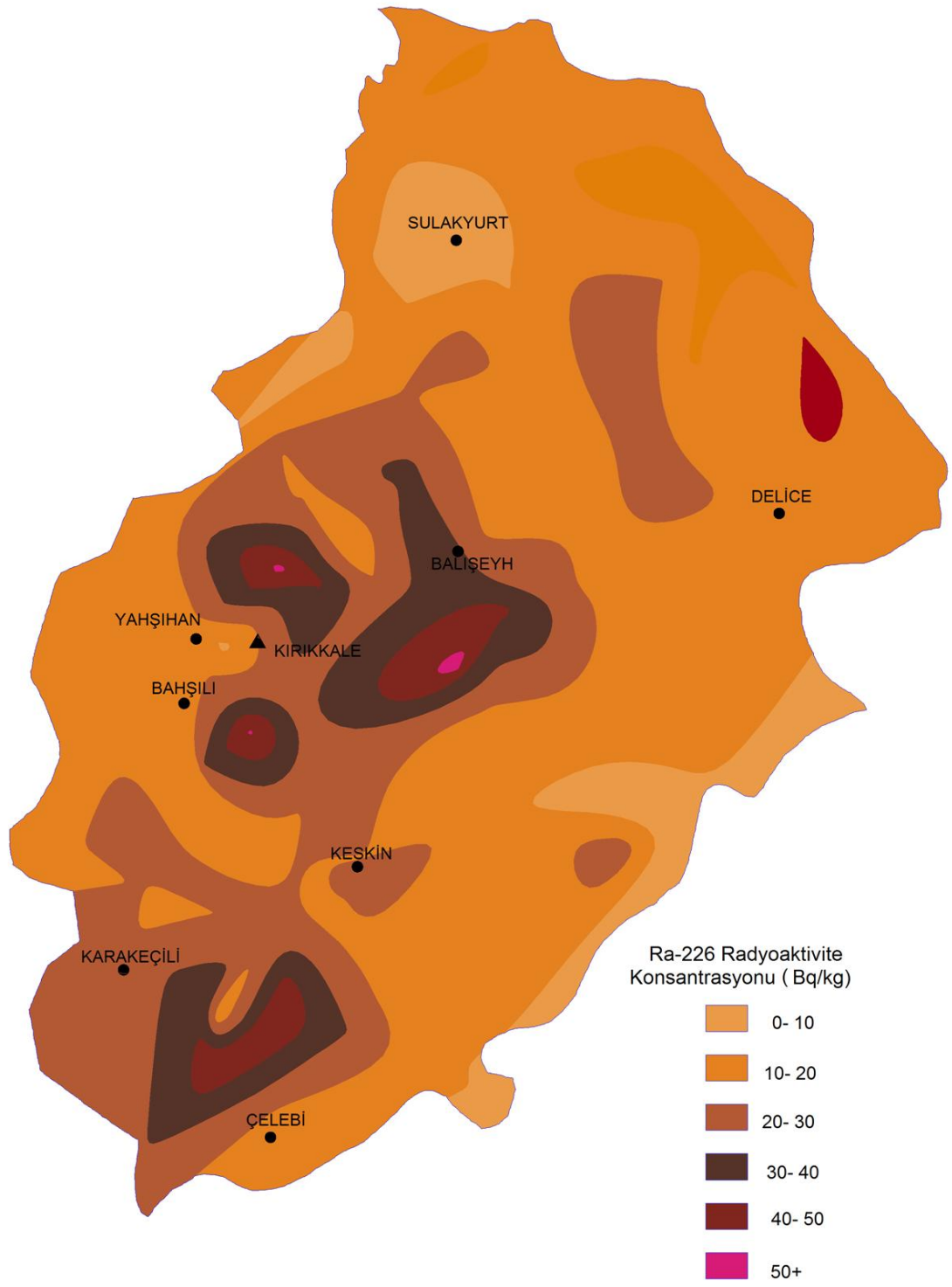
Gama spektrometre sayım sisteminde yapılan analiz sonucu Kırıkkale ili toprak örneklerde konsantrasyonları belirlenen radyoizotoplar; Radium (^{226}Ra), Toryum (^{232}Th), Potasyum (^{40}K) ve fisyon ürünü olan Sezyum (^{137}Cs)’dur.

4.4.1. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Radium (^{226}Ra) Radyoizotopunun Dağılımı

Toprak örneklerin sayım sisteminde sayımları sonucu elde edilen spektrumda ^{226}Ra izotopun analizi için; ^{226}Ra ’nın 295 keV, 352 keV, 609 keV ve 1120 keV’de gama enerjilerinden yararlanılmıştır. Topraktaki ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası Harita 4.4’de verilmektedir.

Tablo 4.22 : Toprak örneklerde ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı

İlçe Adı	Minimum ^{226}Ra Konsantrasyonu (Bq/kg)	Maksimum ^{226}Ra Konsantrasyonu (Bq/kg)	Ortalama ^{226}Ra Konsantrasyonu (Bq/kg)
Bahşılı	12	22,6	19,5
Balışeyh	15,7	53	27,6
Çelebi	10,6	50,1	27,9
Delice	6,2	22,7	15,5
Karakeçili	16,3	21,5	19,3
Keskin	4,9	45,3	20,5
Merkez	5,7	52,2	25,7
Sulakyurt	6,2	18,8	12,2
Yahşıhan	12,5	27,6	19,5
İl Geneli	4,9	53	20,9

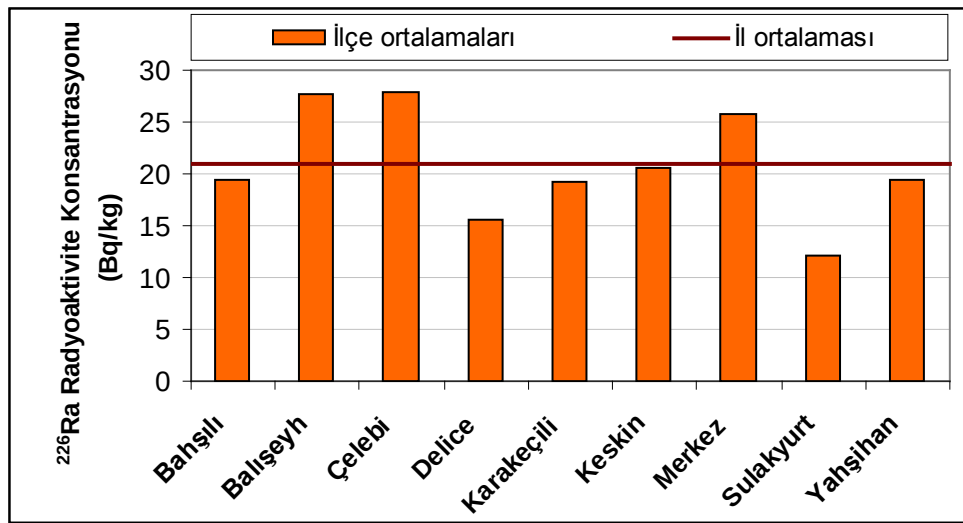


Harita 4.4: Kırıkkale topraklarında belirlenen radyum (Ra-226) radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası

Kırıkkale ili toprak örneklerinin gama spektrumu analiz sonucu elde edilen ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değerleri EK-C’de verilmektedir. İl geneline göre; en yüksek ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değerine (53 Bq/kg) Balışeyh ilçesi Uzunlar köyünden alınan örnekte rastlanmıştır. En düşük değer ise Keskin ilçesi Büyükceceli köyü (4,9 Bq/kg)’nden elde edilmiştir.

Ayrıca ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre minimum ve maksimum değerleri ile ortalama değerleri Tablo 4.22’de verilmektedir. İlçelere göre ortalama ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı da Şekil 4.23’de gösterilmektedir. İlçelerin ortalama ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonuna bakıldığında, en yüksek değer 27,9 Bq/kg değeri ile Çelebi ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilirken, en düşük değerde 12,2 Bq/kg olarak Sulakyurt ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilmiştir.

Şekil 3.2 ile Tablo 4.22 ve Harita 4.4 karşılaştırıldığında, ^{226}Ra ’nın en yüksek ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun elde edildiği Çelebi ilçesinin 1. derece deprem bölgesinde, en düşük ^{226}Ra ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun elde edildiği Sulakyurt ilçesinin de 3. derece deprem bölgesinde bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4.23 : İlçelere göre ortalama ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı

4.4.2. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Toryum (^{232}Th) Radyoizotopunun Dağılımı

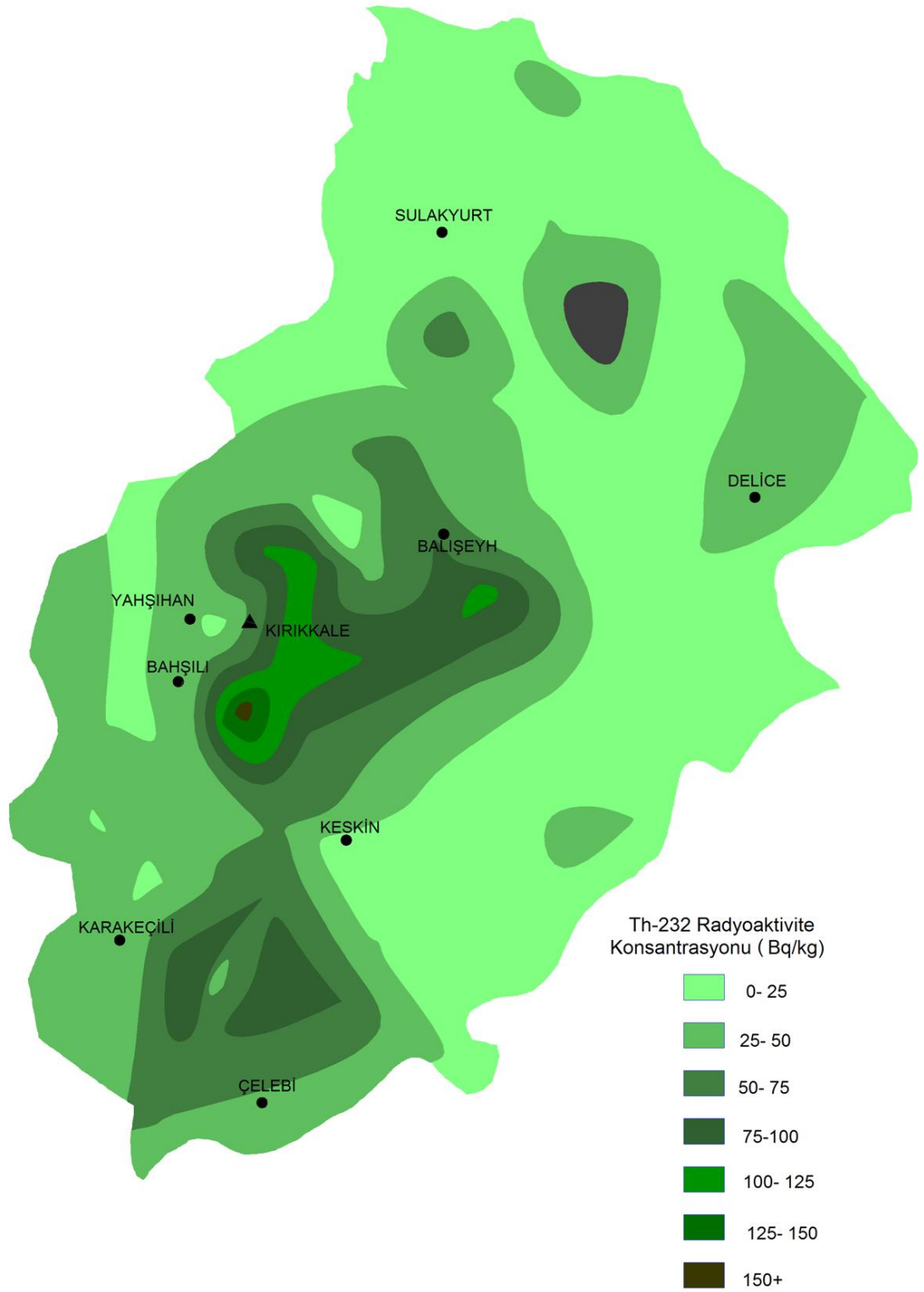
Bu çalışmada, toprak örneklerin sayım sisteminde sayılmaları sonucu elde edilen spektrumda ^{232}Th izotopun analizi için; ^{232}Th 'un 238,6 keV, 338 keV, 583 keV, 911,6 keV ve 969 keV gama enerjilerinden yararlanılmıştır. Topraktaki ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası Harita 4.5'de verilmektedir.

Kırıkkale toprak örneklerde elde edilen ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu değerleri de EK-C'de verilmektedir. İl geneline göre; en yüksek ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu değerine (163,5 Bq/kg) Merkez ilçe Hasandede bölgesinden alınan örnekte rastlanmıştır. En düşük değer ise Merkez ilçe Pazarcık köyü (3,7 Bq/kg)'nden elde edilmiştir.

Tablo 4.23 : Toprak örneklerde ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı

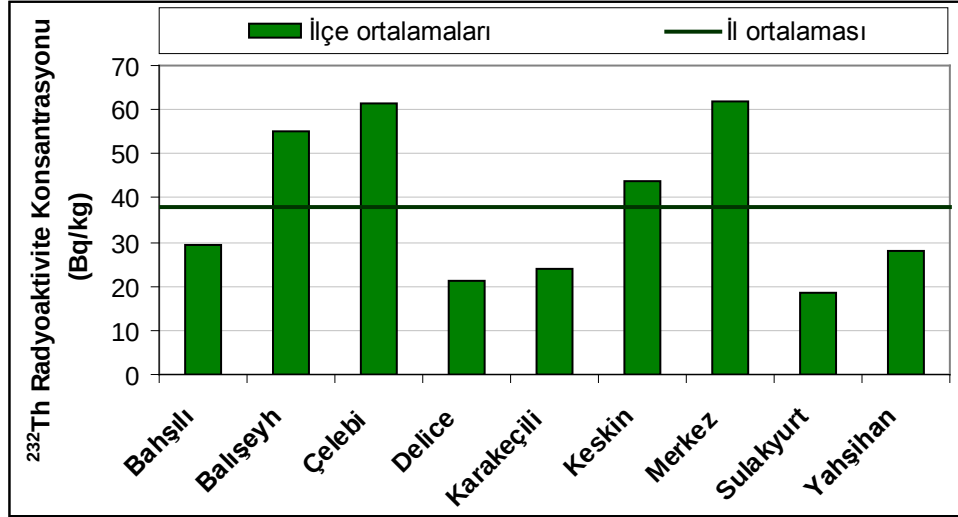
İlçe Adı	Minimum ^{232}Th Konsantrasyonu (Bq/kg)	Maksimum ^{232}Th Konsantrasyonu (Bq/kg)	Ortalama ^{232}Th Konsantrasyonu (Bq/kg)
Bahşılı	21,4	34,6	29,3
Balıseyh	14,7	110,5	55
Çelebi	38,2	83,5	61,4
Delice	4,3	35,8	21,2
Karakeçili	16,8	28,4	23,9
Keskin	6,8	98,7	43,7
Merkez	3,7	163,5	61,8
Sulakyurt	10,1	31,3	18,4
Yahşihan	19,8	34,2	28
İl Geneli	3,7	163,5	38,1

Tablo 4.23'te Kırıkkale ilçelerinden alınan toprak örneklerin analizi sonucu elde edilen minimum ve maksimum ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu ile ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonları verilmiştir. Ayrıca ilçelere göre ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı da Şekil 4.24'de gösterilmektedir. Tablo 4.23'den de görüldüğü gibi ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonunun en yüksek değeri Merkez ilçesinden (61,8 Bq/kg), en düşük değeri (18,4 Bq/kg) Sulakyurt ilçesinden elde edilmiştir.



Harita 4.5: Kırıkkale topraklarında belirlenen toryum (Th-232) radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası

Şekil 3.2 ile Tablo 4.23 ve Harita 4.5 karşılaştırıldığında ^{232}Th ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun en yüksek olduğu Merkez ilçe 1. derece deprem bölgesinde, ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonunun en düşük belirlendiği Sulakyurt ilçesi de 3. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır.

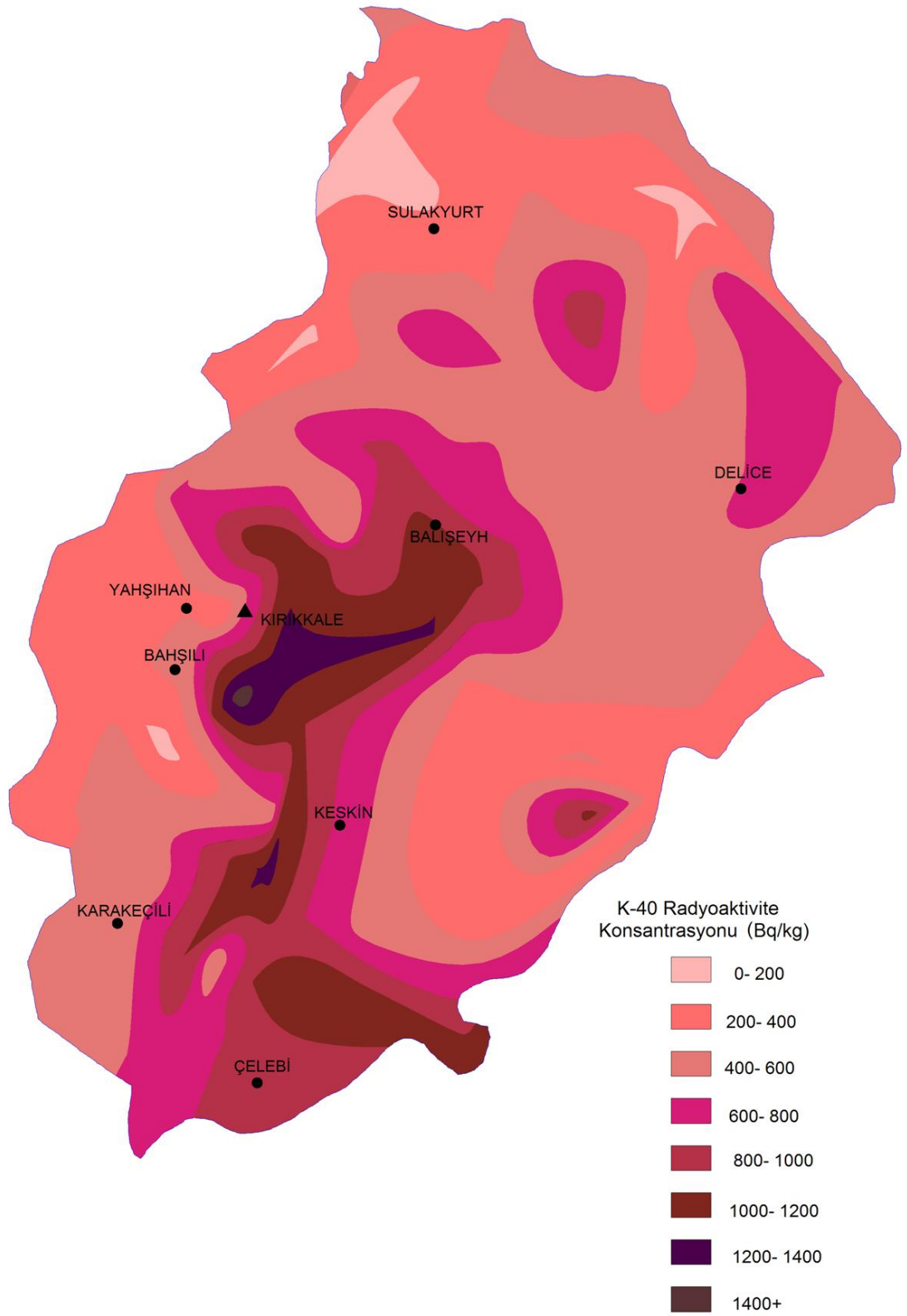


Şekil 4.24 : İlçelere göre ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı

4.4.3. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Potasyum (^{40}K) Radyoizotopunun Dağılımı

Bu çalışmada, toprak örneklerin sayım sisteminde sayımları sonucu elde edilen spektrumda, ^{40}K radyoizotopunun analizi için; ^{40}K 'un 1460,8 keV gama enerjisinden yararlanılmıştır. Toprakta elde edilen ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası Harita 4.6'da verilmektedir.

Kırıkkale toprak örneklerinin gama sayım sisteminde analizi sonucu elde edilen ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değerleri de EK-C'de verilmektedir. İl geneline göre; en yüksek ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değerine (1500,5 Bq/kg) Merkez ilçe Hasandede bölgesinden alınan örnekte rastlanmıştır. En düşük değer (108,5 Bq/kg) ise Sulakyurt ilçesi Koruköyünden elde edilmiştir.

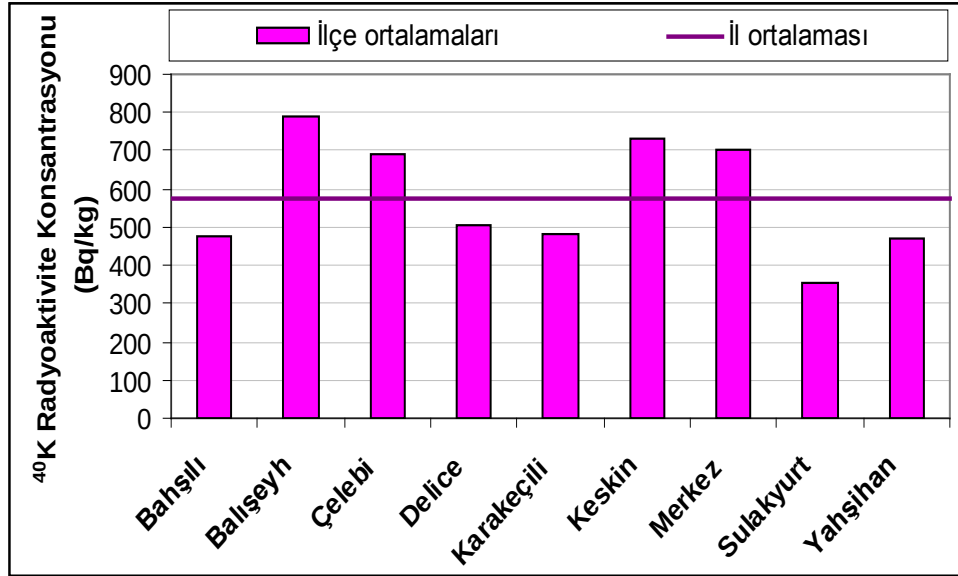


Harita 4.6: Kırıkkale topraklarında belirlenen potasyum (K-40) radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası

Kırıkkale toprak örneklerinden elde edilen ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre minimum ve maksimum değerleri ile ortalama değerleri Tablo 4.24’de ve ilçelere göre ortalama ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı Şekil 4.25’de verilmektedir.

Tablo 4.24 : Toprak örneklerde ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı

İlçe Adı	Minimum ^{40}K Konsantrasyonu (Bq/kg)	Maksimum ^{40}K Konsantrasyonu (Bq/kg)	Ortalama ^{40}K Konsantrasyonu (Bq/kg)
Bahşılı	338,7	584,4	473,8
Balışeyh	419,5	1207	788,4
Çelebi	493,1	1002,6	690,7
Delice	132,2	870,2	503,4
Karakeçili	346,9	635,9	483
Keskin	184,9	1267,9	732,3
Merkez	121,5	1500,5	701,2
Sulakyurt	108,5	585,5	354,5
Yahşihan	324,3	607,8	468,58
İl Geneli	108,5	1500,5	577,3



Şekil 4.25 : İlçelere göre ortalama ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı

Şekil 3.2 ile Tablo 4.24 ve Harita 4.6 karşılaştırıldığında en yüksek ^{40}K ortalama radyoaktivite konsantrasyonuna sahip Balışeyh ilçesi (788,4 Bq/kg) topraklarının çoğu 1.

derece deprem bölgesinde, en düşük ^{40}K ortalama radyoaktivite konsantrasyonunun elde edildiği Sulakyurt ilçesinin (354,5 Bq/kg) 3. derece deprem bölgesinde bulunduğu görülmektedir.

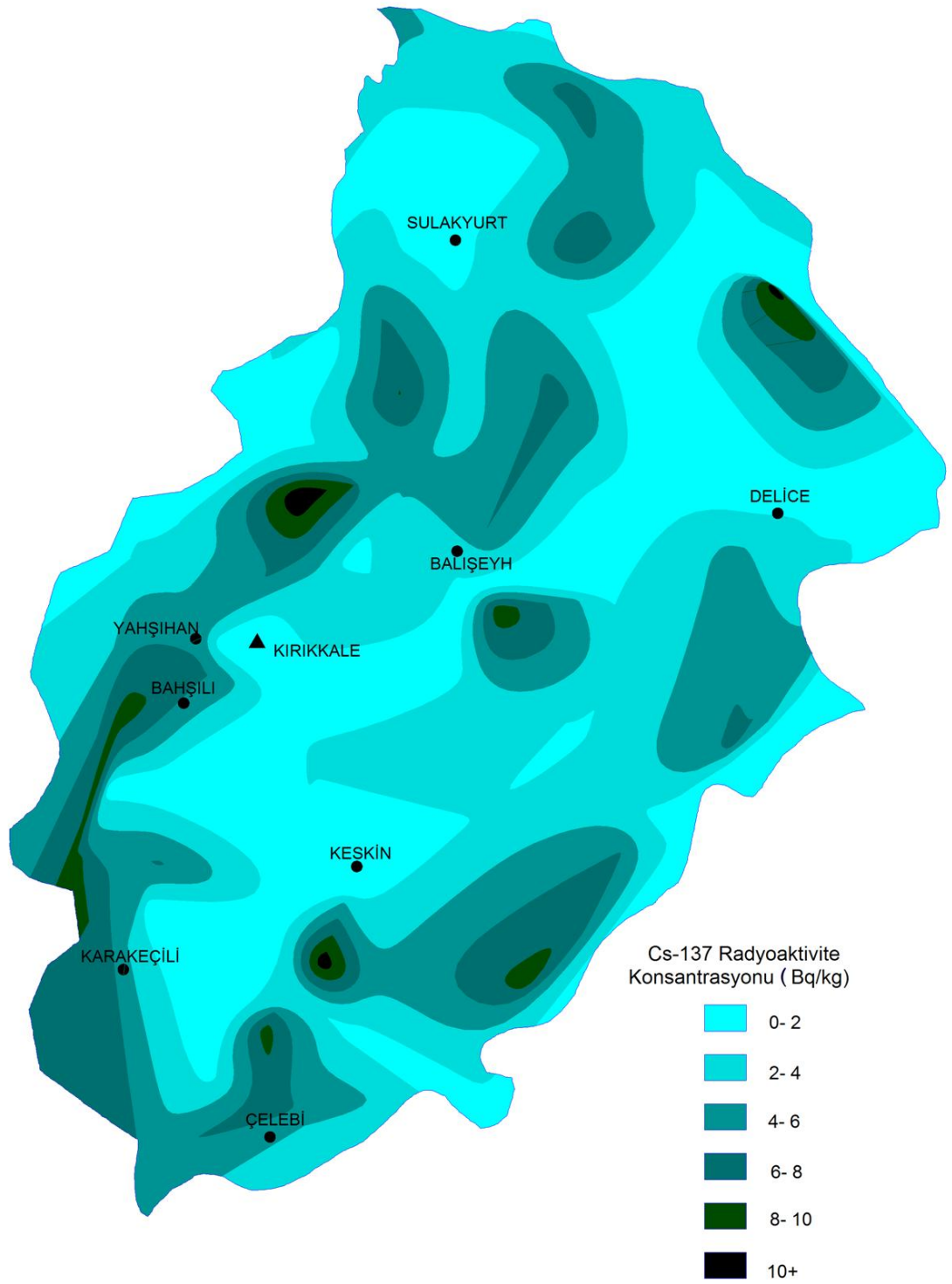
4.4.4. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Sezyum (^{137}Cs) Radyoizotopunun Dağılımı

^{137}Cs fisyon ürünü olup, doğada doğal olarak bulunmazlar. 661,6 keV de % 85,2 bollukta bir piki vardır. Bu çalışmada toprakta belirlenen ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası Harita 4.7’de verilmektedir.

Kırıkkale toprak örneklerinden elde edilen gama spektrumunun analizi sonucu, topraktaki ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu değerleri EK-C’de verilmektedir. İl geneline göre; en yüksek ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu değerine (11,9 Bq/kg) Merkez ilçe Kızıldere köyünden alınan örnekte rastlanmıştır. En düşük değer ise Keskin ilçesi Takazlı köyü (<0,2 Bq/kg)’nden elde edilmiştir.

Kırıkkale toprak örneklerinden elde edilen ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre minimum ve maksimum değerleri ile ortalama değerleri Tablo 4.25’de ve ilçelere göre ortalama ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı Şekil 4.26’da verilmektedir.

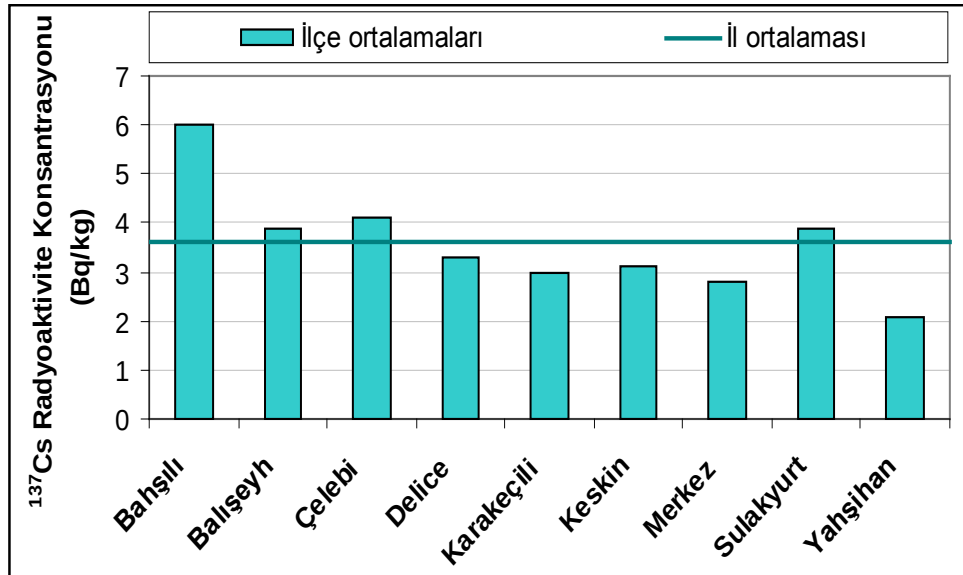
İlçelere göre ortalama ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonuna bakıldığında ise, en yüksek değer 6 Bq/kg değeri ile Bahşılı İlçesi’nden alınan toprak örneklerden elde edilirken, en düşük değerde 2,1 Bq/kg değeri ile Yahşıhan İlçesi’nden alınan toprak örneklerinden elde edilmiştir.



Harita 4.7: Kırıkkale topraklarında belirlenen sezyum (Cs-137) radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası

Tablo 4.25 : Toprak örneklerde ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonlarının ilçelere göre dağılımı

İlçe Adı	Minimum ^{137}Cs Konsantrasyonu (Bq/kg)	Maksimum ^{137}Cs Konsantrasyonu (Bq/kg)	Ortalama ^{137}Cs Konsantrasyonu (Bq/kg)
Bahşılı	0,9	9,2	6
Balığseyh	0,5	9,2	3,9
Çelebi	0,4	8,9	4,1
Delice	0,5	10,7	3,3
Karakeçili	0,7	4,2	3
Keskin	0,2	11,3	3,1
Merkez	0,3	11,9	2,8
Sulakyurt	0,5	7,7	3,9
Yahşıhan	0,5	5	2,1
İl Geneli	0,2	11,9	3,6

Şekil 4.26 : İlçelere göre ortalama ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu dağılımı

4.4.5. Kırıkkale İli Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonlarının İlçe Köylerine Göre Dağılımı

4.4.5.1. Bahşılı İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

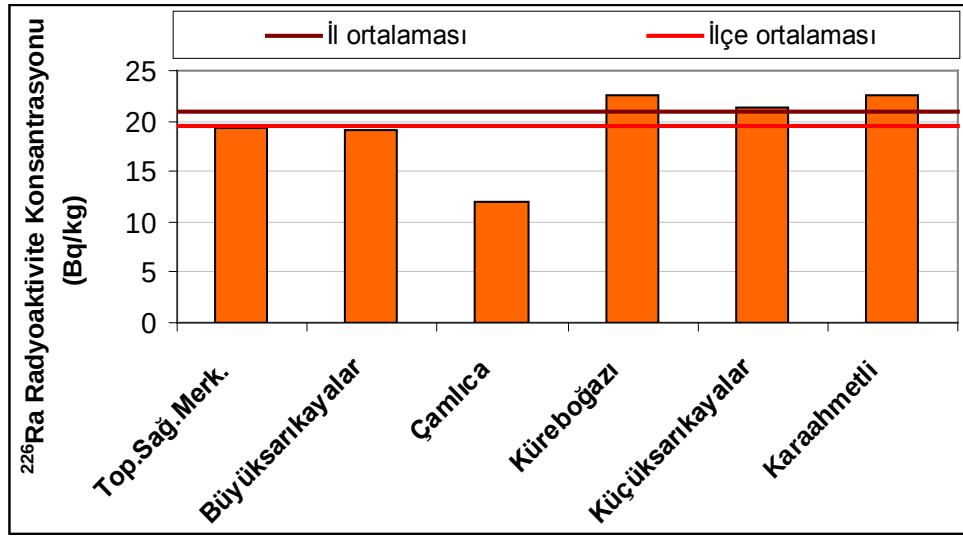
Bahşılı ilçesi köylerinde belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotoplarının radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.26’da il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.26 : Bahşılı ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

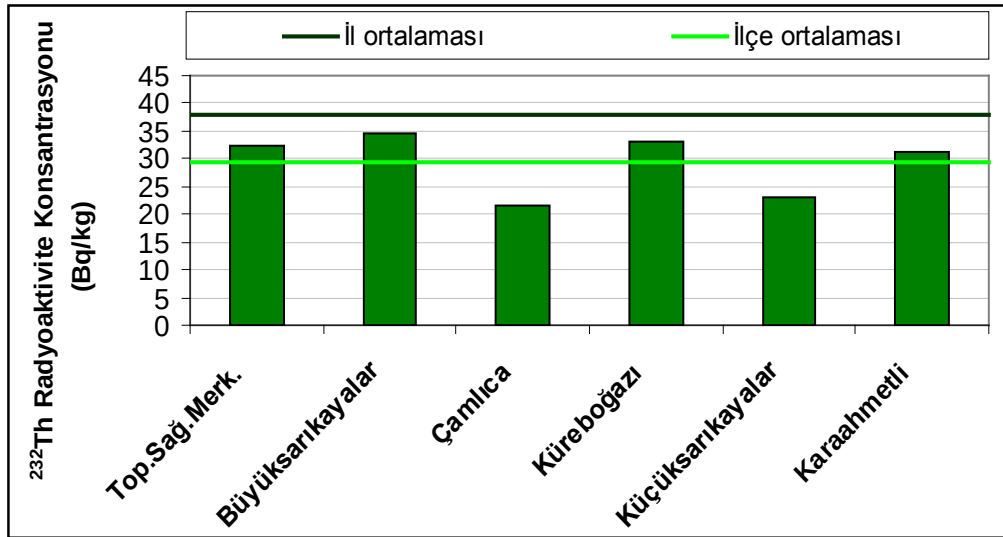
ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
TSM	39,80693	33,45917	19.4±1.2	32.2±0.9	538,8±38,6	6.4±0.5
Büyüksarıkayalar	39,66793	33,33118	19.1±0.9	34.6±1.6	380,7±18,3	8.6±0.4
Çamlıca	39,77125	33,37363	12.0±0.2	21.4±0.3	338.7±8.7	9.2±0.2
Küreboğazı	39,72213	33,36818	22.6±0.7	33.1±0.8	584.4±19.4	0.9±0.1
Küçüksarıkayalar	39,67310	33,34752	21.3±0.4	23.2±0.4	455.6±12.3	4.9±0.2
Karaahmetli	39,66000	33,41530	22.6±0.7	31.3±0.7	544.3±18.1	6.2±0.4
İlçe ortalaması			19,5	29,3	473,8	6
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

Bahşılı ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değerinin en yüksek görüldüğü yer Küreboğazı köyü olup 22,6 Bq/kg’dır. En düşük görüldüğü yer ise 12,0 Bq/kg ile Çamlıca köyüdür. Şekil 4.27’den de görüldüğü gibi, ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Bahşılı ilçesi köylerinde çok büyük farklılıklar içermemekle birlikte il ve ilçe ortalama değerlerine de yakındır.

^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu 34,6 Bq/kg ile Büyüksarıkayalar köyünde en yüksek değere sahip iken 21,4 Bq/kg ile Çamlıca köyünde en düşük değere sahiptir. Tablo 4.26’dan hem ^{226}Ra hem de ^{232}Th ilçe ortalamasına bakıldığında, ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonunun ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonundan daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.28’de görüldüğü gibi il ortalama değeri ilçe ortalama değerinden daha büyüktür.

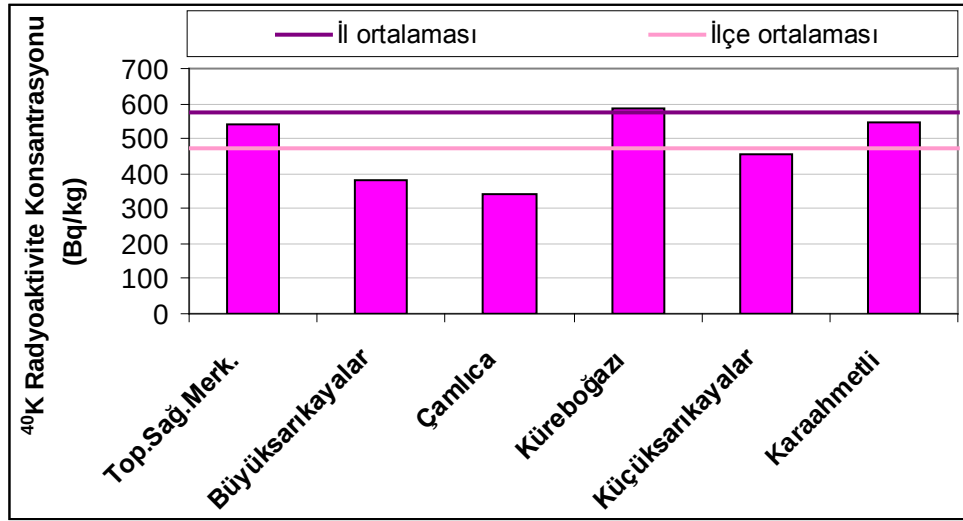


Şekil 4.27 : Bahşılı ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı



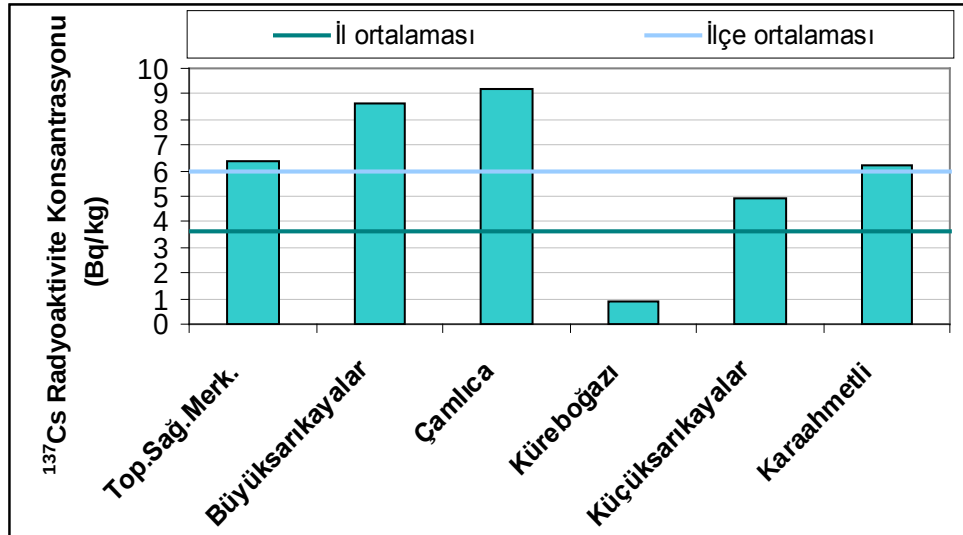
Şekil 4.28 : Bahşılı ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

^{40}K radyoaktivite konsantrasyonunun en yüksek olduğu yer 584,4 Bq/kg ile Küreboğazı köyü olup en düşük yer ise 338,7 Bq/kg ile Çamlıca köyüdür. Şekil 4.29’da da görüldüğü gibi, ^{40}K için il ortalama değeri ilçe ortalama değerinden daha büyüktür.



Şekil 4.29 : Bahşılı ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonunun en düşük olduğu köy Çamlıca köyüdür. Oysa doğada doğal olarak bulunmayan ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonunun en yüksek olduğu yer 9,2 Bq/kg ile Çamlıca köyüdür. Radyoaktif serpintiden en az etkilenen köy ise 0,9 Bq/kg ile Küreboğazı köyüdür ve ilçe ortalaması olan 6 Bq/kg'dan yaklaşık 6 kat daha düşüktür. Şekil 4.30'da görüldüğü gibi ilçe ortalaması il ortalamasının çok üzerindedir.



Şekil 4.30 : Bahşılı ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

4.4.5.2. Balışeyh İlçesi Köylerinden Alınan Toprak  rneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

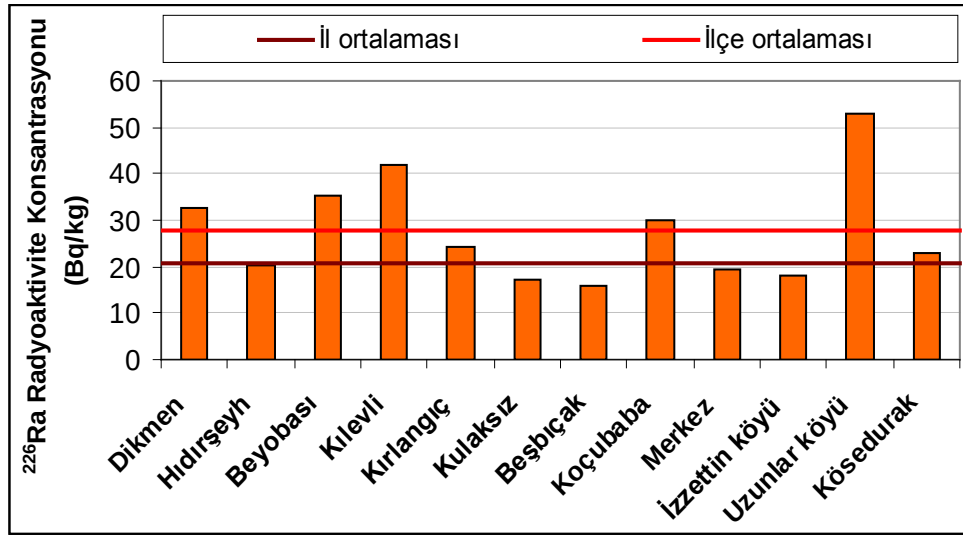
Balışeyh ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.27’de il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.27 : Balışeyh ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

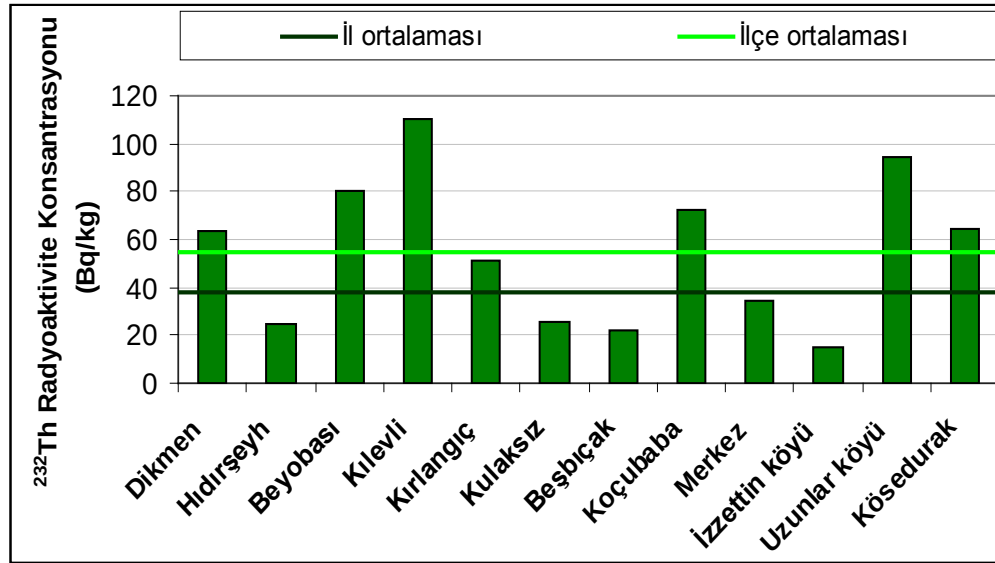
ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Dikmen	39,95968	33,66585	32.6±2.9	63.7±6.3	871,9±60,9	4.3±0.4
Hıdır�eyh	40,02263	33,65963	20.4±0.7	24.4±1.0	419,5±23,5	8.1±0.3
Beyobası	39,87480	33,72085	35.3±0.8	80.6±1.3	1186.3±36.9	1.8±0.1
Kılevli	39,85488	33,75772	41.8±1.3	110.5±2.2	1035.8±34.4	9.2±0.7
Kırlangi�	39,87823	33,79335	24.2±0.5	51.6±0.7	843.6±22.0	< 0.5
Kulaksız	40,00260	33,72368	17.3±0.3	25.7±0.4	490.5±13.2	3.0±0.1
Be�bı�ak	40,01993	33,81955	15.7±0.3	22.4±0.4	520.2±13.9	6.7±0.2
Koçubaba	40,06992	33,87897	30.1±0.6	72.4±1.1	956.2±26.1	1.2±0.3
Merkez	39,91535	33,74458	19.3±0.7	34.7±0.8	711.1±23.0	6.0±0.3
�zzettin köyü	39,93058	33,84982	18.2±0.5	14.7±0.4	428.8±15.8	1.0±0.2
Uzunlar köyü	39,81208	33,71280	53.0±0.8	94.8±1.1	1207.0±31.3	1.3±0.1
Kösedurak	40,06030	33,71902	22.9±0.6	64.8±1.1	789.3±24.8	3.2±0.2
İ�e ortalaması			27,6	55	788,4	3,9
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

Balışeyh ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değerlerine bakıldığında Kılevli (41,8 Bq/kg) ve Uzunlar (53 Bq/kg) köyünden elde edilen değerlerin il ortalamasının yaklaşık iki katı olduğu  ekil 4.31’de görülmektedir. Oysa Be bı ak köyü (15.7 Bq/kg), Kulaksız köyü (17.3 Bq/kg) ve  zzettin köyü (18.2 Bq/kg) il ortalamasının (20,9 Bq/kg) altında kalmaktadır.

Balışeyh ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Kulaksız (25,7 Bq/kg), Be bı ak (22,4 Bq/kg),  zzettin (14,7 Bq/kg) ve İlçe merkezinde (34,7 Bq/kg) il ortalama değerinin (38,1 Bq/kg) altında gözlemlenirken Uzunlar, Beyobası, Koçubaba, Dikmen ve Kılevli köyünden elde edilen değerlerin ise il ortalamasının üzerinde olduğu  ekil 4.32’de görülmektedir.

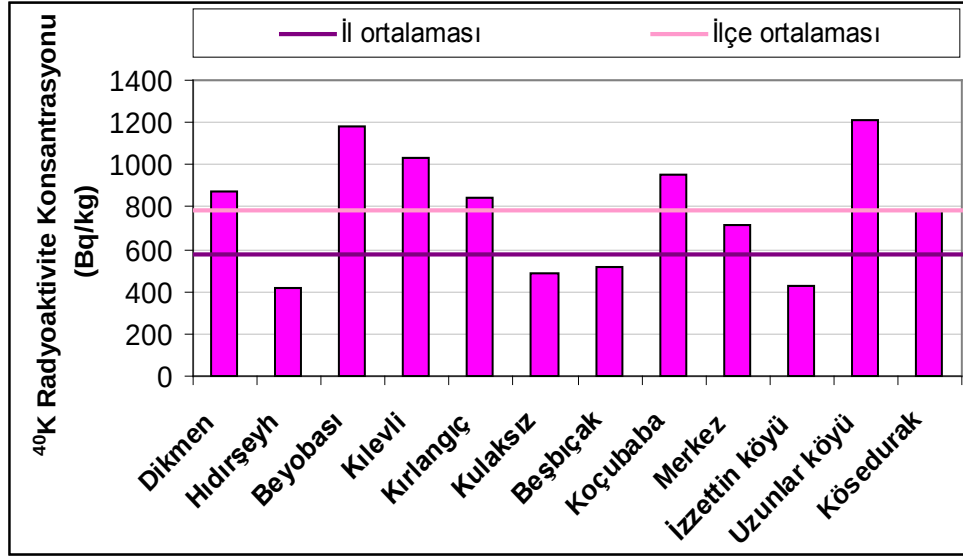


şekil 4.31 : Balışeyh ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı



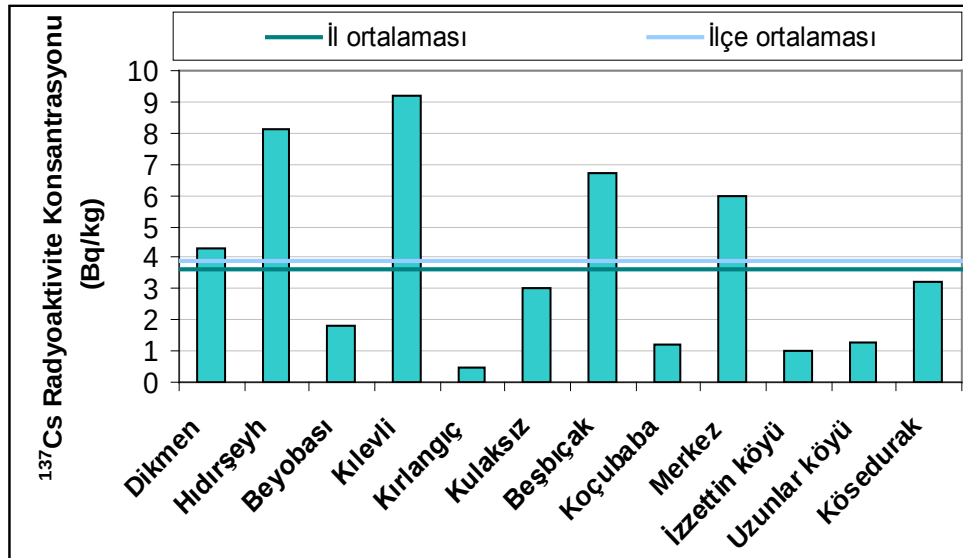
şekil 4.32 : Balışeyh ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Balışeyh ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değeri Uzunlar köyünde 1207 Bq/kg ile en yüksek değeri olup il ortalamasının (577,3 Bq/kg) 2,5 katı kadardır (şekil 4.33). Hıdırşeyh köyü 419,5 Bq/kg ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değeri ile ilçe genelinde en düşük değere sahiptir.



Şekil 4.33 : Balışeyh ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Balışeyh ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Beyobası, Kırılancık, Kulaksız, Koçubaba, İzzettin, Uzunlar ve Kösedurak köylerinden alınan örneklerde il ortalama değeri olan 3,6 Bq/kg değerinin altında gözlemlenirken ilçenin diğer köylerinde ise il ortalamasının üstünde olduğu Şekil 4.34’de görölmektedir.



Şekil 4.34 : Balışeyh ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

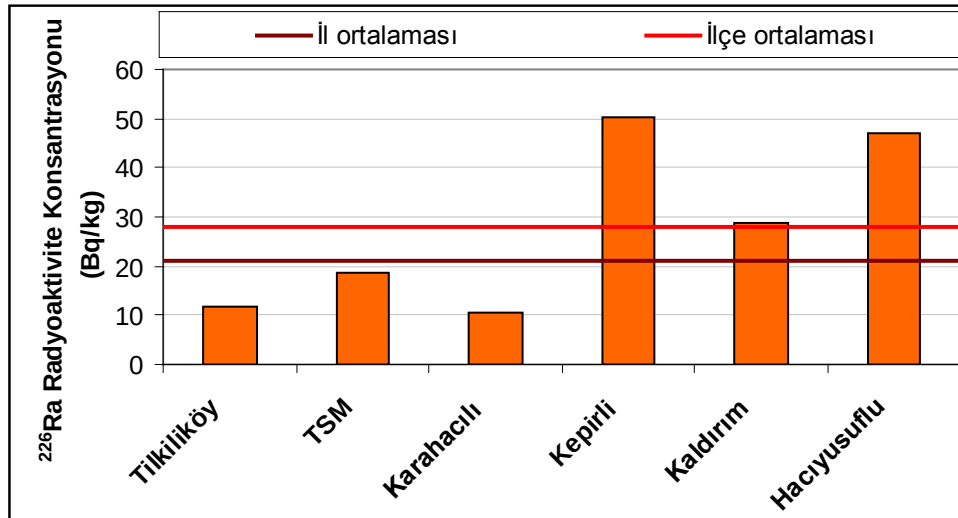
4.4.5.3. Çelebi İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

Çelebi ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik radyoaktivite analizi sonucu elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.28’de il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.28 : Çelebi ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

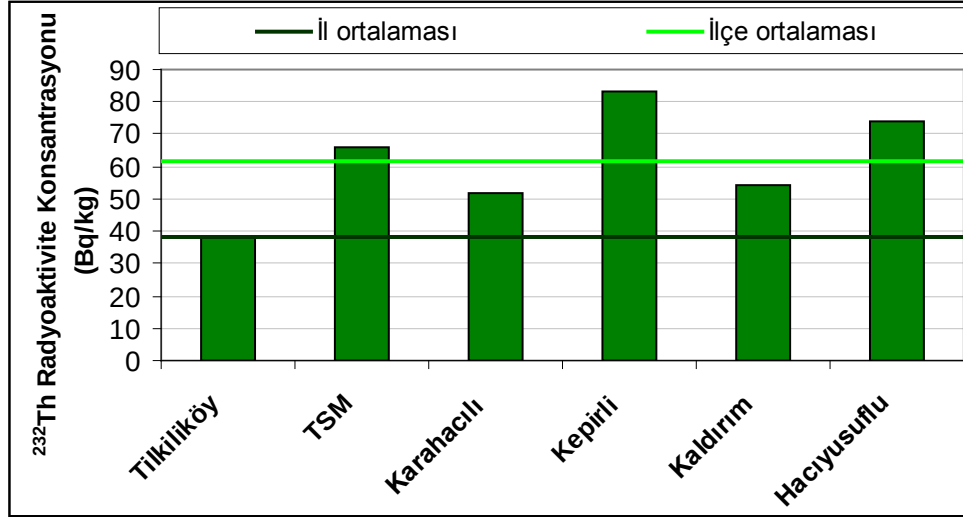
ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Tilkiliköy	39,54442	33,47360	11.6±0.7	38.2±2.3	399,8±19,8	< 0.4
Toplum Sağ. Merkezi	39,46558	33,52875	18.8±0.7	66.2±2.1	964,8±45,0	6.8±0.4
Karahacılı	39,66188	33,54092	10.6±2.2	51.9±16.9	493,1±24,2	1.4±0.3
Kepirli	39,53017	33,52102	50.1±1.8	83.5±2.2	1002.6±37.8	8.9±0.6
Kaldırım	39,43310	33,39513	28.9±0.6	54.4±0.9	639.4±17.8	5.9±0.4
Hacıyusuflu	39,49675	33,46497	47.1±0.6	74.1±0.8	644.6±16.8	1.3±0.1
İlçe ortalaması			27,9	61,4	690,7	4,1
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

Çelebi ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tilkiliköy (11,6 Bq/kg), Karahacılı (10,6 Bq/kg) ve Toplum Sağlığı Merkezi (18,8 Bq/kg)’nden alınan örneklerde il ortalama değeri (20,9 Bq/kg)’nin altında gözlemlenirken Kepirli (50,1 Bq/kg) ve Hacıyusuflu (47,1 Bq/kg) köylerinden elde edilen değerlerin ise il ortalamasının yaklaşık iki katı olduğu Şekil 4.35’de görülmektedir.



Şekil 4.35 : Çelebi ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

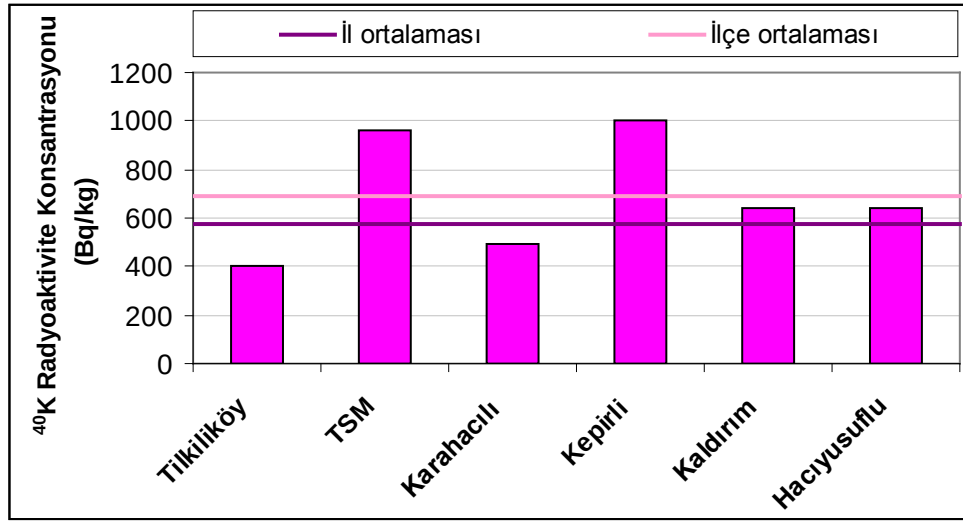
Çelebi ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tilkiliköy (38,2 Bq/kg)'den alınan örnekte il ortalama değeri olan 38,1 Bq/kg değerine yakın değerde gözlemlenirken Kepirli (83,5 Bq/kg) ve Hacıyusuflu (74,1 Bq/kg) köyünden elde edilen değerlerin ise il ortalamasının iki katı olduğu Şekil 4.36'da görülmektedir.



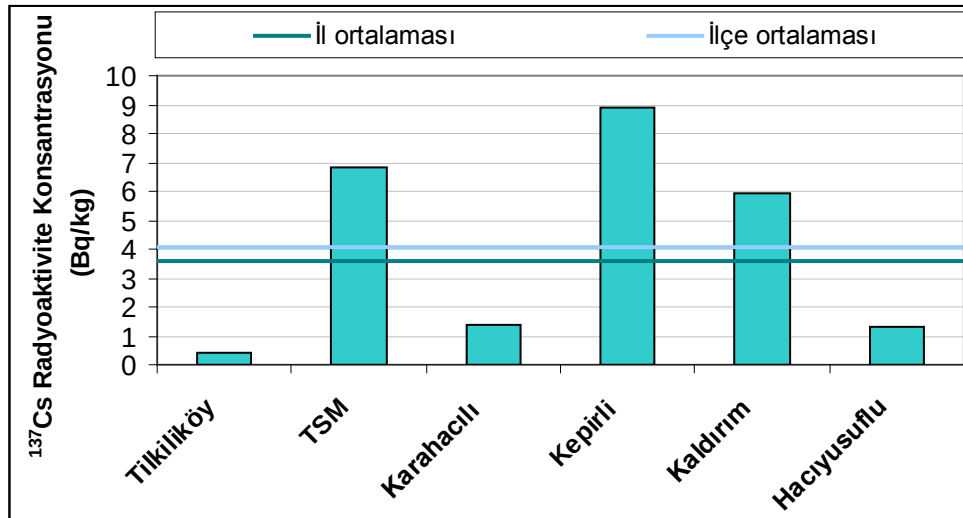
Şekil 4.36 : Çelebi ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Çelebi ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tilkiliköy (399,8 Bq/kg) ve Karahacılı (493,1 Bq/kg) köylerinden alınan örneklerde il ortalama değeri olan 577,3 Bq/kg değerinin altında gözlemlenirken Kaldırım (639,4 Bq/kg), Hacıyusuflu (644,6 Bq/kg), Toplum Sağlığı Merkezi (964,8 Bq/kg) ve Kepirli köy (1002,6 Bq/kg)'den elde edilen değerlerin ise il ortalamasının çok üstünde olduğu Şekil 4.37'de verilmektedir.

Çelebi ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Karahacılı (1,4 Bq/kg), Hacıyusuflu (1,3 Bq/kg) ve Tilkiliköy (<0,4 Bq/kg)'den alınan örneklerde il ortalama değeri olan 3,6 Bq/kg değerinin altında gözlemlenirken Toplum Sağlığı Merkezi (6,8 Bq/kg), Kepirli (8,9 Bq/kg) ve Kaldırım köyleri (5,9 Bq/kg)'nden elde edilen değerlerin ise il ortalamasının iki katı olduğu Şekil 4.38'de görülmektedir.



Şekil 4.37 : Çelebi ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.38 : Çelebi ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

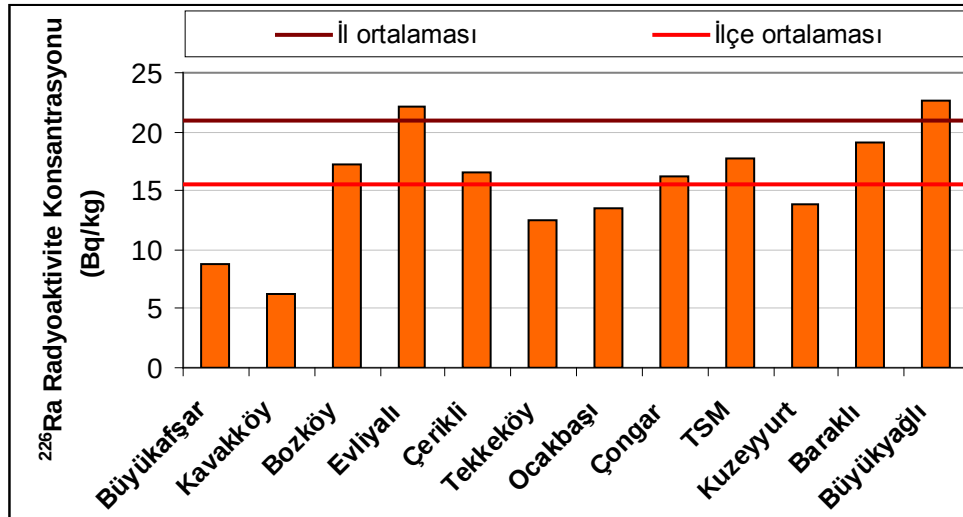
4.4.5.4. Delice İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

Delice ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik radyoaktivite analizi sonucu elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.29’da il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.29 : Delice ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

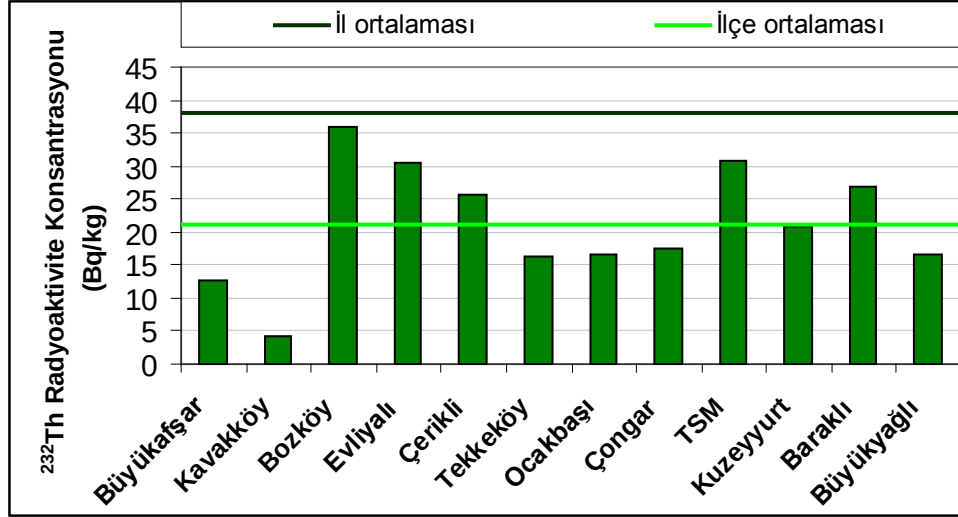
ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
B.afşar 1-Yeni mah.	40,05313	33,95208	8.7±1.8	12.8±6.4	234,0±15,1	1.7±0.9
Kavakköy	40,16443	33,99022	6.2±1.0	4.3±2.3	132,2±56,7	0.8±0.3
Bozköy	40,10327	34,03625	17.3±1.3	35.8±3.5	870,2±28,5	10.7±1.0
Evliyali	40,03882	34,08308	22.1±0.9	30.4±1.6	712,6±29,0	7.3±0.4
Çerikli1-Sakarya mah.	39,89427	33,99442	16.5±0.3	25.8±0.4	590.9±15.3	4.6±0.2
Tekkeköy	39,81238	33,88960	12.5±0.3	16.3±0.5	448.7±13.2	2.4±0.2
Ocakbaşı	39,75018	33,99522	13.5±0.3	16.6±0.3	410.1±11.1	6.5±0.2
Çongar	39,86455	33,87077	16.3±0.6	17.5±0.6	466.4±16.0	1.9±0.3
Toplum Sağ. Merkezi	39,93997	34,03225	17.7±0.5	30.8±0.7	579.1±0.2	< 0.7
Kuzeyyurt	39,97093	34,20038	13.9±0.4	20.7±0.5	472.9±15.3	0.5±0.1
Baraklı	39,94025	34,10018	19.1±0.6	27.0±0.7	675.7±22.0	0.8±0.1
Büyükyağlı	39,95533	33,91935	22.7±0.4	16.7±0.5	447.9±20.9	1.1±0.2
İlçe ortalaması			15,5	21,2	503,4	3,3
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

Delice ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değerleri, Evliyali (22.1 Bq/kg) ve Büyükyağlı (22.7 Bq/kg) köyleri haricinde il ortalama değeri olan 20,9 Bq/kg değerinin altında olduğu Şekil 4.39'da görülmektedir.



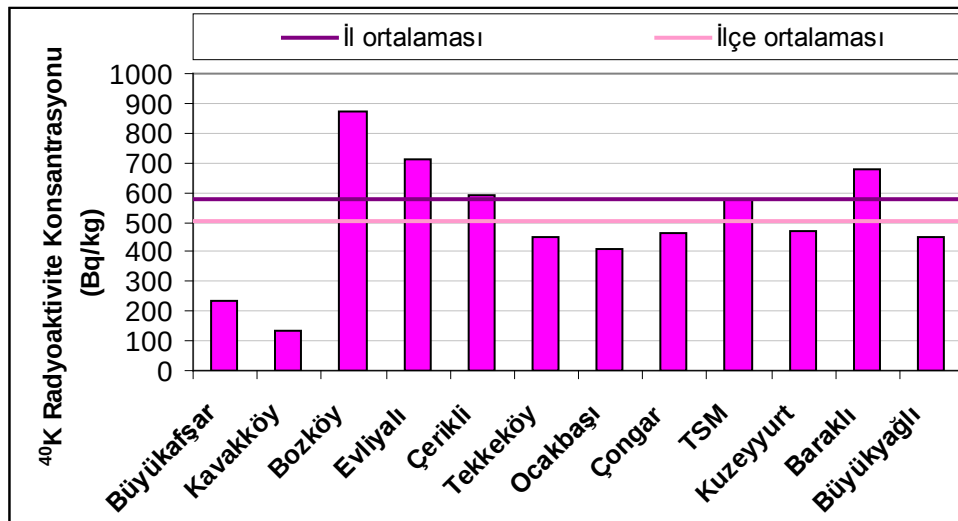
Şekil 4.39 : Delice ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Delice ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu değerlerinin il ortalama değeri olan 38,1 Bq/kg değerinin altında olduğu Şekil 4.40’da görülmektedir.



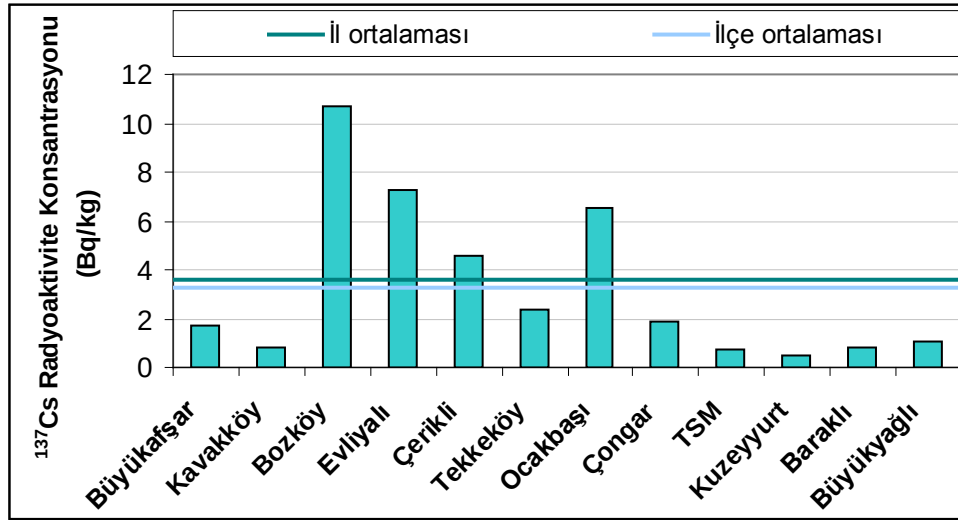
Şekil 4.40 : Delice ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Delice ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değerlerinin Bozköy (870,2 Bq/kg), Evliyalı (712,6 Bq/kg), Çerikli (590,9 Bq/kg), Baraklı (675,7 Bq/kg) köyleri ve Toplum Sağlığı Merkezi (579,1 Bq/kg)’nden alınan örnekler haricinde diğer köylerin il ortalama değeri olan 577,3 Bq/kg değerinin altında olduğu Şekil 4.41’de görülmektedir.



Şekil 4.41 : Delice ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Delice ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu değerlerinin Bozköy (10,7 Bq/kg), Evliyalı (7,3 Bq/kg), Çerikli (4,6 Bq/kg) ve Ocakbaşı (6,5 Bq/kg) köylerinden alınan örneklerde il ortalama değeri olan 3,6 Bq/kg değerinin çok üstünde olduğu diğer köylerde ise il ortalamasının çok altında olduğu Şekil 4.42’de görülmektedir. Bozköy köyünden elde edilen ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu değeri 10,7 Bq/kg olup Kuzeyyurt köyünden elde edilen 0,5 Bq/kg değerinin yaklaşık 21 katıdır.



Şekil 4.42 : Delice ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

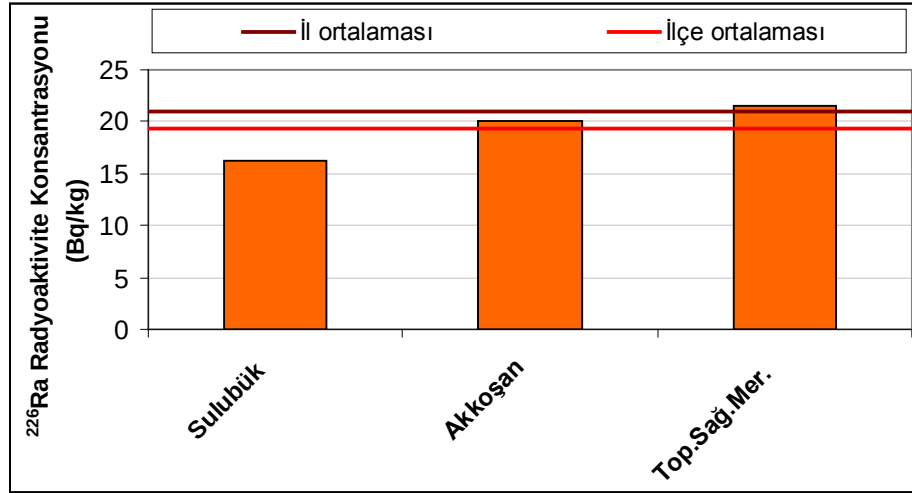
4.4.5.5. Karakeçili İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

Karakeçili ilçesinin sadece 2 köyü vardır. Bu köylerden alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik radyoaktivite analizi sonucu elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.30’da il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.30 : Karakeçili ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Sulubük	39,62488	33,40605	16.3±0.7	16.8±0.9	346,9±18,4	0.7±0.1
Akkoşan	39,64272	33,39857	20.1±0.7	28.4±0.9	635.9±22.9	4.2±0.3
Toplum Sağ. Merkezi	39,59585	33,38155	21.5±0.5	26.5±0.5	466.2±15.5	4.1±0.2
İlçe ortalaması			19,3	23,9	483	3
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

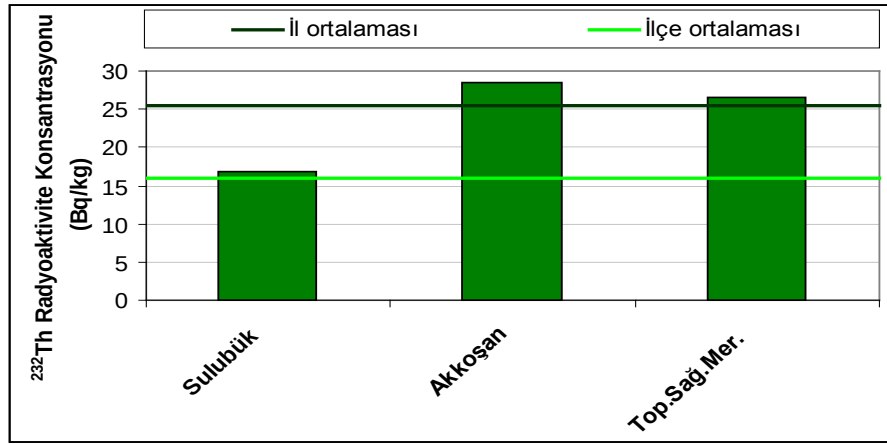
Karakeçili ilçesinden alınan toprak örneklerden elde edilen ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Şekil 4.39’da görülmektedir. Buna göre; Toplum Sağlığı Merkezi (21,5 Bq/kg)’nden alınan örneğin konsantrasyonunun il ortalama değerine (20,9 Bq/kg) yakın olduğu, Akkoşan köyü (20,1 Bq/kg)’nden alınan örneğin konsantrasyonunun il ve ilçe ortalaması arasında bir değerde olduğu, Sulubük köyü (16,3 Bq/kg)’nden alınan örneğin konsantrasyonunun ise bu değerlerin altında olduğu görülmektedir.



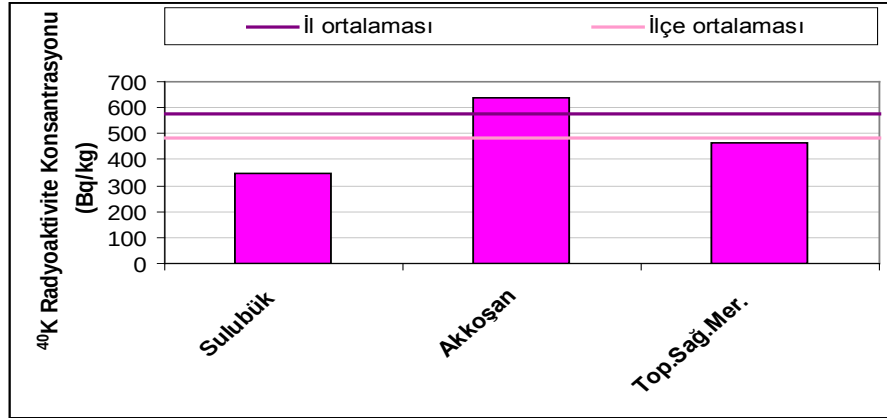
Şekil 4.43: Karakeçili ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Karakeçili ilçesi köylerinden alınan örneklerin analiz sonucuna göre ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu dağılımları sırasıyla Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46’da verilmektedir.

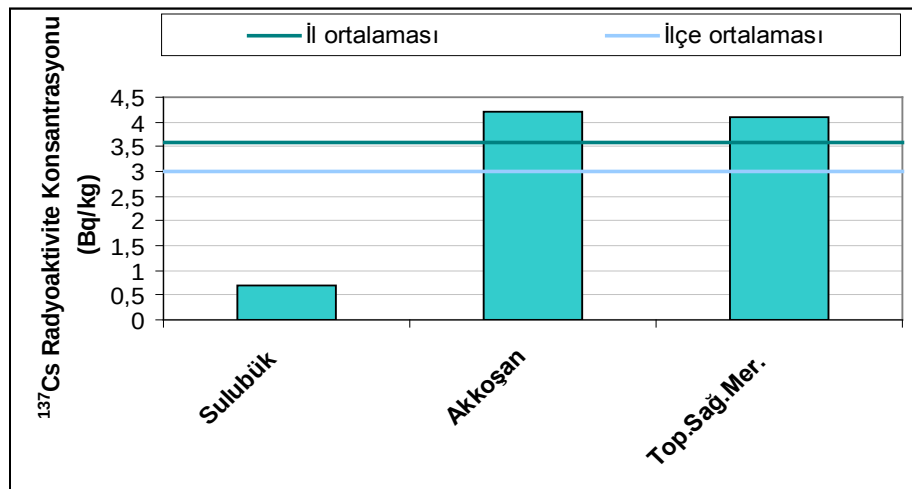
Şekillerde de görüldüğü gibi Karakeçili ilçesinin ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu dağılımlarının ilçe ortalamaları il ortalamasının altında elde edilmiştir.



Şekil 4.44 : Karakeçili ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.45 : Karakeçili ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.46 : Karakeçili ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Ancak, 1. derece deprem bölgesinde bulunan Karakeçili ilçesinin Akkoşan köyünden alınan toprak örneğinin analiz sonucuna göre ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değeri il ortalamasının da üzerinde elde edilmiştir. İlçenin ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu analiz sonuçlarına göre, Sulubük köyünden alınan toprak örnekten elde edilen değer çok düşük olmasına rağmen ilçe merkezinden ve Akkoşan köyünden elde edilen değer il ortalamasının üzerinde elde edilmiştir.

4.4.5.6. Keskin İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

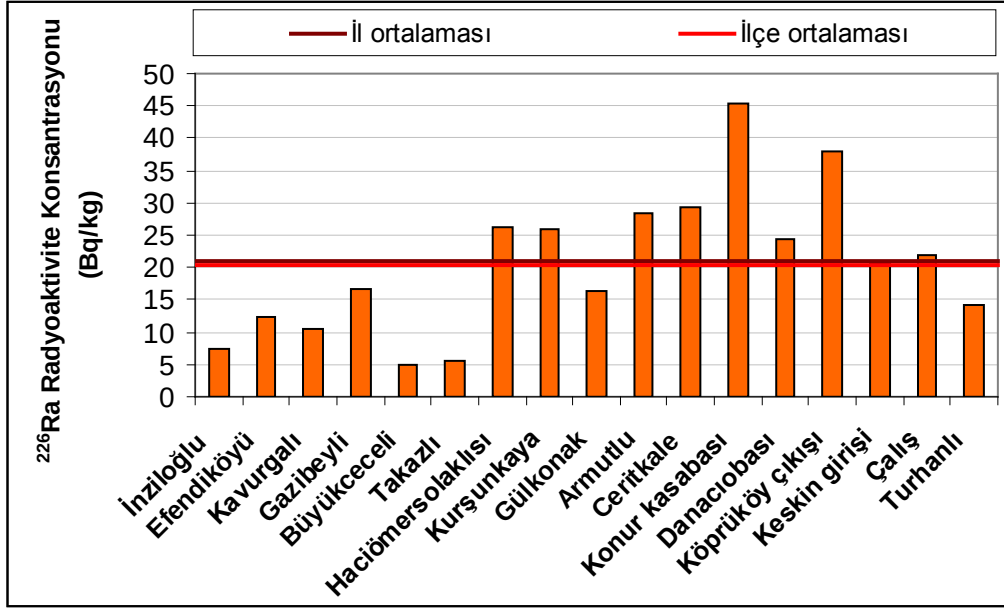
Keskin ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik radyoaktivite analizi sonucu elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.31’de il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.31 : Keskin ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
İnziloğlu	39,48197	33,74108	7.5±2.3	16.9±8.8	1029,0±98,4	1.9±0.9
Efendiköyü	39,56615	33,78292	12.2±0.7	12.3±0.8	278,4±11,1	8.9±0.5
Kavurgalı	39,69347	33,73197	10.6±0.5	9.7±0.7	232,2±10,5	2.0±0.2
Gazibeyli	39,77263	33,74735	16.6±0.5	43.0±1.2	388,1±15,3	2.9±0.2
Büyükceceli	39,71188	33,86238	4.9±3.0	6.8±3.9	184,9±92,2	2.5±1.4
Takazlı	39,68010	33,95397	5.7±1.0	6.8±2.4	219,0±10,3	< 0.2
Hacıömersolaklısı	39,66383	33,87763	26.3±0.9	40.3±1.6	1075,0±38,9	6.2±0.3
Kurşunkaya	39,73955	33,57593	25.8±2.2	73.2±6.6	1008,3±177,8	2.3±0.5
Gülkonak	39,57060	33,63825	16.4±0.5	26.2±0.7	516.5±15.7	4.7±0.4
Armutlu	39,52800	33,60782	28.5±0.5	74.5±1.0	1108.7±28.3	1.2±0.1
Ceritkale	39,58297	33,57843	29.2±1.1	62.9±1.6	782.5±35.1	11.3±0.5
Konur kasabası	39,56135	33,53918	45.3±0.8	89.0±1.2	976.4±26.6	2.8±0.2
Danacıobası	39,61843	33,53673	24.4±0.8	73.1±1.4	1267.9±40.3	1.2±0.2
Köprüköy çıkışı	39,55205	33,44960	37.9±0.8	98.7±1.2	1003.6±34.0	< 0.7
Keskin girişi	39,66497	33,61440	20.6±0.6	44.5±1.0	751.2±23.8	< 1.0
Çalış	39,66552	33,55447	22.0±0.7	47.7±1.0	1189.3±38.0	0.6±0.2
Turhanlı	39,76550	33,84050	14.3±0.3	16.6±0.4	437.7±11.9	1.8±0.2
İlçe ortalaması			20,5	43,7	732,3	3,1
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

1. derece deprem bölgesinde bulunan Keskin ilçesi köylerinden alınan örneklerin analiz sonucuna göre ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonların dağılımları sırasıyla Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de verilmektedir.

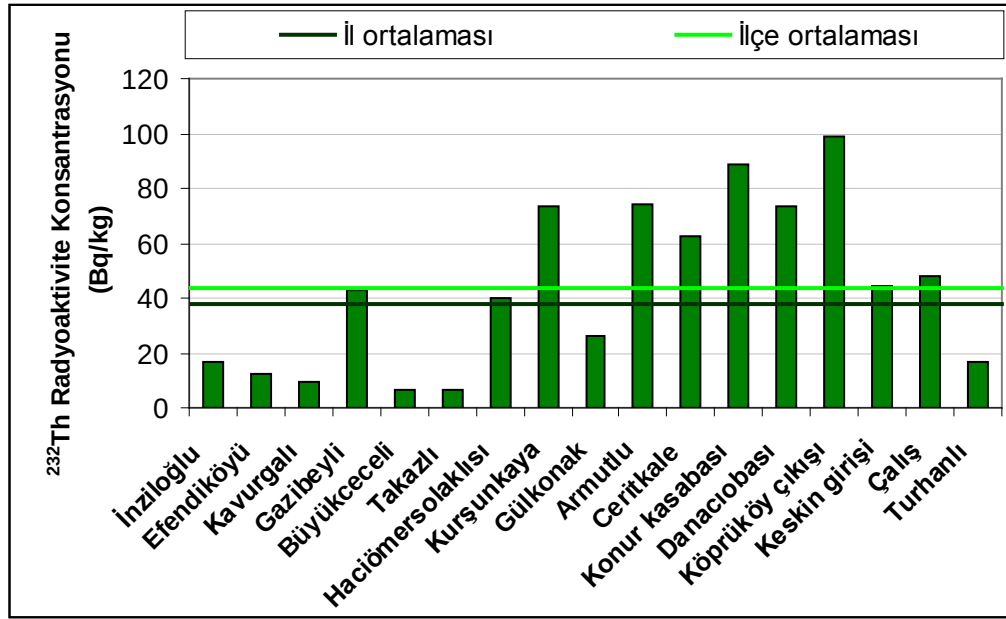
Tablo 4.31 ve Şekil 4.47 incelendiğinde; Konur kasabasından alınan toprak örneğin ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu (45,3 Bq/kg) en yüksek olup bu değer il ve ilçe ortalamasının yaklaşık iki katıdır. İkinci en yüksek değer Köprüköy çıkışından alınan örnekten elde edilmiştir. En düşük değer de (4,9 Bq/kg), Büyükceceli köyünden alınan örneğe aittir. Bu değer aynı zamanda il genelinde en küçük değeridir.



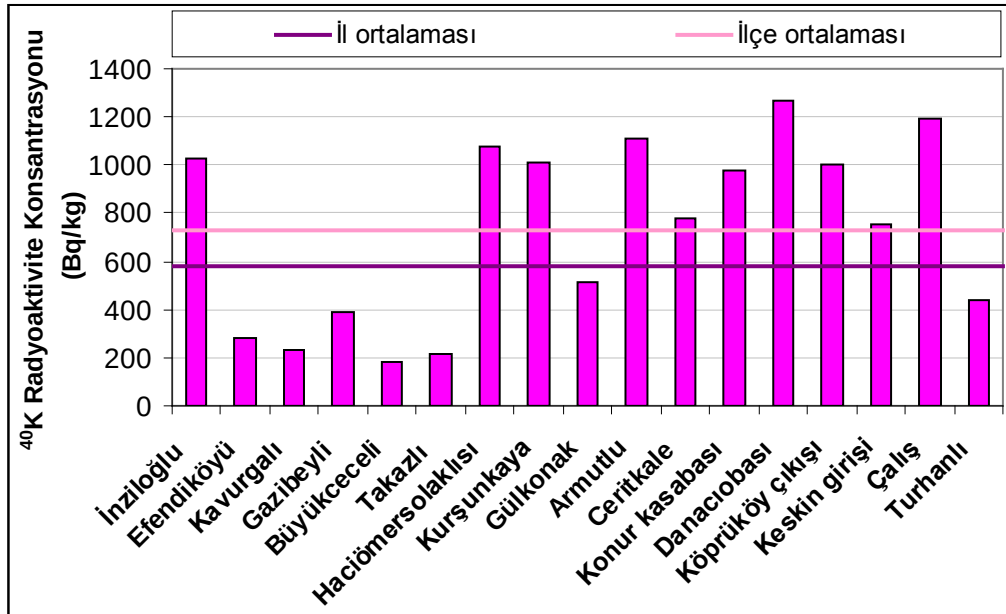
Şekil 4.47 : Keskin ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Tablo 4.31 ve Şekil 4.48 incelendiğinde; Köprüköy çıkışından alınan toprak örneğin ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu 98,7 Bq/kg olarak en yüksek değerde elde edilirken onu 89,0 Bq/kg değeri ile Konur kasabası takip etmektedir. Elde edilen her iki değer de il ve ilçe ortalamasının yaklaşık iki katıdır. En küçük değer ise Büyükceceli ve Takazlı köylerinden alınan örneklerden 6,8 Bq/kg olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.31 ve Şekil 4.49 incelendiğinde; Danacıobası köyünden alınan toprak örneğin ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu 1267,9 Bq/kg olarak ilçenin en yüksek değerini oluşturmaktadır. Bu değer il ortalamasının iki katından daha fazladır. En küçük değer ise 184,9 Bq/kg olarak Büyükceceli köyünden alınan örnekten elde edilmiştir.

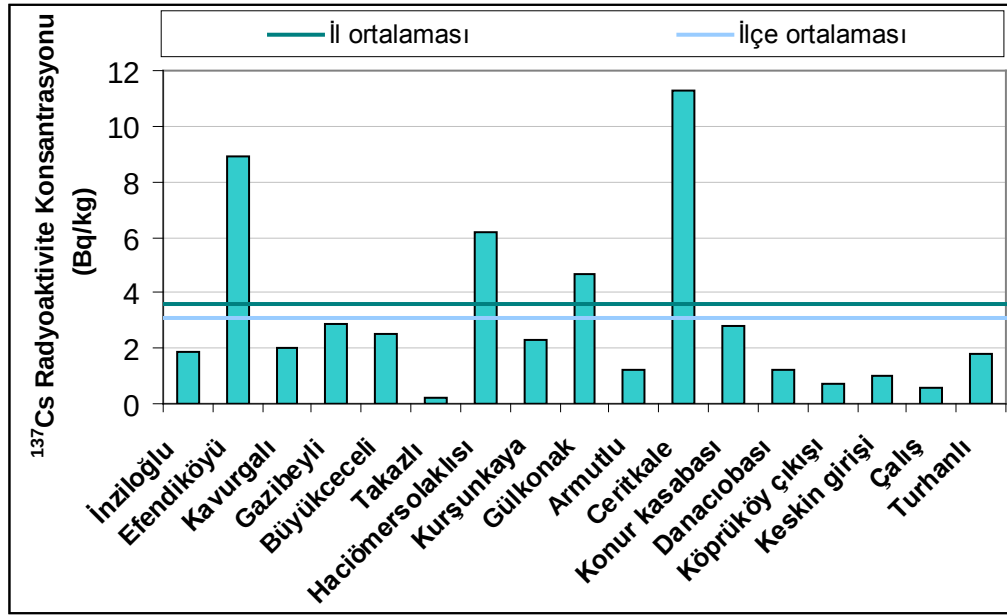


Şekil 4.48 : Keskin ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.49 : Keskin ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Tablo 4.31 ve Şekil 4.50 incelendiğinde; Ceritkale köyünden alınan toprak örneğin ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu 11,3 Bq/kg olarak ilçenin en yüksek değerini oluşturmaktadır. Bu değer il ve ilçe ortalamasının yaklaşık üç katıdır. En küçük değer ise ilinde en küçük değeri olan <0,2 Bq/kg olarak Takazlı köyüne aittir.



Şekil 4.50 : Keskin ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

4.4.5.7. Merkez İlçe Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

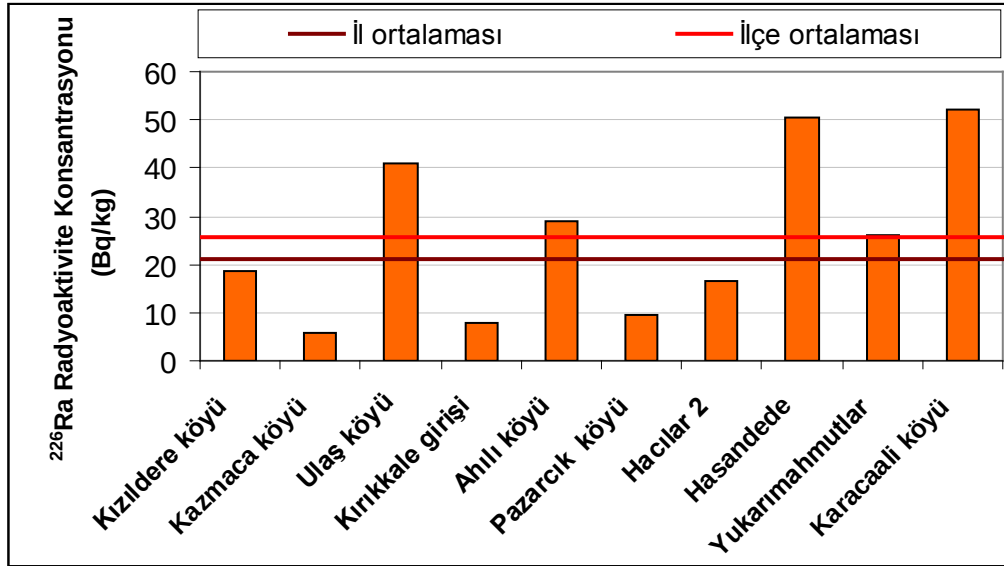
Merkez ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik radyoaktivite analizi sonucu elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.32’de il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.32: Merkez ilçe köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Kızıldere köyü	39,94467	33,56050	18.7±0.7	24.9±0.9	468.0±17.7	11.9±0.7
Kazmaca köyü	40,05438	33,58475	5.7±1.0	9.7±0.8	158,6±74,6	< 0.6
Ulaş köyü	39,87758	33,57680	41.1±1.5	114.0±3.8	1169,2±53,2	3.0±0.2
Kırkkale girişi	39,82752	33,48073	7.9±1.0	13.7±0.8	163,9±47,7	< 0.4
Ahılı	39,79108	33,54750	28.9±0.6	112.6±1.4	1270.4±33.1	1.3±0.5
Pazarcık köyü çıkışı	39,89668	33,61490	9.5±0.3	3.7±0.2	145.4±7.1	0.7±0.2
Hacılar 2	39,72108	33,42973	16.5±0.3	24.7±0.5	121.5±25.5	0.3±0.1
Hasandede	39,76147	33,50685	50.5±0.8	163.5±1.8	1500.5±38.7	< 0.8
Yukarımahmutlar köyü	39,87132	33,64093	26.0±0.6	43.4±0.9	822.2±28.7	3.1±0.4
Karacaali köyü	39,88775	33,53793	52.2±0.8	107.4±1.3	1192.2±31.2	6.3±0.6
İlçe ortalaması			25,7	61,8	701,2	2,8
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

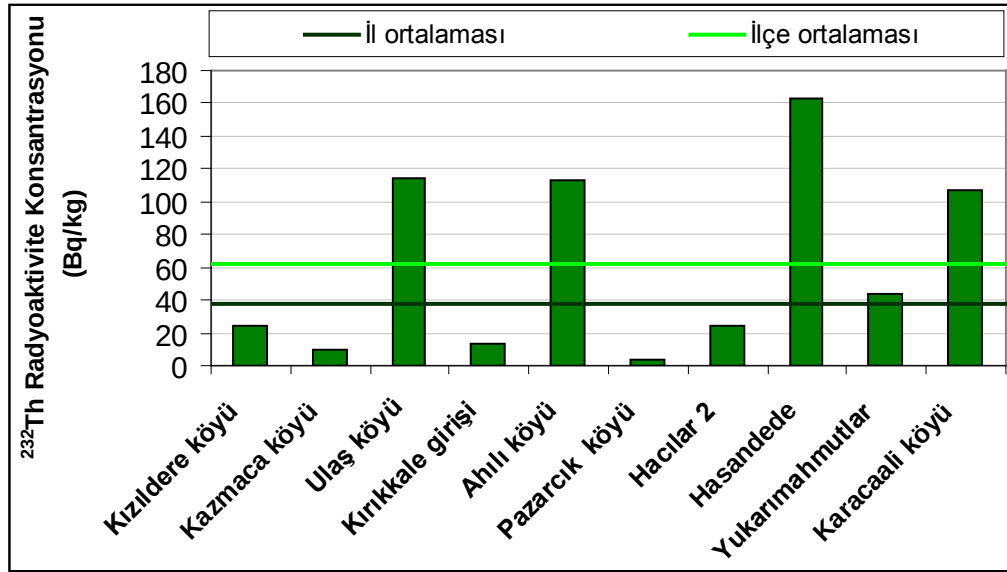
1. derece deprem bölgesinde bulunan Merkez ilçe köylerinden alınan örneklerin analiz sonucuna göre ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonların dağılımları sırasıyla Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’de verilmektedir.

Tablo 4.32 ve Şekil 4.51 incelendiğinde; Karacaali köyünden alınan toprak örneğin ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu (52,2 Bq/kg) ilçenin en yüksek değeri olup bu değer il genelinde elde edilen ikinci en yüksek değerdir. Aynı zamanda bu değer ilçe ortalamasının yaklaşık iki katıdır. En düşük değer ise Kazmaca köyünden alınan toprak örneğinden 5,7 Bq/kg olarak elde edilmiştir.



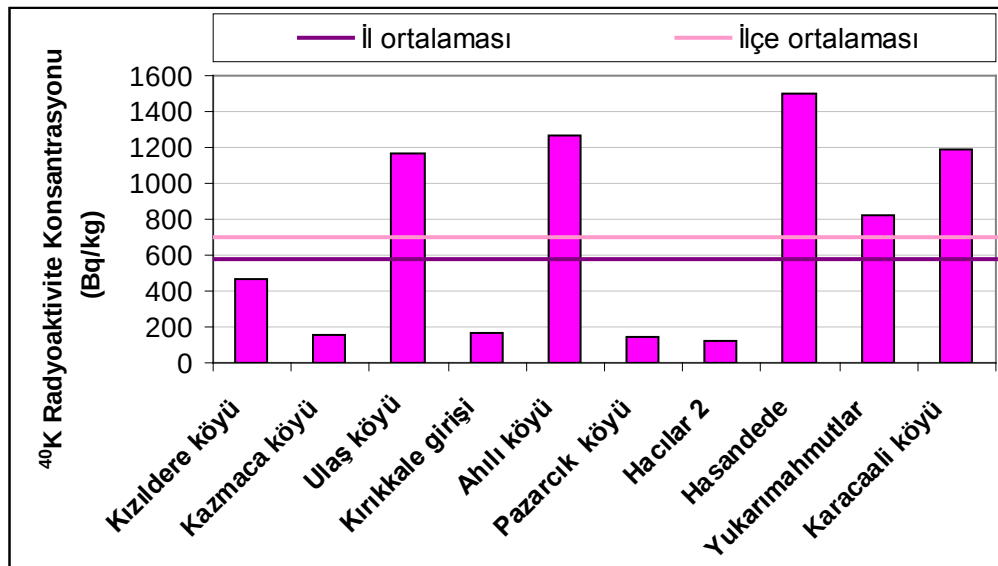
Şekil 4.51 : Merkez ilçe Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Tablo 4.32 ve Şekil 4.52 incelendiğinde; Hasandede kasabasından alınan toprak örneğin ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu (163,5 Bq/kg) ilçenin ve ilin en yüksek değeridir. Bu değer yaklaşık olarak il ortalamasının dört ve ilçe ortalamasının üç katıdır. Aynı zamanda Merkez ilçenin ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu diğer ilçe ortalamalarının da en yüksek değeridir. Pazarcık köyü çıkışından alınan toprak örnekten elde edilen 3,7 Bq/kg ise hem ilçenin hem de ilin en düşük değeridir.



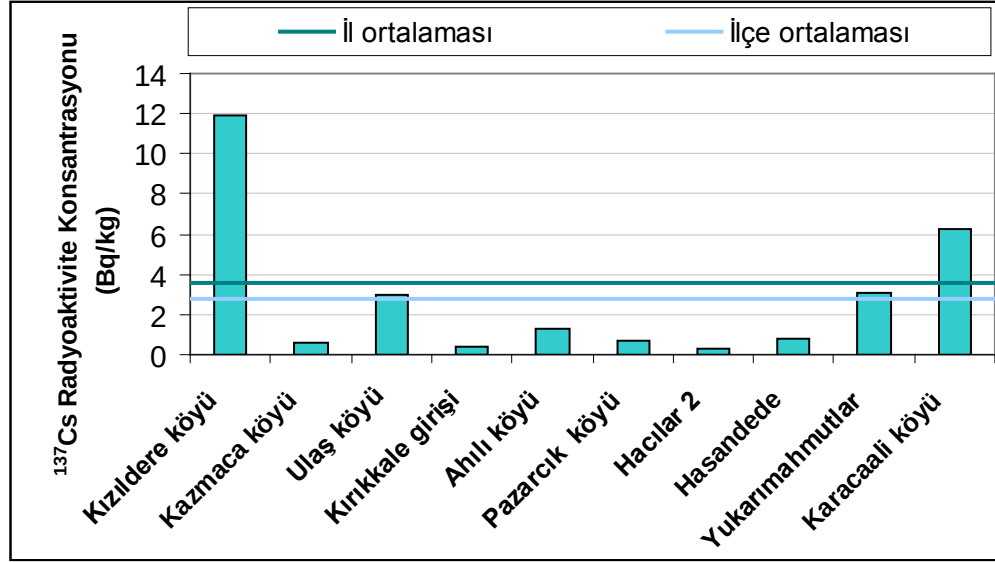
Şekil 4.52: Merkez ilçe Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Tablo 4.32 ve Şekil 4.53 incelendiğinde; Hasandede kasabasından alınan toprak örneğin ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonunda olduğu gibi ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu da (1500,5 Bq/kg) ilçenin ve ilin en yüksek değeridir. Bu değer yaklaşık olarak il ortalamasının dört ve ilçe ortalamasının üç katıdır. Aynı zamanda Merkez ilçenin ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu diğer ilçe ortalamalarının da en yüksek değeridir. Pazarcık köyü çıkışından alınan toprak örnekten elde edilen 3,7 Bq/kg ise hem ilçenin hem de ilin en düşük değeridir.



Şekil 4.53 : Merkez ilçe K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Tablo 4.32 ve Şekil 4.54 incelendiğinde; Kızıldere köyünden alınan toprak örneğin ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu değeri (11,9 Bq/kg) ilçenin ve ilin en yüksek değeridir. Bu değer yaklaşık olarak il ortalamasının dört ve ilçe ortalamasının üç katıdır. Hacılar2 kasabasından alınan toprak örnekten elde edilen 0,3 Bq/kg değeri ise ilçenin en düşük değeridir.



Şekil 4.54 : Merkez ilçe Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Merkez ilçe toprak örneklerinin analiz sonucuna göre; ilçenin ortalama ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonları il ortalamasından daha yüksek olmasına rağmen ilçenin ortalama ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu il ortalama değerinden daha düşüktür.

4.4.5.8. Sulakyurt İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

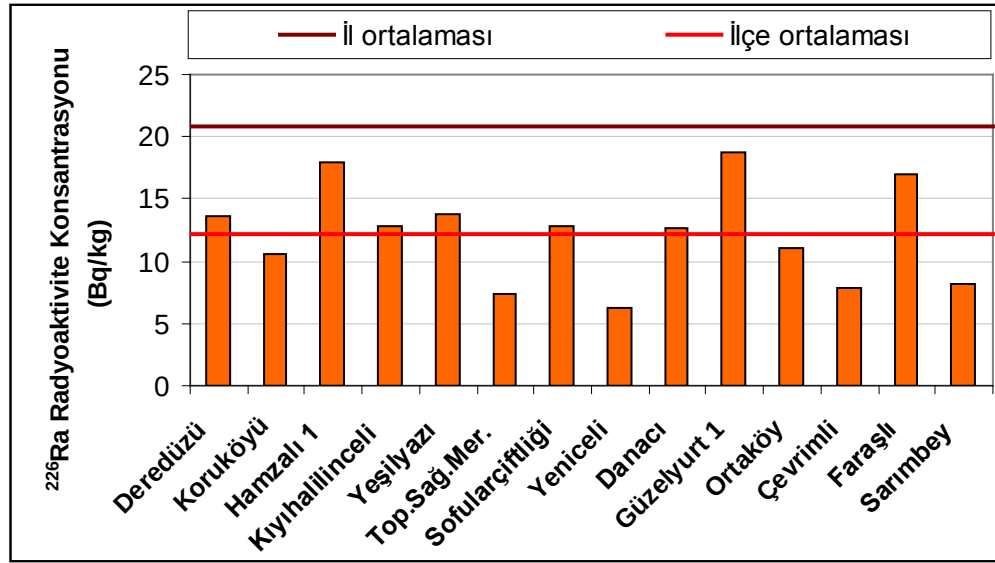
Sulakyurt ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik radyoaktivite analizi sonucu elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.33’de il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.33 : Sulakyurt ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Deredüzü	40,07192	33,64657	13.6±0.5	22.2±0.9	538,3±21,0	6.5±0.3
Koruköyü	40,22483	33,63135	10.5±0.9	10.8±0.8	108,5±70,2	1.3±0.4
Hamzalı 1	40,30893	33,67132	17.9±1.0	22.1±1.1	442,2±18,7	4.4±0.3
Kıyılhalilincei	40,31618	33,78302	12.8±0.5	20.1±0.9	356,3±16,7	1.0±0.2
Yeşilyazı	40,23930	33,74197	13.8±0.7	14.0±0.8	353,6±19,4	2.0±0.2
TSM	40,16660	33,70507	7.4±0.5	15.6±1.1	157,2±50,0	< 0.5
Sofularçiftliği	40,21313	33,79563	12.9±0.5	18.4±0.7	343.8±13.1	1.5±0.3
Yeniceli	40,17997	33,86633	6.2±0.3	10.1±0.4	263.5±9.2	5.5±0.3
Danacı	40,23817	33,94150	12.7±0.4	14.3±0.4	476.3±16.2	2.7±0.1
Güzelyurt 1	40,25200	33,84135	18.8±0.3	31.3±0.4	585.5±15.0	7.0±0.2
Ortaköy	40,12657	33,61680	11.0±0.5	20.8±0.8	323.9±12.6	3.4±0.4
Çevrimli	40,12210	33,75868	7.8±0.2	10.3±0.3	308.2±8.8	3.5±0.2
Faraşlı	40,13255	33,83798	17.0±0.7	27.8±0.9	501.7±17.8	7.7±0.5
Sarımbey köyü	40,27972	33,72973	8.1±0.2	19.2±0.4	203.8±6.3	3.2±0.2
İlçe ortalaması			12,2	18,4	354,5	3,9
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

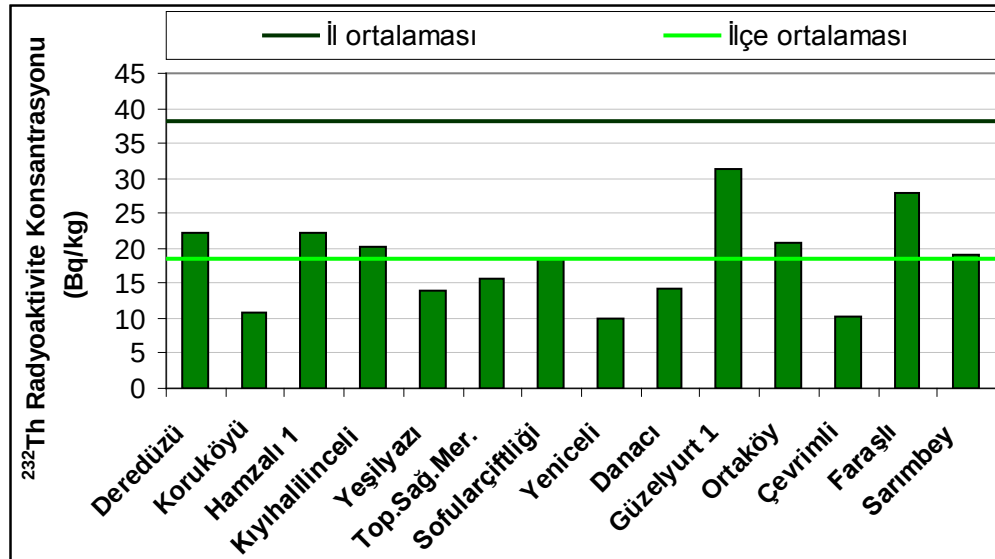
Sınırlarının çoğu 3. derece deprem bölgesinde bulunan Sulakyurt ilçesi köylerinden alınan örneklerin analiz sonucuna göre ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonların dağılımları sırasıyla Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil 4.58’de verilmektedir.

Tablo 4.33 ve Şekil 4.55 incelendiğinde; Güzelyurt1 kasabasıdan alınan toprak örneğin ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu (18,8 Bq/kg) ilçenin en yüksek değeridir. En düşük değer ise Yeniceli köyünden alınan toprak örneğinden 6,2 Bq/kg olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda Sulakyurt ilçesinden elde edilen ortalama ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu (12,2 Bq/kg) diğer ilçelerin ortalama değerlerinden daha düşüktür.



Şekil 4.55 : Sulakyurt ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

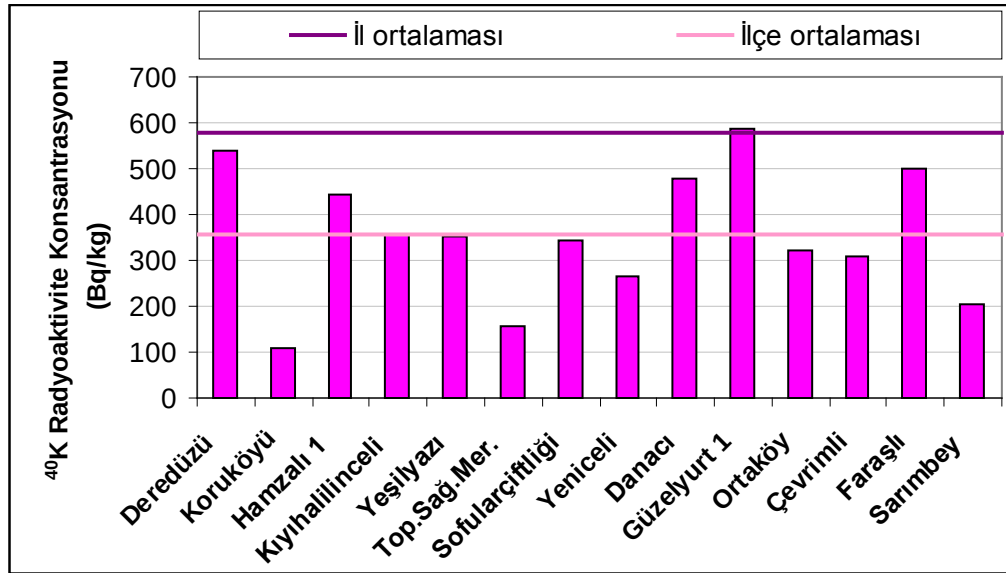
Tablo 4.33 ve Şekil 4.56 incelendiğinde; Güzelyurt1 kasabasından alınan toprak örneğin ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu (31,3 Bq/kg) ilçenin en yüksek değerine sahip iken Yeniceli Köyünde 10,1 Bq/kg ile ilçenin en düşük değerini oluşturmaktadır. Aynı zamanda Sulakyurt ilçesinin ortalama ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu diğer ilçe ortalamalarının da en düşük değeridir.



Şekil 4.56 : Sulakyurt ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

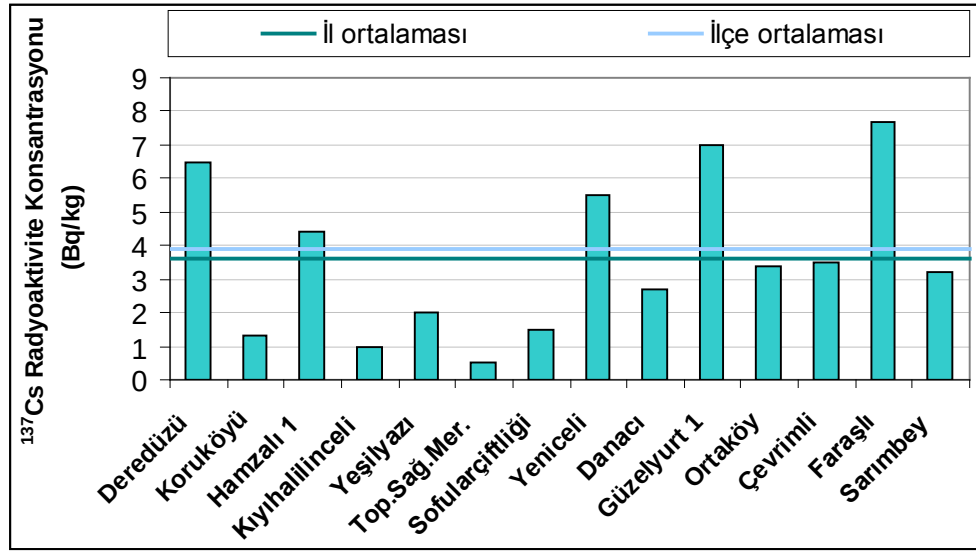
Tablo 4.33 ve Şekil 4.57 incelendiğinde; Güzelyurt1 kasabasından alınan toprak örneğin ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu (585,5 Bq/kg) ilçenin en yüksek değeridir. Koruköyü'nden alınan toprak örnekten elde edilen ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu 108,5 Bq/kg ile hem ilçenin hem de ilin en düşük değeridir. Aynı zamanda Sulakyurt ilçesinin ortalama ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu diğer ilçe ortalamalarının da en düşük değeridir.

Sulakyurt ilçesinden elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu değerlerinin il geneli ile kıyaslandığında düşük olması, bölgenin 3. derece deprem bölgesinde bulunmasıyla örtüşmektedir.



Şekil 4.57 : Sulakyurt ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Tablo 4.33 ve Şekil 4.58 incelendiğinde; Faraşlı köyünden alınan toprak örneğin ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu (7,7 Bq/kg) ilçenin en yüksek değeridir. Bu değer yaklaşık olarak il ve ilçe ortalamasının iki katıdır. Toplum Sağlığı Merkezi'nden alınan toprak örnekten elde edilen $<0,5$ Bq/kg ise ilçenin en düşük değeridir.



Şekil 4.58 : Sulakyurt ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

4.4.5.9. Yahşihan İlçesi Köylerinden Alınan Toprak Örneklerde Radyoaktivite Konsantrasyonu Dağılımı

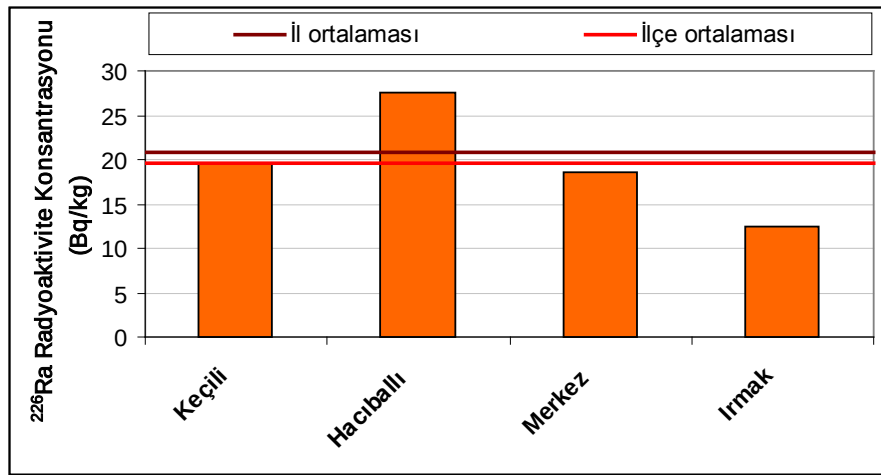
Yahşihan ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerinin gama spektrometrik radyoaktivite analizi sonucu elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoizotopların radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.34’de il ve ilçe ortalamaları ile birlikte verilmektedir.

Tablo 4.34 : Yahşihan ilçesi köylerinden alınan toprak örneklerde radyoaktivite konsantrasyonu değerleri

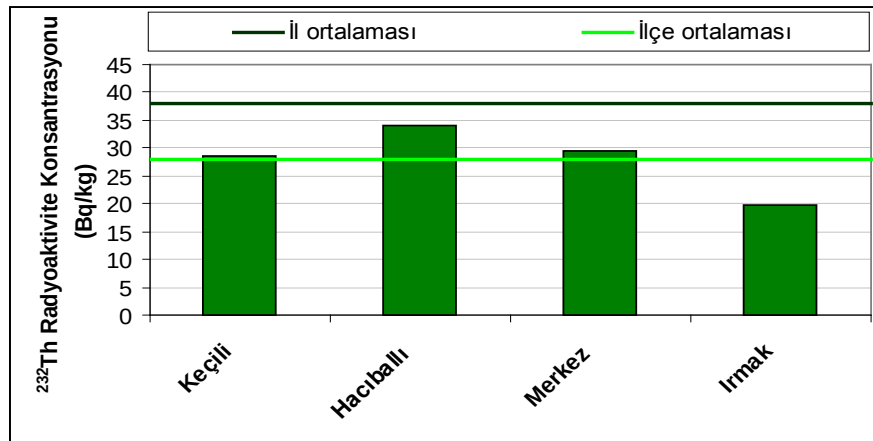
ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		AKTİVİTE (Bq/kg)			
	Kuzey	Doğu	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
Keçili	39,99240	33,53425	19.6±0.7	28.6±0.8	579.9±20.7	0.5±0.3
Hacıballı	39,92463	33,43580	27.6±0.6	34.2±0.7	607.8±18.4	1.9±0.2
Merkez	39,84730	33,45218	18.6±0.4	29.5±0.6	362.3±11.1	5.0±0.3
İrmak	39,93027	33,39675	12.5±0.4	19.8±0.5	324.3±10.3	1.0±0.2
İlçe ortalaması			19,5	28	468,6	2,1
İl ortalaması			20,9	38,1	577,3	3,6

Sınırlarının çoğu 2. derece deprem bölgesinde bulunan Yahşihan ilçesi köylerinden alınan örneklerin analiz sonucuna göre ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu dağılımları sırasıyla Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de verilmektedir.

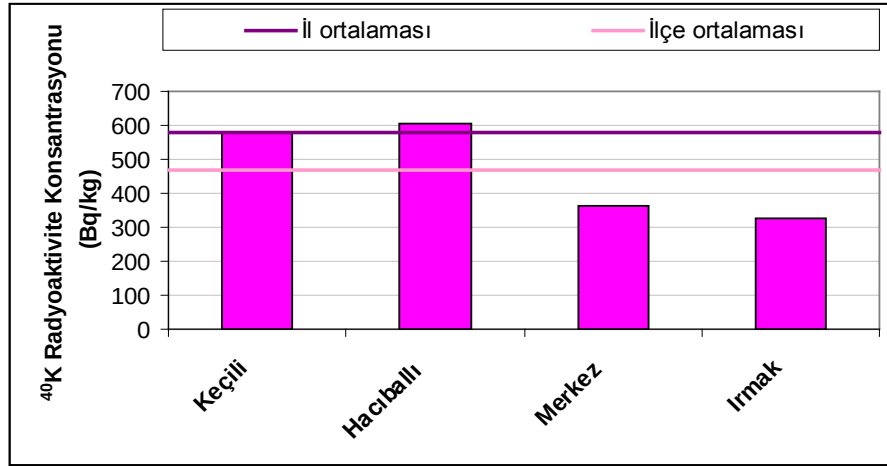
Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Tablo 4.34 incelendiğinde; Hacıballı köyünden alınan toprak örnekte hem ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu (27,6 Bq/kg), ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu (34,2 Bq/kg) hem de ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu (607,8 Bq/kg) ilçenin en yüksek değeridir. Aynı şekilde Irmak kasabasından alınan toprak örnekte hem ^{226}Ra radyoaktivite konsantrasyonu (12,5 Bq/kg), ^{232}Th radyoaktivite konsantrasyonu (19,8 Bq/kg) hem de ^{40}K radyoaktivite konsantrasyonu (324,3 Bq/kg) ilçenin en düşük değeridir.



Şekil 4.59 : Yahşihan ilçesi Ra-226 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

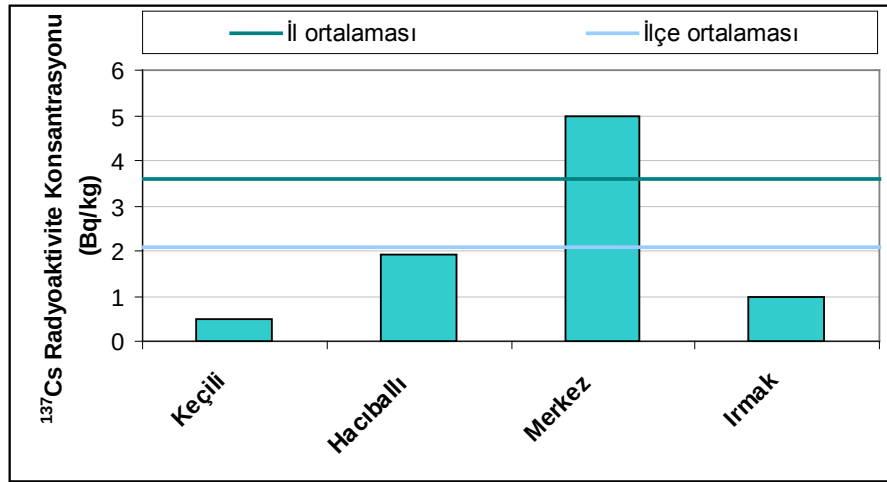


Şekil 4.60 : Yahşihan ilçesi Th-232 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 4.61 : Yahşihan ilçesi K-40 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

Tablo 4.34 ve Şekil 4.62 incelendiğinde; Yahşihan ilçesinin Merkezinden alınan toprak örnekten elde edilen ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu 5,0 Bq/kg olarak ilçenin en yüksek değeridir. Bu değer hem ilin hem de ilçenin ortalama ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonundan da büyüktür. En düşük ^{137}Cs radyoaktivite konsantrasyonu ise 0,5 Bq/kg olarak Keçili köyünden alınan toprak örnekten elde edilmiştir.



Şekil 4.62 : Yahşihan ilçesi Cs-137 radyoaktivite konsantrasyonlarının dağılımı

4.5. KIRIKKALE İLİ SU ÖRNEKLERİNDE BELİRLENEN TOPLAM ALFA VE TOPLAM BETA RADYOAKTİVİTE SEVİYELERİ

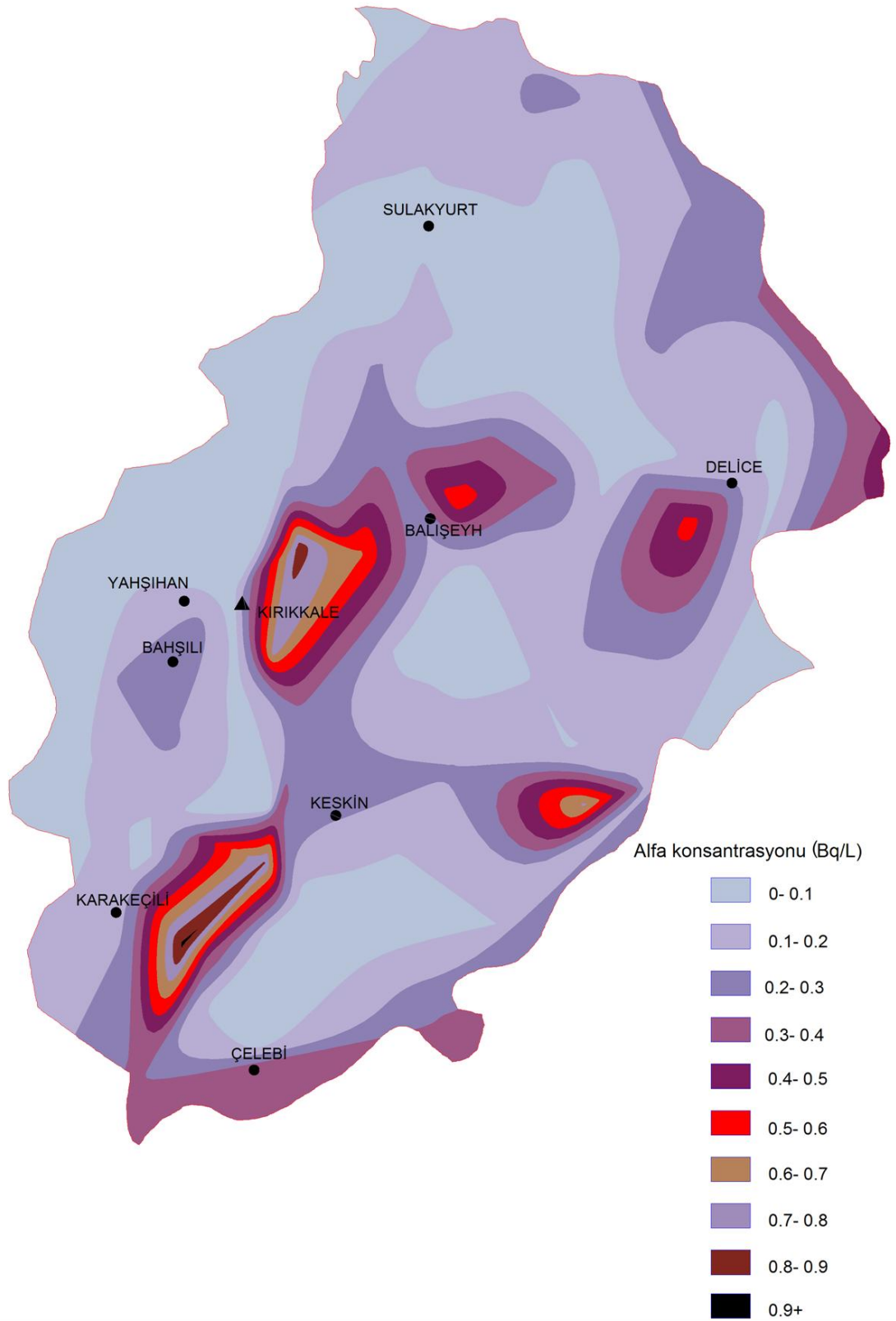
Bu çalışmada, Kırıkkale ilini temsil edecek şekilde koordinatları belirlenen ve yerleşim alanının içme suyu ihtiyacını karşılayan toplam 85 noktadan şebeke, kuyu ve kaynak suyu örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları Berthold marka LB770 model 10 kanallı düşük seviyeli gaz akışlı orantılı cihaz kullanılarak Bq/L olarak belirlenmiştir. Kırıkkale iline ait su örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonları EK-D’de verilmektedir.

4.5.1 Kırıkkale İli Sularında Belirlenen Toplam Alfa Radyoaktivite Seviyeleri

Su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonunun minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 4.35’de ve ilçelerin köylerinden alınan içme suyu örneklerinde toplam alfa radyoaktivite analizi sonucu elde edilen değerlerin ortalamalarından yararlanarak oluşturulan dağılım grafiğinin il ortalaması ile karşılaştırılması Şekil 4.63’de verilmektedir. Ayrıca Kırıkkale sularında belirlenen toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası da Harita 4.8’de verilmektedir.

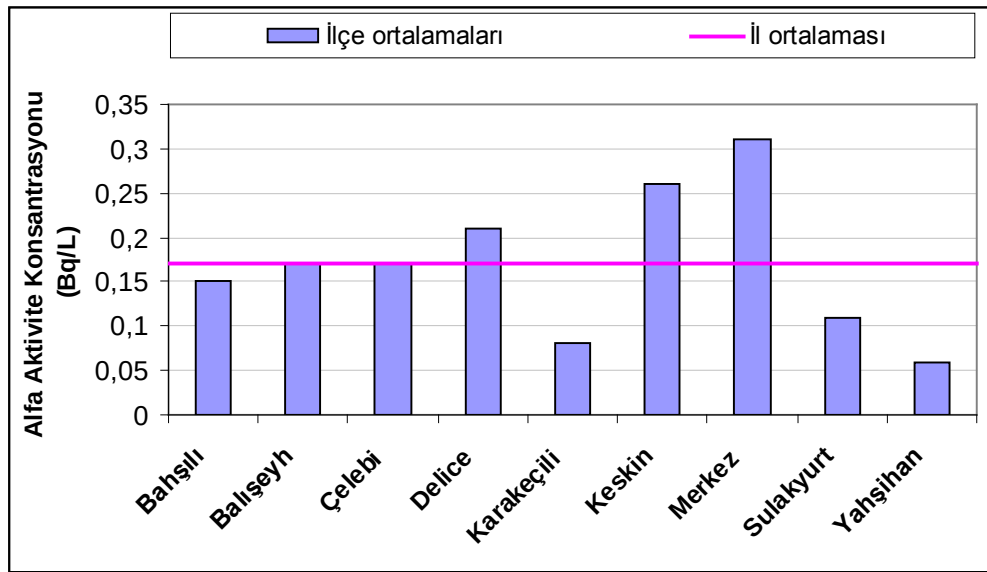
Tablo 4.35 : Kırıkkale ili su örneklerinde toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu

İlçe Adı	Minimum Alfa Konsantrasyonu (Bq/L)	Maksimum Alfa Konsantrasyonu (Bq/L)	Ortalama Alfa Konsantrasyonu (Bq/L)
Bahşılı	0,05	0,28	0,15
Balışeyh	0,02	0,57	0,17
Çelebi	0,04	0,44	0,17
Delice	0,05	0,55	0,21
Karakeçili	0,03	0,14	0,08
Keskin	0,01	0,92	0,26
Merkez	0,03	0,85	0,31
Sulakyurt	0,02	0,24	0,11
Yahşıhan	0,02	0,1	0,06
İl Geneli	0,01	0,92	0,17



Harita 4.8: Kırıkkale sularında belirlenen toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası

EK-D, Tablo 4.35, Harita 4.8 ve Şekil 4.63’de görüldüğü gibi elde edilen toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu analiz sonuçlarına göre; en yüksek değer Keskin ilçesi Köprüköy’den alınan su örneğinden 0,922 Bq/L olarak elde edilirken en düşük değer ise 0,012 Bq/L olarak Keskin ilçesi Gülkonak köyünden alınan su örneğinden elde edilmiştir. En yüksek ortalama değer ise 0,31 Bq/L olarak Merkez ilçesinden elde edilmiştir. İl ortalaması ise 0,17 Bq/L olup Merkez ilçe ortalaması il ortalamasının yaklaşık 2 katıdır. En düşük ortalama değer ise 0,06 Bq/L ile Yahşihan ilçesinden alınan örneklerden elde edilmiştir.



Şekil 4.63 : Kırıkkale su örneklerinde ilçelere göre toplam alfa aktivite konsantrasyonu dağılımı

Şekil 3.2’ye bakılacak olursa, en yüksek ortalama (0,31 Bq/L) toplam alfa aktivitesinin elde edildiği Merkez ilçe 1. derece deprem bölgesindedir. En düşük ortalama toplam alfa aktivitesinin elde edildiği Yahşihan ilçesi (0,06 Bq/L)’nin topraklarının çoğu 2. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu sonuçlar, içme sularında toplam alfa aktivitesinin minimum ve maksimum olduğu yerlerde bölgenin depremsellik özelliği ile örtüşmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO)’nın 2006 yılında yeniden düzenlediği toplam alfa radyoaktivitesi sınır değeri 0,5 Bq/L’dir. Kırıkkale ilinin ortalama toplam alfa aktivite değeri 0,17 Bq/L’dir. En yüksek ortalama toplam alfa aktivite değeri de 0,31 Bq/L olup Merkez ilçeye aittir. Hem Kırıkkale ilinin ortalama

toplam alfa aktivite değeri hem de en yüksek ortalama toplam alfa aktivite değeri WHO'nun belirlediği sınır değerinin altında bulunmaktadır.

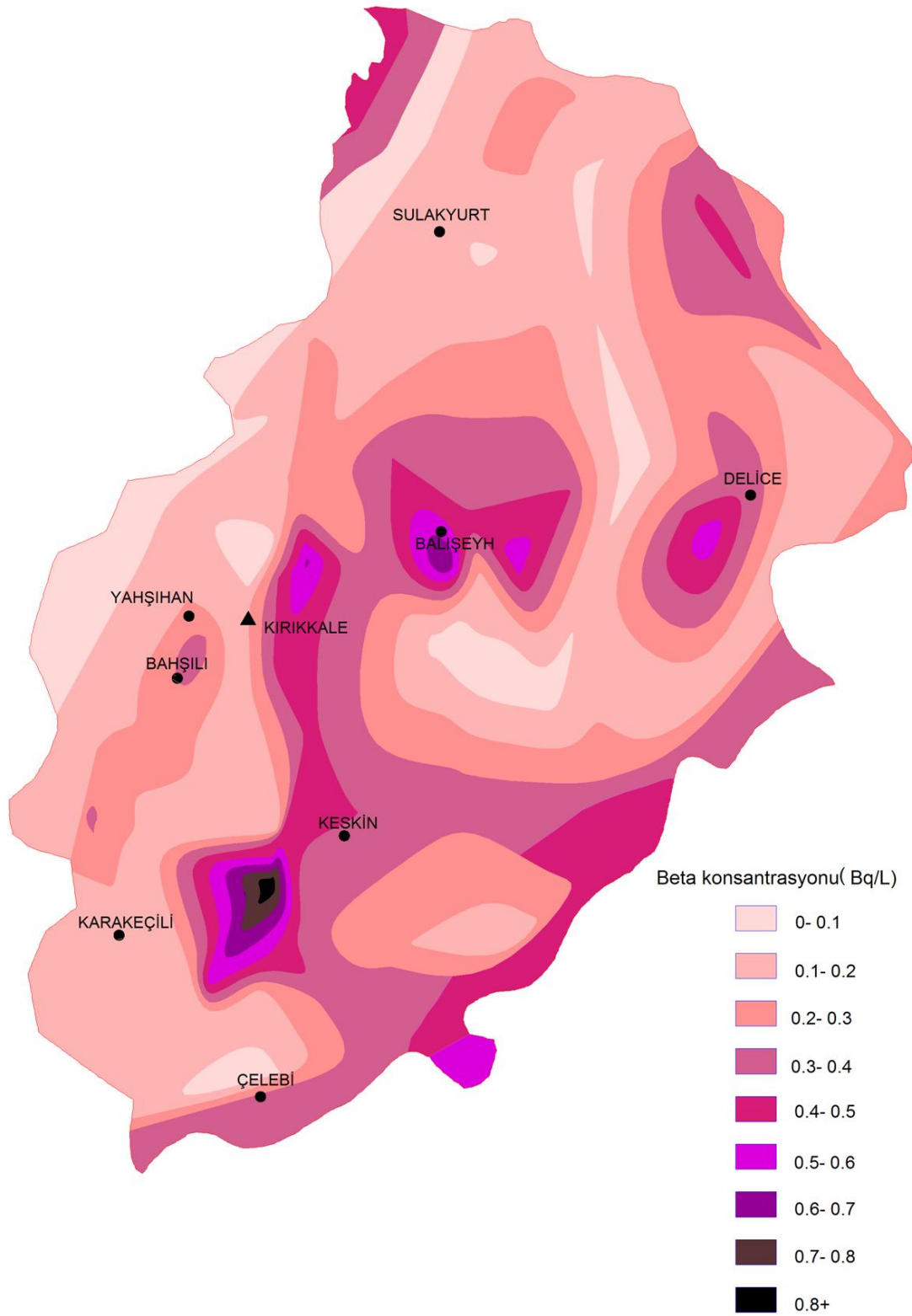
Elde edilen toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu analiz sonuçlarına göre; Kırıkkale ilinde toplam alfa radyoaktivite konsantrasyonu, WHO'nun belirlediği sınır değer olan 0,5 Bq/L değerinden yüksek olan köyler; Balışeyh ilçesi merkez 0,568 Bq/L, Delice ilçesi Çerikli 0,547 Bq/L, Keskin ilçesi Hacıömersolaklısı 0,718 Bq/L, Danacıobası köyü 0,809 Bq/L, Köprüköy 0,922 Bq/L, Merkez ilçe Ulaş köyü 0,852 Bq/L, Yukarımahmutlar köyü 0,618 Bq/L ve Ahılı köyü 0,738 Bq/L olarak tespit edilmiştir.

4.5.2 Kırıkkale İli Sularında Belirlenen Toplam Beta Radyoaktivite Seviyeleri

Su örneklerinin toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu değerleri Tablo 4.36'da verilmektedir. İlçe köylerinden alınan içme suyu örneklerinin toplam beta radyoaktivite analizi sonucu elde edilen değerlerin ortalamalarından yararlanarak oluşturulan dağılım grafiğinin il ortalaması ile karşılaştırılması da Şekil 4.64'de verilmektedir. Ayrıca Kırıkkale sularında belirlenen toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası da Harita 4.9'da verilmektedir.

Tablo 4.36 : Kırıkkale ili su örneklerinde toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu

İlçe Adı	Minimum Beta Konsantrasyonu (Bq/L)	Maksimum Beta Konsantrasyonu (Bq/L)	Ortalama Beta Konsantrasyonu (Bq/L)
Bahşılı	0,16	0,36	0,25
Balıseyh	0,07	0,71	0,31
Çelebi	0,06	0,59	0,19
Delice	0,05	0,57	0,25
Karakeçili	0,11	0,17	0,14
Keskin	0,07	0,87	0,35
Merkez	0,04	0,61	0,25
Sulakyurt	0,06	0,46	0,18
Yahşihan	0,04	0,20	0,11
İl Geneli	0,04	0,87	0,23

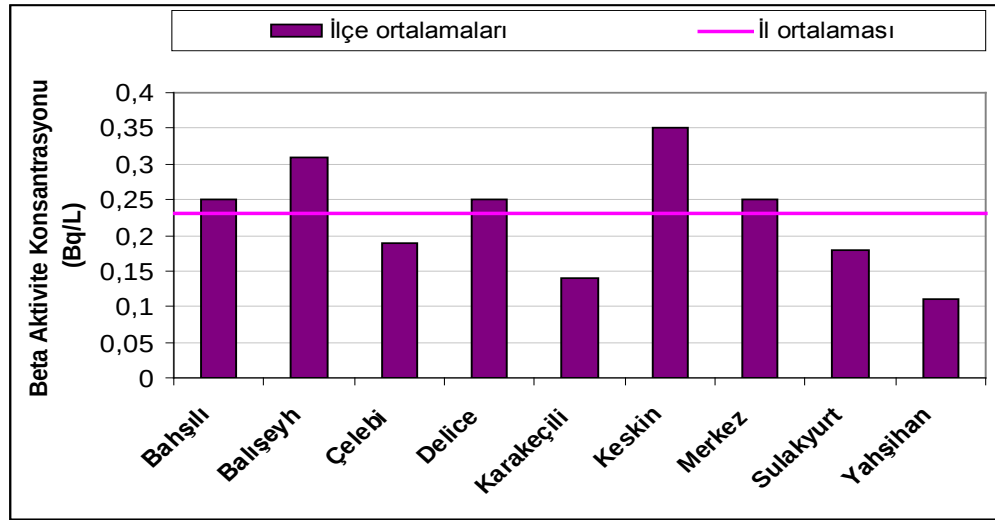


Harita 4.9: Kırıkkale sularında belirlenen toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu dağılım haritası

EK-D, Tablo 4.36, Harita 4.9 ve Şekil 4.64’den de görüldüğü gibi; elde edilen toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu analiz sonuçlarına göre; en yüksek değer 0,874 Bq/L olarak Keskin ilçesi Danacıobası köyü kaynak suyundan elde edilmiştir. En düşük değer ise 0,037 Bq/L olarak Merkez ilçe Karacaali köyünden alınan su örneğinden elde edilmiştir.

En yüksek ortalama değer ise 0,35 Bq/L olarak Keskin ilçesinden elde edilmiştir. İl ortalaması ise 0,23 Bq/L olup Keskin ilçe ortalaması il ortalamasından daha büyüktür. En düşük ortalama değer ise 0,11 Bq/L olarak yine Yahşihan ilçesinden alınan örneklerden elde edilmiştir. Bu değer il ortalamasının yaklaşık yarısıdır.

Şekil 3.2’ye bakılacak olursa, en yüksek ortalama toplam beta aktivite değeri (0,35 Bq/L), 1. derece deprem bölgesinde bulunan Keskin ilçesinden elde edilirken en düşük ortalama toplam beta aktivitesinin elde edildiği Yahşihan ilçesi (0,11 Bq/L)’nin topraklarının çoğu 2. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu sonuçlar, içme sularında toplam beta aktivitesinin en yüksek ve en düşük olduğu yerlerde bölgenin depremsellik özelliği ile örtüşmektedir.



Şekil 4.64 : Kırıkkale su örneklerinde ilçelere göre toplam beta aktivite konsantrasyonu dağılımı

Toplam beta radyoaktivite konsantrasyonunun Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO) ’nün belirlediği sınır değeri 1,0 Bq/L’dir.

Elde edilen toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu analiz sonuçlarına göre; Kırıkkale ilinde toplam beta radyoaktivite konsantrasyonu için WHO'nun belirlediği sınır değer olan 1 Bq/L değerinden yüksek olan içme suyu örneği tespit edilememiştir.

4.5.3. Kırıkkale İli Sularında Belirlenen Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Seviyelerinin İlçelere Göre Karşılaştırılması

4.5.3.1. Bahşılı İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

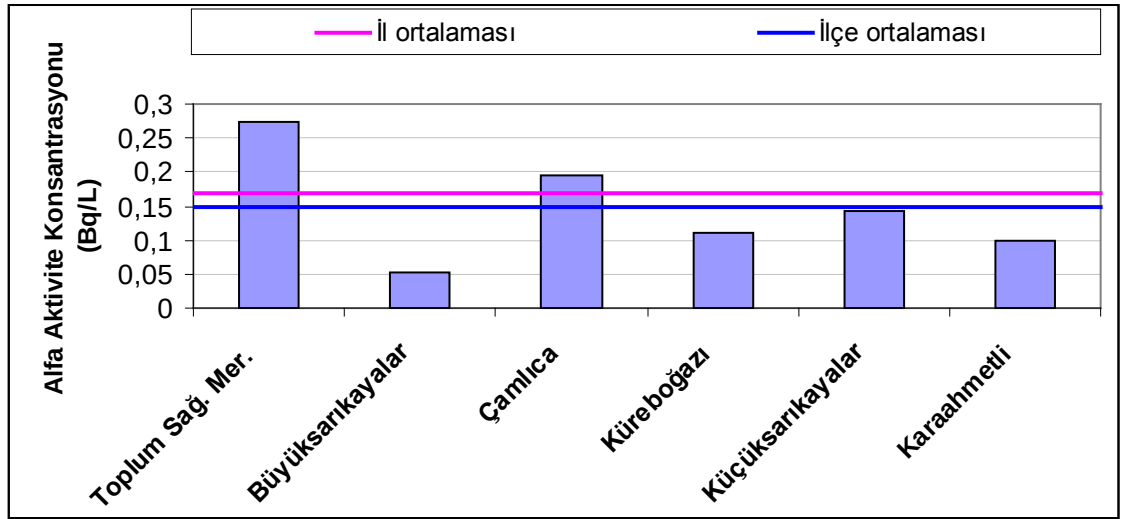
Bu çalışmada, Bahşılı ilçesi merkezinden ve ilçeye bağlı 5 köyden alınan içme suyu örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktivite değerleri Tablo 4.37'de verilmiştir. Bahşılı ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin hem toplam alfa hem de toplam beta analiz sonuçları da il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'da verilmektedir.

Tablo 4.37 : Bahşılı ilçesi köylerinden alınan su örneklerinde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
Bahşılı-TSM	39,80693	33,45917	0,275±0,016	0,361±0,045
Büyüksarıkayalar	39,66793	33,33118	0,051±0,025	0,242±0,036
Çamlıca	39,77125	33,37363	0,196±0,017	0,159±0,024
Küreboğazı	39,72213	33,36818	0,112±0,013	0,232±0,036
Küçüksarıkayalar	39,67310	33,34752	0,142±0,015	0,327±0,041
Karaahmetli	39,65710	33,41652	0,100±0,016	0,163±0,022
İlçe ortalaması			0,15	0,25
İl ortalaması			0,17	0,23

Tablo 4.37 ve Şekil 4.65 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,051 Bq/L olarak Büyüksarıkayalar köyünden elde edilmiştir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,275 Bq/L ile Toplum Sağlığı Merkezi'nden alınan örnekte belirlenmiştir.

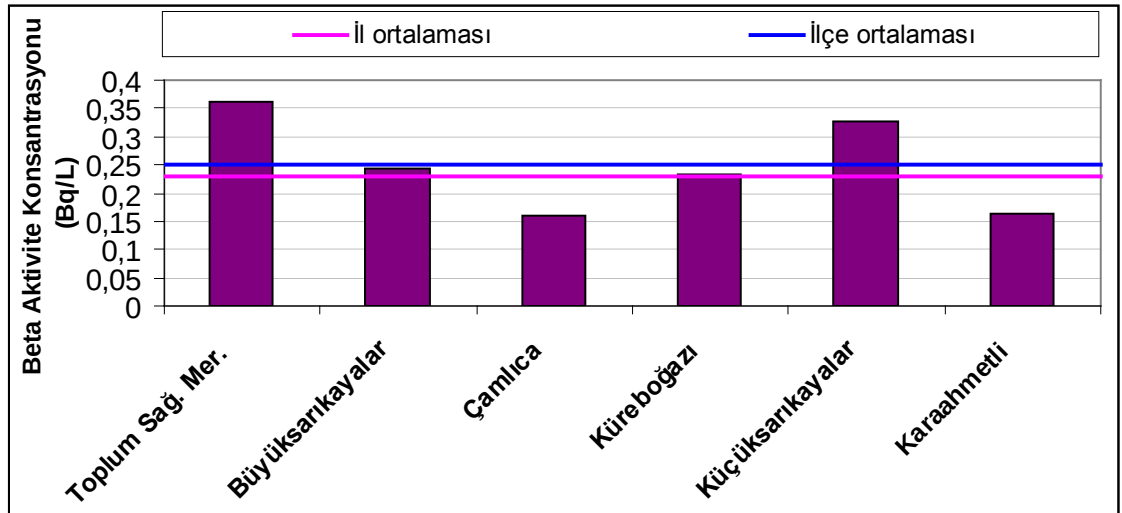
Bahşılı ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,15 Bq/L'dir. Bu değer Kırıkkale ili ortalaması olan 0,17 Bq/L'den daha düşüktür. Yine Bahşılı ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi olan 0,15 Bq/L değeri, WHO'nun belirlediği sınır değer olan 0,5 Bq/L'den çok daha düşüktür.



Şekil 4.65 : Bahşılı ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı

Benzer şekilde Tablo 4.37 ve Şekil 4.66 incelendiğinde; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü yerin yine Toplum Sağlığı Merkezinden (0,361 Bq/L) alınan örnekte olduğu Tablo 4.37’den görülmektedir. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değer ise 0,159 Bq/L olup Çamlıca köyünden elde edilmiştir.

Bahşılı ilçesinin ortalama toplam beta aktivitesi 0,25 Bq/L’dir. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,23 Bq/L’den yüksek olmasına rağmen WHO’nün belirlediği sınır değer olan 1,0 Bq/L’den ise çok daha düşüktür.



Şekil 4.66 : Bahşılı ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.5.3.2. Balışeyh İlçesi Köylerinden Alınan Su  rneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

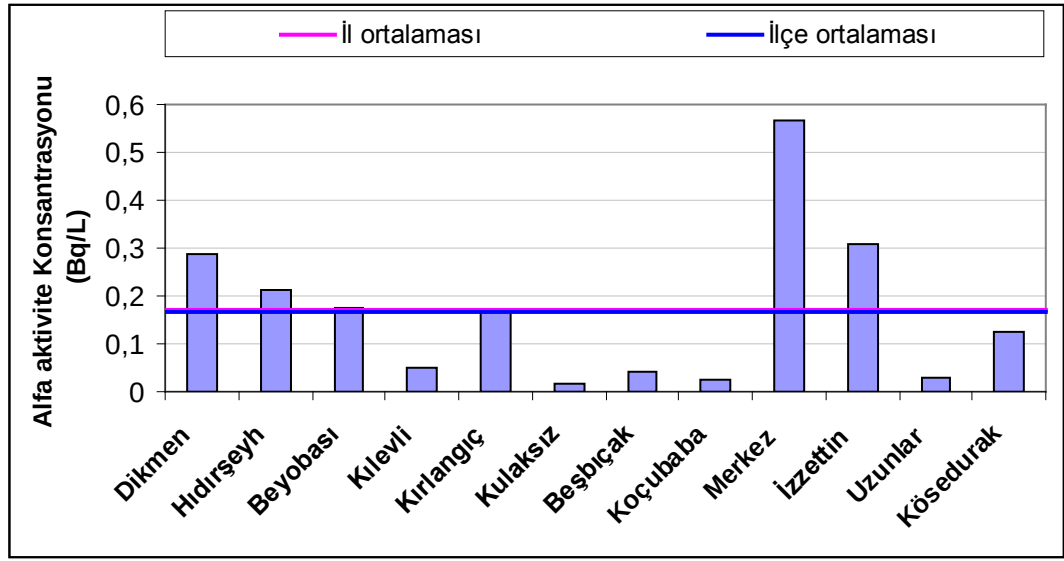
Balışeyh ilçesi sınırları içerisinde bulunan, merkezi ile birlikte ilçeye bağlı 11 köyü olmak üzere toplam 12 noktadan alınan içme suyu örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Tablo 4.38’de verilmiştir. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta için Balışeyh ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin analiz sonuçları il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla  ekil 4.67 ve  ekil 4.68’de verilmektedir.

Tablo 4.38 : Balışeyh ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
Dikmen	39,95968	33,66585	0,287±0,031	0,400±0,027
Hıdır�eyh	40,02263	33,65963	0,213±0,033	0,192±0,028
Beyobası	39,87480	33,72085	0,176±0,008	0,707±0,048
Kılevli	39,85488	33,75772	0,051±0,010	0,126±0,017
Kırlan�ı�	39,87823	33,79335	0,166±0,016	0,561±0,041
Kulaksız	40,00260	33,72368	0,018±0,003	0,284±0,031
Be�bı�ak	40,01993	33,81955	0,040±0,004	0,261±0,041
Koçubaba	40,06992	33,87897	0,025±0,003	0,100±0,040
Merkez	39,91535	33,74458	0,568±0,028	0,401±0,052
�zzettin	39,93058	33,84982	0,310±0,047	0,408±0,047
Uzunlar	39,81208	33,71280	0,031±0,018	0,069±0,026
Kösedurak	40,06030	33,71902	0,127±0,028	0,183±0,036
İ�e ortalaması			0,17	0,31
İl ortalaması			0,17	0,23

Tablo 4.38 ve  ekil 4.67 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,018 Bq/L olarak Kulaksız köyünden elde edilmiştir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,568 Bq/L ile Balışeyh İlçesi’nin merkezinden alınan örnekte tespit edilmiştir.

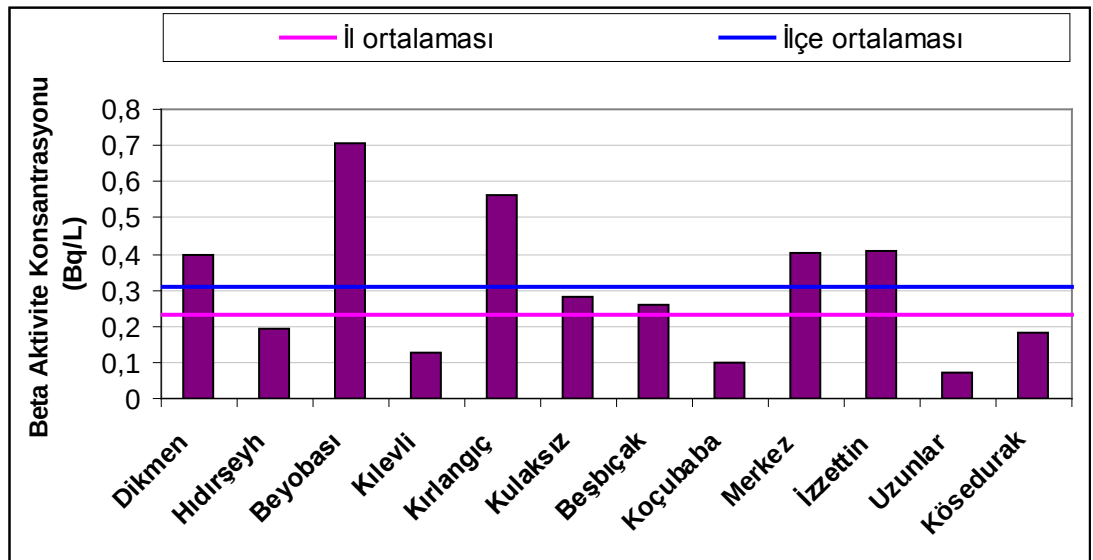
Balışeyh ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,17 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,17 Bq/L ile e de erde olup WHO’n n belirlediği sınır değer olan 0,5 Bq/L’den çok düşüktür. Ancak ilçenin merkezinden alınan içme suyu örneğinin toplam alfa değeri (0,568 Bq/L), WHO’nun belirlediği değerin üzerinde elde edilmiştir.



şekil 4.67 : Balışeyh ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı

Benzer şekilde Tablo 4.38 ve şekil 4.68 incelendiğinde; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü değerin Kırılancık köyünden alınan örnekte (0,561 Bq/L) olduğu görülmektedir. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değeri ise 0,069 Bq/L olup Uzunlar köyünden elde edilmiştir.

Balışeyh ilçesinin ortalama toplam beta aktivitesi 0,31 Bq/L'dir. Bu değeri Kırıkkale il ortalaması olan 0,23 Bq/L'den yüksek olmasına rağmen WHO'nün belirlediği sınır değeri olan 1,0 Bq/L'den ise çok daha düşüktür.



şekil 4.68 : Balışeyh ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.5.3.3. Çelebi İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

Çelebi ilçesi sınırları içerisinde bulunan, merkezi ile birlikte ilçeye bağlı 5 köyü olmak üzere toplam 6 noktadan alınan içme suyu örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Tablo 4.39’da verilmiştir. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta için Çelebi ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin analiz sonuçları il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla Şekil 4.69 ve Şekil 4.70’de verilmektedir.

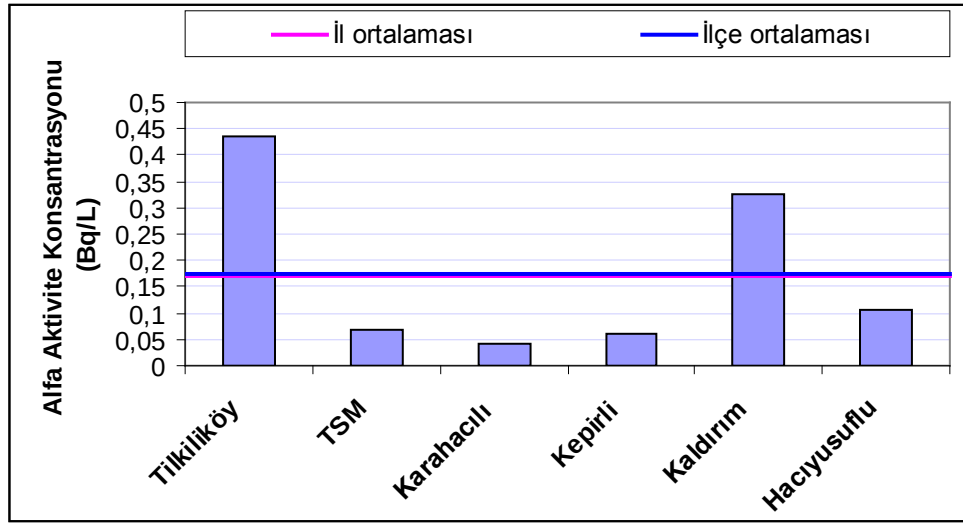
Tablo 4.39 : Çelebi ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
Tilkiliköy	39,54442	33,47360	0,435±0,025	0,590±0,051
TSM	39,46558	33,52875	0,069±0,024	0,061±0,021
Karahacılı	39,66188	33,54092	0,041±0,016	0,122±0,019
Kepirli	39,53017	33,52102	0,060±0,016	0,160±0,022
Kaldırım	39,43310	33,39513	0,326±0,022	0,105±0,023
Hacıyusuflu	39,49675	33,46497	0,107±0,021	0,123±0,027
İlçe ortalaması			0,17	0,19
İl ortalaması			0,17	0,23

Tablo 4.39 ve Şekil 4.69 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,041 Bq/L olarak Karahacılı köyünden elde edilmiştir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,435 Bq/L ile Çelebi ilçesinin Tilkiliköyden alınan örnekten elde edilmiştir.

Tablo 4.39 ve Şekil 4.69 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,041 Bq/L olarak Karahacılı köyünden elde edilmiştir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,435 Bq/L ile Çelebi ilçesinin Tilkiliköyden alınan örnekten elde edilmiştir.

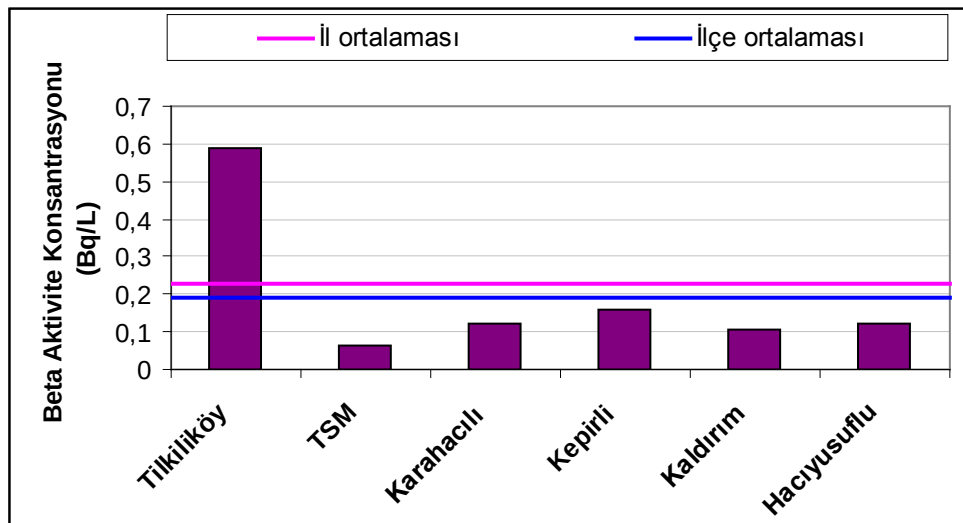
Çelebi ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,17 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,17 Bq/L ile eşdeğerde olup WHO’nun belirlediği sınır değer olan 0,5 Bq/L’den çok düşüktür. Ancak ilçe merkezinden alınan içme suyu örneğinin toplam alfa değeri (0,435 Bq/L), WHO’nun belirlediği değer altında olmasına rağmen üzerinde araştırılma yapılmayı gerektirecek bir değerdir.



Şekil 4.69 : Çelebi ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı

Benzer şekilde Tablo 4.39 ve Şekil 4.70 incelendiğinde; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü değerin yine Tilkiliköy’den alınan örnekte (0,590 Bq/L) olduğu Tablo 4.39’dan açıkça görülmektedir. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değer ise 0,061 Bq/L ile ilçenin merkezi (TSM)’nde tespit edilmiştir.

Çelebi ilçesinin ortalama toplam beta aktivitesi 0,19 Bq/L’dir. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,23 Bq/L’den ve WHO’nün belirlediği sınır değeri olan 1,0 Bq/L’den çok daha düşüktür.



Şekil 4.70 : Çelebi ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.5.3.4. Delice İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

Delice ilçe sınırları içerisinde bulunan, merkezi ile birlikte ilçeye bağlı 11 köyü olmak üzere toplam 12 noktadan alınan içme suyu örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Tablo 4.40’da verilmiştir. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta için Delice ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin analiz sonuçları il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla Şekil 4.71 ve Şekil 4.72’de verilmektedir.

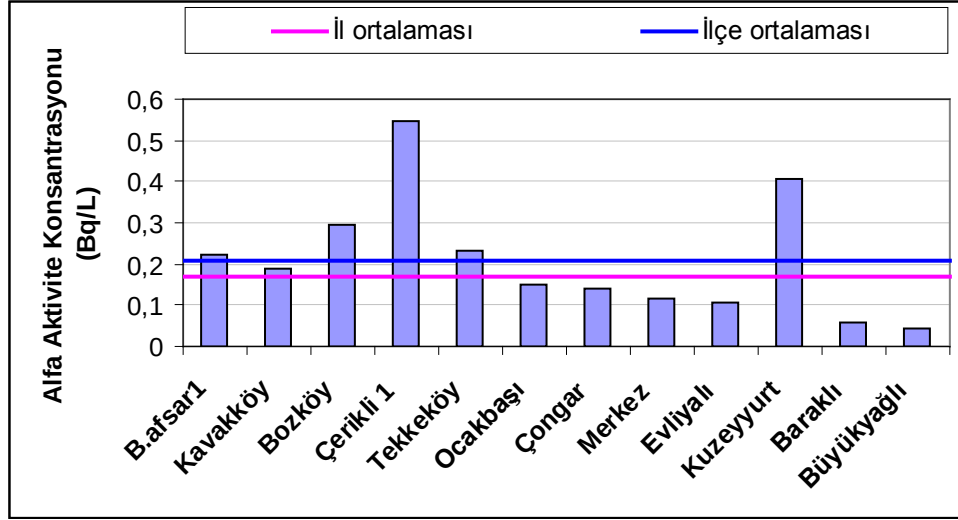
Tablo 4.40 : Delice ilçesi köylerinden alınan su örneklerde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
B.afsar1-Yeni mah.	40,05313	33,95208	0,223±0,040	0,257±0,040
Kavakköy	40,16443	33,99022	0,187±0,038	0,418±0,044
Bozköy	40,10327	34,03625	0,296±0,017	0,407±0,061
Çerikli 1-sakarya m.	39,89427	33,99442	0,547±0,027	0,569±0,064
Tekkeköy	39,81238	33,88960	0,231±0,018	0,178±0,037
Ocakbaşı	39,75018	33,99522	0,148±0,014	0,160±0,032
Çongar	39,86455	33,87077	0,138±0,014	0,111±0,029
Merkez	39,93997	34,03225	0,116±0,036	0,374±0,046
Evliyali	40,03877	34,08310	0,108±0,064	0,147±0,052
Kuzeyyurt	39,97093	34,20038	0,406±0,024	0,208±0,028
Baraklı	39,94025	34,10018	0,059±0,028	0,111±0,040
Büyükyazlı	39,95533	33,91935	0,045±0,013	0,047±0,029
İlçe ortalaması			0,21	0,25
İl ortalaması			0,17	0,23

Tablo 4.40 ve Şekil 4.71 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,045 Bq/L olarak Büyükyazlı köyünden elde edilmiştir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,547 Bq/L ile Çerikli1 Kasabası Sakarya Mahallesi’nden alınan örnekte rastlanmıştır. Delice ilçesinde en yüksek toplam alfa aktivite değeri olarak ikinci sırayı 0,406 Bq/L ile Kuzeyyurt köyünden alınan örnek almıştır.

Delice ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,21 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,17 Bq/L’den büyük olmasına karşın WHO’nün belirlediği sınır değeri olan 0,5 Bq/L’den çok daha düşüktür. Ancak ilçenin Çerikli1 kasabası Sakarya mahallesinden alınan örnekte 0,547 Bq/L olarak elde edilen değer

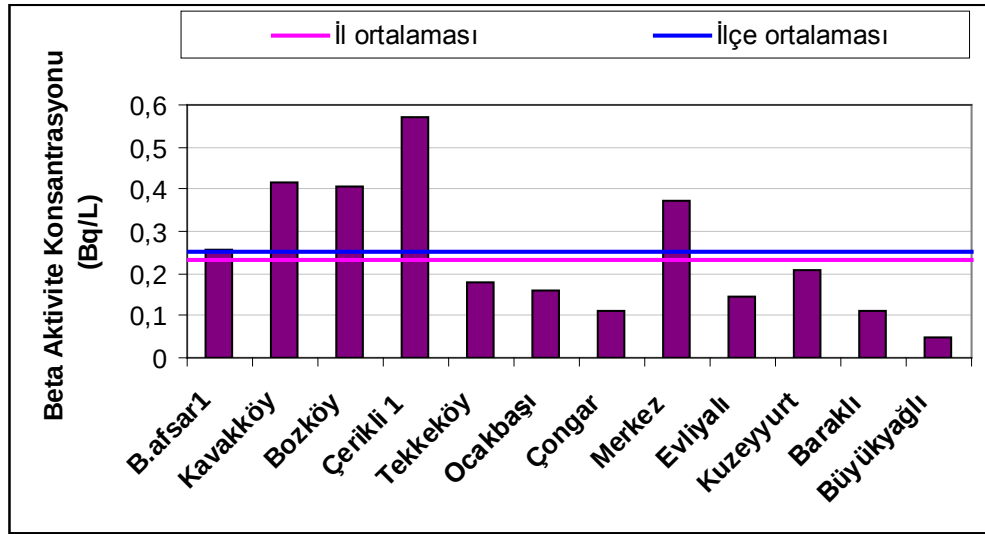
WHO'nun belirlediği değerin üzerinde elde edilmiştir. Hatta Delice ilçesinin Kuzeyyurt köyünden alınan örnekten 0,406 Bq/L olarak elde edilen toplam alfa aktivite değeri, WHO'nun belirlediği değerin altında olmasına rağmen üzerinde daha ayrıntılı araştırılma yapılması uygundur.



Şekil 4.71 : Delice ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı

Benzer şekilde Tablo 4.40 ve Şekil 4.72 incelendiğinde; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü değerin yine Çerikli1 kasabası Sakarya mahallesinden alınan örnekten 0,590 Bq/L olarak elde edildiği Tablo 4.40'dan görülmektedir. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değer ise 0,047 Bq/L ile Büyükyaglı köyünden alınan örnekten elde edilmiştir.

Delice ilçesinin ortalama toplam beta aktivitesi 0,25 Bq/L'dir. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,23 Bq/L'den büyük olmasına rağmen WHO'nün belirlediği sınır değer olan 1,0 Bq/L'den çok daha düşüktür.



Şekil 4.72 : Delice ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.5.3.5. Karakeçili İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

Karakeçili ilçesi sınırları içerisinde bulunan toplam 4 ölçüm yerinden alınan içme suyu örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Tablo 4.41’de verilmiştir. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta için Karakeçili ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin analiz sonuçları il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla Şekil 4.73 ve Şekil 4.74’de verilmektedir.

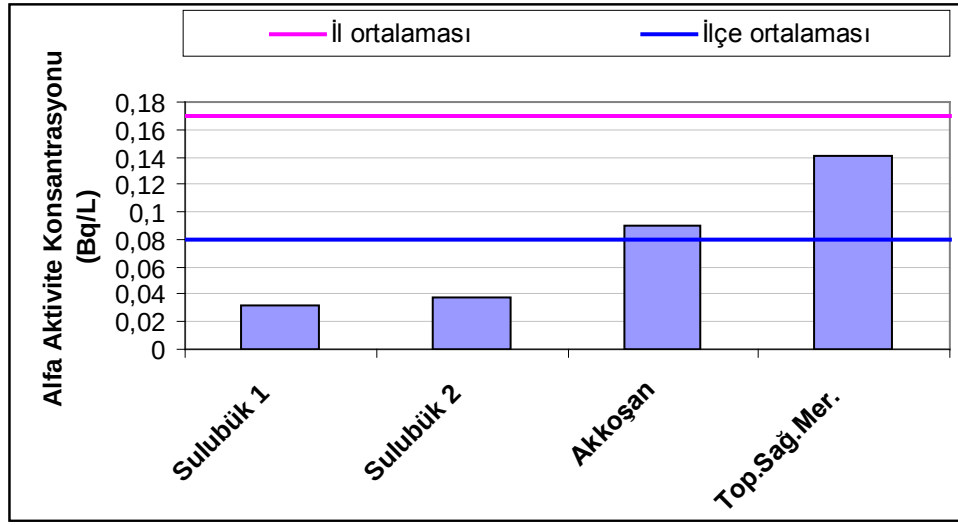
Tablo 4.41 : Karakeçili ilçesi köylerinden alınan su örneklerde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
Sulubük 1-kuyu	39,62488	33,40605	0,032±0,015	0,137±0,022
Sulubük 2-kaynak	39,62488	33,40605	0,038±0,015	0,109±0,020
Akkoşan	39,64272	33,39857	0,090±0,012	0,129±0,025
TSM	39,59585	33,38155	0,141±0,014	0,173±0,025
İlçe ortalaması			0,08	0,14
İl ortalaması			0,17	0,23

Tablo 4.41 ve Şekil 4.73 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,032 Bq/L olarak Sulubük köyünden alınan 1 nolu örneğe aittir. En yüksek

toplam alfa aktivitesi ise 0,141 Bq/L ile ilçe merkezi (TSM)’nden alınan örnekte rastlanmıştır.

Karakeçili ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,08 Bq/L olarak belirlenmiştir. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,17 Bq/L’nin yaklaşık yarısı kadar olup WHO’nün belirlediği sınır değer olan 0,5 Bq/L’den de çok daha düşüktür.

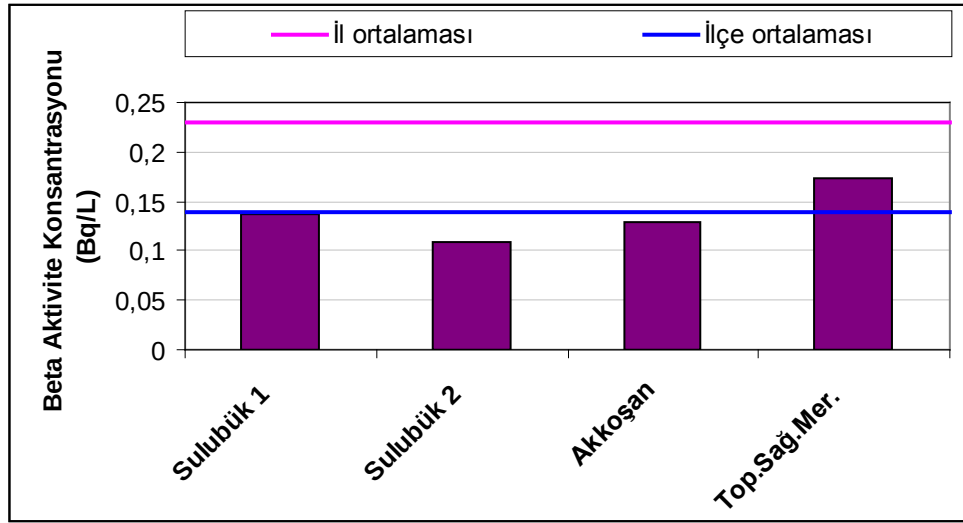


Şekil 4.73 : Karakeçili ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı

Benzer şekilde Tablo 4.41 ve Şekil 4.74 incelendiğinde; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü değer yine ilçe merkezi (TSM)’nden alınan örnekten (0,173 Bq/L) elde edildiği Tablo 4.41’den görülmektedir. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değer ise 0,109 Bq/L olup ilçenin Sulubük köyünden alınan 2 nolu örneğe ait olduğu görülmektedir.

Karakeçili ilçesinin ortalama toplam beta aktivitesi 0,14 Bq/L’dir. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,23 Bq/L’den ve WHO’nün belirlediği sınır değer olan 1,0 Bq/L’den çok daha düşüktür.

Karakeçili ilçesinden alınan içme suyu örneklerinin hem toplam alfa aktivite analiz sonuçları hem de toplam beta aktivite analiz sonuçlarının hepsi WHO’nun belirlediği değerlerin altında kalmaktadır.



Şekil 4.74 : Karakeçili ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.5.3.6. Keskin İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

İlçe sınırının tamamı 1. derece deprem bölgesinde bulunan Keskin ilçesinden toplam 17 noktadan alınan içme suyu örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Tablo 4.42’de verilmiştir. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta için Keskin ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin analiz sonuçları il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla Şekil 4.75 ve Şekil 4.76’da verilmektedir.

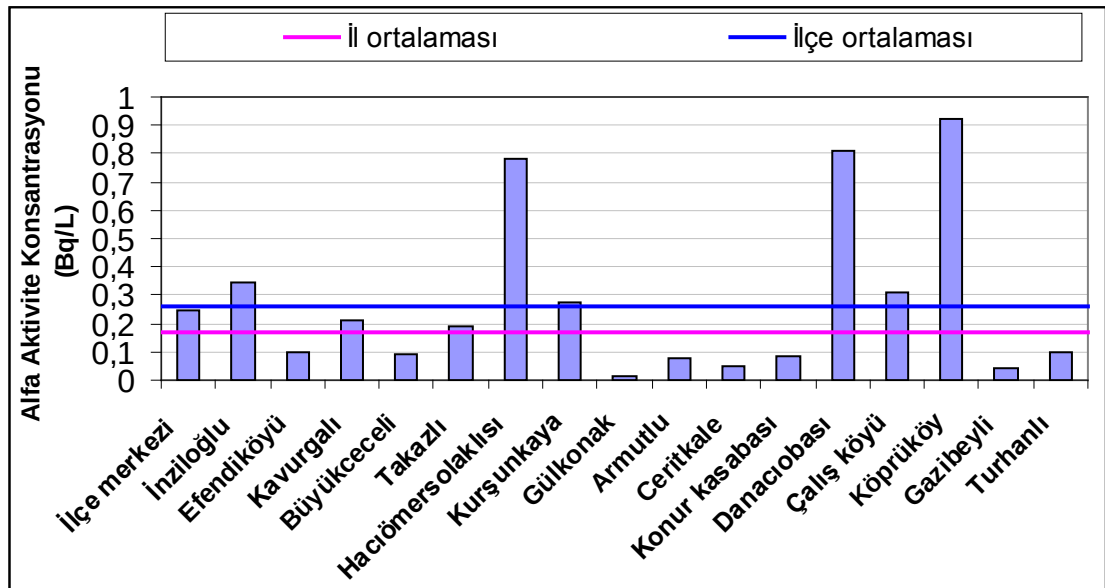
Tablo 4.42 ve Şekil 4.75 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,039 Bq/L olarak Gazibeyli köyünden alınan örneğe aittir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,922 Bq/L ile Köprüköy’den alınan örnekten elde edilmiştir. Bu en yüksek toplam alfa aktivite değeri aynı zamanda ilinde en yüksek değeridir. Keskin ilçesi köylerinden alınan içme suyu örneklerin analizi sonucunda yüksek olarak elde edilen 0,0809 Bq/L ve 0,718 Bq/L değerleri sırasıyla Danacıobası ve Hacıömersolaklısı köylerinde rastlanmıştır.

Keskin ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,26 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,17 Bq/L’nin çok üzerinde olmasına rağmen WHO’nün belirlediği sınır değeri olan 0,5 Bq/L’den çok daha düşüktür. Ancak Köprüköy (0,922 Bq/L), Danacıobası (0,809 Bq/L) ve Hacıömersolaklısı (0,718 Bq/L)

köylerinden alınan örneklerden elde edilen toplam alfa konsantrasyonları WHO'nun belirlediği değer olan 0,5 Bq/L'nin çok üzerinde elde edilmiştir.

Tablo 4.42 : Keskin ilçesi köylerinden alınan su örneklerde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

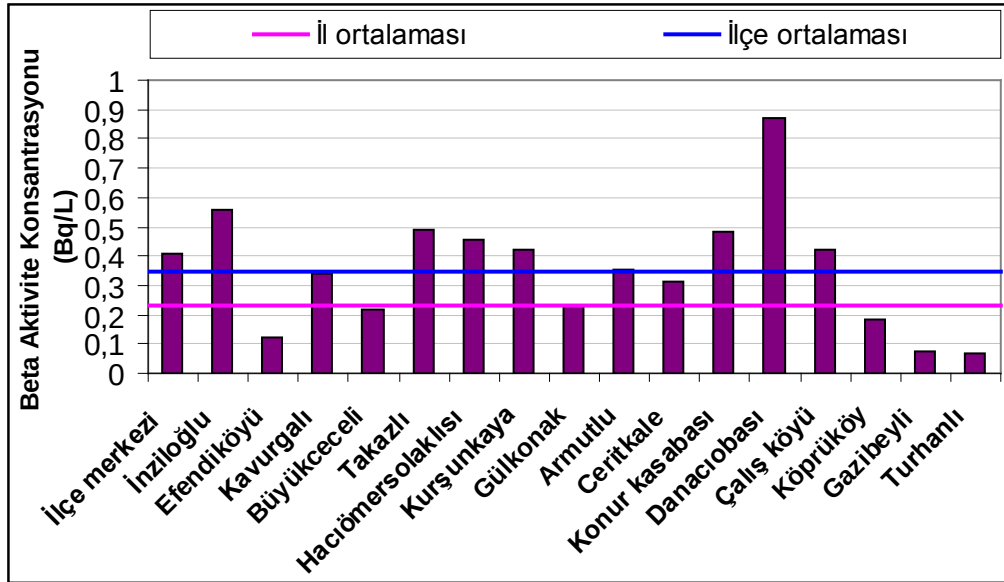
ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
Merkez	39,67375	33,61655	0,247±0,027	0,409±0,027
İnziloğlu	39,48197	33,74108	0,342±0,040	0,560±0,044
Efendiköyü	39,56615	33,78292	0,099±0,021	0,120±0,019
Kavurgalı	39,69347	33,73197	0,208±0,026	0,342±0,028
Büyükceceli	39,71188	33,86238	0,095±0,032	0,219±0,039
Takazlı	39,68010	33,95397	0,192±0,014	0,489±0,093
Hacıömersolaklısı	39,66383	33,87763	0,718±0,032	0,458±0,047
Kurşunkaya	39,73955	33,57593	0,277±0,029	0,420±0,027
Gülkonak	39,57060	33,63825	0,012±0,003	0,230±0,024
Armutlu	39,52800	33,60782	0,075±0,005	0,357±0,026
Ceritkale	39,58297	33,57843	0,049±0,004	0,310±0,031
Konur Kasabası	39,56135	33,53918	0,085±0,005	0,481±0,038
Danacıobası	39,61843	33,53673	0,809±0,034	0,874±0,063
Çalış köyü	39,66552	33,55447	0,312±0,021	0,422±0,051
Köprüköy	39,55205	33,44960	0,922±0,035	0,183±0,034
Gazibeyli	39,77263	33,74735	0,039±0,011	0,074±0,022
Turhanlı	39,76550	33,82657	0,102±0,031	0,067±0,039
İlçe ortalaması			0,26	0,35
İl ortalaması			0,17	0,23



Şekil 4.75 : Keskin ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı

Benzer şekilde Tablo 4.42 ve Şekil 4.76 incelendiğinde; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü değer Danacıobası köyünden alınan örnekten (0,874 Bq/L) elde edilmiştir. İkinci sırayı da 0,560 Bq/L değeri ile İnzioloğlu köyünden alınan örnek almaktadır. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değer ise 0,067 Bq/L ile ilçenin Turhanlı köyünden alınan örnekten elde edilmiştir.

Keskin ilçesinin ortalama toplam beta aktivitesi 0,35 Bq/L'dir. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,23 Bq/L'den büyük olmasına rağmen WHO'nün belirlediği sınır değer olan 1,0 Bq/L'den çok daha düşüktür.



Şekil 4.76 : Keskin ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.5.3.7. Merkez İlçe Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

İlçe sınırının çoğu 1. derece deprem bölgesinde bulunan Merkez ilçede toplam 10 noktadan alınan içme suyu örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Tablo 4.43'de verilmiştir. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta için Merkez ilçe köylerinden alınan su örneklerinin analiz sonuçları il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla Şekil 4.77 ve Şekil 4.78'de verilmektedir.

Tablo 4.43 : Merkez ilçe köylerinden alınan su örneklerde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

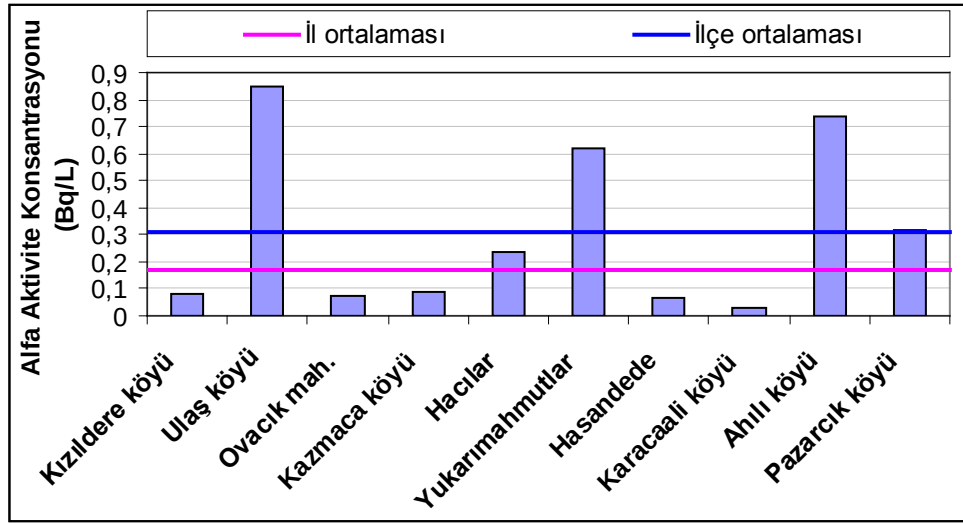
ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
Kızıldere köyü	39,94467	33,56050	0,083±0,019	0,204±0,024
Ulaş köyü	39,87758	33,57680	0,852±0,034	0,614±0,055
Ovacık mah.	39,84400	33,50552	0,074±0,015	0,123±0,017
Kazmaca köyü	40,05438	33,58475	0,089±0,012	0,207±0,037
Hacılar	39,72585	33,43027	0,237±0,018	0,230±0,042
Yukarımahmutlar	39,87132	33,64093	0,618±0,029	0,310±0,035
Hasandede	39,76363	33,50860	0,069±0,016	0,133±0,021
Karacaali	39,88775	33,53793	0,030±0,018	0,037±0,020
Ahılı köyü	39,79108	33,54750	0,738±0,035	0,457±0,034
Pazarcık köyü	39,89668	33,61490	0,319±0,021	0,210±0,043
İlçe ortalaması			0,31	0,25
İl ortalaması			0,17	0,23

Tablo 4.43 ve Şekil 4.77 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,030 Bq/L olarak Karacaali köyünden alınan örneğe aittir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,852 Bq/L ile Ulaş köyünden alınan örnekten elde edilmiştir. Bu değeri 0,738 Bq/L ve 0,618 Bq/L ile sırasıyla Ahılı ve Yukarımahmutlar köyünden alınan örneklerden elde edilen sonuçlar takip etmektedir.

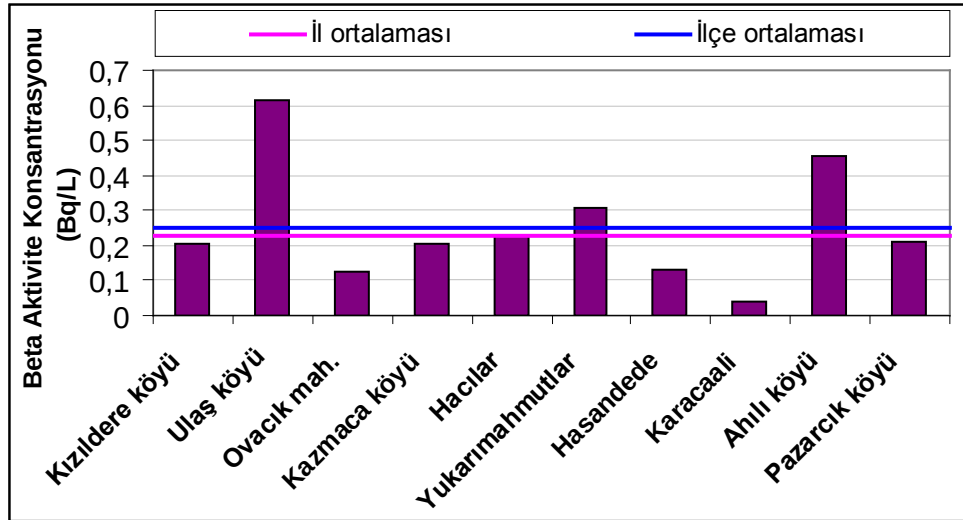
Merkez ilçenin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,31 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,17 Bq/L'nin çok üzerinde olmasına rağmen WHO'nun belirlediği sınır değer olan 0,5 Bq/L'den daha düşüktür. Ancak Ulaş (0,852 Bq/L), Ahılı (0,738 Bq/L) ve Yukarımahmutlar (0,618 Bq/L) köylerinden alınan örneklerden elde edilen toplam alfa konsantrasyonları WHO'nun belirlediği değer olan 0,5 Bq/L'nin çok üzerinde elde edilmiştir.

Tablo 4.43 ve Şekil 4.78 incelendiğinde de; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü değer yine Ulaş köyünden alınan örnekten (0,614±0,055 Bq/L) elde edildiği görülmektedir. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değer ise 0,037±0,020 Bq/L olup ilçenin Karacaali köyünde tespit edilmiştir.

Merkez ilçenin ortalama toplam beta aktivitesi 0,25 Bq/L'dir. Bu değer Kırıkkale ili ortalaması olan 0,23 Bq/L'den büyük olmasına rağmen WHO'nun belirlediği sınır değer olan 1,0 Bq/L'den çok düşüktür.



Şekil 4.77 : Merkez ilçe sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı



Şekil 4.78 : Merkez ilçe sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.5.3.8. Sulakyurt İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

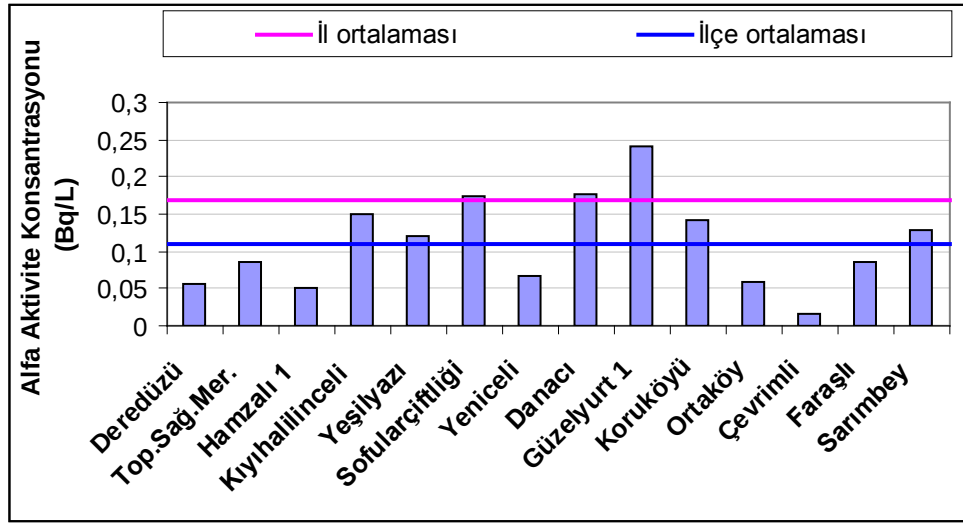
İlçe sınırının çoğu 3. derece deprem bölgesinde bulunan Sulakyurt ilçesinden toplam 14 noktadan alınan içme suyu örneklerinden elde edilen toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Tablo 4.44’de verilmiştir. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta için Sulakyurt ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin analiz sonuçları il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla Şekil 4.79 ve Şekil 4.80’de verilmektedir.

Tablo 4.44 : Sulakyurt ilçesi köylerinden alınan su örneklerde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
Deredüzü	40,07192	33,64657	0,056±0,024	0,112±0,032
TSM	40,16660	33,70507	0,086±0,028	0,147±0,034
Hamzalı 1	40,30893	33,67132	0,050±0,008	0,461±0,065
Kıyılhalilinceli	40,31618	33,78302	0,149±0,012	0,137±0,039
Yeşilyazı	40,23930	33,74197	0,121±0,035	0,140±0,032
Sofularçiftliği	40,21313	33,79563	0,175±0,016	0,243±0,041
Yeniceli	40,17997	33,86633	0,067±0,011	0,079±0,018
Danacı	40,23817	33,94150	0,176±0,016	0,144±0,032
Güzelyurt 1	40,25200	33,84135	0,241±0,019	0,225±0,047
Koruköyü	40,22483	33,63135	0,141±0,014	0,404±0,088
Ortaköy	40,12657	33,61680	0,059±0,010	0,062±0,036
Çevrimli	40,12210	33,75868	0,016±0,012	0,084±0,024
Faraşlı	40,13255	33,83798	0,086±0,029	0,133±0,030
Sarımbey	40,27972	33,72973	0,128±0,014	-
İlçe ortalaması			0,11	0,18
İl ortalaması			0,17	0,23

Tablo 4.44 ve Şekil 4.79 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,016 Bq/L olarak Çevrimli köyünden alınan örnekten elde edilmiştir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,241 Bq/L ile Güzelyurt1 kasabasından alınan örnekte rastlanmıştır.

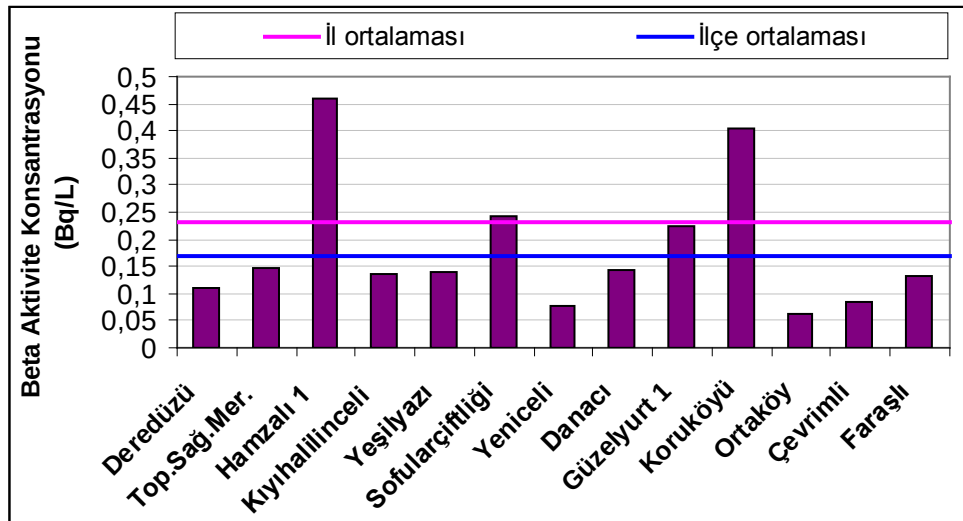
Sulakyurt ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,11 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,17 Bq/L'nin ve WHO'nun belirlediği sınır değer olan 0,5 Bq/L'den çok düşüktür. Sulakyurt ilçesinden alınan su örneklerinin hiçbiri WHO'nun belirlediği değer olan 0,5 Bq/L'nin üzerinde elde edilmemiştir.



Şekil 4.79 : Sulakyurt ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı

Tablo 4.44 ve Şekil 4.80 incelendiğinde de; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü değerin yine Hamzalı1 kasabasından alınan örnekten (0,461 Bq/L) elde edildiği görülmektedir. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değer ise 0,062 Bq/L olup ilçenin Ortaköy'den alınan örnekten elde edilmiştir.

Sulakyurt ilçesinin ortalama toplam beta aktivitesi 0,18 Bq/L'dir. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,23 Bq/L'den ve WHO'nün belirlediği sınır değer olan 1,0 Bq/L'den çok düşüktür.



Şekil 4.80 : Sulakyurt ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.5.3.9. Yahşıhan İlçesi Köylerinden Alınan Su Örneklerinde Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Konsantrasyonu

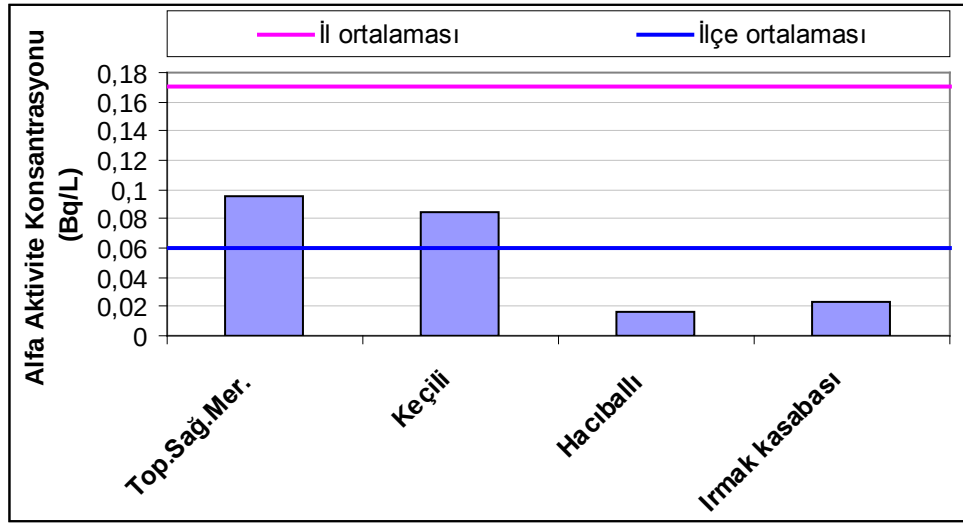
Yahşıhan ilçe topraklarının çoğu 2. derece ve güneyinde çok az bir kısmı da 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yahşıhan ilçesinden alınan 4 içme suyu örneğinde belirlenen toplam alfa ve toplam beta aktiviteleri Tablo 4.45’de verilmiştir. Ayrıca toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonlarını belirlemek için Yahşıhan ilçesi köylerinden alınan su örneklerinin analiz sonuçları il ve ilçe ortalamalarıyla birlikte sırasıyla Şekil 4.81 ve Şekil 4.82’de verilmektedir.

Tablo 4.45 : Yahşıhan ilçesi köylerinden alınan su örneklerde toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite konsantrasyonları

ÖRNEK YERİ	KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	KUZEY	DOĞU		
TSM	39,84730	33,45218	0,096±0,030	0,200±0,033
Keçili	39,99240	33,53425	0,084±0,011	0,084±0,023
Hacıballı	39,92463	33,43580	0,016±0,017	0,117±0,020
Irmak	39,93027	33,39675	0,023±0,020	0,037±0,031
İlçe ortalaması			0,06	0,11
İl ortalaması			0,17	0,23

Tablo 4.45 ve Şekil 4.80 incelendiğinde; toplam alfa aktivitesinin en düşük olduğu değer 0,016 Bq/L olarak Hacıballı köyünden alınan örnekte elde edilmiştir. En yüksek toplam alfa aktivitesi ise 0,096 Bq/L ile ilçenin merkezi (Toplum Sağlığı Merkezi, TSM)’nden alınan örnekte rastlanmıştır.

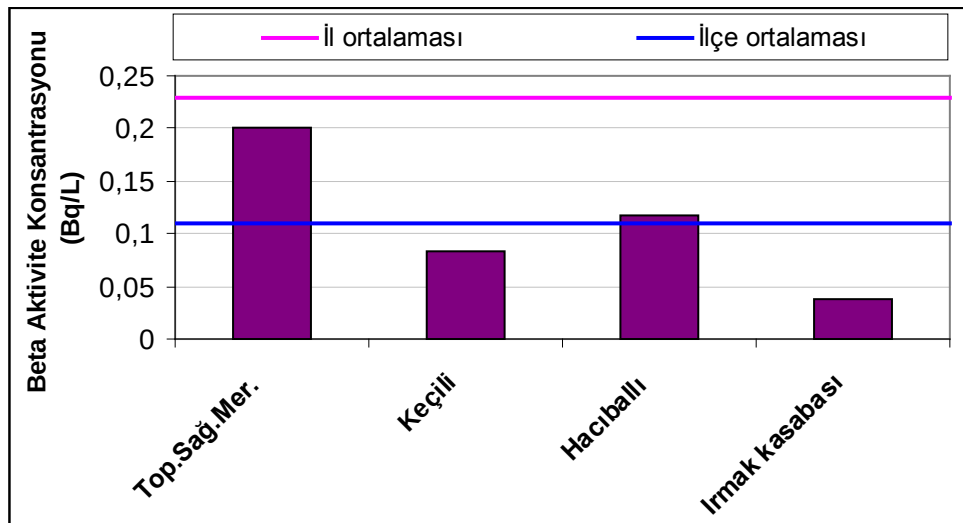
Yahşıhan ilçesinin ortalama toplam alfa aktivitesi 0,06 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,17 Bq/L’nin ve WHO’nün belirlediği sınır değer olan 0,5 Bq/L’den çok düşüktür. Yahşıhan ilçesinden alınan su örneklerinin hiçbiri WHO’nun belirlediği değer olan 0,5 Bq/L’nin üzerinde elde edilmemiştir.



Şekil 4.81: Yahşihan ilçesi sularındaki toplam alfa radyoaktivite dağılımı

Tablo 4.44 ve Şekil 4.80 incelendiğinde de; toplam beta aktivitesinin en yüksek görüldüğü değerin yine ilçe merkezinden alınan örnekten (0,200 Bq/L) elde edildiği görülmektedir. Toplam beta aktivitesinin en düşük olduğu değer ise 0,037 Bq/L olup ilçenin Irmak kasabasından alınan örnekten elde edilmiştir.

Yahşihan ilçesinin ortalama toplam beta aktivitesi 0,11 Bq/L'dir. Bu değer Kırıkkale il ortalaması olan 0,23 Bq/L'den ve WHO'nün belirlediği sınır değer olan 1,0 Bq/L'den çok düşüktür.



Şekil 4.82 : Yahşihan ilçesi sularındaki toplam beta radyoaktivite dağılımı

4.6. DOZ DEĞERLENDİRMELERİ

Yeryüzündeki doğal radyasyon düzeyleri birçok faktöre bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. En önemli faktör, yer kabuğunda, farklı radyoaktivite konsantrasyonlarının bulunmasıdır. Yer kabuğunda bulunan radyoaktivite konsantrasyonları, ortamın jeolojik ve kimyasal oluşumuna bağlı olarak, çok geniş bir aralıkta değişiklikler göstermektedir. Örneğin, volkanik kayalardaki radyoaktivite konsantrasyonu, tortul kayalara göre daha yüksektir (Eisenbud, 1987).

Doz değerlendirmeleri, çevresel doğal radyoizotoplardan gelen gama ışınlarından (dış ışınlamalar) ve radon ve ürünlerinden (iç ışınlamalar) alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri (YEDE) olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

4.6.1. Kırıkkale İli Çevresel Gama Işınlarından Alınan YEDE (Dış Işınlamalardan Alınan Dozlar)

Değişik ülkelerde yapılan benzer çalışmalarda, havadaki soğurulmuş doz şiddetini etkin doza dönüştürme katsayısı $0,7 \text{ Sv.Gy}^{-1}$ olarak alınmıştır (UNSCEAR, 2000). Bu değer, hem ev içi (indoor) hem de ev dışı (outdoor) çevresel gama ışınları için kullanılır. Gama ışınlarının insana verdiği yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için bilinmesi gereken diğer bir faktör insanların bu ışınlarla ne kadar sürelerle maruz kaldıklarıdır. Bu da meşguliyet faktörü olarak değerlendirilir. Meşguliyet faktörü, insanın bir gün içinde zamanının ne kadarını ev veya kapalı alanlarda, ne kadarını açık alanlarda geçirmesi demektir.

Bu çalışmada, doz hesaplamaları UNSCEAR 1993 raporunda önerilen model kullanılarak yapılmıştır. Bu modele göre ev içi meşguliyet faktörü 0,8 ve ev dışı meşguliyet faktörü 0,2 olarak alınmaktadır. Bizim çalışmamızda ise, bölgede yaşayan halkın yaşam şekli ve alışkanlıkları göz önüne alınarak meşguliyet faktörünün ev içi 0,7 ve ev dışı 0,3 olarak alınması uygun görülmüştür.

Kırıkkale ilçelerine göre ortalama dış gama doz hızı değerleri Tablo 4.1’de verilmektedir. Bu verilerden hareketle her bir ilçe için, ev dışı ortamlardan alınan ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Ev Dışı Ortalama YEDE (mSv)} = \text{Ev Dışı Ortalama Gama Işını Doz Hızı (nGy/saat)} \times 8760 \text{ (saat)} \times 0,3 \text{ (Ev Dışı Meşguliyet Faktörü)} \times 0,7 \text{ Sv/Gy (Doz Dönüştürme Katsayısı)}$$

Ortalama insan ömrünün 70 yıl olduğu düşünülerek Kırıkkale halkının yaşam boyu maruz kaldığı toplam dozları hesaplamak için, ev dışı ortalama YEDE ile 70 çarpılarak yaşam boyu alınan toplam doz mSv olarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.46'da verilmiştir.

Tablo 4.46 : Kırıkkale ilçelerine göre ev dışı ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri ve yaşam boyu alınan toplam dozlar

Kırıkkale İlçeleri	Ortalama Gama Doz Hızı (nGy/saat)	Ev Dışı Ortalama Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri (mSv)	Yaşam Boyu Alınan Toplam Doz (mSv)
Merkez	131	0,24	16,8
Bahşılı	110	0,2	14
Balışeyh	155	0,29	18,9
Çelebi	198	0,36	25,2
Delice	94	0,17	11,9
Karakeçili	114	0,21	14,7
Keskin	125	0,23	16,1
Sulakyurt	80	0,18	12,6
Yahşıhan	84	0,16	11,2
İl Geneli	123	0,23	16,1

4.6.2. Kırıkkale İli Evlerinde Radon ve Ürünlerinden Alınan YEDE (İç Işınlamalardan Alınan Dozlar)

Radon ve bozunma ürünlerinden alınan yıllık etkin doz eşdeğerini hesaplamak için, denge faktörü (F) kavramını bilmek gerekir. F, denge eşdeğer radon konsantrasyonu (Equilibrium Equivalent Concentration, EEC) değerinin, havadaki radonun radyoaktivite konsantrasyonuna oranı olarak tanımlanır (ICRP 65, 1994; Kam, 2004).

F değeri, UNSCEAR 1993 raporunda, ev içi ışınlamalar için 0,4, dış hava için 0,6 olarak verilmektedir.

EEC, kısa yarı ömürlü bozunma ürünleriyle dengede olan radon konsantrasyonunun, çevresel örneklerde ölçüldüğü gibi hacim başına aynı potansiyel alfa enerjisine sahip olduğunu açıklamaktadır. Radon için denge eşdeğer konsantrasyonu etkin doza dönüştürme katsayısı; ev içi ve dış hava için $9 \text{ (nSv/saat)/(Bq/m}^3\text{)}$ olarak belirlenmektedir (UNSCEAR 1988, 1993; Günaydı, 2004).

Yaz ve kış dönemlerinde tespit edilen radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları alınarak her bir yerleşim yerine ait ortalama radon konsantrasyonları belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular ışığında, her bir farklı yerleşim bölgesinde yaşayan halkın, kapalı ortamlarda radon ve bozunma ürünlerine maruz kalarak alacağı radyasyon dozu, soluma yoluyla vücuda alınan ve solunumla dokulara nüfus ederek çözünen yıllık etkin doz eşdeğerleri aşağıdaki formüllerden yararlanılarak hesaplanmıştır (Çelebi, 1995; Günaydı, 2004). Hesaplama sonuçları Tablo 4.47’de verilmektedir.

$$\text{Ev İçi EEC(Bq/m}^3\text{)} = \text{Ortalama RAC (Bq/m}^3\text{)} \times 0,4(\text{Denge Faktörü})$$

$$\begin{aligned} \text{Radon Solunumu ile} \\ \text{Alınan YEDE (mSv)} &= \text{EEC (Bq/m}^3\text{)} \times 0,7 (\text{Ev İçi Meşguliyet Faktörü}) \times \\ &8760 (\text{saat}) \times 9.10^{-9}(\text{Sv/saat)/(Bq/m}^3\text{)}(\text{Dönüştürme Faktörü}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vücut İçinde Çözünen} \\ \text{Radondan Alınan YEDE (mSv)} &= \text{Ortalama Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m}^3\text{)} \times \\ &0,7 (\text{Ev İçi Meşguliyet Faktörü}) \times 1,5 \mu\text{Sv/Bq.m}^{-3} \end{aligned}$$

Havada, birim konsantrasyon başına yıllık etkin dozlar radon için $1,5 \mu\text{Sv/Bq.m}^{-3}$ ve toron içinse $0,9 \mu\text{Sv/Bq.m}^{-3}$ ’dır (UNSCEAR, 1993).

Tablo 4.47 : Ev içi radon solunumundan ve vücutta çözünen radondan alınan toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri (mSv)

Kırıkkale İlçeleri	Ortalama Radon Aktivite Konsantrasyonu (Bq/m ³)	EEC (Bq/m ³)	Ev İçi Radon Solunumundan Alınan YEDE (mSv)	Vücutta Çözünen Radondan Alınan YEDE (mSv)	Toplam YEDE (mSv)
Merkez	73	29,2	1,61	0,077	1,69
Bahşılı	96	38,4	2,12	0,100	2,22
Balıseyh	77	30,8	1,70	0,081	1,78
Çelebi	133	53,2	2,94	0,140	3,08
Delice	54	21,6	1,19	0,057	1,25
Karakeçili	57	22,8	1,26	0,060	1,32
Keskin	98	39,2	2,16	0,103	2,27
Sulakyurt	39	15,6	0,86	0,041	0,90
Yahşıhan	46	18,4	1,02	0,048	1,06
İl Geneli	75	30	1,66	0,078	1,73

4.6.3. Tüm Vücut İçin İç ve Dış Işınlamalardan Alınan Toplam YEDE

Çevresel doğal radyoizotoplardan gelen gama ışınlarından alınan YEDE (dış ışınlama) ile radon ve ürünlerinden alınan YEDE (iç ışınlama) sonuçlarından yararlanılarak tüm vücut için hesaplanan toplam yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 4.48’de verilmektedir.

Tablo 4.48 : Gama ışınlarından dış gama ışınlama yolu ile radon ve ürünlerinden iç ışınlama yolu ile alınan toplam YEDE (mSv)

Kırıkkale İlçeleri	Dış Işınlamalardan Alınan YEDE (mSv)	İç Işınlamalardan Alınan YEDE (mSv)	Tüm Vücut Toplam YEDE (mSv)
Merkez	0,24	1,69	1,93
Bahşılı	0,2	2,22	2,42
Balıseyh	0,29	1,78	2,07
Çelebi	0,36	3,08	1,11
Delice	0,17	1,25	1,42
Karakeçili	0,21	1,32	1,53
Keskin	0,23	2,27	2,5
Sulakyurt	0,18	0,90	1,08
Yahşıhan	0,16	1,06	1,22
İl Geneli	0,23	1,73	1,96

4.7. RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

ICRP-65 raporunda, radon ve ürünlerine maruz kalma şartlarındaki farklılıklara rağmen, Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu, radyasyon korunması amacıyla, uranyum madeni vb. yerlerde çalışanlar ile halk için aynı risk katsayısının kullanılmasını önermektedir. Bu katsayı 3.10^{-4} (WLM)⁻¹ [SI birimlerinde $8,0 \times 10^{-5}$ (m.J.saat.m⁻³)⁻¹] olarak verilmiştir (ICRP 65, 1994; Çelebi, 1995).

Radon ürünleri konsantrasyonları çalışma seviyesi (Working Level, WL) ile ölçülür. Çalışanların potansiyel alfa enerjisine maruz kalması, çoğunlukla eski bir birim olan aylık çalışma seviyesi (Working Level Month, WLM) ile ifade edilir. WL; 1 L havadaki, toplam $1,3 \times 10^5$ MeV potansiyel alfa enerjisini veren kısa yarı ömürlü radon ürünlerinin konsantrasyonu olarak tanımlanır. Bu enerji miktarı, 1 L havada, 100 pCi (3,7 Bq) radonla dengede bulunan, kısa yarı ömürlü radon ürünleri tarafından yayınlanan alfa enerjisine eşittir. Yani bir madende ayda 170 saat çalışan işçinin, bir ay boyunca bu konsantrasyona maruz kalması, aylık çalışma seviyesi olarak tanımlanır (ICRP 65, 1994; Çelebi, 1995; Günaydı, 2004).

1 MeV = $1,602 \times 10^{-13}$ J eşitliğinden yararlanılarak, eski ve yeni (SI) birimler arasındaki ilişki aşağıdaki gibi elde edilir (ICRP 65, 1994).

$$1 \text{ WLM} = 3,54 \text{ m.J.saat.m}^{-3}$$

$$1 \text{ m.J.saat.m}^{-3} = 0,282 \text{ WLM}$$

ICRP 60 raporuna göre, akciğer kanseri olma riski halk ve çalışanlar için aynı verilmesine rağmen, 1 m.J.saat.m⁻³ değerinde radon ışınlarına maruz kalma, çalışanlar için 1,43 mSv etkin doza, halk için 1,10 mSv etkin doza eşdeğerdir.

Kırıkkale halkının, ev içi ortamında radonun solunması ile aldıkları toplam dozun enerji eşdeğeri ya da radon ile ışıplanma miktarı aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Radon ile Işıplanma Miktarı (m.J.saat.m}^{-3}) = \frac{\text{Toplam YEDE (mSv)}}{1 \text{ m.J.saat.m}^{-3} \times (1,10 \text{ mSv})^{-1}}$$

Akciğer kanserinden ölüm riskini hesaplayabilmek için önerilen $8.10^{-5} \text{ (m.J.saat.m}^{-3}\text{)}^{-1}$ dönüştürme katsayısı ($3 \times 10^{-4} \text{ WLM}^{-1}$) kullanılmıştır (ICRP, 1990; ICRP, 1994).

Bu bölgede yaşayan insanlarda akciğer kanserinin oluşma riski aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Akciğer Kanseri Riski} = \text{Radon ile Işınlanma Miktarı (m.J.saat.m}^{-3}\text{)} \times 8.10^{-5} \text{ (m.J.saat.m}^{-3}\text{)}^{-1}$$

Yaz ve kış dönemlerinde tespit edilen radon konsantrasyonlarının aritmetik ortalamaları alınarak Kırıkkale ilçeleri için ortalama radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu bulgular kullanılarak evlerde radon ve bozunma ürünlerinin solunmasıyla yaşam süresi içinde akciğer kanseri olma olasılıkları hesaplanmıştır (Tablo 4.49).

Tablo 4.49 : Evlerde ortalama radon ve bozunma ürünlerinin solunmasıyla yaşam süresi içinde akciğer kanseri olma olasılıkları

Kırıkkale İlçeleri	Yıllık Doz Eşdeğerleri (mSv/yıl)	Radon ile Işınlanma Miktarı (m.J.saat.m ⁻³)	Risk Tahmini
Merkez	1,69	1,54	$1,23.10^{-4}$
Bahşılı	2,22	2,02	$1,62.10^{-4}$
Balıseyh	1,78	1,62	$1,29.10^{-4}$
Çelebi	3,08	2,8	$2,24.10^{-4}$
Delice	1,25	1,14	$0,91.10^{-4}$
Karakeçili	1,32	1,2	$0,96.10^{-4}$
Keskin	2,27	2,06	$1,65.10^{-4}$
Sulakyurt	0,9	0,82	$0,66.10^{-4}$
Yahşıhan	1,06	0,96	$0,77.10^{-4}$
İl Geneli	1,73	1,57	$1,26.10^{-4}$

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Kırıkkale ilinin yüzeye yakın atmosferinde çevresel doğal gama doz hızları, toprak ve su örneklerde doğal radyoaktivite seviyeleri ve evlerde radon konsantrasyon seviyeleri belirlenerek haritalandırılmıştır. Ayrıca, insanların bir yıl içinde maruz kaldıkları iç ve dış ışınlamalardan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Bu bölümde de, 4. Bölümde ayrıntıları verilen deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, dünya ortalamaları ve Türkiye'nin bazı il ortalamalarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

5.1. KIRIKKALE İLİNDE BELİRLENEN DOĞAL TEMEL RADYASYON SEVİYELERİ

5.1.1. Çevresel Doğal Gama Işınlama Doz Hızlarının Değerlendirilmesi

Çevresel gama radyasyonlarının büyük bir kısmı toprak ve kayalarda bulunan ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th gibi doğal radyoizotoplardan, az bir kısmı ise uzay kaynaklı kozmik ışınlardan kaynaklanmaktadır. Bütün toprak ve kaya kalıntıları ^{40}K , ^{238}U ve ^{232}Th gibi doğal radyoaktif elementlerin mevcut olması ve çok uzun bir jeolojik süreçten sonra çevresel topraklara dağılması, çevresel gama radyasyonunun bölgeden bölgeye, hatta birbirine yakın bölgeler arasında dahi değişiklikler göstermesine neden olmaktadır (Karahan, 1997).

Bu çalışmada, Kırıkkale ilinin yüzeye yakın atmosferinde ölçülen alınan gama doz hızları EK-A'da verilmektedir. Gama doz hızı ölçümleri insanların yoğun olduğu açık alanlarda yapılmıştır.

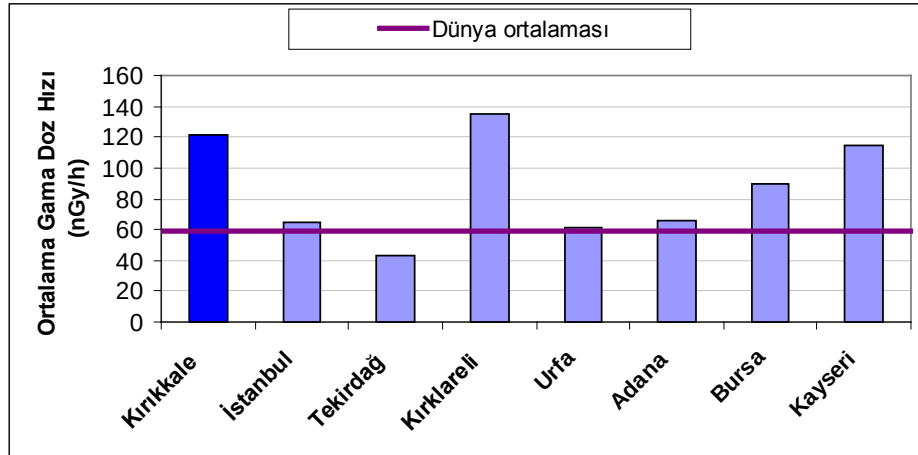
Kırıkkale ilinin çevresel doğal gama doz hızlarının dağılım haritası (Harita 4.1) incelendiğinde; ilin kuzeyini oluşturan, 2. ve 3. derece deprem bölgesinde bulunan Sulakyurt, Yahşıhan ve Delice ilçelerinden alınan çevresel doğal gama doz hızı ölçüm

sonuçlarının, ilin 1. derece deprem bölgesinde bulunan Balıışeyh, Merkez, Keskin ve Çelebi ilçelerine nazaran daha düşük seviyelerde çıktığı görülmektedir.

Literatürde, Türkiye'nin farklı illerinde ve dünyada yüzeye yakın atmosferde gama doz hızlarının ölçüldüğü çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların sonuçları Tablo 5.1'de verilmekte olup Şekil 5.1'de de grafik olarak gösterilmektedir.

Tablo 5.1: Türkiye'nin farklı illerinin ve dünyanın ortalama gama doz hızı değerleri

Referans	Bölge	Ortalama Gama Doz Hızı (nGy/h)
Şimdiki çalışma	Kırıkkale	121
Karahan, 1997	İstanbul	64,7
Kam, 2004	Tekirdağ	43,27
Taşkın, 2006	Kırklareli	135
Bozkurt ve diğ., 2007	Urfa	60,9
Değerlier, 2007	Adana	65,6
Karahan, 2010	Bursa	90
Otansev ve diğ., 2011	Kayseri	114,63
UNSCEAR, 2000	Dünya	59



Şekil 5.1: Türkiye'nin farklı illerine ait ortalama gama doz hızlarının dünyanın ortalama gama doz hızı ile karşılaştırılması

Tablo 5.1'den görüldüğü gibi Kırıkkale ili ortalama dış gama ışınlama doz hızı 121 nGy/saat'tir. Bu değer dünya ortalamasından ve İstanbul, Tekirdağ, Urfa, Kayseri, Bursa, Adana illerinden yüksektir. Bunun sebebinin, bölgenin diri fay hatları üzerinde

bulunması, volkanik kayalardan oluşması ve toprakta bulunan doğal radyoizotoplardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K radyoizotoplarının yoğun olduğu yerlerde doğal olarak gama doz hızları da daha yüksek elde edilmiştir.

5.1.2 Sularda Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi

Su, canlı yaşamın en önemli kaynağı olup insanoğlu tarafından en çok tüketilen ve sağlık açısından da büyük öneme sahip bir maddedir. İçme sularının büyük çoğunluğunu toprak ve kaya derinliklerinden çıkan yeraltı kaynakları oluşturmaktadır. Su, yeraltı derinliklerinden yüzeye çıkarken toprak ve kayaların içerisindeki bir takım mineralleri de eriyik veya toz-partikül şeklinde içine almaktadır. Bu sular daha sonra su rezervuarlarında, örneğin barajlarda, toplanarak insanlara ulaşır. Bu hareket sürecinde doğada bulunan ve insan vücudu için “tehlikeli” olabilecek bazı maddelerin de suyun içerisine karışma olasılığı vardır. Özellikle sularda alfa ve beta radyoaktivite seviyelerinin tayini, iç radyasyon tehlikesi oluşturmaları bakımından önemle üzerinde durulması gereken bir konudur.

Yeraltı sularında ve hatta içme sularında birçok radyoaktif element bulunmaktadır. Genellikle volkanik kütleler içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden geçen sulara nispeten daha yüksektir. Bu radyoaktif elementler radyasyon sağlığı bakımından önemli sayılabilecek konsantrasyonlarda olmamakla birlikte, içinde bulunan bazı radyoizotoplar vücuda alındıklarında insana verdiği dozların belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Bu doğrultuda Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi, ICRP tarafından radyasyondan korunma konusuna yeni boyutlar getirilmiştir (ICRP, 1977). Buna göre, radyasyonun stokastik etkileri için bir eşik dozu bulunmadığı ve büyük halk kitlelerinin, küçük de olsa sürekli olarak radyasyona maruz kalmasının, toplum sağlığını olumsuz yönde etkileyebileceği görüşü kabul edilmiştir. Dolayısıyla insanların maruz kalabileceği küçük dozların bilinmesi amacına yönelik olarak içme sularındaki radyoaktivite ölçümü çalışmaları da yoğunluk kazanmıştır (Asikainen ve Kahlos, 1980; Malanca vd., 1998; Taşkın, 2006).

Avrupa Birliği mevzuatına uyum çerçevesinde Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren

“İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik” te içme suyuna ilişkin radyolojik parametre ve limit değerleri Tablo 5.2’de verilmektedir.

Tablo 5.2: İçme suyuna ilişkin radyolojik parametre ve limit değerler (Gören, 2011)

Parametre	Değer	Birim
Tritiyum ($^3\text{H}_1$)	≤ 100	Bq/L
Toplam Gösterge Dozu (TGD)	$\leq 0,10$	mSv/yıl
Alfa yayınlayıcılar (α)	$\leq 0,1$	Bq/L
Beta yayınlayıcılar (β)	≤ 1	Bq/L

Radyoaktiviteye ilişkin kalitenin belirlenmesine yönelik parametrelerden toplam gösterge dozu için öngörülen 0,1 mSv/yıl limit değeri, içme suyu nedeniyle alınan doğal radyasyon dozunu en aza indirmeye yönelik bir değer olup doğal kaynaklardan alınan dünya genelindeki ortalama radyasyon dozunun en düşük değerlerinin % 10’unu temsil etmektedir. Avrupa Birliğince kabul edilen bu değer, WHO’nun içme suyu kalitesine ilişkin kılavuzlarına da temel teşkil etmektedir.

Toplam gösterge dozunun doğrudan ölçülmesi mümkün olmadığından alfa ve beta radyoaktivitesine dayalı izleme sınır değerleri kullanılmaktadır. Bu bağlamda, daha önce WHO tarafından toplam alfa aktivitesi için 0,1 Bq/L, toplam beta aktivitesi için 1,0 Bq/L olarak tavsiye edilen radyoaktivite limitleri, toplam gösterge dozu kavramı çerçevesinde yeniden düzenlenerek 2006 yılında yayımlanan “Guidelines for Drinking-water Quality, First Addendum, Volume 1, Recommendations, Third Edition,” adlı içme suyu kalitesi ile ilgili kılavuzunun 9. Bölümünde (Radiological aspects), alfa yayınlayıcılara ait izleme sınır değeri olarak (toplam alfa aktivitesi) 0,5 Bq/L, beta yayınlayıcılara ait izleme sınır değeri olarak ise (toplam beta aktivitesi) 1,0 Bq/L verilmiştir. Buna göre, toplam alfa aktivitesi 0,5 Bq/L ve toplam beta aktivitesi 1,0 Bq/L değerlerini karşılayan içme sularına ait toplam gösterge dozunun 0,1 mSv/yıl limit değerini aşmayacağı kabul edilmekte, bu aktivite değerleri üzerindeki sular için ileri inceleme yapılarak toplam gösterge dozunun hesaplanması tavsiye edilmektedir (TAEK Teknik Rapor, 2009).

Bu çalışmada, EK-D’de Kırıkkale ili yerleşim birimlerinden alınan 85 adet su örnekte belirlenen toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite değerleri görülmektedir. Kırıkkale içme sularından elde edilen ortalama toplam alfa aktivite konsantrasyonu 0,17 Bq/L ve ortalama toplam beta aktivite konsantrasyonu 0,23 Bq/L olarak elde edilmiştir. Ortalama olarak hem toplam alfa hem de toplam beta aktivite konsantrasyonu WHO’nün belirlediği limit değerlerin altında elde edilmiştir.

Tüm Kırıkkale içme sularında yapılan analiz sonucu, toplam beta radyoaktivite değerleri WHO’nün belirlediği sınır değer olan 1,0 Bq/L’nin altında bulunmasına rağmen, 48 noktadan alınan su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite değerleri WHO’nün belirlediği sınır değer olan 0,1 Bq/L değerinin üzerinde bulunmuştur. Bunlardan 8 noktadan alınan su örneklerinin toplam alfa radyoaktivite değerleri ise toplam gösterge dozu kavramı çerçevesinde 2006 yılında yeniden düzenlenen alfa yayıncılara ait izleme sınır değeri olan 0,5 Bq/L değerinin de üzerinde bulunmuştur. Bu ölçüm yerleri ve toplam alfa radyoaktivite değerleri küçükten büyüğe sırasıyla Delice ilçesi Çerikli-Sakarya mah. 0,547 Bq/L, Balışeyh ilçe Merkezi 0,568 Bq/L, Merkez ilçe Yukarımahmutlar köyü 0,618 Bq/L, Keskin ilçesi Hacıömersolaklısı köyü 0,718 Bq/L, Merkez ilçe Ahılı köyü 0,738 Bq/L, Keskin ilçesi Danacıobası köyü 0,809 Bq/L, Merkez ilçe Ulaş Köyü 0,852 Bq/L, Keskin ilçesi Köprüköyü 0,922 Bq/L’dir.

Tablo 4.35 incelendiğinde, tüm Kırıkkale bölgesi içinde ortalama toplam alfa aktivitesinin en yüksek elde edildiği Merkez ilçesi 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. En düşük ortalama toplam alfa aktivitesinin elde edildiği Yahşihan ilçesi ise 2. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Ortalama toplam beta aktivitesinin en yüksek elde edildiği Keskin ilçesi 1. derece deprem bölgesinde bulunmakta olup en düşük ortalama toplam beta aktivitesinin elde edildiği Yahşihan ilçesi ise 2. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır.

Türkiye’nin farklı illerinin ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonu Tablo 5.3’de verilmektedir.

Tablo 5.3 : Türkiye'nin farklı illerinin ortalama toplam alfa ve toplam beta aktivite konsantrasyonu

Referans	Bölge	Ortalama Toplam Alfa Aktivite Konsantrasyonu (Bq/L)	Ortalama Toplam Beta Aktivite Konsantrasyonu (Bq/L)
Şimdiki çalışma	Kırıkkale	0,17	0,23
Kam, 2004	Tekirdağ	0,04	0,05
Taşkın, 2006	Kırklareli	0,044	0,101
Bozkurt ve diğ., 2007	Urfa	0,038	0,1324
Damla ve diğ., 2006	Giresun	0,071	0,0971
Damla ve diğ., 2006	Rize	0,0083	0,0828
Damla ve diğ., 2006	Trabzon	0,0065	0,1008
Karahan ve diğ., 2000	İstanbul	0,0228	0,0664
Kam ve Bozkurt, 2007	Kastamonu	0,0089	0,271
Osmanlıoğlu, 2007	Gaziantep	0,0493	0,1284

Tablo 5.3'den görüldüğü gibi bu çalışmada Kırıkkale bölgesinde belirlenen ortalama toplam alfa aktivite konsantrasyonu diğer illerden yüksek elde edilmiştir. Ortalama toplam beta aktivite konsantrasyonu ise Kastamonu ilinden düşük diğer illerden ise yüksektir.

Yeraltı sularında birçok radyoaktif element bulunduğu daha önce ifade edilmişti. Kırıkkale ili volkanik kayalardan oluşan doğal jeolojik yapısından dolayı kaynak sularından elde edilen toplam alfa radyoaktivite değerlerinin yüksek çıkma olasılığı daha fazladır. Bu nedenle kaynak sularının radyoaktivite açısından incelemeleri yapıp, kullanıma uygunluğu test edildikten sonra içilmelidir. Aksi takdirde içme suyu içinde bulunan bazı radyoizotoplar vücuda alındıklarında, insan sağlığı açısından tehlike arz edebilir.

5.1.3 Toprakta Belirlenen Radyoaktivite Seviyelerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada Kırıkkale ili yüzey toprağının 0-10 cm derinliğinden, 84 noktadan alınan toprak örneklerin analizi sonucunda elde edilen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve fisyon ürünü olan ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları ilçe ve köylere göre Bq/kg olarak EK-C'de verilmektedir. Tablo 5.4'te ise Kırıkkale ilçelerinde belirlenen ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonlarının minimum-maksimum ve ortalama değer aralıkları verilmektedir.

Tablo 5.4 : Kırıkkale ilçelerine göre topraktaki konsantrasyonların minimum-maksimum değer aralıkları ve ortalamaları

İlçeler	Topraktaki Konsantrasyon (Bq / kg)							
	Değer Aralığı (^{226}Ra)	Ort. (^{226}Ra)	Değer Aralığı (^{232}Th)	Ort. (^{232}Th)	Değer Aralığı (^{40}K)	Ort. (^{40}K)	Değer Aralığı (^{137}Cs)	Ort. (^{137}Cs)
Bahşılı	12-22,6	19,5	21,4-34,6	29,3	338,7-584,4	473,8	0,9-9,2	6
Balıseyh	15,7-53	27,6	14,7-110,5	55	419,5-1207	788,4	0,5-9,2	3,9
Çelebi	10,6-50,1	27,9	38,2-83,5	61,4	493,1-1002,6	690,7	0,4-8,9	4,1
Delice	6,2-22,7	15,5	4,3-35,8	21,2	132,2-870,2	503,4	0,5-10,7	3,3
Karakeçili	16,3-21,5	19,3	16,8-28,4	23,9	346,9-635,9	483	0,7-4,2	3
Keskin	4,9-45,3	20,5	6,8-98,7	43,7	184,9-1267,9	732,3	0,2-11,3	3,1
Merkez	5,7-52,2	25,7	3,7-163,5	61,8	121,5-1500,5	701,2	0,3-11,9	2,8
Sulakyurt	6,2-18,8	12,2	10,1-31,3	18,4	108,5-585,5	354,5	0,5-7,7	3,9
Yahşihan	12,5-27,6	19,5	19,8-34,2	28	324,3-607,8	468,58	0,5-5	2,1
İl Ort.	4,9-53	20,9	4,3-163,5	38,1	108,5-1500,5	577,3	0,2-11,9	3,6

Tablo 5.4’den görüldüğü gibi ortalama aktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 20,9 Bq/kg, ^{232}Th için 38,1 Bq/kg ve ^{40}K için 577,3 Bq/kg’dır. Balıseyh, Çelebi, Keskin ve Merkez ilçelerinin ortalama aktivite konsantrasyonları il ortalamasından yüksektir. Bu ilçelerin 1. derece deprem bölgesi içinde bulunduğu göz önüne alındığında, sonuçların bölgenin depremsellik özelliği ile paralellik gösterdiği görülmektedir.

Tablo 5.5’de literatürde Türkiye’nin farklı illerinde belirlenen ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonları ve dünya ortalamaları verilmektedir. Tablo 5.5’ten de görüldüğü gibi Kırıkkale ilinde belirlediğimiz ^{226}Ra ortalama aktivite konsantrasyonu diğer illerden ve dünya ortalamasından düşüktür. ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite konsantrasyonu ise dünya ortalamasından yüksektir. ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonu ise diğer illere nazaran düşük elde edilmiştir.

Tablo 5.5: Türkiye'nin farklı illerinde ve dünyada belirlenen ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs ortalama aktivite konsantrasyonları

Referans	Bölge	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
		Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Şimdiki çalışma	Kırıkkale	-	20,9	38,1	577,3	3,6
Karahan, 1997	İstanbul	21	-	37	342	16,5
Kam, 2004	Tekirdağ	25	36	39	579	5,17
Merdanoğlu, 2004	Çanakkale Kestanbol	115	-	192	1207	0,37-36
Günaydı, 2004	İzmir-Dikili	78,6	118,4	129	910	-
Taşkın, 2006	Kırklareli	25,43	36,5	39,86	667	8
Bozkurt ve diğ., 2007	Urfa	20,8	-	24,95	298,6	9,08
Değerlier, 2007	Adana	16,66	22,35	21,69	305,53	7
Karahan, 2010	Bursa	23,1	55,9	32,1	430	11,53
Otansev ve diğ., 2011	Kayseri	35,51	-	37,27	429,66	11,53
UNSCEAR, 2000	Dünya	35	35	30	400	-

Kırıkkale ili toprağının jeolojik yapısından dolayı topraktaki radyoizotop konsantrasyonları sadece farklı bölgelerde değil, aynı bölgelerde de büyük farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir.

5.1.4. Evlerde Belirlenen Radon Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Ev içi radon aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla Kırıkkale ilinde belirlenen 150 eve yaz ve kış dönemi olmak üzere toplam 300 adet ticari adı CR-39 plastik pasif radon iz dedektörü dağıtılmıştır. Yaz ve kış dönemlerinde yaklaşık 80 gün evlerde radon gazına maruz kalan dedektörlerden 297 adeti toplanabilmiştir. Toplanan dedektörlere, önce kimyasal iz kazıma işlemi uygulanarak, üzerindeki alfa izlerinin daha belirgin hale getirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra otomatik radon iz okuma cihazında okumaları yapılarak, özellikle yapı malzemelerinden kaynaklanan radon aktivite konsantrasyonları belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile, Türkiye'nin radon haritasını çıkarmak, radon konsantrasyonu yüksek olan bölgeleri tespit etmek amacıyla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından 1984 yılında başlayan ve 2011'e kadar toplam 59 ilde kapalı ortamlarda (evlerde) yapılan ölçümlere katkıda bulunulmuştur.

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından aldığı eşdeğer doza en büyük katkıyı evlerin yapı malzemelerinden kaynaklanan radon gazı yapmaktadır. Çünkü insan, hayatının

önemli bir bölümünü kapalı mekanlarda geçirmektedir. Bu kapalı mekanlardan evler, özellikle insan sağlığı açısından özel öneme sahiptir. İnsanların yaşadığı ev ile sağlıkları arasındaki ilişki en az 150 yıldır bilinmektedir (Teodere ve Edwards, 1993).

Avrupa'nın bir çok bölgesinde sigaradan sonra radon ikinci önemli akciğer kanseri nedenidir (Harley ve Harley, 1990).

Asıl kaynağı 4,5 milyar yıl yarı ömre sahip ^{238}U olan ^{222}Rn 'yi, aynı ortamda bulunan evlerde bile farklı değerlerde elde etmek mümkündür. TAEK, 2011 yılı teknik raporunda Türkiye'deki evlerde gerçekleştirilen radon ölçüm sonuçlarına göre, 59 ilin evlerinde yapılan toplam 5462 radon detektörün radon aktivite konsantrasyonunun Türkiye ortalaması 84 Bq/m^3 'tür. UNSCEAR 2000 raporunda, evlerde radon aktivite konsantrasyonunun Dünya ortalaması ise 46 Bq/m^3 olarak verilmiştir.

Bu çalışmada, Kırıkkale ili evlerindeki radon aktivite konsantrasyonlarının yaz döneminde $14\text{-}288 \text{ Bq/m}^3$ aralığında ve kış döneminde $17\text{-}484 \text{ Bq/m}^3$ aralığında değiştiği görülmüştür. Yaz dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu $61,10 \text{ Bq/m}^3$ ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu ise $88,40 \text{ Bq/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.6'ya bakılacak olursa bu çalışmada Kırıkkale evlerinde ölçülen yaz ve kış radon aktivite konsantrasyonu aritmetik ortalaması $74,75 \text{ Bq/m}^3$ 'tür. Bu değer dünya ortalamasının 1.5 katından biraz daha yüksektir. Ancak Türkiye ortalamasının altında kalmaktadır. Kırıkkale ilinin RAC değerleri diğer illerle kıyaslanacak olursa Antalya, Adana, Urfa, Kırklareli ve İstanbul'dan daha düşüktür.

Tablo 5.6 : Türkiye'nin farklı illerinin RAC değerleri ile Türkiye ve dünyanın ortalama RAC değerleri

Referans	Bölge	Evlerde Ortalama RAC (Bq/m ³)
Şimdiki çalışma	Kırıkkale	74,75
Köksal ve diğ., 1993	İstanbul	73
Kam, 2004	Tekirdağ	87
Çelebi ve Alkan,1997	Çanakkale Kestanbol	160
Günaydı, 2004	İzmir-Dikili	114
Taşkın, 2006	Kırklareli	71,01
Özçınar ve diğ., 1996	Urfa	73
Özçınar ve diğ., 1996	Erzurum	85
Değerlier, 2007	Adana	38,06
Çelebi ve diğ., 2000	Antalya	29
TAEK Teknik Rapor, 2011	Türkiye	84
UNSCEAR, 2000	Dünya	46

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. Radon aktivite konsantrasyon limit değerleri Bölüm 2.8 Tablo 2.12'de verilmiştir. Türkiye'de bu değer Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (TAEK, 2000). Bu durumda Kırıkkale evlerinde ölçülen yaz ve kış dönemi ortalama radon aktivite konsantrasyonu TAEK ve WHO tarafından müsaade edilen değer in altında elde edilmiştir.

Doğal radyasyonlarla iç içe yaşamak kaçınılmazdır. Buna rağmen radyasyon dozlarını minimum düzeyde tutmak mümkündür. Örneğin radon, evlerimiz için görünmez bir tehliktir. Fakat alınabilecek önlemlerle ev içlerine radon girişi azaltılabilir.

Alınabilecek bazı önlemler;

1. Konut inşa edilecek alanların radon haritası çıkarılmalıdır.
2. Binaların, özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır.
3. Radon düzeyi yüksek olabileceğinden, 20 yıldan eski olan evlerde çatlakların kapatılması, izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır.
4. Kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir.

5. Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır.
6. Radon kanser riskini arttırdığından, kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir.

5.2. DOZ VE RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

Dünya üzerinde yapılan doz hesaplarında meşguliyet faktörleri kapalı alan için 0,8 ve açık alan için 0,2 olarak tavsiye edilmiştir (UNSCEAR, 2000). Bu meşguliyet faktörleri insanların yılın 7000 saatini evde, 1760 saatini açık alanlarda geçirdiğini ifade etmektedir. Ülkeden ülkeye kapalı alanlarda geçirilen zamanlar farklılıklar gösterir.

Kırıkkale ili, yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlı geçen tipik karasal iklim özelliğine sahiptir. Çoğunlukla halk, tarım ve hayvancılıkla geçimini sağlar. Yazın halkın çalışma alanı tarlalardır. Fakat kışın çoğunlukla sobalı evlerinde zaman geçirirler. Dolayısıyla bu çalışmada, halkın alacağı yıllık etkin doz eşdeğerleri meşguliyet faktörü kapalı alan için 0,7 açık alanlar için 0,3 olarak alınmıştır.

Kırıkkale halkı için yapılan hesaplamalarda, kapalı alanlarda (iç ışınlamalar), bir yılda alacağı toplam ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 1,73 mSv ve dış ışınlamalardan dolayı alacağı toplam ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri 0,23 mSv olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, Kırıkkale’de yaşayan bir kişinin, iç ve dış ışınlamalardan alacağı toplam yıllık etkin doz eşdeğeri 1,96 mSv olur (Tablo 4.48). Bu değer ICRP 65 tarafından önerilen 200-600 Bq/m³ (evde geçirilecek süre 7000 saat ve denge faktörü 0,4 alınarak) radon konsantrasyonlarına karşılık gelen 3 mSv/yıl ile 10 mSv/yıl olan eylem seviyelerinin altında kalmaktadır.

İstanbul halkı 2,34 mSv (Karahan, 1997) ve Dikili jeotermal bölgesinde yaşayan halk 2,67 mSv (Günaydı, 2004) tüm vücut yıllık etkin eşdeğer doza maruz kalırken Kestanbol kaplıcasında çalışan personel, iç ve dış ışınlamalarla 4,0 mSv (Çelebi, 1995) tüm vücut yıllık etkin eşdeğer doza maruz kalmaktadır. Dünya ortalaması için bu değer 2,4 mSv olarak belirlenmiştir (UNSCEAR, 1988).

Kırıkkale evlerinde yaşayan bir insanın, ortalama radon ve bozunma ürünlerini solumasıyla bir yıl içinde akciğer kanseri olma olasılığı $1,26 \times 10^{-4}$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.49). Ortalama yaşam süresi 70 olarak alındığında kanserden ölüm riski olasılığı ise $8,8 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer literatürde İstanbul halkı için $7,35 \times 10^{-3}$ (Karahan, 1997) ve Dikili jeotermal bölge halkı için $2,14 \times 10^{-4}$ (Günaydı, 2004) olarak verilmiştir.

KAYNAKLAR

AIKAINEN, M. and KAHLOS, H., 1980, *International Radiation Doses from Radioactivity of Drinking Water in Finland*, Health Physics, Vol. 39.

ALTAY, T.,1998, *Suların Radyoaktif Kirlenmesini Kontrol Laboratuvarı El Kitabı*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Yayın No:İZ-922, Ankara.

ATAKSOR, B., 2002, *Toplam Alfa ve Toplam Beta Radyoaktivite Tayini ile Havza Yüzey Suları Kirliliğine İlişkin Yeni Bir İnceleme ve Reseptör Model ile Karşılaştırmalı Değerlendirmesi*, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

AYÇIK, G., 2000, *Çevre Radyoaktivitesinin İzlenmesinde Örneklem, Ölçüm ve Analiz Yöntemleri*, 94 sayfa, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, TAEK-TR-2000-1.

BECK, H. L., 1982, The Natural Radiation Environment II. USERDA Conf.-720805-p2, *The Physics of Environmental Gamma Radiation Fields*, p.(101-104).

BEIR V, 1990, Committee on Health Risks of Exposure to Radon, “*Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*”, National Academy Press, Washington, D.C.

BEIR VI, 1999, Committee on Health Risks of Exposure to Radon, “*Health Effects of Exposure to Radon*”, National Academy Press, Washington, D.C.

BEIR VII Phase 2, 2006, Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council, “*Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*”, National Academy Press, Washington, D.C.

BERTHOLD Technologies, 2008, *Instruments for science and Industry*, Berthold Technologies GmbH & Co. KG.

BOZKURT, A., YORULMAZ, N., KAM, E., KARAHAN, G. and OSMANLIOĞLU A.E., 2007, *Assessment of Environmental Radioactivity for Sanliurfa Region of Southeastern Turkey*, Radiation Measurement, 42, 1387-1391.

CHOPPIN, R. G. and LILJENZIN, J., 2002, *Radiochemistry and Nuclear Chemistry*, Butterworth-Heinemann, USA.

CLS, 1999, Commission on Life Sciences, *Evaluation of Guidelines for Exposures to Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*, National Academies Press, Washington, D.C.

COTHERN, C. R. and LAPPENBUSCH, W. L., 1983, *Compliance Data for the Occurrence of Radium and Gross Alpha Particle Activity in Drinking Water Supplies in the U. S.*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460.

ÇELEBİ, N., 1995, *Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, İ.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÇELEBİ, N. ve ALKAN, H., 1997, *Evaluation of Natural Radiation in the Kestanol Spa Region*, Radiation Protection Dosimetry Vol.69, No. 3, 227-230,1997.

ÇELEBİ, N., TAŞDELEN, M., KOPUZ, G., ULUĞ, A., “Antalya Evlerinde Radon Konsantrasyon Ölçümleri”, 2000- GAP-Çevre Kongresi, Vol.2,1053-1058,2000.

ÇELEBİ, N., 2007, “Konutlarda Radon Konsantrasyon Değerlerinin Yapı Biyolojisi Açısından İncelenmesi”, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi / Teskon 2007, İzmir.

DAMLA, N., 2005, *Doğu Karadeniz Bölgesi İçme Sularında Toplam Alfa, Toplam Beta ve Gama Aktivitesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

DAMLA, N., CEVİK, U., KARAHAM, G. and KOBYA, A. I., 2006, *Gross alpha and beta activities in tap waters in Eastern Black Sea region of Turkey*, Chemosphere 62, 957–960.

DEĞERLİER, M., 2007, *Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması*, Doktora Tezi, Çukurova Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

DİZMAN, S., 2006, *Rize İli ve İlçelerindeki Doğal Gamma Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

DURRANI, S.A. and ILIÇ, R., 1997, *Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation Protection*, Earth Sciences and the Environment, World Scientific, New Jersey, U.S.A., 387p.

EISENBUD, M., 1987, *Environmental Radioactivity: from Natural, Industrial, and Military Sources*, Academic Pres, San Diego.

EPA, 1980, United States Environmental Protection Agency, *Gross Alpha and Gross Beta Radioactivity in Drinking Water Method 900.0*.

EPA, 1992, *A Citizen’s Guide to Radon*, EPA Document 402-K92-001.

GARASH, I.G., SAEKİ, N., TAKAHATA, K., et al, 1995, *Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan Science*, 269, 60-64.

GESELL, T.F., 1975, *Occupational Radiation Exposure Due to ^{222}Rn in Natural Gas and Natural Gas Products*, Health Physics, 29 681-687.

GÖREN, E., 2011, Adana İçme Sularında Tritiyum Radyoaktivitesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

GÜNAYDI, T., 2004, *İzmir-Dikili Jeotermal Sahalarına Yakın Yerleşim Alanlarında Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

HARLEY, N.H. and HARLEY, J.H, 1990, *Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exposure*, Ca, A Cancer Journal for Clinician, 40, 5, 265-275, Sept./Oct., 1990.

<http://www.kirikkale.gov.tr/cografya/> [Ziyaret Tarihi:17 Kasım 2011]

<http://energy.cr.usgs.gov/radon/georadon/> [Ziyaret Tarihi:11 Eylül 2011]

IAEA, 1996, International Atomic Energy Agency , “*Radiation Safety*”, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.

IAKOVLEVA, V.S. and RYZHAKOVA, N.K., 2003, *Spatial and Temporal Variations of Radon Concentration in Soil Air*, Radio. Measur. 36, 385-388.

ICRP, 1975, International Commission on Radiological Protection, *Report of the Task Group on Reference Man*, ICRP Publication, No.23, Pergamon Press.

ICRP, 1977, International Commission on Radiological Protection, *Recommendations of the International Commission of Radiological Protection*, ICRP Publication, No.26, Pergamon, Oxford.

ICRP, 1990, International Commission on Radiological Protection, *Recommendations of the Commission*, ICRP Publication, No.60, Pergamon, Oxford.

ICRP, 1994, International Commission on Radiological Protection, *Protection Against Radon-222 at Home and at Work*, Annals of the ICRP, ICRP Publication, No.65, Pergamon, Oxford.

KAM, E., 2004, *Tekirdağ’ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini*, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KAM, E. and BOZKURT, A., 2007, *Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey*, Appl. Radiat. Isotopes 65, 440–444.

KARAHAN, G., 1997, *İstanbul'un Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerleri*, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

KARAHAN, G., 2010, *Risk Assessment of Baseline Outdoor Gamma Dose Rate Levels Study of Natural Radiation Sources in Bursa, Turkey*, Radiation Protection Dosimetry Advance Access Published September 10, 2010, pp. 1-8.

KARAHAN, G., OZTURK, N. and BAYULKEN, A., 2000, *Natural radioactivity in various surface waters in Istanbul, Turkey*, Water Res. 34(18), 4367–4370.

KESKİN, S., 2008, *Tuz Gölü Civarından Alınan Toprak Örneklerde Doğal Radyonüklidlerin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KNOLL, G. F., 1979, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, Inc.USA.

KÖKSAL, M.E., ÇELEBİ, N. ve ÖZÇINAR, B., (1993), Indoor ^{222}Rn Concentration in İstanbul Houses, Health Physics, Volume 63, p.1.

KÖKSAL, M.E. ve ÇELEBİ, N., 2003, *Radon ve Türkiye Evlerinde Radon Ölçümleri*, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Yayını.

KRANE, K.,S., 1988, *Introductory Nuclear Physics*, Chapter 7, John Wiley & Sons, Inc., New York 10158, USA.

LAL, D. and PETERS, B., 1967, *Cosmic Ray Produced Radioactivity on the Earth*, Encyclopedia of Physics, p.551.

LİBOFF, A. R., 1975, *Cosmic Ray Ionization in the Lower Atmosphere*, The Natural Environment II.

LUCAS, H. F., 1991, *Radium-226 Whole-Body Gamma Counting and Radon-222 Breath Analysis*, Health Physics, 60: 163-167.

MALANCA, A., REPETTİ, M. and MACEDO, R. H., 1988, *Gross Alpha and Beta-Activities in Surface and Ground Water of Rio Grande do Norte, Brazil* Appl. Radiat. Isot. 49, 893-898.

MAROFF, B. A., MOHAMED, A. S., TAHA, J. S. and AL-HADDAD, I. K., 1962, *Population Doses from Environmental Gamma Radiation in IRAQ*, Health Physics, Volume 62.

MARTIN, A. and HARBISON, S., 2006, *An Introduction to Radiation Protection*, Hodder Arnold an Hachette UK Company, Fifth Edition.

MERDANOĞLU, B., 2004, *Kestanbol (Çanakkale) Civarındaki Su, Toprak ve Granit Örneklerinde Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

MYRICK, T. E., BERVEN, B. A. and HAYWOOD, F. F., 1983, *Determination of Concentration of Selected Radionuclide in Surface Soil in the U.S.*, Health Physics, Volume 45: 631-642.

NCRP 50, 1977, National Council on Radiation Protection and Measurements; *Environmental Radiation Measurements*, NCRP Report No:50, Bethesda, Maryland.

NCRP 97, 1988, National Council on Radiation Protection and Measurements; *Measurements of Radon and Radon Daughters in Air*, NCRP Report No:97.

NIEWIADOMSKI, T., KOPERSKI, J. and RYBA, E., 1982, *Natural Radiation in Poland and its Disturbance in an Urban Environment*, Health Physics, Volume 38.

NOR, M., E. and MAGUIRE JR, G. Q., 2007, *Radiation Protection in The Health Sciences*, 2nd. Edition, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore 596224.

OECD, 1979, The Organization for Economic Co-operation and Development, Activities of the OECD, *Nuclear Energy*, Report of a Group Expert, No.48761, p.35.

OSMANLIOĞLU, A. E., KAM, E. and BOZKURT, A., 2007, Assessment of background radioactivity level for Gaziantep region of Southeastern Turkey. Radiat. Prot. Dosimetry 24(4), 407–410.

OTANSEV, P., KARAHAN, G., KAM, E., BARUT, İ., TASKIN, H., 2011, “Assessment Of Natural Radioactivity Concentrations And Gamma Dose Rate Levels In Kayseri, Turkey”, Radiation Protection Dosimetry, doi: 10.1093/rpd/ncr023

OTTON, J.K., GUNDERSEN L.C.S. and SCHUMANN, R.R., 1995, U.S. Department of The Interior/ U.S. Geological Survey.

ÖZÇINAR, B., KÖKSAL, E. M., AKAR, B., KOPUZ, G., BÜYÜKKASAP, E., ÇETİN, A., KÜÇÜKÖNDER, A., ÜNLÜ, Y., 1996, *Erzurum ve Şanlıurfa İllerinde Radon Gazı Radyoaktivite Konsantrasyonları*, 7.Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknoloji Kongresi, 538—543.

ÖZKORUCUKLU, S., AKYILDIRIM, H. ve ÇAPALI, V., 2006, “Isparta İli’nde Radon Yoğunluk Ölçümleri”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,10-3 (2006),323-327.

ÖZMEN, B., NURLU, M. ve GÜLER, H., 1997, *Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 89 s., Ankara.

SAMUEL, L.D., 1964, *A Study of Environmental Exposure to Radium in Drinking Water*, The Natural Radiation Environment, p.239.

SCOTT, R.C. and BERKER, F.B., 1962, *Data on Uranium and Radium in Ground Water in The U.S.*, 1954 to 1957.

SEMKOW, T.M. and PAREKH, P.P., 2001, *Principles of Gross Alpha and Beta Radioactivity Detection in Water*, Health Physics, 81(5), 567-574.

STANDART METHODS, SM 7110 C, 2005, *Coprecipitation Method for Gross Alpha Radioactivity in Drinking Water*, Standart Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th Edition, Available from American Public Health Association, 1015 Fifteenth Street N.W., Washington, D.C.

SURBECK, H., 1997, *Natural Radionuclide, Sampling Analytics and Measurement, Determination of Radio nuclides in Environmental Samples*, IAEA Regional Training Course, Karlsruhe Research Center, 23 June-11 July, Germany.

TAEK, 2000, *Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği*, 24.03.2000, Sayı: 23999, Madde 37.

TAEK Teknik Rapor 2009, *Türkiye'deki Çevresel Radyoaktivitenin İzlenmesi, 2007*, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, TAEK-TR-2009-1.

TAEK Teknik Rapor 2011, *Kapalı Ortamlarda Radon ve Olası Sağlık Riskleri*, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, Teknik Rapor.

TAŞKIN, H., 2006, *İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Ü., Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TEODERE, D.F. and EDWARDS, J.N., 1993, *Housing, Stres and Well-Being, Evidence from Tailand*, Soc. Sci. Med., 36, 1417-28.

TIEH-CHI CHU, PAO-SHAN WENP and YU-MING LING, 1989, *Changes in Per Capita and Collective Dose Equivalent due to Natural Radiation in Taiwan 1950-1983*, Health Physics, Volume 57.

THOMAS, DC., MCNEILL, KG. and DOUGHERTY, C., 1985, *Estimates of Life-time Lung Cancer Risks Resulting from Rn Progeny Exposure*, Health Physics, 49, 825-846.

TÜYSÜZ, M.Z., 2004, *Co-60 Teleterapi Kaynağı İçin Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı*, Bitirme Tezi, Harran Ü., Fen-Ed. Fak., Fizik Bölümü, Şanlıurfa.

UNSCEAR 88 Report, 1988, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: *Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation*, United Nations sales publication No.E.88.IX.7, New York.

UNSCEAR 88 Report, 1988, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiationn, *Annex A, Exposure from Natural Sources of Radiation*, p.94.

UNSCEAR 93 Report, 1993, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: *Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation*, United Nations sales publication No.E. 94.IX.2, New York.

UNSCEAR 93 Report, 1993, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Annex A, Terrestrial Sources of Radiation*, p.63, *Annex A Exposures from Natural Sources of Radiation*, UNSCEAR Report 1993.

UNSCEAR Report 2000, 2000, United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, *Annex B Exposures from Natural Radiation Sources*.

URBAN, M. and PİESCH, E., 1981, *Low-Level Environmental Radon Dosimeter with a Passive Track Etch Detector Device*, *Radiation Protection Dosimeter*, 1, 97-109.

YAŞAR S., ALKAN H. ve TÜRER A., 1984, *İstanbul İçi Gama Radyasyon Ölçümleri*, TÜBİTAK Ulusal Çevre Sempozyumu Tebliğleri, Adana.

YAŞAR, S., 1987, *Alfa ve Beta Radyoaktivite Tayininde Kullanılan Laboratuvar Sayım Sistemleri*, Enstrümantal Analiz Yöntemleri Kursu, Teknik Rapor, 41.

YÜLEK, G.G., 1992, *“Radyasyon Fiziği (İyonlayıcı ve İyonlayıcı Olmayan) ve Radyasyondan Korunma”*, SEK Yayınları:14, Ankara.

ZHUKOVSKY, M. and YARMOSHENKO, I., *“Influences of Geological and Housing Characteristics on Indoor Radon”*, IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, 23-27 August 1999, Budapest.

ZUNİC, Z.S., MC LAUGHLIN, J.P., WALSH, C., BIROVLJEV, A., SIMOPOULOS, S.E., JAKUPI, B., GORDANIÇ, V., DEMAJO, M., TROTTI, F., FALK, R., VANMARCKE, H., PARIDAENS, J. and FUJIMOTO, K., 1999, *“Elevated Natural Radiation Exposures in a Rural Community in Yugoslavia”*, IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europa, 23-27 August 1999, Budapest.

EKLER

EK- A: KIRIKKALE İLİ HAVADA GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜMLERİ

SIRA	İLÇE ADI	ÖLÇÜM YERİ	KUZEY	DOĞU	GAMA DOZ HIZI (nGy/h)
1	Merkez	Bağlarbaşı mah.	40,1221	33,75868	86
2	Merkez	Etiler mah.	40,2393	33,74197	120
3	Merkez	Sanayi mah.	40,21313	33,79563	112
4	Merkez	Gündoğdu mah.	40,1726	33,80358	142
5	Merkez	Osmangazi mah.1	40,17997	33,86633	114
6	Merkez	Selimözer mah.	40,25522	33,88627	121
7	Merkez	Karşıyaka mah.	40,23817	33,9415	103
8	Merkez	Tepebaşı-Gürler mah.	40,26067	33,92685	122
9	Merkez	Hasandede Kasabası 1	40,252	33,84135	162
10	Merkez	Hasandede Kasabası 3	40,26642	33,84385	152
11	Merkez	İl Sağlık Müd.	40,31618	33,78302	125
12	Merkez	Sanayi mah.	40,30893	33,67132	119
13	Merkez	Yukarımahmutlar köyü	40,22483	33,63135	237
14	Merkez	Hacılar Kasabası 1	40,1666	33,70507	104
15	Merkez	Karacaali köyü	40,07192	33,64657	265
16	Merkez	Kızıldere köyü	40,12657	33,6168	85
17	Merkez	Pazarcık köyü	40,09305	33,59705	145
18	Merkez	Ulaş köyü	40,05438	33,58475	221
19	Merkez	Kazmaca köyü	39,8376	33,50135	76
20	Merkez	Fabrikalar mah. (MKE)	39,79108	33,5475	90
21	Merkez	Ahılı köyü	39,83363	33,51805	320
22	Merkez	Bahçelievler mah.	39,89668	33,6149	150
23	Merkez	Pazarcık köyü çıkışı	39,75865	33,4566	50
24	Merkez	Tüpraş Rafineri-Hacılar	39,72585	33,43027	63
25	Merkez	Hacılar Kasabası 1	39,72108	33,42973	136
26	Merkez	Hacılar Kasabası 2	39,5773	33,43443	96
27	Merkez	Sanayi mah.	39,55205	33,4496	125
28	Merkez	Gürler mah.	39,44197	33,54057	107
29	Merkez	Yaylacık mah.	39,44833	33,43777	112

EK- A: KIRIKKALE İLİ HAVADA GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜMLERİ (Devamı)

SIRA	İLÇE ADI	ÖLÇÜM YERİ	KUZEY	DOĞU	GAMA DOZ HIZI (nGy/h)
30	Merkez	Valilik-Meydan	39,4331	33,39513	100
31	Merkez	Ovacık mah.	39,48005	33,4198	95
32	Bahşılı	Toplum Sağ. Merkezi	39,85473	33,49275	80
33	Bahşılı	Çamlıca köyü	39,85105	33,51638	92
34	Bahşılı	Küreboğazı köyü	39,84897	33,52425	152
35	Bahşılı	Küçüksarıkayalar köyü	39,84198	33,53692	105
36	Bahşılı	Büyüksarıkayalar köyü	39,84198	33,37022	99
37	Bahşılı	Karaahmetli Kasabası 1	39,82942	33,53622	123
38	Bahşılı	Karaahmetli kasabası 2	39,82285	33,52048	107
39	Balıseyh	Toplum Sağ. Merkezi	39,8451	33,51118	96
40	Balıseyh	Dikmen köyü	39,67375	33,61655	247
41	Balıseyh	Aydınşeyh köyü	39,48197	33,74108	165
42	Balıseyh	Hıdırşeyh köyü	39,56615	33,78292	136
43	Balıseyh	Kösedurak köyü	39,5613	33,79143	107
44	Balıseyh	Kulaksız köyü	39,59218	33,78335	80
45	Balıseyh	Beyobası köyü	39,63442	33,78932	222
46	Balıseyh	Kılevli köyü	39,63555	33,73157	299
47	Balıseyh	Mehmetbeyobası köyü	39,65823	33,66975	168
48	Balıseyh	Kırlangıç köyü	39,69347	33,73197	224
49	Balıseyh	Beşbıçak köyü	39,68635	33,74333	98
50	Balıseyh	Koçubaba Kasabası	39,77263	33,74735	154
51	Balıseyh	Dağobası köyü	39,77025	33,78888	135
52	Balıseyh	Ulaklı köyü	39,7655	33,82657	62
53	Balıseyh	Balıseyh-Delice yönü çıkışı	39,70713	33,8405	126
54	Balıseyh	Eldelek köyü	39,71188	33,86238	128
55	Balıseyh	İzzettin köyü	39,74477	33,90185	89
56	Balıseyh	Karalı köyü	39,70722	33,94118	98
57	Balıseyh	Uzunlar köyü	39,6801	33,95397	188
58	Balıseyh	Işıklar merkez	39,66383	33,87763	249
59	Balıseyh	Kenanbeyobası köyü	39,73955	33,57593	150
60	Balıseyh	Akçakavak köyü	39,73742	33,57772	190
61	Çelebi	Müsellim köyü	39,71847	33,54097	285
62	Çelebi	Kepirli köyü	39,76363	33,5086	270
63	Çelebi	karaağıl köyü	39,76147	33,50685	262
64	Çelebi	Tilkiliköy	39,86275	33,4805	255
65	Çelebi	Karahacılı köyü	39,84573	33,5243	225
66	Çelebi	Toplum Sağ. Merkezi	39,87132	33,64093	156
67	Çelebi	Karaağaç köyü	39,91583	33,71535	152

EK- A: KIRIKKALE İLİ HAVADA GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜMLERİ (Devamı)

SIRA	İLÇE ADI	ÖLÇÜM YERİ	KUZEY	DOĞU	GAMA DOZ HIZI (nGy/h)
68	Çelebi	Halildede köyü	39,95968	33,66585	95
69	Çelebi	Kaldırım köyü	39,9905	33,62113	147
70	Çelebi	Alıcıyenyapan köyü	40,02263	33,65963	111
71	Çelebi	Hacıyusuflu köyü	40,0603	33,71902	252
72	Çelebi	Gülveren mah.	40,0026	33,72368	166
73	Delice	Toplum Sağ. Merkezi	39,93988	34,03175	133
74	Delice	B.Avşar köyü 1-Yeni m.	40,05313	33,95208	124
75	Delice	B.Avşar köyü 2	40,0449	33,9539	107
76	Delice	İmirli köyü	40,07963	33,93917	123
77	Delice	Meşeyayla köyü	40,10698	33,94668	112
78	Delice	Çatallı köyü	40,13502	33,97743	68
79	Delice	Kavakköy	40,16443	33,99022	70
80	Delice	Gözükızılı köyü	40,15155	34,02688	56
81	Delice	Sahçalı köyü	40,12602	34,02667	72
82	Delice	Bozköy	40,10327	34,03625	93
83	Delice	Evliyali köyü	40,03882	34,08308	107
84	Delice	Merkez	39,66693	33,68055	94
85	Delice	Çerikli Kas.1-Sakarya mah.	39,73418	33,82822	114
86	Delice	Tavaözü köyü	39,5706	33,63825	83
87	Delice	Çatalıkarakoyunlu girişi	39,528	33,60782	84
88	Delice	Tekkeköy	39,58297	33,57843	73
89	Delice	Halitli köyü	39,56135	33,53918	63
90	Delice	Eskiköy	39,59702	33,49317	126
91	Delice	Ocakbaşı köyü	39,61843	33,53673	92
92	Delice	Tatlıcak köyü	39,6401	33,58148	104
93	Delice	Çerikli Kas.2-Yeni mah.	39,64458	33,53183	121
94	Delice	Herekli köyü	39,66552	33,55447	88
95	Delice	Çongar köyü	39,8748	33,72085	83
96	Delice	Kuzeyyurt köyü	39,85488	33,75772	67
97	Delice	Baraklı köyü	39,80548	33,78955	97
98	Delice	Büyükyazlı köyü	39,87823	33,79335	96
99	Delice	Sarıkaya köyü	40,01993	33,81955	91
100	Karakeçili	Sulubük köyü	40,06992	33,87897	95
101	Karakeçili	Akkoşan köyü	40,0721	33,91593	125
102	Karakeçili	Toplum Sağ. Merkezi	39,9486	34,03083	122
103	Keskin	Toplum Sağ. Merkezi	39,89427	33,99442	85
104	Keskin	İnziloğlu köyü	39,83702	33,94055	172
105	Keskin	Efendiköyü	39,82788	33,92713	39

EK- A: KIRIKKALE İLİ HAVADA GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜMLERİ (Devamı)

SIRA	İLÇE ADI	ÖLÇÜM YERİ	KUZEY	DOĞU	GAMA DOZ HIZI (nGy/h)
106	Keskin	Efendiköyü girişi	39,81238	33,8896	63
107	Keskin	Yoncalı köyü	39,79463	33,91922	60
108	Keskin	Beşler köyü	39,77568	33,99365	47
109	Keskin	Polatyrdu köyü	39,75018	33,99522	23
110	Keskin	Barak köyü	39,83127	34,01857	46
111	Keskin	Kavurgalı köyü	39,89672	34,00285	40
112	Keskin	Ceritmüminli Kasabası	39,878	33,94213	95
113	Keskin	Gazibeyli köyü	39,86455	33,87077	50
114	Keskin	Eroğlu köyü	39,9924	33,53425	77
115	Keskin	Turhanlı köyü	39,9746	33,50013	82
116	Keskin	Göçbeyli köyü	39,92527	33,47522	83
117	Keskin	Büyükceceli köyü	39,92463	33,4358	82
118	Keskin	B.Barakobası köyü	39,8473	33,45218	72
119	Keskin	Çamurabatmaz köyü	39,80693	33,45917	85
120	Keskin	Takazlı köyü	39,77125	33,37363	83
121	Keskin	Hacıömersolaklısı köyü	39,72593	33,43005	164
122	Keskin	Kurşunkaya köyü	39,72213	33,36818	172
123	Keskin	Kurşunkaya köyü çıkışı	39,6731	33,34752	186
124	Keskin	Cankurtaran köyü	39,66793	33,33118	182
125	Keskin	Seyifli köyü	39,66	33,4153	46
126	Keskin	Üçevler köyü	39,6571	33,41652	50
127	Keskin	Gülkonak köyü	39,62488	33,40605	113
128	Keskin	Armutlu köyü	39,64272	33,39857	201
129	Keskin	Ceritkale köyü	39,59585	33,38155	187
130	Keskin	Konur kasabası	39,52525	33,55167	242
131	Keskin	Haydardede köyü	39,53017	33,52102	185
132	Keskin	Danacıobası köyü	39,52463	33,49473	213
133	Keskin	Cabatobası köyü	39,54442	33,4736	164
134	Keskin	Konurhacıobası köyü	39,57508	33,43268	215
135	Keskin	Çalış köyü	39,66188	33,54092	162
136	Keskin	Köprüköy-Balıkçı	39,46558	33,52875	145
137	Keskin	Köprüköy-Yenimah.	39,88775	33,53793	288
138	Keskin	Köprüköy çıkışı	39,94467	33,5605	251
139	Keskin	Keskin girişi	39,92652	33,61068	109
140	Keskin	Hacıaliobası köyü	39,87758	33,5768	131
141	Keskin	Aşağışeyh köyü	40,0643	33,79893	185
142	Sulakyurt	Çevrimli köyü	39,49675	33,46497	85
143	Sulakyurt	Yeşilyazı köyü	39,66497	33,6144	77

EK- A: KIRIKKALE İLİ HAVADA GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜMLERİ (Devamı)

SIRA	İLÇE ADI	ÖLÇÜM YERİ	KUZEY	DOĞU	GAMA DOZ HIZI (nGy/h)
144	Sulakyurt	Sofularçiftliği köyü	39,91535	33,74458	76
145	Sulakyurt	Sarıklı köyü	39,95225	33,74627	136
146	Sulakyurt	Yeniceli köyü	39,93058	33,84982	79
147	Sulakyurt	Ayvatalı köyü	39,97093	34,20038	54
148	Sulakyurt	Danacı köyü	39,94025	34,10018	73
149	Sulakyurt	Danacı köyü çıkışı	39,95533	33,91935	64
150	Sulakyurt	Güzelyurt Kasabası 1	39,97593	33,87605	93
151	Sulakyurt	Güzelyurt Kas. meydanı	39,93027	33,39675	72
152	Sulakyurt	Kıyihalilinceli köyü	39,81208	33,7128	85
153	Sulakyurt	Hamzalı Kasabası 1	39,86655	33,6701	85
154	Sulakyurt	Koruköyü	40,16013	33,71752	75
155	Sulakyurt	Toplum Sağ. Merkezi	40,12827	33,81208	105
156	Sulakyurt	Deredüzü köyü	40,13255	33,83798	75
157	Sulakyurt	Ortaköy	39,84385	33,4539	70
158	Sulakyurt	Anbardere köyü	39,62735	33,56968	84
159	Sulakyurt	Merkez-Yenimah.	39,83792	33,52085	87
160	Sulakyurt	Kalekişla köyü	39,83968	33,5116	51
161	Sulakyurt	Faraşlı köyü	39,83973	33,79277	112
162	Sulakyurt	Yeniöz mah.	39,95168	34,15402	44
163	Sulakyurt	Sarımbey köyü	39,90918	33,65805	70
164	Yahşihan	Keçili köyü	39,49458	33,6114	85
165	Yahşihan	Keçili köyü yolu taş ocağı	39,46292	33,52333	56
166	Yahşihan	Mahmutlar köyü	39,84223	33,50158	85
167	Yahşihan	Hacıballı köyü	39,84018	33,50488	85
168	Yahşihan	Toplum Sağ. Merkezi	40,15843	33,71808	104
169	Yahşihan	İrmak Kasabası	40,27972	33,72973	87
170	Yahşihan	Yahşihan çıkışı	39,844	33,50552	85
Kırıkkale İl Geneli Gama Doz Hızı Ortalaması					121

EK-B : KIRIKKALE İLİ YAZ VE KIŞ DÖNEMİ RADON DEDEKTÖRLERİN SAYIM SONUÇLARI

SIRA	İLÇE ADI	DEDEKTÖRÜN KONULDUĞU YER	YAZ DÖNEMİ RAC (Bq/m ³)	KIŞ DÖNEMİ RAC (Bq/m ³)
1	Bahşılı	Küçüksarıkayalar 1	171	96
2	Bahşılı	Küreboğazı	88	37
3	Bahşılı	Küçüksarıkayalar 2	-	255
4	Bahşılı	Karaahmetli 2	118	372
5	Bahşılı	Merkez-Ata Dönmez mah.	55	92
6	Bahşılı	Merkez-TSM lojmanı	42	37
7	Bahşılı	Karaahmetli 1	35	49
8	Bahşılı	Çamlıca	29	66
9	Bahşılı	Büyüksarıkayalar	37	75
10	Balıseyh	Uzunlar	83	316
11	Balıseyh	Dikmen	33	96
12	Balıseyh	Mehmetbeyobası	148	172
13	Balıseyh	Aydınseyh	64	107
14	Balıseyh	Kösedurak	29	35
15	Balıseyh	Koçubaba	46	31
16	Balıseyh	Merkez 1	47	55
17	Balıseyh	Kılevli	68	112
18	Balıseyh	Eldelek	190	124
19	Balıseyh	Kulaksız	43	72
20	Balıseyh	Merkez 2	66	22
21	Balıseyh	Hıdırseyh	68	74
22	Balıseyh	Akçakavak	58	97
23	Balıseyh	Beşbıçak	63	50
24	Balıseyh	Ulaklı	75	18
25	Balıseyh	Beyobası	47	68
26	Balıseyh	İzzettin	77	75
27	Balıseyh	Karalı	14	50
28	Balıseyh	Kırlangıç	61	51
29	Çelebi	Karaagaç	127	150
30	Çelebi	Merkez-Gülveren mah.	53	96
31	Çelebi	Merkez-Fatih mah.	64	148
32	Çelebi	Hacıyusuflu	57	68
33	Çelebi	Merkez-Barbaros mah.	42	42
34	Çelebi	Kaldırım	68	187
35	Çelebi	Alıcıyenyapan	44	199
36	Çelebi	Karahacılı	91	328
37	Çelebi	Kepirli	288	484
38	Çelebi	Merkez-Yeni mah.	100	179
39	Çelebi	Tilkiliköy	49	56
40	Delice	Merkez-Fatih mah.	34	42
41	Delice	Merkez-Aktepe mah.	44	41
42	Delice	Meşeyayla	49	49
43	Delice	Merkez-Cumhuriyet mah.	41	36
44	Delice	Evliyalı	65	58
45	Delice	Merkez-Fevzi Çakmak mah.	42	91

EK-B : KIRIKKALE İLİ YAZ VE KIŞ DÖNEMİ RADON DEDEKTÖRLERİN SAYIM SONUÇLARI
(Devamı)

SIRA	İLÇE ADI	DEDEKTÖRÜN KONULDUĞU YER	YAZ DÖNEMİ RAC (Bq/m ³)	KIŞ DÖNEMİ RAC (Bq/m ³)
46	Delice	Çerikli 2-Yeni mah.	71	60
47	Delice	Gözüközüllü	115	46
48	Delice	Kavakköy	36	21
49	Delice	Bozköy	59	48
50	Delice	Büyükyazılı	85	64
51	Delice	Tekkeköy	80	111
52	Delice	Ocakbaşı	35	68
53	Delice	Büyükağaç 2	61	59
54	Delice	Kuzeyyurt	28	37
55	Delice	Tatlıcak	56	77
56	Delice	Çongar	22	47
57	Delice	Baraklı	25	38
58	Delice	Çerikli 1-Sakarya mah.	51	81
59	Delice	Büyükağaç 1	48	-
60	Karakeçili	Merkez-Zafer mah.	61	33
61	Karakeçili	Merkez-FSM mah.	39	46
62	Karakeçili	Merkez-Karşıyaka mah.	73	108
63	Karakeçili	Sulubük	44	50
64	Karakeçili	Merkez-Yeşilevler mah.	52	34
65	Karakeçili	Akkoşan	52	87
66	Keskin	Armutlu	52	169
67	Keskin	Gülkonak	149	257
68	Keskin	Takazlı	106	100
69	Keskin	Merkez-Maden mah.	71	78
70	Keskin	Kavurgalı	37	34
71	Keskin	Merkez-Bozkurt mah.	97	68
72	Keskin	Haydardede	38	37
73	Keskin	Köprükoy-ev	142	62
74	Keskin	Turhanlı	28	48
75	Keskin	Ceritmüminli	93	80
76	Keskin	Merkez-Altıntaş mah.	45	34
77	Keskin	Hacıömersolaklısı	43	102
78	Keskin	Kurşunkaya	66	136
79	Keskin	Beşler	47	89
80	Keskin	Konurhacıobası	46	60
81	Keskin	Büyükeceli	79	139
82	Keskin	İnziloğlu	41	34
83	Keskin	Ceritkale	78	75
84	Keskin	Cabatobası	85	237
85	Keskin	Konur kasabası	97	160
86	Keskin	Merkez-Gündoğdu mah.	100	197
87	Keskin	Efendiköyü	83	145
88	Keskin	Merkez-TOKİ	63	33
89	Keskin	B.Barakobası	81	108
90	Keskin	Danacıobası	264	257

EK-B : KIRIKKALE İLİ YAZ VE KIŞ DÖNEMİ RADON DEDEKTÖRLERİN SAYIM SONUÇLARI
(Devamı)

SIRA	İLÇE ADI	DEDEKTÖRÜN KONULDUĞU YER	YAZ DÖNEMİ RAC (Bq/m ³)	KIŞ DÖNEMİ RAC (Bq/m ³)
91	Keskin	Merkez-Yeni mah.	59	124
92	Keskin	Merkez-Yenice mah.	66	34
93	Keskin	Gazibeyli	120	114
94	Keskin	Çalış	162	-
95	Keskin	Barak	80	-
96	Keskin	Cankurtaran	202	-
97	Merkez	Osmangazi mah.1	131	323
98	Merkez	Sanayi mah.2	-	53
99	Merkez	Sanayi mah.1	65	54
100	Merkez	Yaylacık mah.	24	82
101	Merkez	Hacılar1	39	75
102	Merkez	Etiler mah.	26	47
103	Merkez	Ulaş köyü	53	419
104	Merkez	Selimözer mah.	37	40
105	Merkez	Osmangazi mah.2	31	36
106	Merkez	Kazmaca	43	36
107	Merkez	Hasandede 3	49	78
108	Merkez	Kızıldere	81	30
109	Merkez	Ahılı 2	81	93
110	Merkez	Yukarımahmutlar	29	116
111	Merkez	Yuva mah.	43	184
112	Merkez	Gündoğdu mah.	44	52
113	Merkez	Hasandede 2	37	54
114	Merkez	Pazarcık	54	78
115	Merkez	Çalılıöz mah.	78	44
116	Merkez	Ovacık mah.	38	80
117	Merkez	Karacaali	183	126
118	Merkez	Bağlarbaşı mah.	48	65
119	Merkez	Yeni mah.	24	30
120	Merkez	Kaletepe mah.	64	79
121	Merkez	Gürler-Tepebaşı mah.	32	30
122	Merkez	Hacılar 2	44	87
123	Merkez	Bahçelievler mah.	55	134
124	Merkez	Ahılı 1	54	44
125	Merkez	Hasandede 1	52	-
126	Merkez	Karşıyaka mah.	28	-
127	Sulakyurt	Hamzalı 2	-	46
128	Sulakyurt	Hamzalı 1	37	87
129	Sulakyurt	Ortaköy	40	42
130	Sulakyurt	Yeniceli	29	42
131	Sulakyurt	Merkez-Yeniöz mah.	23	49
132	Sulakyurt	Sarımbey	-	28
133	Sulakyurt	Sofularçiftliği	30	17
134	Sulakyurt	Güzelyurt 1	35	29
135	Sulakyurt	Danacı	39	19

EK-B : KIRIKKALE İLİ YAZ VE KIŞ DÖNEMİ RADON DEDEKTÖRLERİN SAYIM SONUÇLARI
(Devamı)

SIRA	İLÇE ADI	DEDEKTÖRÜN KONULDUĞU YER	YAZ DÖNEMİ RAC (Bq/m ³)	KIŞ DÖNEMİ RAC (Bq/m ³)
136	Sulakyurt	Merkez-Yeşilyurt mah.	45	83
137	Sulakyurt	Sarıklı	17	29
138	Sulakyurt	Güzelyurt 2	28	36
139	Sulakyurt	Hamzalı 3	-	29
140	Sulakyurt	Merkez-Has. Müd.	24	33
141	Sulakyurt	Kalekışla	-	34
142	Sulakyurt	Merkez-Yeni mah.	45	48
143	Sulakyurt	Çevrimli	19	21
144	Sulakyurt	Koruköyü	65	47
145	Sulakyurt	Faraşlı	46	29
146	Sulakyurt	Deredüzü	23	38
147	Sulakyurt	Anbardere	54	44
148	Sulakyurt	Yeşilyazı	38	46
149	Sulakyurt	Kıyılilinceli	82	-
150	Yahşıhan	Keçili	31	57
151	Yahşıhan	Hacıballı	24	49
152	Yahşıhan	Irmak-Yeşilöz mah.	26	61
153	Yahşıhan	Merkez-Alaaddin mah.	21	120
154	Yahşıhan	Merkez-Yenişehir mah	98	28
155	Yahşıhan	Kılıçlar	16	24

EK-C : KIRIKKALE TOPRAK ÖRNEKLERDEKİ ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K ve ¹³⁷Cs RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARI

ÖRNEK ALINAN YER			AKTİVİTE (Bq/kg)			
Sıra	İlçe	Örnek Alınan Yer	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
1	Bahşılı	TSM	19.4±1.2	32.2±0.9	538,8±38,6	6.4±0.5
2	Bahşılı	Büyüksarıkayalar	19.1±0.9	34.6±1.6	380,7±18,3	8.6±0.4
3	Bahşılı	Çamlıca	12.0±0.2	21.4±0.3	338.7±8.7	9.2±0.2
4	Bahşılı	Küreboğazı	22.6±0.7	33.1±0.8	584.4±19.4	0.9±0.1
5	Bahşılı	Küçüksarıkayalar	21.3±0.4	23.2±0.4	455.6±12.3	4.9±0.2
6	Bahşılı	Karaahmetli	22.6±0.7	31.3±0.7	544.3±18.1	6.2±0.4
7	Balıseyh	Dikmen	32.6±2.9	63.7±6.3	871,9±60,9	4.3±0.4
8	Balıseyh	Hıdırseyh	20.4±0.7	24.4±1.0	419,5±23,5	8.1±0.3
9	Balıseyh	Beyobası	35.3±0.8	80.6±1.3	1186.3±36.9	1.8±0.1
10	Balıseyh	Kılevli	41.8±1.3	110.5±2.2	1035.8±34.4	9.2±0.7
11	Balıseyh	Kırlangıç	24.2±0.5	51.6±0.7	843.6±22.0	< 0.5
12	Balıseyh	Kulaksız	17.3±0.3	25.7±0.4	490.5±13.2	3.0±0.1
13	Balıseyh	Beşbiçak	15.7±0.3	22.4±0.4	520.2±13.9	6.7±0.2
14	Balıseyh	Koçubaba	30.1±0.6	72.4±1.1	956.2±26.1	1.2±0.3
15	Balıseyh	Merkez	19.3±0.7	34.7±0.8	711.1±23.0	6.0±0.3
16	Balıseyh	İzzettin köyü	18.2±0.5	14.7±0.4	428.8±15.8	1.0±0.2
17	Balıseyh	Uzunlar köyü	53.0±0.8	94.8±1.1	1207.0±31.3	1.3±0.1
18	Balıseyh	Kösedurak	22.9±0.6	64.8±1.1	789.3±24.8	3.2±0.2
19	Çelebi	Tilkiliköy	11.6±0.7	38.2±2.3	399,8±19,8	< 0.4
20	Çelebi	TSM	18.8±0.7	66.2±2.1	964,8±45,0	6.8±0.4
21	Çelebi	Karahacılı	10.6±2.2	51.9±16.9	493,1±24,2	1.4±0.3
22	Çelebi	Kepirli	50.1±1.8	83.5±2.2	1002.6±37.8	8.9±0.6
23	Çelebi	Kaldırım	28.9±0.6	54.4±0.9	639.4±17.8	5.9±0.4
24	Çelebi	Hacıyusuflu	47.1±0.6	74.1±0.8	644.6±16.8	1.3±0.1
25	Delice	B.afşar 1-Yeni mah.	8.7±1.8	12.8±6.4	234,0±15,1	1.7±0.9
26	Delice	Kavakköy	6.2±1.0	4.3±2.3	132,2±56,7	0.8±0.3
27	Delice	Bozköy	17.3±1.3	35.8±3.5	870,2±28,5	10.7±1.0
28	Delice	Evliyalı	22.1±0.9	30.4±1.6	712,6±29,0	7.3±0.4
29	Delice	Çerikli1-Sakarya mah.	16.5±0.3	25.8±0.4	590.9±15.3	4.6±0.2
30	Delice	Tekkeköy	12.5±0.3	16.3±0.5	448.7±13.2	2.4±0.2
31	Delice	Ocakbaşı	13.5±0.3	16.6±0.3	410.1±11.1	6.5±0.2
32	Delice	Çongar	16.3±0.6	17.5±0.6	466.4±16.0	1.9±0.3
33	Delice	TSM	17.7±0.5	30.8±0.7	579.1±0.2	< 0.7
34	Delice	Kuzeyyurt	13.9±0.4	20.7±0.5	472.9±15.3	0.5±0.1
35	Delice	Baraklı	19.1±0.6	27.0±0.7	675.7±22.0	0.8±0.1
36	Delice	Büyükyazlı	22.7±0.4	16.7±0.5	447.9±20.9	1.1±0.2
37	Karakeçili	Sulubük	16.3±0.7	16.8±0.9	346,9±18,4	0.7±0.1
38	Karakeçili	Akkoşan	20.1±0.7	28.4±0.9	635.9±22.9	4.2±0.3
39	Karakeçili	TSM	21.5±0.5	26.5±0.5	466.2±15.5	4.1±0.2
40	Keskin	İnziloğlu	7.5±2.3	16.9±8.8	1029,0±98,4	1.9±0.9
41	Keskin	Efendiköyü	12.2±0.7	12.3±0.8	278,4±11,1	8.9±0.5
42	Keskin	Kavurgalı	10.6±0.5	9.7±0.7	232,2±10,5	2.0±0.2
43	Keskin	Gazibeyli	16.6±0.5	43.0±1.2	388,1±15,3	2.9±0.2
44	Keskin	Büyükceceli	4.9±3.0	6.8±3.9	184,9±92,2	2.5±1.4

EK-C : KIRIKKALE TOPRAK ÖRNEKLERDEKİ ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs RADYOAKTİVİTE KONSANTRASYONLARI (Devamı)

ÖRNEK ALINAN YER			AKTİVİTE (Bq/kg)			
Sıra	İlçe	Örnek Alınan Yer	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137
45	Keskin	Takazlı	5.7±1.0	6.8±2.4	219,0±10,3	< 0.2
46	Keskin	Hacıömersolaklısı	26.3±0.9	40.3±1.6	1075,0±38,9	6.2±0.3
47	Keskin	Kurşunkaya	25.8±2.2	73.2±6.6	1008,3±177,8	2.3±0.5
48	Keskin	Gülkonak	16.4±0.5	26.2±0.7	516.5±15.7	4.7±0.4
49	Keskin	Armutlu	28.5±0.5	74.5±1.0	1108.7±28.3	1.2±0.1
50	Keskin	Ceritkale	29.2±1.1	62.9±1.6	782.5±35.1	11.3±0.5
51	Keskin	Konur kasabası	45.3±0.8	89.0±1.2	976.4±26.6	2.8±0.2
52	Keskin	Danacıobası	24.4±0.8	73.1±1.4	1267.9±40.3	1.2±0.2
53	Keskin	Köprüköy çıkışı	37.9±0.8	98.7±1.2	1003.6±34.0	< 0.7
54	Keskin	Keskin girişi	20.6±0.6	44.5±1.0	751.2±23.8	< 1.0
55	Keskin	Çalış	22.0±0.7	47.7±1.0	1189.3±38.0	0.6±0.2
56	Keskin	Turhanlı	14.3±0.3	16.6±0.4	437.7±11.9	1.8±0.2
57	Merkez	Kızıldere köyü	18.7±0.7	24.9±0.9	468.0±17.7	11.9±0.7
58	Merkez	Kazmaca köyü	5.7±1.0	9.7±0.8	158,6±74,6	< 0.6
59	Merkez	Ulaş köyü	41.1±1.5	114.0±3.8	1169,2±53,2	3.0±0.2
60	Merkez	Kırıkkale girişi	7.9±1.0	13.7±0.8	163,9±47,7	< 0.4
61	Merkez	Ahılı	28.9±0.6	112.6±1.4	1270.4±33.1	1.3±0.5
62	Merkez	Pazarcık köyü çıkışı	9.5±0.3	3.7±0.2	145.4±7.1	0.7±0.2
63	Merkez	Hacılar 2	16.5±0.3	24.7±0.5	121.5±25.5	0.3±0.1
64	Merkez	Hasandede	50.5±0.8	163.5±1.8	1500.5±38.7	< 0.8
65	Merkez	Yukarımahmutlar köyü	26.0±0.6	43.4±0.9	822.2±28.7	3.1±0.4
66	Merkez	Karacaali köyü	52.2±0.8	107.4±1.3	1192.2±31.2	6.3±0.6
67	Sulakyurt	Deredüzü	13.6±0.5	22.2±0.9	538,3±21,0	6.5±0.3
68	Sulakyurt	Koruköyü	10.5±0.9	10.8±0.8	108,5±70,2	1.3±0.4
69	Sulakyurt	Hamzalı 1	17.9±1.0	22.1±1.1	442,2±18,7	4.4±0.3
70	Sulakyurt	Kıyılilinceli	12.8±0.5	20.1±0.9	356,3±16,7	1.0±0.2
71	Sulakyurt	Yeşilyazı	13.8±0.7	14.0±0.8	353,6±19,4	2.0±0.2
72	Sulakyurt	TSM	7.4±0.5	15.6±1.1	157,2±50,0	< 0.5
73	Sulakyurt	Sofularçiftliği	12.9±0.5	18.4±0.7	343.8±13.1	1.5±0.3
74	Sulakyurt	Yeniceli	6.2±0.3	10.1±0.4	263.5±9.2	5.5±0.3
75	Sulakyurt	Danacı	12.7±0.4	14.3±0.4	476.3±16.2	2.7±0.1
76	Sulakyurt	Güzelyurt 1	18.8±0.3	31.3±0.4	585.5±15.0	7.0±0.2
77	Sulakyurt	Ortaköy	11.0±0.5	20.8±0.8	323.9±12.6	3.4±0.4
78	Sulakyurt	Çevrimli	7.8±0.2	10.3±0.3	308.2±8.8	3.5±0.2
79	Sulakyurt	Faraşlı	17.0±0.7	27.8±0.9	501.7±17.8	7.7±0.5
80	Sulakyurt	Sarımbey köyü	8.1±0.2	19.2±0.4	203.8±6.3	3.2±0.2
81	Yahşıhan	Keçili	19.6±0.7	28.6±0.8	579.9±20.7	0.5±0.3
82	Yahşıhan	Hacıballı	27.6±0.6	34.2±0.7	607.8±18.4	1.9±0.2
83	Yahşıhan	Merkez	18.6±0.4	29.5±0.6	362.3±11.1	5.0±0.3
84	Yahşıhan	İrmak	12.5±0.4	19.8±0.5	324.3±10.3	1.0±0.2

EK-D : KIRIKKALE İLİ SU ÖRNEKLERİ TOPLAM ALFA VE TOPLAM BETA AKTİVİTELERİ

Kod No	Örnekleme Yeri		KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	İlçe Adı	Örnek Yeri	KUZEY	DOĞU		
1	Keskin	Merkez	39,67375	33,61655	0,247±0,027	0,409±0,027
2	Keskin	İnziloğlu	39,48197	33,74108	0,342±0,040	0,560±0,044
3	Keskin	Efendiköyü	39,56615	33,78292	0,099±0,021	0,120±0,019
4	Keskin	Kavurgalı	39,69347	33,73197	0,208±0,026	0,342±0,028
5	Keskin	Büyükceceli	39,71188	33,86238	0,095±0,032	0,219±0,039
6	Keskin	Takazlı	39,6801	33,95397	0,192±0,014	0,489±0,093
7	Keskin	Hacıömersolaklısı	39,66383	33,87763	0,718±0,032	0,458±0,047
8	Keskin	Kurşunkaya	39,73955	33,57593	0,277±0,029	0,420±0,027
9	Balışeyh	Dikmen	39,95968	33,66585	0,287±0,031	0,400±0,027
10	Balışeyh	Hıdırşeyh	40,02263	33,65963	0,213±0,033	0,192±0,028
11	Delice	B.afsar1-Yeni mah.	40,05313	33,95208	0,223±0,040	0,257±0,040
12	Delice	Kavakköy	40,16443	33,99022	0,187±0,038	0,418±0,044
13	Delice	Bozköy	40,10327	34,03625	0,296±0,017	0,407±0,061
14	Merkez	Kızıldere köyü	39,94467	33,5605	0,083±0,019	0,204±0,024
15	Sulakyurt	Deredüzü	40,07192	33,64657	0,056±0,024	0,112±0,032
16	Sulakyurt	TSM	40,1666	33,70507	0,086±0,028	0,147±0,034
17	Sulakyurt	Hamzalı 1	40,30893	33,67132	0,050±0,008	0,461±0,065
18	Sulakyurt	Kıyihalilinceli	40,31618	33,78302	0,149±0,012	0,137±0,039
19	Sulakyurt	Yeşilyazı	40,2393	33,74197	0,121±0,035	0,140±0,032
20	Merkez	Ulaş köyü	39,87758	33,5768	0,852±0,034	0,614±0,055
21	Merkez	Ovacık mah.	39,844	33,50552	0,074±0,015	0,123±0,017
22	Yahşıhan	TSM	39,8473	33,45218	0,096±0,030	0,200±0,033
23	Bahşılı	TSM	39,80693	33,45917	0,275±0,016	0,361±0,045
24	Bahşılı	Büyüksarıkayalar	39,66793	33,33118	0,051±0,025	0,242±0,036
25	Karakeçili	Sulubük 1	39,62488	33,40605	0,032±0,015	0,137±0,022
26	Karakeçili	Sulubük 2	39,62488	33,40605	0,038±0,015	0,109±0,020
27	Çelebi	Tilkiliköy	39,54442	33,4736	0,435±0,025	0,590±0,051
28	Çelebi	TSM	39,46558	33,52875	0,069±0,024	0,061±0,021
29	Çelebi	Karahacılı	39,66188	33,54092	0,041±0,016	0,122±0,019
30	Çelebi	Kepirli	39,53017	33,52102	0,060±0,016	0,160±0,022
31	Keskin	Gülkonak	39,5706	33,63825	0,012±0,003	0,230±0,024
32	Keskin	Armutlu	39,528	33,60782	0,075±0,005	0,357±0,026
33	Keskin	Ceritkale	39,58297	33,57843	0,049±0,004	0,310±0,031
34	Keskin	Konur Kasabası	39,56135	33,53918	0,085±0,005	0,481±0,038
35	Keskin	Danacıobası	39,61843	33,53673	0,809±0,034	0,874±0,063
36	Balışeyh	Beyobası	39,8748	33,72085	0,176±0,008	0,707±0,048
37	Balışeyh	Kılevli	39,85488	33,75772	0,051±0,010	0,126±0,017
38	Balışeyh	Kırlangıç	39,87823	33,79335	0,166±0,016	0,561±0,041
39	Balışeyh	Kulaksız	40,0026	33,72368	0,018±0,003	0,284±0,031
40	Balışeyh	Beşbıçak	40,01993	33,81955	0,040±0,004	0,261±0,041
41	Balışeyh	Koçubaba	40,06992	33,87897	0,025±0,003	0,100±0,040
42	Delice	Çerikli 1-sakarya m.	39,89427	33,99442	0,547±0,027	0,569±0,064
43	Delice	Tekkeköy	39,81238	33,8896	0,231±0,018	0,178±0,037
44	Delice	Ocakbaşı	39,75018	33,99522	0,148±0,014	0,160±0,032
45	Delice	Çongar	39,86455	33,87077	0,138±0,014	0,111±0,029

EK-D : KIRIKKALE İLİ SU ÖRNEKLERİ TOPLAM ALFA VE TOPLAM BETA AKTİVİTELERİ
(Devamı)

Kod No	Örnekleme Yeri		KOORDİNATLAR		Toplam Alfa Aktivitesi (Bq/L)	Toplam Beta Aktivitesi (Bq/L)
	İlçe Adı	Örnek Yeri	KUZEY	DOĞU		
46	Yahşıhan	Keçili	39,9924	33,53425	0,084±0,011	0,084±0,023
47	Yahşıhan	Hacıballı	39,92463	33,4358	0,016±0,017	0,117±0,020
48	Bahşılı	Çamlıca	39,77125	33,37363	0,196±0,017	0,159±0,024
49	Bahşılı	Küreboğazı	39,72213	33,36818	0,112±0,013	0,232±0,036
50	Bahşılı	Küçüksarıkayalar	39,6731	33,34752	0,142±0,015	0,327±0,041
51	Karakeçili	Akkoşan	39,64272	33,39857	0,090±0,012	0,129±0,025
52	Karakeçili	TSM	39,59585	33,38155	0,141±0,014	0,173±0,025
53	Sulakyurt	Sofularçiftliği	40,21313	33,79563	0,175±0,016	0,243±0,041
54	Sulakyurt	Yeniceli	40,17997	33,86633	0,067±0,011	0,079±0,018
55	Sulakyurt	Danacı	40,23817	33,9415	0,176±0,016	0,144±0,032
56	Sulakyurt	Güzelyurt 1	40,252	33,84135	0,241±0,019	0,225±0,047
57	Sulakyurt	Koruköyü	40,22483	33,63135	0,141±0,014	0,404±0,088
58	Sulakyurt	Ortaköy	40,12657	33,6168	0,059±0,010	0,062±0,036
59	Merkez	Kazmaca köyü	40,05438	33,58475	0,089±0,012	0,207±0,037
60	Keskin	Çalış köyü	39,66552	33,55447	0,312±0,021	0,422±0,051
61	Merkez	Ahılı köyü	39,79108	33,5475	0,738±0,035	0,457±0,034
62	Merkez	Pazarcık köyü	39,89668	33,6149	0,319±0,021	0,210±0,043
63	Merkez	Hacılar	39,72585	33,43027	0,237±0,018	0,230±0,042
64	Bahşılı	Karaahmetli	39,6571	33,41652	0,100±0,016	0,163±0,022
65	Keskin	Köprüköy	39,55205	33,4496	0,922±0,035	0,183±0,034
66	Çelebi	Kaldırım	39,4331	33,39513	0,326±0,022	0,105±0,023
67	Çelebi	Hacıyusuflu	39,49675	33,46497	0,107±0,021	0,123±0,027
68	Balıseyh	Merkez	39,91535	33,74458	0,568±0,028	0,401±0,052
69	Balıseyh	İzzettin	39,93058	33,84982	0,310±0,047	0,408±0,047
70	Delice	Merkez	39,93997	34,03225	0,116±0,036	0,374±0,046
71	Delice	Evliyali	40,03877	34,0831	0,108±0,064	0,147±0,052
72	Delice	Kuzeyyurt	39,97093	34,20038	0,406±0,024	0,208±0,028
73	Delice	Baraklı	39,94025	34,10018	0,059±0,028	0,111±0,040
74	Delice	Büyükyağlı	39,95533	33,91935	0,045±0,013	0,047±0,029
75	Merkez	Yukarımahmutlar	39,87132	33,64093	0,618±0,029	0,310±0,035
76	Merkez	Hasandede	39,76363	33,5086	0,069±0,016	0,133±0,021
77	Keskin	Gazibeyli	39,77263	33,74735	0,039±0,011	0,074±0,022
78	Keskin	Turhanlı	39,7655	33,82657	0,102±0,031	0,067±0,039
79	Yahşıhan	İrmak	39,93027	33,39675	0,023±0,020	0,037±0,031
80	Balıseyh	Uzunlar	39,81208	33,7128	0,031±0,018	0,069±0,026
81	Balıseyh	Kösedurak	40,0603	33,71902	0,127±0,028	0,183±0,036
82	Sulakyurt	Çevrimli	40,1221	33,75868	0,016±0,012	0,084±0,024
83	Sulakyurt	Faraşlı	40,13255	33,83798	0,086±0,029	0,133±0,030
84	Merkez	Karacaali	39,88775	33,53793	0,030±0,018	0,037±0,020
85	Sulakyurt	Sarımbey	40,27972	33,72973	0,128±0,014	-

EK –E:**EVLERDE RADON ARAŞTIRMASI BİLGİ FORMU**

Araştırma yapılan detektör no:.....
 Görüşmenin yapıldığı tarih :.....
 Görüşme yapılan kişinin adı soyadı:.....
 Görüşme yapılan kişinin adresi, tel no:.....
 Radon detektörünün eve konuş tarihi:.....Alınış tarihi:.....

Lütfen bina ve binanın yapısı hakkında uygun olanlarını işaretleyerek yanıtlayınız.

1. Evin tipi:

- ☐1. Apartman bodrumlu ☐2. Apartman bodrumsuz
☐3. Müstakil bodrumlu ☐4. Müstakil bodrumsuz

2. Evin yapıldığı yıl:

- ☐1.1900'dan önce ☐2. 1900 -1945 ☐3. 1950 -1969 ☐4. 1970 -1979
☐5.1980 -1989 ☐6. 1990 -2000 ☐7. 2000'den sonra

3. Evin duvar, tavan ve tabanının yapı malzemesi:

- Taban** : ☐1.Toprak ☐2. Beton ☐3. Ahşap
Tavan : ☐1. Beton ☐2. Ahşap ☐3. Diğer
Duvarlar : ☐1. Beton ☐2. Tuğla ☐3. Ahşap ☐4. Taş ☐5.Diğer

4. Pencereilerin durumu:

- ☐1. Pencereiler tek camlı ısı yalıtımı iyi ☐2. Pencereiler tek camlı ısı yalıtımı zayıf
☐3. Pencereiler çift camlı ısı yalıtımı iyi ☐4. Pencereiler çift camlı ısı yalıtımı zayıf

5. Havalandırma sistemi: ☐1. Doğal havalandırma ☐2. Cihaz ile havalandırma**6. Havalandırma durumu:** ☐1. İyi havalanıyor ☐2. Az havalanıyor ☐3. Hiç havalanmıyor**7. Kışın ısıtma sistemi:** ☐1. Kalorifer ☐2. Kömür sobası ☐3. Doğal gaz ☐4. Diğer.....**8. Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.**

a. Evin kullanım alanı m² b. Oda sayısı adet. c. Oturma salonunun alanı.....m²

9. Kaç yıldır bu evde yaşıyorsunuz?

- ☐1. 10 yıldan az ☐2. 10-20 yıl ☐3. 20-30 yıl
☐4. 30-40 yıl ☐5. 40-50 yıl ☐6. 50 yıldan fazla

10. Evde yaşayanların yaşı, cinsiyet, mesleği ve sigara içme alışkanlıkları:

Yaş	Cinsiyet	Meslek	Sigara içme alışkanlığı var (+) yok(-)

11. Bu evde yaşayanlardan hiç akciğer kanseri olan veya bu hastalıktan ölen oldu mu?

Eğer ölen veya hasta olan varsa yaşı, cinsiyeti ve yılını belirtiniz.

	Yaşı	Cinsiyeti (K) (E)	Yıl
☐ Öldü	(.....)	(.....)	(.....)
☐ Hasta	(.....)	(.....)	(.....)

EK-F :

Radon Nedir?

Radon renksiz, gözle görülmeyen, tatsız, kokusuz radyoaktif bir gazdır. Havadan 7,5 kez, hidrojeniden ise 100 kez daha ağırdır. Doğal radyoaktif bir madde olan uranyumun bozunma ürünlerinden radyumun bozunması sonucunda oluşur ve alfa parçacığı yayınlar.

Radyoaktif radon gazının yarı ömrü 3,82 gündür.

Radon'un kaynağı

Radonun kaynağı toprak, kayalar, yeraltı suları ve inşaat malzemeleridir.

Radon gazının sağlığa etkileri

Radon, özellikle inşaat malzemesi olarak kullanılan taş, toprak ve çimentoda doğal olarak bulunmakta, kayaların ve toprağın içinden yükselerek bina temellerinden ya da boru sistemlerinin içinden kolayca binalara sızmaktadır. Ev içinde bulunan radyoaktif radon gazı, nefes yoluyla akciğerlere ulaşarak akciğerleri ısınlamakta ve akciğer kanseri riskini artırmaktadır. Yüksek miktarda radon gazı içeren havanın solunmasıyla akciğer kanserine yakalanma riski de artmaktadır. Bu risk sigara içilen evlerde daha da artmaktadır. Evlerin havalandırılması radonun evde birikmesini önleyeceği için evler havalandırılmalıdır. Bu evlerde radondan korunmanın tek yoludur.

USA Çevre Koruma Ajansı (EPA- Environmental Protection Agency) yılda 20.000 akciğer kanseri vakasının radon gazına bağlı olduğunu söylemektedir. Ayrıca her yıl gerçekleşen 10.000 kanser sonucu ölüme radon gazının neden olduğu belirtilmiştir. Radon ev ortamının yanında özellikle maden ocaklarında, tünellerde, mağaralarda ve yeraltı sularında görülmektedir. Akciğer kanserine yakalanma riskinin yüksek olduğu meslek grubunun uranyum madencileri olduğu belirlenmiştir.

Radon gazının ortamda bulunması gereken maksimum değerleri

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi, “Evlerde ve iş yerlerinde radona karşı korunma” konusunda bir rapor yayınlayarak, radona maruz kalmayı sınırlandırmıştır. Bu değer Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde 400 Bq/m³ olarak verilmiştir.

Radon dedektörleri

TAEK, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM), Sağlık Fiziki Biriminde Türkiye'nin radon haritasının çıkarılması amacıyla “Evlerde Radon Ölçümü” yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında evlere gönderilen radon dedektörleri (Radondan gelecek alfa ışınlarına duyarlı CR -39 plastik iz dedektörleri), yaklaşık 2 ay süreyle bekletilip, toplanmakta ve değerlendirilmektedir.

Ev sahipleri dedektörleri alüminyum folyodan çıkararak, televizyon, kalorifer ya da sobadan uzak, çocukların oynamayacağı bir yere, **kapaklarını açmadan** yerleştirmelidirler. Dedektörlerle birlikte verilen formların da doldurulması gerekmektedir. Dedektör numaralarının forma işlenmesi, dedektörlerin evlere konuş ve alınış tarihlerinin doğru belirtilmesi çok önemlidir. Dedektör alüminyum folyodan çıkarılarak eve yerleştirilmeli, tarih, forma eve konuş tarihi olarak kaydedilmeli, yaklaşık 2 aylık süre sonunda dedektör yeniden alüminyum folyoya sarılmalı ve bu tarih dedektörün alınış tarihi olarak yine forma yazılmalıdır.

“Evlerde Radon Ölçümü” çalışmasına katkıda bulunduğunuz için teşekkür ederim.

Nesli ALBAYRAK
ÇNAEM Sağlık Fiziki Birimi

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi: 01 /06 /1969

Doğum yeri: Pınarbaşı, KAYSERİ

Lise 1983 -1987 Yenimahalle Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi, ANKARA

Lisans 1987 -1994 Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü, ANKARA

Çalıştığı kurumlar

1996 - 2005 Akdeniz Üniversitesi Fen - Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, ANTALYA

2005 - Devam Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Uygulama Bölümü Sağlık Fiziği Birimi, İSTANBUL