

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKHİSAR-GÖLMARMARA-GÖRDES-SINDIRGI BÖLGESİ
DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN JEOLojİK YAPı İLE
İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Sermin ÇAM KAYNAR**

**Anabilim Dalı : Fizik
Bilim Dalı :Nükleer Fizik**

Tez Danışmanı: Prof.Dr. F. Serap EREEŞ

MANİSA-2011

T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKHİSAR-GÖLMARMARA-GÖRDES-SINDIRGI BÖLGESİ
DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN JEOLojİK YAPI İLE
İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ
Sermin ÇAM KAYNAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 03.11.2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 02.12.2011

Tez Danışmanı: Prof.Dr. F. Serap EREEŞ

Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Nurdoğan CAN

: Prof.Dr. Turgay KARALI

: Doç.Dr. Müslüm M. SAÇ

: Yrd.Doç.Dr. Ümran HİÇSÖNMEZ

MANİSA-2011

T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKHİSAR-GÖLMARMARA-GÖRDES-SINDIRGI BÖLGESİ
DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN JEOLojİK YAPI İLE
İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ
Sermin ÇAM KAYNAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 03.11.2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 02.12.2011

Tez Danışmanı: Prof.Dr. F. Serap EREEŞ

Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Nurdoğan CAN

: Prof.Dr. Turgay KARALI

: Doç.Dr. Müslüm M. SAC

: Yrd.Doç.Dr. Ümran HİÇSÖNMEZ

MANİSA-2011

ÖNSÖZ

Akademik hayatım boyunca danışmanlığımı üstlenen, her konuda yol gösteren, yardım eden, sabır göstererek destekleyen ve her daim yanımda olduğunu hissettiren değerli hocam Prof. Dr. F. Serap EREEŞ'e,

Tez çalışmasının gerçekleşmesinde bana her türlü olanağı sunan, bilgi birikimlerini ve tecrübesini esirgemeyen Bölüm Başkanım Prof. Dr. Nurdoğan CAN'a,

Tez çalışmasının her aşamasında deneyimleri ile beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Turgay KARALI'ya,

Deneysel çalışmalarında yardımcı olan hocam Doç.Dr. Müslüm M. SAÇ'a,

Tezimin gerçekleşmesinde (BAP) 2010/10 nolu projesi ile destek sağlayan Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne,

Arazi çalışmalarında bana yardımcı olan Eyyüp EREEŞ'e, Arş. Gör. Eren Cihan KARSU'ya, doktora öğrencisi Önder AKAR'a ve canım abim Hasan ÇAM'a,

Laboratuar çalışmalarında yardımcı olan doktora öğrencisi Nurcan TOPÇU'ya,

Her zaman emek ve desteği ile yanımda olan eşim Ümit Hüseyin KAYNAR'a ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ANNEM, BABAM ve ABLA'ma,

Sonsuz Teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	10
2.1. Radyoaktivite ve Radyasyon	10
2.2. Doğal Radyasyon	12
2.2.1. Kozmik Radyasyon.....	14
2.2.2. İçsel Radyasyon.....	16
2.2.3. Karasal Radyasyon.....	18
2.3. Uranyum	19
2.3.1. Uranyumun Özellikleri.....	19
2.3.2. Uranyum İzotopları.....	20
2.3.3. Çevrede Uranyum.....	21
2.4. Toryum	23
2.4.1. Toryumun Özellikleri.....	23
2.4.2. Toryum İzotopları.....	24
2.4.3. Çevrede Toryum.....	25
2.5. Potasyum	26
2.5.1. Potasyumun Özellikleri.....	26
2.5.2. Çevrede Potasyum.....	27
2.6. Radyum	28
2.6.1 Radyumun Özellikleri.....	28
2.6.2. Çevrede Radyum.....	29
2.7. Radon	30
2.7.1. Radonun Özellikleri.....	30
2.7.2. Radon İzotopları.....	30
2.7.3. Radon Oluşumu.....	32
2.7.4. Çevrede Radon.....	34

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.7.4.1. Toprakta Radon.....	35
2.7.4.2. Suda Radon	37
2.7.4.3. Atmosferde Radon	39
2.7.5. Bina içine Radon Girişi.....	40
2.7.6. Radon Soluma Hızı	43
2.7.7. Radon ve Sağlık Riski.....	44
2.8. Doğal Radyasyon Doz Hesapları	46
3. BÖLGENİN COĞRAFİ VE JEOLJİK YAPISI.....	53
3.1. Bölgenin Coğrafi Yapısı.....	53
3.1.1. Akhisar İlçesi	54
3.1.2. Göl marmara İlçesi.....	56
3.1.3. Gördes İlçesi.....	57
3.1.4. Köprübaşı İlçesi	57
3.1.5. Sındırgı İlçesi	58
3.1.6. İnceleme Alanındaki Maden Yatakları.....	59
3.2. Bölgenin Jeolojik Yapısı	62
3.2.1. Akhisar İlçesi	65
3.2.2. Gördes İlçesi.....	67
3.2.3. Köprübaşı İlçesi	69
3.2.4. Sındırgı İlçesi	70
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	72
4.1. Arazi Çalışmaları	72
4.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	74
4.2.1. Bina içi Radon Ölçümü.....	74
4.2.2. Toprak ve Sediment Örneklerindeki Çalışmalar	77
4.2.2.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Ölçümü	77
4.2.2.2. CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü.....	77
4.2.2.3. Gama Spektrometresi ile Radyoaktivite (eU, eTh ve % K) Ölçümü.....	78

İÇİNDEKİLER

Sayfa

4.2.3. Su Örneklerindeki Çalışmalar	83
4.2.3.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Ölçümü	83
4.2.3.2. Alkalite Ölçümü	83
4.2.3.3. Radyum Ölçümü	83
4.2.3.4. CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü	85
5. BULGULAR	87
5.1. Yüzey Gama Doz Hızı Ölçüm Sonuçları	87
5.2. Binaici Radon Ölçüm Sonuçları	99
5.2.1 Akhisar İlçesi	99
5.2.2 Gördes ilçesi	101
5.2.3. Sındırgı İlçesi	103
5.2.4. Köprübaşı İlçesi	105
5.2.5. Göl marmara İlçesi	107
5.3. Toprak Örnekleri Ölçüm Sonuçları	109
5.3.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçları	109
5.3.2. Toprak Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Aktivitesi Sonuçları	116
5.3.3. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçları	122
5.4. U-238, Th-232 ve K-40 Aktivitesinden Hesaplanan Bölgesel Efektif Doz Eşdeğeri Sonuçları	138
5.5. Sediment Örnekleri Ölçüm Sonuçları	142
5.5.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçları	142
5.5.2. Sediment Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Aktivitesi Sonuçları	146
5.5.3. Sediment Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçları	148
5.6. Su Örnekleri Ölçüm Sonuçları	155

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.6.1. Alkalite, pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçları	155
5.6.2. Su Örneklerinin Kollektör Yöntemi ile Radyum Aktivitesi Sonuçları ..	163
5.6.3. Su Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Sonuçları	168
5.7. İstatistiksel Sonuçlar	177
5.7.1. Toprak Sonuçları	177
5.7.1.1. Akhisar İlçesi	180
5.7.1.2. Gördes İlçesi	181
5.7.1.3. Gölarmara İlçesi	182
5.7.1.4. Sındırgı İlçesi	183
5.7.1.5. Köprübaşı İlçesi	184
5.7.2. Sediment Sonuçları	185
5.7.3. Su Sonuçları	185
5.8. Bölgesel Toprak, Su Ve Binaici Radyasyondan Kaynaklanan Doz Hızı Dağılımları	189
6. TARTIŞMA	192
6.1. Yüzeş Gama Doz Hızı Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirmesi	192
6.2. Binaici Radon Konsantrasyonu Sonuçlarının değerlendirilmesi	195
6.3. Toprak Örnekleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi	198
6.3.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi	198
6.3.2. Toprak Örneklerinin Cr-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Aktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	200
6.3.3. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	201
6.4. U-238, Th-232 Ve K-40 Aktivitesinden Hesaplanan Bölgesel Efektif Doz Eşdeğeri Sonuçlarının Değerlendirilmesi	205
6.5. Sediment Örnekleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi	208
6.5.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi	208

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

6.5.2. Sediment Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Aktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	209
6.5.3. Sediment Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	210
6.6. Su Örnekleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi	212
6.6.1. Alkalite, pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi	212
6.6.2. Su Örneklerinin Kollektör Yöntemi İle Radyum Aktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	213
6.6.3. Su Örneklerinin Cr-39 İz Kazıma Dedektörleri İle Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Sonuçlarının Değerlendirilmesi	214
6.7. İstatistiksel Sonuçların Değerlendirilmesi	216
6.7.1. Toprak Sonuçlarının Değerlendirilmesi	216
6.7.1.1. Akhisar İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	219
6.7.1.2. Gördes İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	220
6.7.1.3. Gölarmara İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	220
6.7.1.4. Sındırgı İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	221
6.7.1.5. Köprübaşı İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	222
6.7.2. Sediment Sonuçlarının Değerlendirilmesi	222
6.7.3. Su Sonuçlarının Değerlendirilmesi	222
6.8. Bölgesel Toprak, Su ve Binaçi Radyasyondan Kaynaklanan Doz Hızı Dağılım Sonuçlarının Değerlendirilmesi	224
7. SONUÇ	226
8. KAYNAKLAR	230
ÖZGEÇMİŞ	247

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Radyasyon kaynaklarından alınan dozun yüzde oranları	12
2.2. Kozmik radyasyondan kaynaklanan doz değişimi.....	15
2.3. U-238 bozunum serisi	20
2.4. Th-232 bozunum serisi.....	25
2.5. Radonun bozunum şeması.....	32
2.6. Radonun oluşumu	32
2.7. Radonun ortamlardaki hareketi.....	33
2.8. Radonun yarıömrüne bağlı olarak bozunum eğrisi	35
2.9. Toprakta radonun hareketi	36
2.10. Yerden olan yüksekliğe göre atmosferik radon yada radon ürünlerinin konsantrasyon değişimi	39
2.11. Radonun binaya giriş yolları	42
3.1. Manisa ili deprem haritası	54
3.2. İnceleme alanında bulunan maden yatakları	59
3.3. Türkiye'deki uranyum ve toryum yatakları	61
3.4. Batı Anadolu'nun paleotektonik kuşakları	62
3.5. 1:500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritasından çalışma alanının yeri ve bölgedeki kaya birimleri.	64
3.6. Gördes'in batısındaki volkanitlerin dağılım haritası.....	68
3.7. Köprübaşı uranyum yataklarının yeri ve jeolojisi.....	69
4.1. Çalışma alanı.....	73
4.2. Alfa taneciklerinin CR-39 film üzerinde bıraktığı izler.....	76
4.3. Potasyum, uranyum ve toryum kanallarına gelen katkılar.....	79
4.4. Gama spektroskopisi çalışma sistemi.....	82
4.5. Kolektör yöntemi ölçüm sistemi	84
4.6. Ra-226 ölçümlerinde kullanılan sistemin kalibrasyon grafiği	85
5.1. Tüm örnekleme noktalarına göre hesap edilen yüzey gama doz hızlarının kontur grafiği	98
5.2. Akhisar ilçesi bina içi radon konsantrasyonu frekans dağılımı	100
5.3. Gördes ilçesi bina içi radon konsantrasyonu frekans dağılımı	102

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.4. Sındırgı ilçesi binaici radon konsantrasyonu frekans dağılımı	104
5.5. Köprübaşı ilçesi binaici radon konsantrasyonu frekans dağılımı	106
5.6. Göl marmara ilçesi binaici radon konsantrasyonu frekans dağılımı	108
5.7. Toprak örneklerinin pH değerleri	113
5.8. Toprak örneklerinin pH frekans dağılımı.....	113
5.9. Toprak örneklerinin iletkenlik değerleri	114
5.10. Toprak örneklerinin iletkenlik frekans dağılımı.	114
5.11. Toprak örneklerinin mV değerleri	115
5.12. Toprak örneklerinin mV frekans dağılımı.....	115
5.13. Toprak örneklerinin radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı değerleri.....	119
5.14. Toprak örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılımı	120
5.15. Toprak örneklerinin efektif radyum aktivitesi frekans dağılımı	120
5.16. Toprak örneklerinin efektif radyum aktivitelerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği	121
5.17. Toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu	129
5.18. Toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu frekans dağılımı.	129
5.19. Toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonlarının bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği.....	130
5.20. Toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonu	131
5.21. Toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonu frekans dağılımı	131
5.22. Toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonlarının bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği.....	132
5.23. Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonu.....	133
5.24. Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonunun frekans dağılımı	133
5.25. Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonlarının bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği.....	134

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.26. Toprak örneklerinden nGy/saat olarak hesaplanan doz hızı değerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği.....	135
5.27. Toprak örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesi.....	136
5.28. Toprak örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesinin frekans dağılımı.....	136
5.29. Toprak örneklerinin eşdeğer radyum değerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği.....	137
5.30. Sediment örneklerinin pH değerleri.....	143
5.31. Sediment örneklerinin pH frekans dağılımı.....	143
5.32. Sediment örneklerinin iletkenlik değerleri.....	144
5.33. Sediment örneklerinin iletkenlik frekans dağılımı.....	144
5.34. Sediment örneklerinin mV değerleri.....	145
5.35. Sediment örneklerinin mV frekans dağılımı.....	145
5.36. Sediment örneklerinin radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı değerleri.....	147
5.37. Sediment örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılımı.....	147
5.38. Sediment örneklerinin efektif radyum aktivitesi frekans dağılımı.....	148
5.39. Sediment örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu.....	151
5.40. Sediment örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonun frekans dağılımı.....	151
5.41. Sediment örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonu.....	152
5.42. Sediment örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonun frekans dağılımı.....	152
5.43. Sediment örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonu.....	153
5.44. Sediment örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonun frekans dağılımı.....	153
5.45. Sediment örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesi.....	154
5.46. Sediment örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesinin frekans dağılımı.....	154

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.47. Su örneklerindeki toplam alkalite değerleri.....	158
5.48. Su örneklerinin toplam alkalite frekans dağılımı	158
5.49. Su örneklerinin pH değerleri.....	159
5.50. Su örneklerinin pH frekans dağılımı.....	159
5.51. Su örneklerinin iletkenlik değerleri.....	160
5.52. Su örneklerinin iletkenlik frekans dağılımı.....	160
5.53. Su örneklerinin mV değerleri.....	161
5.54. Su örneklerinin mV frekans dağılımı.....	161
5.55. Su örneklerinin tuzluluk değerleri.....	162
5.56. Su örneklerinin tuzluluk frekans dağılımı.....	162
5.57. Su örneklerinin radyum aktivite konsantrasyonları.	166
5.58. Su örneklerinin radyum aktivitesi frekans dağılımı.....	166
5.59. Su örneklerinin kollektör yöntemi kullanılarak bulunan radyum değerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği	167
5.60. Su örneklerinin radon konsantrasyonları ve radon soluma hızı.....	170
5.61. Su örneklerinin radon konsantrasyonu frekans dağılımı.....	171
5.62. Su örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılımı.....	171
5.63. Su örneklerinin efektif radyum aktivitesi frekans dağılımı.....	172
5.64. Su örneklerinin radon değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği	175
5.65. Su örneklerinin efektif radyum değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği.....	176
5.66. Akhisar ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı....	189
5.67. Gördes ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı.....	190
5.68. Gölarmara ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı	190
5.69. Sındırgı ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı.....	191
5.70. Köprübaşı ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı.	191

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

2.1. Dünya çapında doğal radyasyon kaynaklarına olan ortalama maruziyet.....	13
2.2. Temel kozmojenik radyonüklidler	14
2.3. Yüksek rakımlı alanlarda kozmik ışın yıllık etkin doz eşdeğerleri.....	16
2.4. Yiyeceklerdeki doğal radyoaktivite	16
2.5. Vücudumuzdaki doğal radyoaktivite	17
2.6. Primordial radyonüklidler	19
2.7. Uranyum izotopları	20
2.8. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu	22
2.9. Toryumun önemli üç izotopu	24
2.10. Bazı kayalardaki uranyum ve toryum konsantrasyonları.....	26
2.11. K-40'ın bozunum çizelgesi	27
2.12. Yeryüzü kabuğundaki K-40	27
2.13. Radyum ve izotoplarının özellikleri.....	28
2.14. Radon ve izotoplarının özellikleri.....	31
2.15. Farklı ortamlarda radon izotoplarının ortalama difüzyon uzaklıkları ..	36
2.16. Radon konsantrasyon limitleri	45
2.17. Dünya üzerinde yüksek seviyeli doğal radyasyon alanları	47
2.18. Topraktaki karasal radyonüklidlerin çeşitli konsantrasyonlarından hesaplanan dış maruziyet doz hızı	48
2.19. Karasal gama ışınları için soğurulan dozdan efektif doza dönüşüm katsayıları.....	49
2.20. Bazı ülkeler için karasal gama radyasyonundan kaynaklanan soğurulma doz hızları.....	50
2.21. Karasal gama ışınlarından dolayı ortalama yıllık efektif dozun ulusal tahminleri.....	51
5.1. Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden toplanan toprak, su ve sediment örneklerinin koordinatlara göre TAEK Dose Rate Meter-NEB.211 ile $\mu\text{R/saat}$ olarak ölçülen ve nGy/saat olarak hesaplanan yüzey gama doz hızları.....	88

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.2. Akhisar ilçesinin merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları ve efektif doz eşdeğerleri.	99
5.3. Gördes ilçesinin merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları.	101
5.4. Sındırgı ilçesinin merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları.	103
5.5. Köprübaşı ilçesinin merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları ...	105
5.6. Göl marmara ilçesinin merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları.	107
5.7. Toprak örneklerinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları.	109
5.8. Toprak örneklerinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi.	116
5.9. Toprak örneklerinin doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonu.	123
5.10. Bölgesel olarak dış ortamda soğurulan doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri sonuçları.	141
5.11. Bölgesel olarak hesaplanan dışsal ve içsel tehlike indeksleri.	141
5.12. Sediment örneklerinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları.	142
5.13. Sediment örneklerinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi.	146
5.14. Sediment örneklerinin doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonu. ...	149
5.15. Su örneklerinin toplam alkalite, pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları.	155
5.16. Su örneklerinin radyum aktiviteleri.	163
5.17. Su örneklerinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi.	168
5.18. Radon ve radyum için yıllık efektif doz eşdeğeri.	172
5.19. Toprak sonuçlarının korelasyon çizelgesi.	178
5.20. Akhisar ilçesi toprak örnekleri ile bina içi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları.	180
5.21. Gördes ilçesi toprak örnekleri ile bina içi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları.	181

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.22. Gölarmara ilçesi toprak örnekleri ile binaiçi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları	182
5.23. Sındırgı ilçesi toprak örnekleri ile binaiçi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları	183
5.24. Köprübaşı ilçesi toprak örnekleri ile binaiçi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları	184
5.25. Sediment sonuçlarının korelasyon çizelgesi.	185
5.26. Su sonuçlarının korelasyon çizelgesi	186
5.27. Aynı noktadan alınan su ve toprak örneklerinin ölçüm sonuçları kullanılarak yapılan korelasyon çizelgesi.	187
6.1. Dünya’da ve Türkiye’de 1 metre yükseklikte ölçülen gama doz hızları.	194
6.2. Dünya’da ve Türkiye’de yapılmış binaiçi radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğerleri.	197
6.3. Çeşitli çalışmalarda nükleer iz kazıma dedektörleri ile toprak örneklerinde bulunan radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı sonuçları	201
6.4. Farklı ülkelerdeki toprak örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları	204
6.5. Dünya’da ve Türkiye’de yapılan çalışmalarda toprak örneklerinin aktivite konsantrasyonundan hesaplanan yüzey gama doz hızları ve yıllık efektif doz eşdeğerleri.	206

ÖZET

AKHİSAR-GÖLMARMARA-GÖRDES-SINDIRGI BÖLGESİ DOĞAL RADYOAKTİVİTESİNİN JEOLJİK YAPI İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

ÇAM KAYNAR, Sermin

Tez Danışmanı: Prof.Dr. F.Serap EREEŞ

02.12.2011, 274 sayfa

Bu çalışmada, Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı bölgesinden alınan toprak, su ve sediment örneklerinde doğal radyasyon ölçümleri yapılarak bölgenin doğal radyoaktivitesi ile bölgenin jeolojik yapısı arasındaki ilişki incelendi. İnceleme bölgesinden alınan 137 toprak ve 38 sediment örneğinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk değerleri belirlendikten sonra toprak ve sediment örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonu gama spektrometresi kullanılarak ölçüldü. Toprak örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonu değerleri kullanılarak, toprakların radyum eşdeğeri hesaplandı. Topraklar ilçe sınırları göz önüne alınarak ayrıldıktan sonra, ilçelere göre 1 metre yükseklikte soğurulan doz hızı ve yıllık efektif doz hesaplandı. Her bir ilçe için dışsal ve içsel tehlike indeksleri bulundu. Toprak ve sediment örneklerinde CR-39 iz kazıma dedektörleri kullanılarak radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi belirlendi. Toprak örnekleri için bulunan K-40 aktivite konsantrasyonu, U-238 aktivite konsantrasyonu, Th-232 aktivite konsantrasyonu, eşdeğer radyum, 1 metre yükseklikte soğurulan doz hızı ve efektif radyum sonuçları için koordinatlara göre dağılım grafikleri çizildi. Dağılım grafikleri ile yüksek ve düşük çıkan bölgeler açıkça gösterildi.

İnceleme alanından alınan 85 su örneğinin alkalite, pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk değerleri tespit edildikten sonra, kollektör yöntemi kullanılarak su

örneklerinin radyum aktivitesi, CR-39 iz kazıma dedektörleri kullanılarak suların radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi belirlendi. Sularda ölçülen radon ve radyum sonuçlarından, yıllık efektif doz radon ve radyum için ayrı ayrı hesaplandı. Sudaki radon ve radyumdan gidilerek hesaplanan doz için koordinatlara göre dağılım grafikleri çizilmiştir.

İnceleme bölgesi içerisinde yer alan Akhisar, Gölarmara, Gördes, Sındırğı ve Köprübaşı ilçelerinde binaıçi radon konsantrasyonu ölçümü CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak belirlenmiş ve binaıçi radondan gelen yıllık efektif doz hesaplanmıştır.

İnceleme alanında yaşayanların maruz kaldıkları toplam dozun Binaıçi radon konsantrasyonundan gelen doz, toprak ve sudan gelen dozlara göre dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal Radyonüklidler, Gama Spektrometresi, İz Kazıma Dedektörleri, Kollektör Yöntemi.

ABSTRACT

EXAMINATION OF RELATION WITH GEOLOGICAL STRUCTURE OF NATURAL RADIOACTIVITY IN AKHISAR-GOLMARMARA-GORDES- SINDIRGI AREA

ÇAM KAYNAR, Sermin

Supervisor: Prof.Dr. F.Serap EREEŞ

02.12.2011, 274 pages

In this study, relation between the geological structure of and the natural radioactivity levels of Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı region was examined by conducting the natural radiation measurements in the soil, water and sediment samples. The values of pH, conductivity, mV and salinity in the 137 soil samples and 38 sediment samples collected from the area were determined. In addition, K-40, U-238 and Th-232 activity concentrations in the soil and sediment samples were measured by using gamma spectrometer. Equivalent radium activity of soils was calculated by using K-40, U-238 and Th-232 activity concentration values of the soil samples. Soils were separated into according to the district boundaries. The annual effective dose rates and the absorbed dose rates due to gamma radiations in air at 1 m above the ground surface were calculated to the each county. For the each of county, the external and internal hazard indexes were found. The radon concentration, the radon exhalation rate and the effective radium activity were determined in the soil and sediment samples by using CR-39 nuclear track detectors.

The results of the K-40, U-238, Th-232 activity concentrations, the equivalent radium, the absorbed dose rate in air at 1m above the ground and the effective radium activity found in the soil samples are presented depending on the coordinates. Distribution graphs of the regions with high and low values are clearly demonstrated.

The values of alkalinity, pH, conductivity, mV and salinity in the 85 water samples collected from the studied area were measured. Then, the radium activity concentrations in the water samples were determined by using the collector chamber method. The radon concentration, the radon exhalation rate and effective radium activity were determined by using CR-39 nuclear track detectors. Annual effective dose taken from the results of the radon concentration and effective radium activity was calculated separately for radon and radium. Distribution graphs based on the coordinates were drawn for the dose calculated from the results of the radon and radium.

The indoor radon concentrations of Akhisar, Gölarmara, Gördes, Sındırgı and Köprübaşı districts located in the study area were determined by using CR-39 nuclear track detectors, and then annual effective dose due to indoor radon concentration was calculated.

Distribution of the total dose exposed to people living in the study area presented according to doses from the indoor radon concentration, soil and water. Statistical analysis was done on the obtained results, and data were interpreted by comparing with the literature considering the geological structure of the region.

Keywords: Natural Radioactivity, Gamma Spectrometry, Etch Track Detectors, Collector Chamber Method

1.GİRİŞ

Hayatın bir gerçeği olan radyasyon, doğal olarak her yerde bulunmaktadır. Doğal radyasyon kaynaklarını kozmik radyasyon, gama radyasyonu, radon solunumu ve iç ışınlama olarak sınıflandırabiliriz. İnsanların doğal radyasyon kaynaklarından etkilenmemesi mümkün değildir. Doğal radyasyon insanı içsel ve dışsal olmak üzere iki şekilde etkiler. Dışsal maruz kalma da uzaydan gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan uranyum, toryum ve potasyum gibi gama radyasyonu yayan radyoaktif maddeler ve uranyum serisinin bozunma ürünü olan radon ve izotopları etkilidir. İçsel maruz kalma da vücut içerisindeki K-40 ve C-14 ile solunan havada bulunan radon ve bozunma ürünleri etkili olmaktadır (Yülek, 1992).

Yeryüzünde doğal olarak bulunan radyonüklidlerin konsantrasyonları yerden yere ve yüksekliğe göre değişiklik göstermektedir. Tüm kaya ve toprak örneklerinde sedimentlerde, su ve havada farklı miktarlarda radyonüklidler bulunmaktadır. Bu radyonüklidlerin en önemlileri K-40, Rb-87, U-238 ve Th-232'dir. Bunların konsantrasyonlarının tespit edilmesi bu çevrede yaşayan insanların aldıkları doz değerlerinin hesaplanması için önemlidir. Dünya' da topraktaki K-40, U-238 ve Th-232 radyonüklidlerin konsantrasyonlarının belirlenmesine ve bunlardan kaynaklanan radyasyon doz miktarının hesaplanmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Hindistan'ın Gudalero topraklarındaki doğal radyonüklid tayini gama ışın spektrumu ile tayin edilmiş ve K-40, U-238 ve Th-232'nin ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 195.2 Bq/kg, 37.7 Bq/kg ve 75.3 Bq/kg olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada 1 metre yükseklikte soğurulan doz oranı 74.3 nGy/saat ve yıllık eşdeğer doz 455.6 µSv/yıl olarak hesaplanmıştır (Selvasekarapandian ve diğ., 2000).

Nijerya'da yapılan çalışmada, NaI(Tl) dedektörü kullanılarak kayalardaki K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 40.3-2436.6 Bq/kg, 3.5-

110.5 Bq/kg ve 1.2-107.5 Bq/kg aralığında ölçülmüştür. Yine aynı çalışmada ortalama soğurulan doz oranı 0.128 nGy/saat (1 metre yükseklikte) ve doz eşdeğer 156.90 μ Sv/y'dır (Ajayi, 2000).

Gana'da J.Yeboah ve ekibi tarafından yapılan çalışmada toprak örneklerinde ve kayalardaki K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları gama spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinde K-40 aktivitesi 91.1-1395.9 Bq/kg; U-238 aktivitesi 2.4-62.7 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi 3.2-145.7 Bq/kg aralığında değişirken kaya örneklerinde K-40 aktivitesi 9.0-1510.1 Bq/kg, U-238 aktivitesi 0.7-40.0 Bq/kg ve Th-232 aktivitesi de 0.5-117.5 Bq/kg aralığındadır. 1 metre yükseklikte maruz kalma oranı toprakta 0.9-20.6 μ R/saat ve kayalarda 0.6-17.8 μ R/saat olarak hesaplanmıştır (Yeboah ve diğ., 2001).

Hindistan'da 14 farklı bölgeden alınan topraklarda HPGe dedektörü kullanılarak doğal background (artortam) radyoaktivite düzeyleri araştırılmış ve karasal doz oranları 18-144 nGy/saat aralığında ölçülmüştür (Sadasivan ve diğ., 2003).

Hindistan'ın Hamipur ilçesinin bazı köylerinden alınan topraklardaki doğal radyoaktivite NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ölçülmüş ve sonuçta K-40 aktivite konsantrasyonu 143.7-228.9 Bq/kg; Th-232 aktivite konsantrasyonu 35.2-122.8 Bq/kg ve Ra-226 aktivite konsantrasyonu 25.1-75.7 Bq/kg aralığında bulunmuştur. Bu ölçümler her bir örnekten 250 gram tartılarak alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada Radyumun eşdeğer aktivitesi 90.88-275.33 Bq/kg aralığında hesaplanmıştır (Singh ve diğ., 2003).

Hindistan'da yapılan diğer bir çalışmada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak Tamilnadu bölgesi topraklarının doğal background radyasyonu ölçülmüştür. Toprakların aktivite düzeyleri: K-40 aktivitesi 73.1-120 Bq/kg aralığında ve ortalama 96.0 Bq/kg'dır; Th-232 aktivitesi 21.6-69.6 Bq/kg aralığında ve ortalama 43.9 Bq/kg'dır ve Ra-226 aktivitesi 31.8-52.0 Bq/kg aralığında ve ortalama 42.9 Bq/kg'dır. Radyumun eşdeğer aktivitesi 68.3-149.0 Bq/kg aralığında ortalama 113 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Saravanan ve diğ., 2003).

İspanya'da yapılan çalışmada dış soğurulma doz oranı ortalama 47.3 nGy/saat (10.2-180 nGy/saat) olarak ölçülmüştür (Quindos ve diğ., 2004).

Çin'in güneyindeki granit masifi topraklarının doğal radyoaktivitesi HPGe dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmada toprakların U-238, Th-232 ve K-40 konsantrasyonları, sırasıyla 40.2-442, 32.6-88.1 ve 442-913 Bq/kg aralığında değişmiştir. Hesaplanan soğurulma doz hızı 124 nGy/saat ve efektif doz eşdeğeri 152 µSv/yıl'dır (Yang ve diğ., 2005).

Hindistan'da yapılan çalışmada, toprak örneklerindeki Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 57.34, 82.22 ve 135.75 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Karasal gama soğurulma dozu 83.28 nGy/saat olarak hesaplanmıştır. Yıllık efektif doz 0.07-0.13 mSv aralığında bulunmuştur (Rani ve Singh, 2005).

Kostarika'da yapılan çalışmada, NaI sintilasyon dedektörü kullanılarak karasal soğurulma doz hızının ve toplam efektif doz hızının coğrafi dağılımı kontur haritaları çizilerek gösterilmiştir. Çalışmada ortalama karasal soğurulma doz hızı 29.52 nGy/saat olarak ve kişi başına efektif doz, yıllık 0.74 mSv'lık doz veren 83.97 nSv/saat olarak bulunmuştur (Mora ve diğ., 2007).

Sırp Cumhuriyetinde yapılan çalışmada toprak örneklerindeki radyonüklid konsantrasyonu HPGe dedektörü kullanılarak bulunmuştur. Toprak örneklerindeki Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137, U-238 ve U-235 aktivite konsantrasyonu sırasıyla 47, 41, 536, 26, 64 ve 34 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Hesaplanan ortalama soğurulma doz hızı 69 nGy/saat ve yıllık efektif doz 0.0848 mSv'dır (Jankovic ve diğ., 2008).

Ürdün'ün kuzeyindeki dağlık bölgesinde yapılan çalışmada toplam ortalama soğurulma doz hızı 51.5 nGy/saat ve yıllık efektif doz 63.2 µSv/saat olarak bulunmuştur. Bu bölgeden alınan toprak örneklerindeki doğal radyoaktivite gama ışın spektrometresi ile tayin edilmiştir. Toprakların Ra-226, U-238, Th-232 ve K-40 konsantrasyonları sırasıyla 42.5, 49.9, 26.7 ve 291.1 Bq/kg olarak ölçülmüştür (Al-Hamarneh ve diğ., 2009).

Sırbistan'da yapılan çalışmada topraklardaki U-238, Ra-226, Th-232, K-40 ve Cs-137 aktivitesi sırasıyla 60.4, 33.2, 49.1, 379 ve 36.4 Bq/kg olarak bulunmuştur. Yerden 1 metre yükseklikteki toplam soğurulma doz hızı 73.4 nGy/saat ve yıllık efektif doz 90 µSv olarak hesaplanmıştır (Dugalic ve diğ., 2010).

Türkiye'de de bu konu ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bakaç tarafından yapılan doktora çalışmasında, Gediz nehri ve çevresinin radyoaktif, major ve iz element seviyeleri belirlenmiştir. Gediz nehri yüzey gama ölçüm sonuçları 56-

176 cps ve ortalama 97 cps, 6-16 ve ortalama 11 μ R/saat olarak bulunmuştur. Toprak, dip sediment ve süspanse sediment örneklerinde ölçülen eU değerleri sırasıyla ortalama 2.86 ppm, 2.14 ppm ve 3.58 ppm; eTh değerleri sırasıyla ortalama 8.67, 8.25 ve 10.19 ppm; %K değerleri sırasıyla ortalama %1.5, %1.56 ve %1.88 olarak bulunmuştur (Bakaç, 1998).

İstanbul'da yapılan çalışmada yüzey topraklarındaki U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 21 Bq/kg, 37 Bq/kg ve 342 Bq/kg olarak bulunmuştur. Yerden 1 metre yükseklikte ölçülen ortalama gama dozu 65 nGy/saat olarak belirlenmiştir. Kişi başına efektif doz eşdeğeri 80 μ Sv olarak bulunmuştur (Karahana ve Bayülgen, 2000).

İzmir'in yaklaşık 40 km kuzeydoğusunda bulunmakta olan Sarıcaoğlu (Bergama) tersiyer havzası kayalarındaki radyoaktivite incelenmiş ve kaya örneklerinde en düşük eU aktivitesi kireç taşlarında 2.35 ppm en yüksek bitümlü şeyllerde 112 ppm'dir. Manisa'nın Köprübaşı ilçesindeki Kasar uranyum yatağı çevresinde bulunan topraklarda radyoaktivite araştırılmış ve eU aktivitesi 37.75-88.00 Bq/kg, eTh aktivitesi 32.50-77.50 Bq/kg ve potasyum aktivitesi 296-888 Bq/kg arasında bulunmuştur (Gür, 1999).

Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hatlarında yapılan çalışmada, çevresel gama doz miktarları iki yöntem ile belirlenmiştir. Birinci yöntem; çevresel gama dozu miktarını ölçen portatif bir radyasyon sayacı ile yapılmıştır. İkinci metot ise, örnekleme ve ölçüm yapılan noktalardaki toprak içerisindeki birinci radyoçekirdeklerden kaynaklanan ve yer seviyesinden yaklaşık 1m yukarıda tutulan dozun hesaplanmasıdır. Ölçülen ve hesaplanan doz değerlerinin ortalaması sırasıyla, 87.8 nGy/saat ve 107.7 nGy/saat'dır (Baykara, 2005).

Kezban Gölü Uluova bölgesinde yapılan çalışmada, 59 istasyondan alınan su ve dip sediment örneklerinde; toplam alfa ve toplam beta radyoaktiviteleri ve bölgenin çevresel gama dozu da belirlenmiştir. Kıyıda yaklaşık 20 ile 40 m açıktaki yapılan bütün ölçümlerde gama radyasyonu yaklaşık olarak 2-3 μ R/saat arasında çıkmıştır. Kıyıda 150-200 m açıklarda ise 0-1 μ R/saat civarında değişen bir gama radyasyonu belirlenmiştir (Külahcı, 2005).

Eskişehir granit plutonlarının radyoaktivite düzeyi HPGe dedektörü kullanılarak tayin edilmiştir. U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları

sırasıyla 43.59- 651.80, 51.16-351.94 ve 418.50-1618.03 Bq/kg aralığında ve soğurulma doz hızı 87.14 - 531.81 nGy/saat aralığında olduğu saptanmıştır (Örgün ve diğ., 2005).

Tekirdağ'da yapılan çalışmada, sintilasyon dedektörü kullanılarak gama doz hızı, 30.3-54.3 nGy/saat aralığında ve ortalama 43 nGy/saat olarak ölçülmüştür (Yarar ve Kam, 2005).

Manisa şehir merkezinde gerçekleştirilen çalışmada, yerden 1 metre yükseklikteki gama doz hızının 9 µR/saat (78.30 nGy/saat)-15.6 µR/saat (135.72 nGy/saat) aralığında değiştiği bulunmuştur (Ereeş ve diğ.,2006).

Şanlıurfa'nın artortam radyasyon düzeyini incelemişlerdir. Şanlıurfa'da 112 noktada plastik bir sintilasyon dedektörü kullanılarak yapılan çalışmada ortalama soğurulma doz hızı 60.9 nGy/saat olarak ölçülmüştür (Bozkurt ve diğ., 2007).

Kastomonu'da yapılan çalışmada, bina içi ve binadışı gama soğurulma dozu 54.81 ve 48.03 nGy/saat olarak bulunmuştur. Toprak örneklerindeki U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla 32.93, 27.17 ve 431.43 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bu doğal radyoaktivite kaynaklarının, 60 mSv/yıl'lık karasal gama düzeyine neden olduğu bulunmuştur (Kam ve Bozkurt, 2007).

Rize'de yapılan çalışmada, Fırtına vadisinden alınan toprak ve sediment örneklerinin radyoaktivitesi HPGe dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerindeki U-238, Th-232, K-40 ve Cs-137 aktivitesi sırasıyla 11-188, 10-105, 105-1235 ve 19-232 Bq/kg olarak, sediment örneklerinde Ra-226, U-238, Th-232 ve K-40 aktivitesi sırasıyla 15-116, 16-113, 17-87 ve 51-1605 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Fırtına vadisi için soğurulma doz hızı, 19.1 nGy/saat ile 149.6 nGy/saat aralığında ve ortalama 77.4 nGy/saat olarak hesaplanmıştır (Kurnaz ve diğ., 2007).

Çanakkale'nin Ezine kasabasının kıyı kesiminden ve Kestanbol granit plutonundan alınan örneklerde doğal ve antropojenik radyonüklidler incelenmiştir. Pluton örnekleri için ortalama U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonu sırasıyla 174.78, 204.69 ve 1171.95 Bq/kg, kum örnekleri için 290.36 Bq/kg, 532.04 Bq/kg ve 1160.75 Bq/kg bulunmuştur. Granit ve kum örnekleri için ortalama soğurma doz hızı 251.6-527.92 nGy/saat olarak hesaplanmıştır (Örgün ve diğ., 2007).

Adana'da yapılan çalışmada, yüzey topraklarındaki doğal radyonüklid konsantrasyonları HPGe dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Toprakların U-238, Th-232 ve K-40 ortalama aktivite konsantrasyonu sırasıyla 17.6 Bq/kg, 21.1 Bq/kg ve 297.5 Bq/kg olarak bulunmuştur. Gama sintilasyon dedektörü kullanılarak örnekleme noktalarında yerden 1 metre yükseklikteki gama doz hızı 67 nGy/saat olarak belirlenmiştir (Değerlier ve diğ., 2008).

Kırklareli'nde yapılan çalışmada, ortalama gama doz hızı 118 ± 34 nGy/saat olarak bulunmuştur. Gama spektroskopisi kullanılarak toprak örneklerinde ortalama Ra-226, U-238, Th-232, Cs-137 ve K-40 aktiviteleri sırasıyla 37 ± 18 Bq kg⁻¹, 28 ± 13 Bq kg⁻¹, 40 ± 18 Bq kg⁻¹, 8 ± 5 Bq kg⁻¹ ve 667 ± 281 Bq kg⁻¹ olarak ölçülmüştür (Taşkın ve diğ., 2009).

Isparta'da yapılan çalışmada, bina materyallerindeki radyoaktivite NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak belirlenmiştir. Ra-226, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları sırasıyla, 17.91-58.88, 6.77-19.49 ve 65.72-248.76 Bq/kg olarak ölçülmüştür. Soğurulma doz hızı 26.67-86.97 nGy/saat aralığında değişirken yıllık efektif doz 0.13-0.42 mSv/yıl olarak hesaplanmıştır (Mavi ve Akkurt, 2010).

Unscear 2000 raporunda dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan ölçümlere göre ortalama ev dışı havada soğurulma gama radyasyon değeri 59 nGy/saat olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2000).

Doğal radyasyon doz çalışmaları birçok ülke tarafından yapılmaktadır. Bu şekilde absorbe doz hızlarının yüksek olduğu alanlar belirlenmekte ve insan sağlığı açısından riskleri araştırılmaktadır. Yüksek doz hızlarının olduğu yerlerde toryum ve uranyum yataklarının olduğu düşünülmektedir. Monaziteyi kapsayan mineral kumlar bu örneklerin başlıcalarıdır. Ayrılmış monazite yakınında absorbe doz hızlarının geometriye bağlı olarak 10⁵ nGy/saat'a ulaşmaktadır. Bu yüzden, kumlar üzerindeki doz oranları dikkate değerdir (UNSCEAR, 1988,1993).

Toprak ve kayalarda değişen konsantrasyonlarda bulunan uranyum bozunum serisinin ana nüklidi olan uranyum-238 bozunurken renksiz, kokusuz ve asal gaz olan Rn-222'yi üretir. Çevremizde sürekli var olan doğal radyasyonun neredeyse %50'si Radon gazı ve onun kısa ömürlü ürünlerinden kaynaklanmaktadır. (Akyıldırım, 2005). Rn-222'nin bozunum ürünlerinden ilk dört tanesi kısa yarı ömürlü Po-218, Pb-214, Bi-214 ve Po-214'dür. Rn-222'nin bozunma ürünleri

tanecik yapılı ve pozitif iyonlardır. Böylece elektrostatik olarak havadaki aerosollere bağlanma şansı yüksektir. Özellikle radon gazı bozunduğu zaman oluşan Po-218 atomları, iyonize halde, hava içindeki herhangi bir parçacığa yapışma eğiliminde olduğundan Pb-214, Bi-214 ve Po-214 atomlarının pek çoğu oluştuklarında bir parçacığa yapışmış haldedirler. Radon ilk oluştuğu anda bütün bozunma ürünlerinden yoksundur. Bir süre sonra bu kısa yarı ömürlü ürünlerin birikmesiyle ortamda radyoaktivite artmaktadır. Alfa radyoaktivitesi, yaklaşık 3 saat sonra başlangıçtaki radon radyoaktivitesinin üç katına ulaşmaktadır. Bundan sonraki zamanda radyoaktivite, radonun karakteristik yarı ömrüne göre azalmaya başlar.

Po-214, Po-218, Pb-214 ve Bi-214 bozunum ürünleri soluk alma yoluyla akciğerlere giderek alfa ve beta bozunumları ile insan vücudunda içsel maruz kalmaya sebep olurlar. Diğer bozunum ürünleri Pb-210, Bi-210 ve Po-210'un yarı ömürleri uzun olduğundan insan vücuduna soluk alma yoluyla değil, yiyecek içinde konsantrasyon olarak sindirim yoluyla alınır ve yine içsel maruz kalmaya sebep olurlar. Radon gazından dolayı maruz kalınan yaklaşık yıllık doz 1.3 mSv'dir (Akyıldırım, 2005). Genelde insanlar zamanlarının %80'ini bina içinde geçirdiklerinden dolayı bina malzemelerindeki bu radyonüklid konsantrasyonlarının tayin edilmesi önemlidir.

Ülkemizde ve dünyada CR-39 nükleer iz kazıma yöntemi kullanılarak bina materyallerinde ve toprakta radon solumasının incelendiği bir çok çalışma yer almaktadır.

Svaziland'da CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri ile yapılan çalışmada toprakta ve bina içindeki radon konsantrasyonları sırasıyla 2-8 kBq/m³ ile 21-180 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Farid, 1997).

Ürdün toprakları ve bina materyallerinin doğal radyoaktivite ve radyasyon zararlarının değerlendirildiği çalışmada, kum için Ra-226 spesifik aktivitesi 14.8-59.4 Bq/kg olarak radyum eşdeğer aktivitesi de 24.8 ile 104.2 Bq/kg olarak bulunmuştur (Ahmad ve diğ., 1997).

Polonya'da yapılan çalışmada CR-39 dedektörler kullanılarak topraktaki radon konsantrasyonu 0.1- 49.6 kBq/m³ aralığında ortalama 13.6 kBq/m³ olarak bulunmuştur (Mazur ve diğ., 1999).

Ürdün'de su, toprak, bina ve bina materyalleri üzerine yapılan çalışmada HPGe ve CR-39 katihal nükleer iz dedektörleri kullanılmış ve kum taşı için Ra-226 konsantrasyonu 14.6 Bq/kg, radon konsantrasyonu 40.56 Bq/m³ ve radon soluması 5.07 Bq/m²saat olarak bulunmuştur (Kullab, 2005).

Kuzey ve Doğu Anadolu aktif fay sisteminde yapılan çalışmada toprak örneklerin radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı sırasıyla 8.10 Bq/kg ve 400.7 mBq/m²saat olarak bulunmuştur (Baykara ve diğ., 2005).

Hindistan'daki bina materyalleri üzerine yapılan çalışmada Ra-226 konsantrasyonu siyah kum için 13±5 Bq/kg ve sarı kum için 10±4 Bq/kg; radyum eşdeğeri siyah kum için 25 Bq/kg ve sarı kum için 32 Bq/kg; yıllık etkin gama dozu siyah kum için 0.07 mSv/yıl ve sarı kum için 0.09 mSv/yıl ve Rn-222 kütle soluma oranı siyah kum için 18.8±6.4 mBq/kg.saate ve sarı kum için 6.5±4.3 mBq/kg.saate olarak bulunmuştur (Sahoo ve diğ., 2007).

Pakistan'da CR-39 nükleer iz kazma dedektörü kullanılarak bazı yaygın bina materyallerinde radon solumasının değerlendirildiği çalışmada, kumda radon soluması ortalaması 195±25 mBq/m²saat olarak bulunmuştur (Faheem ve Matiullah, 2008).

CR-39 dedektörü kullanılarak Lübnan'da kum örneklerinde ²²²Rn konsantrasyonu 291± 69 Bq/m³ ve 1774±339 Bq/m³ arasında değişirken ortalama 704±139 Bq/m³ bulunmuştur. Kum örnekleri için radon soluma hızı 512±92 mBq/m²saat olarak bulunmuştur (Kobeissi ve diğ., 2008).

Ürdün'de CR-39 dedektörü kullanılarak sıcak su, soğuk su, kuyu suyu, içme suyu ve deniz suyundaki radon aktivitesi sırasıyla 3.3-10.7 Bq/L; 3.2-5.5 Bq/L; 3.1-5.7 Bq/L; 2.5-4.7 Bq/L ve 4.3-6.3 Bq/L olarak bulunmuştur (Al-Bataina ve diğ., 1997).

Doğu Anadolu aktif fay hattı üzerinden alınan su örneklerinde CR-39 nükleer iz kazma dedektörleri kullanılarak radon ve radyum konsantrasyonu sırasıyla 3319.3 Bq/m³ ile 270.5 Bq/m³ olarak ölçülmüştür. Ayrıca su örneklerinde radon soluma hızı 20.2-470 mBq/m²saat arasında değişmektedir (Baykara ve Doğru, 2006).

Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün (BAP) 2010/10 nolu projesi ile desteklenen bu tez çalışması Giriş, Genel Bilgiler, Coğrafi ve Jeolojik Yapı, Deneysel Çalışmalar, Bulgular, Tartışma, Sonuç ve

Kaynaklar olacak şekilde sekiz bölümden oluşmaktadır. Çalışmada, Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı bölgesinin doğal radyoaktivitesinin jeolojik yapı ile ilişkisinin araştırılması amacıyla inceleme alanından toplanan toprak, su ve sediment örneklerinde öncelikle pH, mV, iletkenlik, tuzluluk ve sular için alkalite ölçümü gibi kimyasal ölçümler yapılması, daha sonra toprak ve sediment örneklerinde U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları, radon konsantrasyonları ve radon soluma hızı, su örneklerinde radyum konsantrasyonu, radon konsantrasyonu ve soluma hızının belirlenmesi gibi radyoaktivite ölçümleri yapılarak incelenen bölgenin doğal radyoaktivitesi ve çevresel gama doz hızının belirlenmesi ve burada yaşayanların aldıkları doz miktarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca inceleme alanındaki ilçelerde binaiçi ölçümü yapılarak insanların binaiçinde maruz kaldıkları efektif doz eşdeğeri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar arasındaki korelasyon, SPSS istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON

Radyoaktivite, 1896 yılında Henry Becquerel tarafından bulunmuştur. Bu buluşta 1895 yılında keşfedilmiş olan X-ışınlarının büyük rolü olmuştur. Henry Becquerel, Uranyum minerallerinden, kendiliğinden bir çeşit radyasyon yayıldığını ve bu radyasyonun tıpkı X-ışınları gibi madde içinden geçerek fotoğraf plağını kararttığını keşfetmiştir. Hiçbir etkiye maruz kalmadan, radyasyon yayınlanması olayına radyoaktivite denir. Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduklarından radyoaktivite özelliğine sahiptirler (Yülek, 1992). Kararlı ve hafif bir atomda nötronun protona oranı yaklaşık olarak 1'dir. Bu oran, ağır elementlerde yaklaşık 1.5'a çıkabilir. Kararsız çekirdek, bu orandaki dengesizlik nedeniyle var olur (Borrelli, 1999).

Madde atomlardan oluşur. Bazı atomlar kararsızdır. Kararsız atomlar değiştiğinde ve daha kararlı olmak istediklerinde görünmeyen enerji dalgaları ya da parçacıklar yayınlarlar. Bu yayınlanan enerji dalgalarına ya da parçacıklarına radyasyon denir (EPA, 2007). Radyasyon yani ışınım, enerjinin bir yerden başka bir yere taşınması anlamına gelmekte ve bununla günlük yaşantımızda sıkça karşılaşmaktayız.

Radyasyon hayatın bir gerçeğidir. Dünyada doğal olarak her yerde bulunur. Güneşteki nükleer reaksiyonlardan kaynaklanan ışık ve ısı varlığımız için gereklidir. Radyasyon, madde üzerinde oluşturduğu etkilere göre iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere sınıflandırılabilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon elektromanyetik spektrumun düşük frekanslarında yer alan kızılötesi ışık, radyant ısı, morötesi ışık, görünür ışık, radyo dalgaları ve mikro dalgaları içerir. İyonlaştırıcı radyasyon ise elektromanyetik spektrumun yüksek frekanslarında bulunan kozmik ışınlar, X-ışınları ve gama ışınlarını içerir (TAEK, 2009).

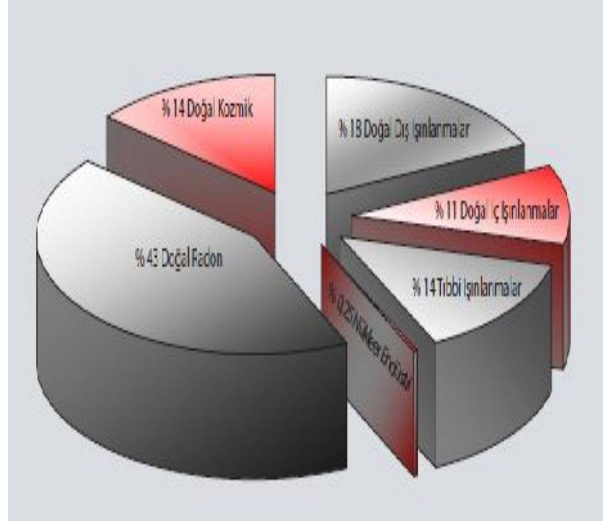
Nötr bir atom ya da molekülün elektriksel olarak yüklü bir bileşiğe dönüşme işlemi iyonizasyon olarak bilinir. İyonlar, atomdaki mevcut olan proton ve elektron sayısına bağlı olarak pozitif ya da negatif bir şekilde yüklenmiştir. İyonlaştırıcı radyasyon, kararsız bir izotopun bozunması sonucunda oluşur (Borrelli, 1999). Hayatımıza farklı şekillerde girer ve yeryüzünde uranyum bozunumu gibi doğal işlemler ve X ışınlarının tıpta kullanılması gibi yapay işlemler sonrası oluşur. Bu nedenle radyasyon kökenine bağlı olarak doğal ya da yapay olarak sınıflandırılabilir (TAEK, 2009).

Doğal radyasyon güneşten, kozmik ışıklardan ve dünya kabuğundaki doğal bir şekilde olan radyoaktif elementlerden kaynaklanır. Uzaydan gelen kozmik ışınlar, enerjili protonları, elektronları, gama ışınlarını ve X-ışınlarını içerir. Yer kabuğundan yayılan radon gazı, doğal bir şekilde bulunan radyumun bozunumundan oluşur ve radyasyon maruziyetinin ana kaynağıdır (Güler, 1997; UNSCEAR, 2000; Ereeş ve diğ., 2006). Temelde dünya kabuğunda bulunan radyoaktif elementler, uranyum, toryum ve potasyum ve onların bozunma ürünleridir. Bu elementler alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve gama ışınları yayarlar (EPA, 2007; Al-Hamameh ve Awadallah, 2009).

Yapay radyasyon, X-ışınları ve reaktörde ya da hızlandırıcılarda yapay bir şekilde üretilen radyoizotoplar gibi cihazlarla üretilen radyasyondur. Bu radyasyon hem tıpta hem de endüstride kullanılır. Yapay radyasyonun temel kullanıcıları, hastane ve ilaç tesisleri gibi sağlık tesisleri, araştırma ve eğitim enstitüleri, nükleer reaktörler ve uranyum değirmenleri ve yakıt hazırlama tesisleri gibi reaktörleri destekleyen tesisler ve nükleer silah üretimini içeren federal tesislerdir. Bu tesislerin birçoğu radyoaktif atık üretir ve radyasyonun sınırlı bir miktarı çevreye bırakılır. Radyoaktif materyal, duman dedektörleri ve kendiliğinden aydınlanan çıkış işaretleri gibi tüketici ürünlerinde kullanılır (EPA, 2007). Yapay radyasyon kaynakları, tıbbi X ışınlarını, nükleer silah denemelerinden kaynaklanan atmosferdeki radyoaktif serpintileri, nükleer endüstrinin radyoaktif atıklarının salımı, endüstriyel gama ışınları ve tüketici ürünleri gibi diğer çeşitli öğeleri içerir (TAEK, 2009).

Günümüzde UNSCEAR tüm kaynaklardan alınan dozlara ilişkin verileri düzenli olarak yayımlamaktadır. 2000 yılında yayımlanan en son inceleme sonuçları Şekil 2.1'de verilmektedir. Dünya nüfusuna göre ortalaması alınmış yıllık doz toplamda yaklaşık 2.8 mSv'tır. Bu değerın yüzde 85'den fazlası doğal radyasyon

kaynaklarından, bunun yarısı ise evlerdeki radon bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır (UNSCEAR, 2000; Sujo ve diğ., 2004). Toplamın yüzde 14'ünü



Şekil 2.1. Radyasyon kaynaklarından alınan dozun yüzde oranları (TAEK, 2009).

tıbbi ışınlanmalar oluştururken yapay kaynaklar (radyoaktif serpinti, tüketici ürünleri, mesleki ışınlanma ve nükleer endüstriden kaynaklanan salımlar) ise toplamın %1'den daha azını oluşturur (TAEK, 2009).

2.2 DOĞAL RADYASYON

İnsanoğlu ve diğer canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup; bununla iç içe yaşamaktadırlar.

İnsanı etkileyen doğal radyasyon kaynaklarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- * Kozmik radyasyon,
- * İç kaynaklar olarak ifade edilen insan vücudundaki kaynaklar,
- * Karasal radyasyon denilen dünya kabuğundaki kaynaklar, (Jlab, 2010).

İnsanlar, bu doğal radyasyon kaynaklarına içsel ve dışsal olmak üzere iki şekilde maruz kalırlar. Bunlardan dışsal maruz kalmalar, uzaydan yeryüzüne ulaşan kozmik ışınlar ve yer kabuğunda bulunan (karsal radyasyon) uranyum ve toryum gibi radyoaktif maddeler ile solunan havadaki radondur. İçsel maruz kalma ise vücut içerisinde bulunan K-40 ve C-14 ile solunum yoluyla akciğerlere alınan radon ve bozunma ürünlerinden kaynaklanır (Yülek, 1992).

Dünya çapında doğal radyasyon kaynaklarına olan ortalama yıllık maruziyet 2.4 mSv'dır. Doğal radyasyonun çeşitli bileşenlerine maruz kalmanın normal aralıkları Çizelge 2.1'de verilmektedir. Bu maruziyetler genel değişimler için hesaplanır fakat dağılımların çok uç değerleri hesaplamada hariç tutulur.

Çizelge 2.1. Dünya çapında doğal radyasyon kaynaklarına olan ortalama maruziyet (UNSCEAR, 2008).

Maruziyet Kaynağı	Yıllık Efektif Doz (mSv)	
	Ortalama	Aralık
Kozmik radyasyon		
Doğrudan iyonizasyon ve foton bileşeni	0.28	
Nötron bileşeni	0.10	
Kozmojenik radyonüklidler	0.01	
Toplam	0.39	0.3-1.0
Dış karasal radyasyon		
Binadışı	0.07	
Bina içi	0.41	
Toplam	0.48	0.3-1.0
Solunma ile maruziyet		
Uranyum ve toryum serileri	0.006	
Radon (Rn-222)	1.15	
Toron (Rn-220)	0.10	
Toplam	1.26	0.2-10
Beslenme ile maruz kalma		
K-40	0.17	
Uranyum ve toryum serileri	0.12	
Toplam	0.29	0.2-1.0
Toplam	2.4	1-13

Genelde dünya çapında doğal radyasyon kaynaklarına olan yıllık maruziyet 1-10 mSv aralığında ve ortalama 2.4 mSv olarak düşünülür. Tahmin edilen ortalama maruziyet değeri kaba bir ortalama olduğundan çok kesin bir değer olarak alınmaması gerekir. Bu değerler yeryüzündeki çeşitli bölgeler ve farklı yükseklikler için değişiklikler göstermektedir. Bireyler için, yıllık maruziyet 1 mSv'dan başlayarak sık sık karşılaşılan dünya ortalamasının iki katına yada üç katına değişebilir. Bireylerin yaklaşık %65'inin 1-3 mSv arasında, %25'inin 1 mSv'dan daha az ve %10'ununda 3 mSv'dan daha büyük maruziyetlere sahip olduğu tahmin edilmektedir (UNSCEAR, 2000).

2.2.1. Kozmik Radyasyon

Kozmik ışınlar, tüm doğrultulardan Dünya'ya gelen yüksek enerjili, yüklü parçacıklardır. Kozmik ışın parçacıklarının çoğunluğunu atom çekirdekleri ve onlarda elektronları, pozitronları ve atomaltı parçacıkları içerir (Dunai, 2010).

Dünya dış uzay orjinli yüksek enerjili parçacıklarla sürekli olarak bombardıman edilir. Uzaydan atmosfere her saniyede, yaklaşık 10^9 eV enerjili hemen hemen hepsi proton olan 2.10^{18} civarında kozmik ışın parçacıkları gelir (Yülek, 1992; Baltaş, 2006). Birincil kozmik radyasyonun %98'ini proton ve alfalar, geri kalanının %2'sini ise elektronlar oluşturmaktadır. Bu kozmik ışınlar, uçak yüksekliğinden yer seviyesine doğru atmosferin derinliklerindeki yoğunluğu azalan kozmik ışın maruziyetlerine katkıda bulunan zincir etkileşimleri ve ikincil reaksiyon ürünlerini üreten atmosferik bileşenlerin çekirdekleriyle etkileşirler. Kozmik ışın etkileşimleri, aynı zamanda kozmojenik radyonüklidler olarak bilinen bir dizi radyoaktif çekirdek üretir. Bunlardan en iyi bilineni H-3 ve C-14'dür (UNSCEAR, 2000). Atmosferin üst tabakalarında kozmik radyasyonun etkileşmesi ile oluşan radyoaktif radyonüklidler uzun yarıömre sahip olabilirler, fakat çoğunlukla yarıömürleri primordial radyonüklidlerden daha kısadır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Temel kozmojenik radyonüklidler (Kathren, 1984).

Radyonüklid	Yarı ömür	Üretim hızı (atom/cm ² s)	Global kütlesi (kg)	Havadaki aktivitesi (Bq/m ³)
H-3	12.26 yıl	0.25	3.5	0.167
Be-7	53gün	0.08	0.0032	0.017
Be-10	2.7×10^6 yıl	0.05	3.9×10^5	10^{-7}
C-14	5760yıl	2.5	6.8×10^4	0.067
Na-22	2.6 yıl	8.6×10^{-5}	0.0019	1.7×10^{-6}
Al-25	7.4×10^5 yıl	1.4×10^{-5}	1000	-
Si-32	280yıl	1.6×10^{-4}	1.4	3.3×10^{-8}
P-32	14.3 gün	8.1×10^{-4}	0.0004	0.00033
P-33	24.4 gün	5.8×10^{-4}	0.0006	0.00025
S-35	87.5 gün	0.0014	0.0045	0.00025
Cl-36	3.8×10^5 yıl	0.0011	1.4×10^4	5×10^{-10}
Ar-39	270yıl	0.0056	23	-
Kr-81	2.3×10^5 yıl	10^{-6}	-	-

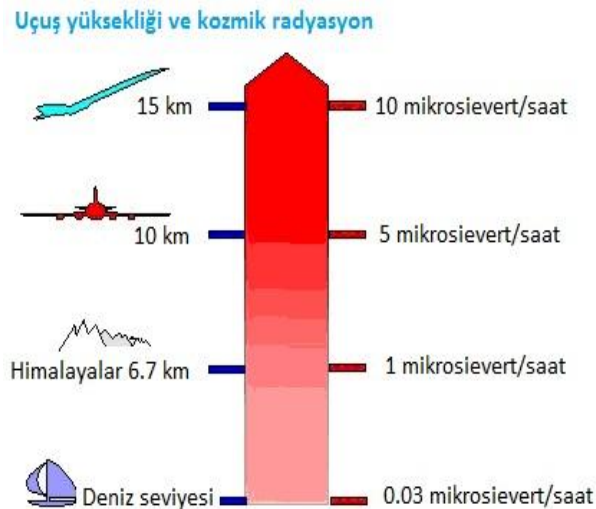
Kozmik radyasyon tanecikleri, elektrik yüklü olduğundan gerek dünyanın manyetik alanında gerekse atmosferde etkileşimler sonucu büyük değişikliğe uğrar. Bu nedenle atmosfere girmeden önceki kozmik radyasyona primer kozmik

radyasyon, bunların üst atmosferdeki atomlarla etkileşimi sonucu oluşan radyasyona da ikincil radyasyon denir. Bunlar atmosferdeki azot ve oksijen gibi atomlarla etkileşerek ikincil parçacıklar meydana getirirler.

Deniz seviyesinde uzaydan gelen orijinal kozmik ışın parçacıklarının hemen hepsi kaybolur. Yeryüzündeki kozmik ışın dozu ikincil parçacıklardan meydana gelir. Çok enerjik protonlar atmosfere girdiğinde müon, elektron, foton ve bazı nötronların bulunduğu yüzmilyonlarca parçacıklı bir sağanak meydana getirirler (Yülek, 1992; Baltaş, 2006).

Dünyanın manyetik alanı, kısmi olarak atmosfere ulaşan kozmik ışın şiddetini indirger. Yeryüzünün manyetik alanının şekline bağlı olarak sadece yüksek enerjili parçacıklar daha düşük jeomanyetik enlemi geçebilir. Bu jeomanyetik etkiden dolayı ekvatorun minimum şiddet ve doz, kutuplarda ise maksimum şiddet ve doz söz konusudur (UNSCEAR, 2000). Deniz seviyesinde ortalama kozmik radyasyon dozu, yaklaşık 26mrem/yıldır (Jlab, 2010). Deniz seviyesinde kozmik radyasyon sebepli doz eşdeğerinin %70'i müonlar, %15'i elektron ve fotonlar, %10'u nötronlar ve %1-2'si proton ve yüklü pionlardan kaynaklanmaktadır (Arıkan, 2007).

Kozmik radyasyon nedeniyle maruz kalınan radyasyon doz değerleri deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı olarak artmakta ve yüksek bölgelerde yaşayanlar daha fazla radyasyona maruz kalmaktadır (Şekil 2.2). Kozmik radyasyon sebepli doz hızları, deniz seviyesinde 0.03 $\mu\text{Sv/saat}$, 2 km'de 0.1 $\mu\text{Sv/saat}$, 6.7 km'de 1 $\mu\text{Sv/saat}$, 10 km'de 5 $\mu\text{Sv/saat}$ ve 15 km'de ise 10 $\mu\text{Sv/saat}$ civarındadır (IAEA, 1996). Uçuş



Şekil 2.2. Kozmik radyasyondan kaynaklanan doz değişimi (IAEA, 1996).

yüksekliklerindeki kozmik ışınların yoğunluğu, yer seviyesinden daha yüksektir. Kıtalararası uçuşlardaki uçuş yüksekliğinde doz hızı, yer seviyesindeki doz hızının 100 katına ulaşabilir. Uçakla yapılan seyahatler, bazı topluluklar için yıllık dozda ortalama 0.01 mSv'lik artışa neden olur (TAEK, 2009).

Dünyada bazı yüksek rakımlı alanlardaki kozmik ışın yıllık etkin doz eşdeğerlerinin değişimi Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Çizelge 2.3. Yüksek rakımlı alanlarda kozmik ışın yıllık etkin doz eşdeğerleri (UNSCEAR, 1993).

Yüksek Rakımlı Alanlar	Nüfus (milyon)	Yükseklik (m)	Toplam Etkin Doz Eşdeğeri (µSv)
La Paz, Bolivya	1.0	3900	2020
Lhasa, Çin	0.3	3600	1710
Quito, Ekvador	11.0	2840	1130
Mexico City, Meksika	17.3	2240	820
Nairobi, Kenya	1.2	1660	580
Denver, ABD	1.6	1610	570
Tahran, İran	7.5	1180	440
Deniz seviyesi			270
Dünya Ortalaması			380

2.2.2. İçsel Radyasyon

Her gıda maddesi bünyesinde az da olsa radyoaktiviteye sahiptir. Yiyeceklerdeki yaygın olan radyonüklidler, K-40, Ra-226, ve U-238 ve onların bozunum ürünleridir. Çizelge 2.4'de yiyeceklerdeki K-40 ve Ra-226 düzeyleri verilmektedir.

Çizelge 2.4. Yiyeceklerdeki doğal radyoaktivite (Brodsky, 1997; Küçükönder, 2009).

Yiyecek	⁴⁰K (pCi/kg)	²²⁶Ra (pCi/kg)
Muz	3520	1
Brazilya cevizi	5600	1000 - 7000
Havuç	3400	0.6 - 2
Beyaz Patates	3400	1 - 2.5
Bira	390	---
Kırmızı Et	3000	0.5
Lima Faulyesi	4640	2 - 5
İçme suyu	---	0 - 0.17

İnsan vücudu, bilindiği gibi kimyasallardan oluşmaktadır. Günlük olarak su ve yiyeceklerle sindirime alınan bazı radyonüklidlerin insan vücudunda bulunması doğaldır (Küçükönder, 2009). Vücudumuza giren en önemli radyonüklidler karasal orjinlidir. Karasal orjinli radyonüklidler arasında en önemli yeri radon gazı almaktadır. Radon gazı vücuda soluma yoluyla girer. Radon düzeyleri topraktaki uranyum ve radyum içeriğine bağlıdır (Kobeissi ve diğ., 2008; Manousakas ve diğ., 2010). Vücuttaki diğer radyonüklidler, K-40 gibi uranyum, toryum ve bunların bozunma ürünlerini içerir. Bu karasal radyonüklidler yiyeceklerin yetiştiği topraktadır (Wahl, 2010). Yiyeceklerle birlikte vücuda girmektedir.

Hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler (K-40, Ra-226, U-238 ve Rn-222) vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla alınmakta, bunlarda zamanla çeşitli organlarda birikmektedir (TAEK, 2009; Küçükönder, 2009). Bazı radyonüklidler çabucak bozunurken tekrar alım yada solunmayla tekrar vücutta bulunurlar. Bazıları ise biraz daha yavaş bir şekilde bozunurlar ve belli vücut dokularında (kemikteki radyum gibi) konsantre olabilirler, bazıları da bağırsak tarafından kolayca soğurulamaz ve çabucak vücuttan atılır (Wahl, 2010). Potasyum gıda maddelerinin alınmasıyla vücutta az veya çok şekilde dağılmış durumdadır. Vücuttaki konsantrasyonu homeostatik kontrol altındadır. Yetişkinler için potasyumun vücut içeriği yaklaşık %0.18 ve çocuklar için %0.2 dir (UNSCEAR, 2000).

Bir insanın içsel radyoaktif materyalden aldığı ortalama yıllık doz, 40 mrem/yıldır (NRC, 2010). ICRP 30 verisine dayalı olarak yetişkin 70 kg'lık bir kişi için hesaplanan radyonüklid konsantrasyonu aşağıdaki Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Vücudumuzdaki doğal radyoaktivite (Brodsky, 1997, Küçükönder, 2009).

Nüklid	Vücuttaki Nüklidin Toplam Kütlesi	Vücuttaki Nüklidin Toplam Aktivitesi	Günlük Nüklid Alımı
Uranyum	90 µg	30 pCi (1.1 Bq)	1.9 µg
Toryum	30 µg	3 pCi (0.11 Bq)	3 µg
Potasyum-40	17 mg	120 nCi (4.4 kBq)	0.39 mg
Radyum	31 pg	30 pCi (1.1 Bq)	2.3 pg
Karbon-14	22 ng	0.1 µCi (3.7 kBq)	1.8 ng
Tritiyum	0.06 pg	0.6 nCi (23 Bq)	0.003 pg
Polonyum	0.2 pg	1 nCi (37 Bq)	~0.6 fg

Vücudumuzda bulunan radyonüklidlerden en çok maruziyet K-40 radyonüklidinden kaynaklanmaktadır. Ortalama 70 kg kütleli bir insanda 140 mg civarında potasyum bulunur. Bu miktar potasyumda bulunan K-40 aktivitesi, 0.1 μCi (4.4 kBq) civarındadır (Brodsky, 1997).

2.2.3. Karasal Radyasyon

Dünyanın başlangıcından beri varolan ve yer kabuğunda bulunan karasal radyasyonu primordial radyonüklidler oluşturur. Primordial radyonüklidleri, U-235, U-238 ve Th-232 bozunum serilerindeki radyonüklidler ve K-40 ve Rb-87 gibi önemli radyasyon kaynaklarından olan radyonüklidler oluşturur (UNSCEAR, 1982; Santawamaitre ve diğ., 2011).

Bu radyonüklidler ve onların bozunum ürünleri dünyanın yaşıyla karşılaştırılabilir yarı ömürlere sahiptirler. Konsantrasyonları düşük olup elemental çokluğu küçüktür. Karasal orjinli doğal bir şekilde olan radyonüklidler, insanda dahil olmak üzere çevredeki tüm ortamlarda (toprakta, havada, suda ve yaşayan organizmalarda) çeşitli miktarlarda bulunmaktadır. İnsan vücudu U-238 ve Th-232 bozunum serilerinin radyonüklidlerinden ve K-40 radyonüklidinden gelen ağırlıklı olarak gama ışınlarına maruz kalır. Soğuruldukları doza göre insanlar için en önemli olan primordial radyonüklidler K-40, U-238 ve Th-232'dir (UNSCEAR, 2000; Jankovic ve diğ., 2008). Bu radyonüklidler vücutta da bulunur ve çeşitli organları gama ışını kadar iyi alfa ve beta parçacıkları ile ışınlarlar. Diğer bazı radyonüklidler (U-235 serisinin radyonüklidleri, Rb-87, La-138, Sm-147 ve Lu-176) doğada mevcuttur fakat onların insandaki doza katkıları düşüktür (UNSCEAR, 2000).

İnsanlar, içsel ve dışsal olarak primordial radyonüklidlerden yayımlanan α parçacıkları ve γ ışınlarına maruz kalırlar. Çizelge 2.6'da doğal bir şekilde tek başına olan yada doğal olmayan seri primordial radyonüklidler verilmektedir.

U-238 ve Th-232 gibi doğal radyoaktif serilerden gelen dışsal etkin doz eşdeğeri 0.26 mSv/yıl ve içsel doz 1.42 mSv/yıl'dır. Primordial radyonüklidler arasında serisi bulunmayan ve tek başına oluşan en önemli nüklid K-40'dır. K-40'ın neden olduğu dışsal doz 0.15 mSv/yıl ve içsel doz 0.18 mSv/yıl'dır (Işık, 2002). Ayrıca bu primordial radyonüklidlerin yanında U-238 bozunma serisinin ürünü olan ve sağlık riskine neden olan radon gazı da önem arz etmektedir. Radon gazı, topraktaki doğal uranyumun bozunmasıyla oluşur. Alfa radyasyonu yayar, binaların

altındaki topraktan yükselir ve kısmen iyi yalıtılmış binaların içinde birikebilir. Amerika’da radondan kaynaklanan ortalama efektif tüm vücut dozu, yaklaşık 200 mrem/yıl’dır ve akciğerlerde yaklaşık olarak 2000 mrem/yıl’dır (Jlab, 2010).

Çizelge 2.6. Primordial radyonüklidler (Işık, 2002).

Nüklid	Yarı Ömür (yıl)	%İzotopik Bolluk	Bozunumu	Enerji (MeV)
K-40	1.3×10^9	0.0118	Beta	1.32
V-50	6×10^{14}	0.25	Beta	-
Rb-87	4.7×10^{10}	27.83	Beta	0.23
Cd-113	9×10^{15}	12.3	Beta	-
In-115	5×10^{14}	95.7	Beta	0.49
Te-123	1.2×10^{13}	0.87	EC	-
La-138	1.1×10^{11}	0.09	Beta	0.27
Ce-142	$>5 \times 10^{16}$	11.1	Alfa	1.5
Nd-144	2.1×10^{13}	23.9	Alfa	1.83
Sm-147	1.1×10^{11}	15.0	Alfa	2.23
Sm-148	8×10^{15}	11.2	Alfa	1.95
Sm-149	$>10^{16}$	13.8	Alfa	<2.0
Gd-152	1.1×10^{14}	0.20	Alfa	2.14
Dy-156	2×10^{14}	0.06	Alfa	3.0
Lu-176	2.7×10^{10}	2.6	Beta	0.57-0.31
Hf-174	2×10^{15}	0.17	Alfa	2.50
Ta-180	$>1.6 \times 10^{13}$	0.012	Beta	-
Re-187	5×10^{10}	62.5	Beta	0.0026
Pt-190	7×10^{11}	0.013	Alfa	3.16
Pb-204	1.4×10^{17}	1.48	Alfa	2.6

2.3. URANYUM

2.3.1. Uranyumun Özellikleri

1789 yılında Martin Klaproth tarafından uranyumun bulunmasından sonra 107 sene sonrası 1896’da uranyumdaki radyoaktivite Fransız bilim adamı Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir. İki yıl sonra ise 1898 yılında Curie’ler radyumu bulmuşlardır. 1934’de Fermi ve çalışma arkadaşları uranyumun beta ışınması yaptığını buldular (Kaplan, 1978; Zararsız, 2005).

Aktinit serisinin dördüncü üyesi olan doğal uranyum gümüş-beyaz renkte, parlak, doğal ve zayıf bir şekilde radyoaktif olan ağır bir metaldir (Çam ve diğ., 2007). Saf metal olarak yoğunluğu 19 civarındadır ve altına (19.32) yakındır. Tabiatta hiçbir zaman serbest olarak bulunmayan uranyum, çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirir. Uranyum mineralleri uraninit,

peshblende, karnotit, otunit, torbernit, tuyamunit, betafit, samarskit ve öksenittir (Zararsız, 2005).

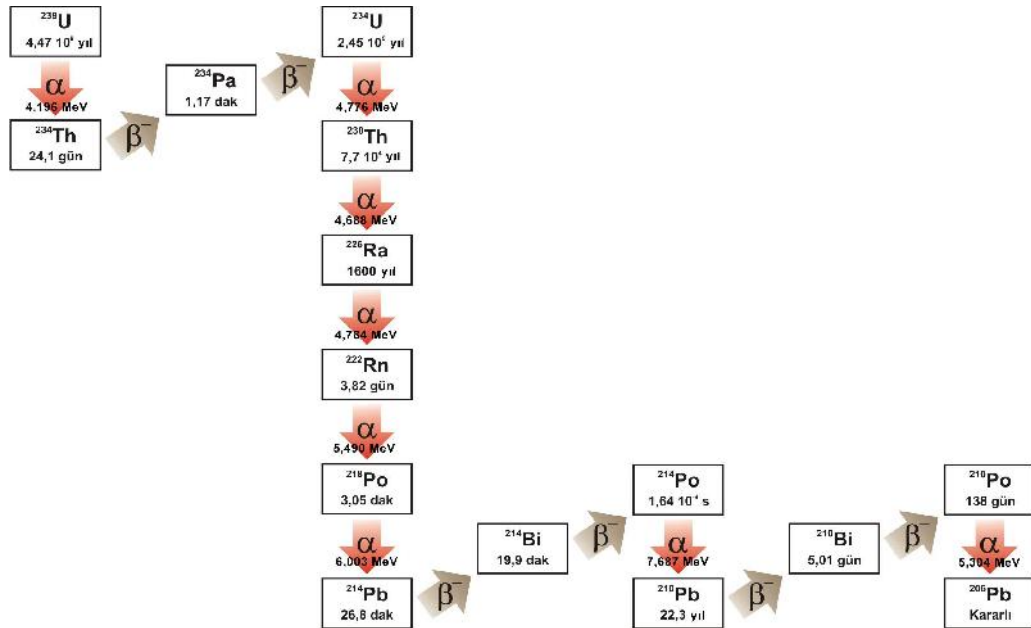
2.3.2. Uranyum İzotopları

Uranyum, doğal olarak doğada bulunan üç izotopu ile çevresel olarak her zaman her yerde var olur. Uranyumun bu üç izotopu, U-238 %99, U-235 %0.71 ve U-234 %0.006 bolluğa sahiptir (Jankovic ve diğ., 2008) (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. Uranyum izotopları (EVS, 2005; Jankovic ve diğ., 2008).

İzotop	Yarı ömür (yıl)	Doğal Bolluğu (%)	Spesifik Aktivitesi (Ci/g)
U-238	4.468×10^9	99	0.00000034
U-235	7.038×10^8	0.71	0.0000022
U-234	2.445×10^5	0.006	0.0063

U-238 radyoaktif bozunma serisinin ana nüklididir. Uranyum-238 alfa parçacıkları yayınlamaya bozunur ve sonunda radyoaktif olmayan kararlı Pb-206 ile son bulur. Bozunma zinciri boyunca yeni radyonüklidler oluşur. Uranyumun ürünü olan radyonüklidlerde beta parçacıkları, gama ve X-ışınları yayırlar (Brown, 2011). Zincirdeki en önemli gama verici ürünler Pb-214 ve Bi-214'dür. Uranyum serisinin gama spektrumunda farklı enerjilerde birçok gama ışını olmasından dolayı çok komplekstir. U-238'in bozunum serisi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. U-238 bozunum serisi.

2.3.3. Çevrede Uranyum

Dünya'daki tüm kayalar uranyum içerir. Kayalar, dünya kabuğundaki toprakları oluşturabilmek için fiziksel ve kimyasal olarak kırılır. Bu şaşırtıcı bir durum değildir. Bu yüzden çoğu topraklarda küçük miktarlarda uranyum bulunur. Genelde, toprağın uranyum içeriği, toprağın oluştuğu kayanın uranyum içeriği ile yaklaşık olarak aynıdır ve 3 ppm ya da yaklaşık 2 pCi/g dır (Brown, 2011; Ferreira ve diğ., 2010; Otton, 1992; Göksu, 1958). Uranyum, altın, platin, gümüş, bizmut, civa kadmiyum ve antimonundan daha fazla; kalay, arsenik ve molibdenle aynı miktarlarda; kobalttan biraz az, kurşunun 1/6'sı veya bakırın 1/30'u kadar nispetlerde bulunmaktadır (Göksu, 1958). Elementlerin yer kabuğu bileşimindeki bulunabilirliği ile ilgili sıralamada 50. sırayı alır (Nakoman, 1979).

Uranyum son derece litofil (oksijene kuvvetle ilgi duyan) olduğundan doğada hiçbir zaman metal halde serbest olarak bulunmaz. Oksijenle meydana getirdiği çeşitli bileşikler, her türlü kayaç içinde ve sularda eser miktarda da olsa bulunabilir (Nakoman, 1979; Zararsız, 2005). Uranyum diğer birçok mineral gibi volkanik oluşumlarla dünya üzerinde var olmuştur, yağışlarla çözülmüş ve bazı yerlerde yeraltı formasyonları oluşturmuştur (Brown, 2011). Yeraltı su tablasının üstünde, satıh ve satha yakın yerlerdeki mevcut oksidasyon şartlarında +6 değerlikli uranyum içeren ikincil uranyum mineralleri kolayca eriyebilirler (sudaki pH değerinin artmasıyla) ve uranil iyonları halinde solüsyona geçerek yeraltı suları vasıtasıyla uzun mesafelere taşınırlar. Taşınma sırasında uygun redüksiyon (indirgeme) şartlarıyla karşılaştıklarında +4 değerlikli uranyuma redüklenerek Uraninit ve Pitchblende (uranyum oksit içeren maden cevheri) halinde çökeler ve böylece uranyum yatakları oluşur (Zararsız, 2005). Uranyum derişimi cevherde 1000 ppm veya civarını aştığında, nükleer reaktörlerde kullanım için bu cevherin çıkarılması ekonomik olabilir (TAEK, 2009).

Uranyum ve toryumun en temel özelliklerinden biri, volkanik ve metamorfik (başkalaşma) kayaların formasyonu ile birleşmiş işlemler olan erimiş ya da kısmen erimiş kayalar gibi daha uçucu fazlarda zenginleştirilmesi eğilimidir. Bu yüzden granitler gibi düşük kaynama noktasına sahip olan kaya tipleri, diyoritler ve bazaltlar gibi yüksek kaynama noktasına sahip olanlarıkinden daha yüksek uranyum içeriğine sahiptirler. Uranyum, bu aynı eğilimle sık sık metamorfizma ile olan ısıtma esnasında akan ve uçucu fazlarda konsantre edilerek tükenebilir yada

zenginleştirilebilir. Kayalar ısıtıldığında ve kısmen eridiğinde uranyum hareket edebilir ve metamorfize olmuş kayada tükenebilir ve uçucu yada sıvı fazlarda konsantre olabilir. Bu işlemle uranyum, toryum ya da diğer uçucu elementler, pegmatit damarlar gibi özelliklerde artabilir. Uranyum, global skalada bu bölünmelerle dünyanın çekirdek kabuğundan dünya kabuğuna geçiş yapabilir. Metamorfik kaya bölgelerinin, uranyumun hareketine bağlı olarak bazı alanlarda büyük oranda zenginleşme (birikim) ve diğer alanlarda tükenme ile birlikte geniş bir uranyum dağılım aralığına sahip olması beklenebilir (Cothorn ve Simith 1987).

Makroskopik skalada uranyum geçişi ve zenginleşmesinin ikinci bir mekanizması, uranyumun oksitlenebilmesini ve yer suyundaki akışla hareketini kolaylaştırmaktır. +4 oksidasyon durumundaki uranyum normal sıcaklıkta çok çözünmeyen bileşikler oluşturur. Bununla beraber, +6 oksidasyon durumundaki uranyum, kolayca çözülebilir bileşikler oluşturur. Bu yüzden, oksidasyon şartları altında uranyum, kayadan ve topraktan liç edilebilir ve çözelti ile yersuyuna geçebilir. İndirgen durumlarla karşılaşıldığında uranyum hızlı bir şekilde çözültide çöker. Bu liç etme ve tutma işlemi kararlı değildir. Fakat yersuyu sistemindeki değişen oksidasyon/indirgen koşullar nedeniyle oldukça dinamik olabilir. Gerçekte, milyonlarca yıllık periyotlarda çoklu liç etme ve tutma döngüleri olabilir. Kolaroda, New Meksika ve diğer batı devletlerindeki birçok yaygın kumtaşı tipi uranyum birikimleri, uranyumun bir bölgeden liç edilmesi ve uranyumun çökmesine neden olan indirgen şartlar altında yeraltı suyuna geçiş işlemleriyle oluşmuştur. Aynı zamanda Hidrotermal akışlar da kaynak kayadan uranyumu liç edebilir ve onu komşu birikimler için de arttırabilir (Cothorn ve Simith 1987).

Bazı kaya tipleri ortalama uranyum içeriklerinden daha yüksek uranyuma sahiptir. Bunlar renkli volkanik kayalar, granitler, koyu şistler, fosfat içeren tortul kayalar ve bu kayalardan üretilen metamorfik kayalardır (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. Çeşitli kayalardaki ortalama uranyum konsantrasyonu (Değerlier, 2007).

Kaya Tipleri	Uranyum Konsantrasyonu (ppm)
Volkanik Kayalar	3
Fosfat Kayalar (Florida)	120
Fosfat Kayalar (Kuzey Afrika)	20-30
Granit	4
Kireçtaşı	1.3
Tortul Kayalar	1.2

Yer kabuğundaki uranyum ve toryumun kaynağı asit karakterli magmatik kayalardır. Magmatik kayalardaki uranyum ve toryum içeriği asit kayalardan bazik kayalara doğru gidildikçe azalmaktadır. Granit ve granit ailesinden kayalar asit karakterleri dolayısıyla uranyum taşıyıcısı durumundadırlar ve bazen 10-14 ppm'e kadar uranyum içerebilmektedirler. Ayrıca bu tür granitler primer kökenli damar tipi uranyum yatakları yönünden de zengin olabilmektedirler (Kaplan, 1978; Varol, 2011). Fosfatlı kayaların uranyum konsantrasyonu 30-260 ppm aralığında değişmektedir (Bolca ve diğ., 2007). Volkanik kayalar ve granitler de genel olarak yüksek miktarlarda uranyum içerirken daha küçük konsantrasyonlar genel olarak kireç taşı gibi çökelti ve tortularda bulunmuştur (Değerlier, 2007; Kathren, 1984).

Doğal taze su kaynakları tipik olarak 0.024 µg/L'den 200 µg/L'e kadar uranyum içerir, deniz suyu ise yaklaşık 2 µg/L ile 3.7 µg/L arasında bir konsantrasyon gösterir (Kathren, 1984).

Uranyum mineralleri genellikle kaya, toprak, su ve hava gibi doğal çevrenin her yerinde değişen miktarlarda dağılmış olmakla birlikte bitki, hayvan ve insanlarda da küçük miktarlarda mevcuttur. Ortalama bir insan vücudunda su, besin ve havanın normal alımlarıyla yaklaşık 90 µg uranyum bulunmaktadır. Bunun %66'sı iskelette, %16'sı akciğerlerde, %8'i böbreklerde ve %10'unda diğer dokularda bulunur. Uranyum bilinen ağır metallere göre birisi olmasına rağmen, dumandaki oksitleri ve tozu çok ağır değildir ve uzun süre havada asılı kalır. Baca gazları ve sigara dumanı da uranyumun küçük miktarlarda alımına katkıda bulunur. Bu katkılar hava için < 0.01 µgU/gün ve sigara dumanı için < 0.005 µgU/gün (2 paket) şeklindedir (Çam ve diğ., 2007).

2.4. TORYUM

2.4.1. Toryumun Özellikleri

Toryum 1828 yılında, İsveçli kimyacı Jöns Jakob Berzelius tarafından, Norveç'te bulunan siyah mineral içinde keşfedilmiştir. Toryumun atom numarası 90 ve atom ağırlığı 232'dir. Periyodik Çizelgede aktinit serisinde yer alır (Gök, 2010). Dünya kabuğunda küçük konsantrasyonlarda (10 ppm) doğal bir şekilde olan radyoaktif bir elementtir. Saf formundaki toryum, yaklaşık kurşun kadar yoğun olan

yumuşak ve şekillendirilebilen, gümüş beyaz ağır bir metaldir. Havada ısıtıldığında toryum talaşları yanar ve parlak beyaz bir ışık verir (EVS, 2005).

2.4.2. Toryum İzotopları

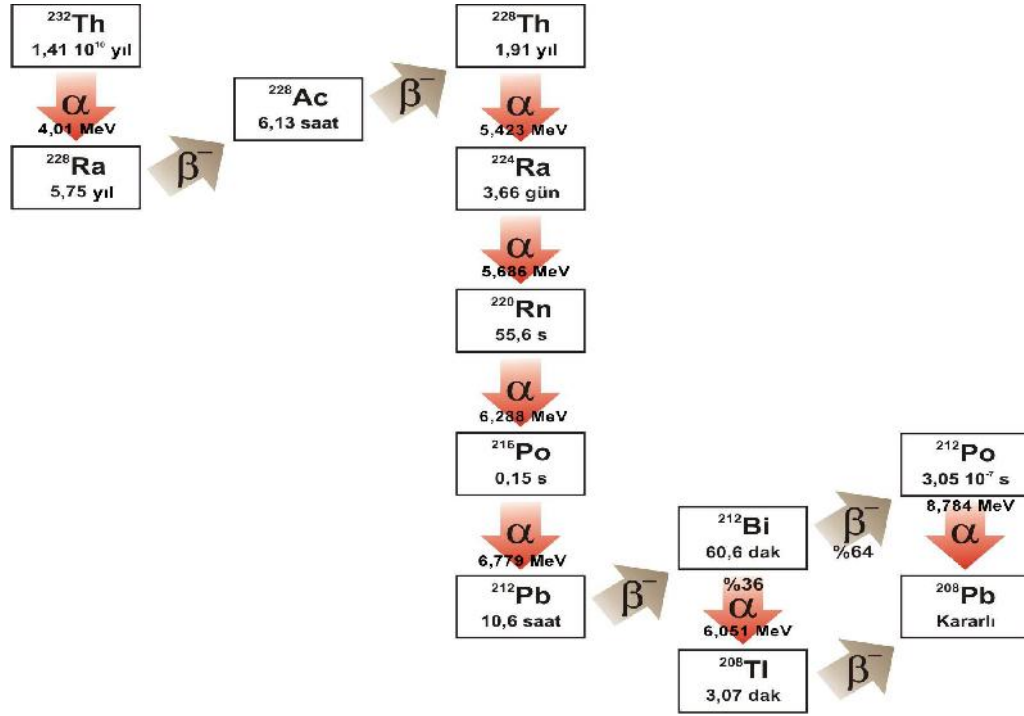
Toryumun bilinen 26 toryum izotopundan sadece 12 tanesinin yarı ömrü 1 saniyeden büyüktür ve bunlardan üç tanesi yeterince uzun yarı ömre sahiptir. Bu izotoplar alfa yayınlamaya yavaş bir şekilde bozunurlar. Th-232 ve Th-230 izotoplarının yarı ömürleri çok uzundur (Çizelge 2.9). Bu izotopların düşük aktiviteye sahip olmalarından dolayı yüksek bir aktiflikleri yoktur. Hem Th-232 hemde Th-230 sırasıyla Ra-228 ve Ra-226 ile sürekli dengede maden ve toprakta mevcuttur. Th-229 genellikle nükleer yakıt döngüsü aktiviteleri ile oluşur (EVS, 2005).

Çizelge 2.9. Toryumun önemli üç izotopu (EVS, 2005).

İzotop	Yarı ömür (yıl)	Doğal Bolluğu (%)	Spesifik Aktivitesi (Ci/g)
Th-232	14 milyar	>99	0.00000011
Th-230	77000	<<1	0.020
Th-229	7300	<<1	0.22

Th-232 izotopu, radyoaktif bozunma serisinin ana elementidir. Toryumun bozunma serisinde dört beta, altı alfa ve bunların hemen ardından çeşitli enerjilerde gama ışınları yayımlanır. Bu zincirin özellikleri Şekil 2.4’de verilmiştir. Şekil 2.4’de görül düğü gibi serinin son ürünü kararlı Pb-208’dir. Onbir radyonüklid ürün sonucunda kompleks bir gama spektrumu oluşur.

Toryum veya 4n serileri aynı zamanda çevresel olarak önemli radyonüklidleri kapsar. Uranyum serilerinde olduğu gibi, o aynı zamanda 220 kütle numarası ile asal gaz radonun radyoaktif izotoplarını kapsar. Bu radon izotopunun genellikle tarihsel ismi toron olarak anılır. Toryum serilerinde, Th-232’nin bozunması sonucu oluşan radyonüklidlerin yarı ömrü Th-232’nin yarı ömründen kısadır. Taze ayrıştırılmış toryum dengeye ulaşmayı 60 yılda başarır (Kathren, 1984).



Şekil 2.4. Th-232 bozunum serisi.

2.4.3. Çevrede Toryum

Dünya kabuğunda toryumun uranyumdan üç kat daha fazla bulunduğu tahmin edilmektedir (Nakoman,1979; EVS, 2005; Nuccetelli ve Risica, 2008; Laubenstein ve Magaldi, 2008). Uranyum doğada temelde U-238 izotopu olarak mevcutken, toryum tamamen Th-232 izotopu olarak bulunur. Bu yüzden, genelde topraktaki Th-232 konsantrasyonu, U-238 konsantrasyonundan daha büyüktür fakat U-238'in daha büyük spesifik aktiviteye sahip olmasından dolayı U-238'in aktivite konsantrasyonu Th-232'inkinden daha büyüktür. Toprakta Th-232'nin ağırlıklı ortalama aktivite konsantrasyonu U-238'in 1.4 katıdır (Nuccetelli ve Risica, 2008).

Toryumun doğadaki konsantrasyonu 20 ppm civarındadır ve yer kabuğunun %0.0007'lik kısmını oluşturmaktadır. Toryumun değişik minerolojik bileşimler halinde yer kabuğunda yaygın olduğu bilinmektedir (Nakoman, 1979; EVS, 2005). Doğada 60 civarında mineralin yapısı içinde yer almaktadır. En önemli toryum mineralleri monazit, thorit ve thorianit'tir. Bu minerallerde genellikle nadir toprak elementleri (NTE) ile birlikte bulunmaktadır. Toryumun başlıca ticari kaynağı uranyum, seryum ve öteki lantanitlerin yanı sıra %3-9 arası toryumu da kapsayan monazit adlı mineraldir (Gök, 2010). Monazit, seryum, lantanyum ve toryumun fosfatlarından oluşan erimeyen nadir bir yeryüzü mineralidir. Dünya toryum

üretiminin çoğu sahil kumlarındaki monazitten sağlanmaktadır. Bu kum toryum fosfat ve nadir toprak elementlerinin bir kompleksidir. Dünya toryum üretiminden elde edilen enerjinin, tüm uranyumdan ve fosil yakıtlarının toplamından elde edilen enerjiden fazla olduğu belirlenmiştir. Dünyada çok yüksek toryum ve toryum ürünlerinin yoğunluklarının birkaç yerleşimde bulduklarına dikkat çekilmiştir. Bu yoğunluklar çok yüksek dış doğal radyasyon alanlarında yükselmektedir. Bunlar; Brezilya'nın Espirito Santo ve Rio de Janeiro'daki monazit alanları, Brezilya'nın mineralize olmuş volkanik alanları, Hindistan'da Kerala eyaleti, doğal radyasyonunda biraz artış olan Fransa'nın işlenmemiş granit, şist ve kumtaşı alanları ve Belçika'nın bazı ıssız alanlarıdır (Paschoa ve Godoy, 2002). Bazı kayalardaki uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonları Çizelge 2.10'da verilmektedir.

Çizelge 2.10. Bazı kayalardaki uranyum ve toryum konsantrasyonları (Örgün ve diğ., 2005).

Kaya Tipi	U (ppm)	Th (ppm)
Granit kökenli volkanik kayalar	5	15
Yer kabuğu	1.8	7.2
Üst kıta kabuğu	2.7	10.5
Bazaltik yada ultramafik bileşim	<1	<2

2.5. POTASYUM

2.5.1 Potasyumun Özellikleri

Potasyum atom numarası 19 olan yumuşak, gümüş-beyaz renkte bir metaldir. Toprağın önemli bir bileşeni olup doğada yaygın bir şekilde dağılmıştır ve tüm bitki ve hayvanlarda bulunur. K-40, doğal bir şekilde olan potasyumun radyoaktif izotopudur. Potasyumun radyoaktif olmayan iki izotopu vardır: K-39 ve K-41. Doğal potasyumun %93'lük kısmını K-39 izotopu geri kalanını da K-41 izotopu oluşturur. Radyoaktif K-40 izotopunun bolluğu çok düşüktür (%0.012) (Işık, 2002; Küçükönder, 2009). Yarı ömrü 1.3 milyar yıl olup spesifik aktivitesi 0.0000071 Ci/g dır. K-40'ın elektron yakalama suretiyle Ar-40'a dönüşmesi sonucu yayınlanan 1.461 MeV'lik gama ışını vardır (Çizelge 2.11). K-40 izotopu bir beta bozunumu yaparak Ca-40'a yada elektron yakalayarak Ar-40'a dönüşür. Potasyum bozunumundaki ürün nüklid kararlıdır (Ortabük, 2007; EVS, 2005).

Çizelge 2.11. K-40'ın bozunum çizelgesi (Işık, 2002; Ortabük, 2007).

Bozunum Şekli	Yarıömür	Radyasyon	Gama Enerjisi (MeV)
K-40	1.3×10^9	β, γ	1.4608
Ca+ β (%89)	Kararlı	-	-
Ar + γ (%11)	Kararlı	-	-

2.5.2. Çevrede Potasyum

K-40, doğal bir şekilde olan potasyumun çok küçük bir kesrine sahiptir. Doğada büyük miktarlarda bulunan bir elementtir. Potasyum, dünya kabuğundaki en bol bulunan 7. ve okyanuslarda çözülmüş olarak en bol bulunan altıncı elementtir. Mineral sularda ve denizlerde, Karnalit, feldispat, güherçile, yeşil kum ve silvit gibi çeşitli minerallerde bulunur. Potasyum, verimli toprağın önemli bir bileşenidir ve bitki yetiştirmede ve insan diyetinde gerekli bir besindir (EVS, 2005).

K-40'ın izotopik fazlalığı küçüktür, yerkabuğunun %2.6'sını oluşturan doğal potasyum içinde radyoaktif K-40 bolluğu %0.0118 (yaklaşık %0.012)dir. Bu doğal potasyumun 855 pCi/g (31.6 Bq/g) kadar belirli bir aktivitesini verir. Potasyum doğada, kireç taşında %0.1'den bazı granitlerde %4'e varan oranlarda dağıtılmıştır (Ferreira ve diğ., 2010). Kumtaşları %1 veya daha az potasyum içeriği ile orta sıralardadır. K-40'ın aktivite ortalaması, bazı granitlerde, özellikle kalsiyumu düşük olanlarda ve siyenitlerde 50 pCi/g (1.85 Bq/g) aşan yoğunlukta iken, Crustal (kabuk) kayalar için, 17 pCi/g (0.63 Bq/g) dir. Topraklar, 12 pCi (0.44 Bq/g) civarında bir ortalamayla daha düşük konsantrasyonlara sahiptir (Kathren, 1984).

Çizelge 2.12. Yeryüzü kabuğundaki K-40 (Kathren, 1984).

Kaya Çeşidi	Tipik Yoğunluk($\mu\text{g/g}$)
Ultrabazik	0.0047
Bazaltik	0.98
Yüksek Ca Granit	2.97
Düşük Ca Granit	4.96
Siyenit	5.66
Tortulu Şist	3.14
Kum Taşı	1.26
Karbonat	0.32
Deniz Dibindeki Sedimentler	
Karbonatlar	0.34
Kil	2.95

2.6. RADYUM

2.6.1. Radiumun Özellikleri

Radyum, dünya kabuğunda çok küçük konsantrasyonlarda bulunan radyoaktif bir elementtir. Atom numarası 88 olan radyum, havaya maruz bırakıldığında oksitlenebilen saf formunda gümüş-beyaz renkte ağır bir metaldir (EPA, 1990). Radium kurşunun yaklaşık yarısı kadar bir yoğunluğa sahiptir ve birçok izotopu olmasına rağmen doğada temelde Ra-226 olarak bulunur. Radium, 1898 yılında Marie ve Pierre Curie tarafından keşfedilmiştir (Özdemir, 2006).

Radium çeşitli radyonüklidlerin tanımlanmasında kullanılmıştır. 1 Ci, 1 gram Ra-226'nın bozunmasına eşittir. 1 gram Ra-226'nın aktivitesi yaklaşık olarak 37 000 MBq'dir. Ra-226 her saniyede yaklaşık olarak 37 milyar alfa parçacığı yayınlar (TAEK, 2009). Radiumun 25 izotopundan sadece iki tanesinin (Ra-226 ve Ra-228) yarı ömrü 1 yıldan daha büyüktür (EVS, 2005). Çizelge 2.13'de radyum ve izotoplarının özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.13. Radium ve izotoplarının özellikleri (Davutoğlu, 2008).

İzotop	Bozunma Serisi	Ana Element	Ürün Element	Radium İzotoplarının Yarı Ömrü	Bozunma Türü
Ra-228	Th-232	Th-232	Ac-228	5.8 yıl	β, γ
Ra-226	U-238	Th-230	Rn-222	1620 yıl	α, γ
Ra-224	Th-232	Th-228	Rn-220	3.66 yıl	α, γ
Ra-223	U-235	Th-227	Rn-219	11.4 gün	α, γ

Radiumun tüm radyoaktif izotopları U-238, U-235 ve Th-232 doğal serilerinden oluşur (Fajardo, 2007). Ra-226, U-238 radyoaktif bozunum serisinin radyoaktif bozunum ürünüdür ve Rn-222'nin atasıdır. Ra-228 ve Ra-224, Th-232 radyoaktif bozunum serisinin radyoaktif bozunum ürünüdür. Ra-223, U-235 bozunum serisinin bir üyesidir (Lawrie, 2000). Ra-226 ve Ra-228 alfa, beta ve gama radyasyonlarının yayımlandığı geniş bir spektrumda kısa ömürlü radyonüklidler oluşturur. Ra-226 bir alfa parçacığı yayınlarken yavaşça bozunur. Ra-228 ise bir beta parçacığı yayınlarken Ra-226'ya göre daha hızlı bozunur. Ra-226 uzun yarı ömürlü olmasından dolayı bir tehlike oluştururken, Ra-228'in tehlikesi atası Th-232 mevcut olduğunda var olur (EVS, 2005).

2.6.2. Çevrede Radyum

Radyum, dünya kabuğunda geniş bir şekilde dağılmıştır. Radyum doğal bir şekilde toprak, kaya, yüzey suyu, yer suyu, bitki hayvanlarda genellikle düşük konsantrasyonlarda (1 pCi/g düzeyinde) bulunur (EPA, 1990; Fajardo, 2007). Daha yüksek düzeyleri, uranyum cevherlerinde ve diğer jeolojik malzemelerde bulunur. Cevherden uranyumu ayırmak için kullanılan ayırma işlemi nedeniyle Ra-226, açığa çıkan atıklarındaki ana kirleticilerden ve popülasyonun içsel dozuna ana katkı sağlayıcılarından biridir (EVS, 2005; Fajardo, 2007).

Bitkilerdeki radyum konsantrasyonu, genelde yaklaşık toprağın %3'ü kadardır. Bununla beraber yüksek doğal radyumlu bölgelerde yetişen Brezilya fındıkları, daha yüksek konsantrasyonlara sahiptir. Besinlerdeki radyumun ortalama konsantrasyonu, 0.01-0.03 pCi/g aralığında tahmin edilmektedir. Radyum tercihli bir şekilde genelde dokular arası sudan 500 kat daha fazla olan kumlu topraktaki konsantrasyonları ile toprak parçacıklarına bağlanır. İçme suyundaki radyum değeri 5 pCi/L'yi aşan değerler olmasına rağmen genellikle 1 pCi/L'den küçüktür (EPA, 1990). EPA tarafından geliştirilen maksimum kirlilik düzeyi içme sularında (Ra-226 ve Ra-228 bir arada) 5 pCi/L'dir (EVS, 2005).

Toprakta kalan ya da suda çözülmüş olan radyumun bitkiler ve hayvanlar tarafından alınması, besin zincirine girmesini mümkün kılar. Biyolojik olarak, radyum insan vücudunda kalsiyum yerine kemiklerde konsantre olur ve bu şekilde iç radyasyon dozunu artırır. Bu da anemi, katarakt, kırık diş yada kanser özellikle kemik kanseri gibi ciddi rahatsızlıklara sebebiyet verebilir (Fajardo, 2007; Lawrie, 2000).

Diğer bir yandan doğal sulardaki radyum içeriği, dünya kabuğundaki yada okyanuslardaki çevresel ve jeofiziksel süreçleri değerlendirmek için jeokimyasal bir izleyici olarak kullanılır. Uranyum madenleri, termal sular gibi yakın bölgelerde orjinlenen doğal sular, genellikle popülasyon dozuna etkilerini ve tüketimi için uygunluklarını belirlemek için kontrol edilmesi gereken radyum konsantrasyonları ile mevcuttur (Fajardo, 2007).

2.7. RADON

2.7.1 Radonun Özellikleri

Radon, 1900 yılında Friedrich Einst Born tarafından keşfedilmiştir. Periyodik çizelgede 86. sırada bulunan radon, doğal bir şekilde olan kimyasal olarak asal ve radyoaktif bir gazdır. Birçok materyalle kimyasal olarak reaksiyon vermemesinden dolayı gaz olarak hareket etme de özgürdür. Toprak ve kaya parçacıkları arasındaki çok küçük boşluklar içerisinde kolayca hareket edebilir. Radon, kokusuz, gözle görünmeyen ve tatsız bir gazdır (Baykara, 2005). Radon diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Bilinen en ağır gazdır. Biyosferde bol bulunur. Kimyasal açıdan neon, kripton, ksenon gibi nadir elementlerden birisidir. Yoğunluğu 0°C derecede 9.72 g/L'dir. Havadan sekiz kat daha ağırdır (Güler, 1997). Radon aynı zamanda suda kısmen çözülebilir ve bu yüzden kaya içinden suyla yada radon içeren kumla soğurulabilir. Çözünürlülüğü su sıcaklığına bağlıdır; soğuk su daha fazla radon çözünürlülüğünü sağlar. Gaz çözünürlülüğünün ölçümü, çözünürlülük katsayısı ile verilir. Radon çözünürlülük katsayısı, sudaki radon konsantrasyonunun havadaki radon konsantrasyonuna oranıdır. Daha ılık su sıcaklığı, daha fazla radon bırakır ve bu da daha düşük çözünürlülük katsayısına neden olur. Radonun maksimum çözünürlülük katsayısı 0°C su sıcaklığında yaklaşık 0.5'dir. Su sıcaklığı arttıkça exporansiyel olarak düşer. Örneğin 20°C'de çözünürlük katsayısı yaklaşık 0.25, 90°C'de 0.1 dir (EPA, 1987) .

Radon insan aktivitelerinden değil doğal süreçlerin sonucunda insana zarar verebilen çevresel etmenlerden birisidir. Doğal radyoaktif elementler yerkürenin varlığından beri bulunmaktadırlar. Kısa yarı ömürlü olanlar kaybolmuşlardır. Ancak uzun yarı ömre sahip olan radyoaktif elementler varlıklarını sürdürmektedir. Bunlar arasında radonun ana elementi olan radyoaktif Radyum da bulunmaktadır. Uranyum ya da toryumun bozunma ürünü olan radyum elementi radonun sabit kaynaklarıdır (Güler, 1997).

2.7.2. Radon İzotopları

Radonun üç tane izotopu vardır (Çizelge 2.14).

- * **Aktinon (Rn-219):** U-235 serisinin izotopudur. Rn-219 en kısa yarı ömürlü radon izotopudur ve her zaman Rn-222 den daha düşük miktarlarda üretilir.

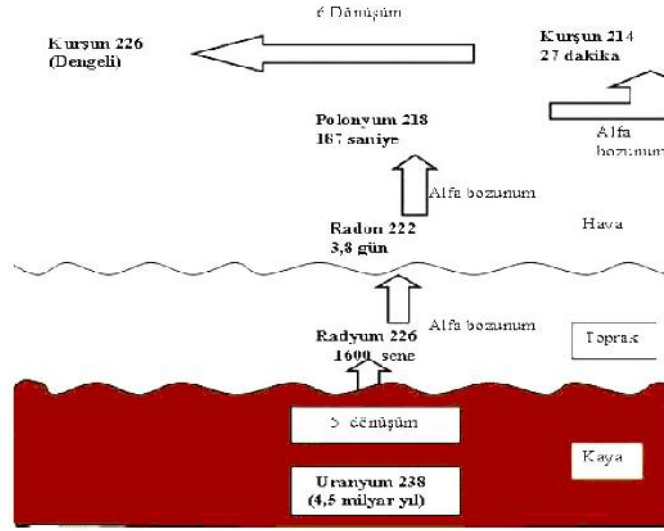
Bu nedenle doğal radyoaktif çevrede çok az bulunur. Çünkü toprağın yüzey tanecikleri arasında oluşsa bile yarı ömrünün çok kısa (3.98 saniye) olması sebebi ile hemen bozunmaya uğrar.

- * **Toron (Rn-220):** Th-232 serisinin bir üyesidir. Yarı ömrü (55.6 saniye) aktinona göre daha uzun olduğundan toprak gazında ve yer atmosferinde bir yoğunluk oluşturur (Baykara, 2005).
- * **Radon (Rn-222):** U-238 serisi içinde Ra-226'nın bozunma ürünü ve 3.82 gün ile radon izotoplarının içinde en uzun yarıömre sahip olanıdır (Baykara, 2005; Manousakas ve diğ., 2010). U-238'in doğada bol bulunuşu nedeniyle Rn-222'nin atmosferde yoğunluğu fazladır, dolayısıyla izotoplar arasında en önemli olandır. Rn-222'nin bozunum ürünlerinden ilk dört tanesi kısa yarı ömürlü Po-218, Pb-214, Bi-214 ve Po-214 dür (Ereeş, 1994).

Çizelge 2.14. Radon ve izotoplarının özellikleri (Baykara, 2005; Saç, 1994).

İzotop	Adı	Seri Başı	Ana Element	Ürün Element	Yarıömür	Radyasyon Cinsi ve Enerjisi (MeV)
$^{222}_{86}Rn$	Radon	U-238	Ra-226	Po-218	3.82 gün	α :5.49 (%100) γ : 0.51(%0.07)
$^{220}_{86}Rn$	Toron	Th-232	Ra-224	Po-216	55.6 saniye	α : 6.29(%100) γ :0.55(%0.07)
$^{219}_{86}Rn$	Aktinon	U-235	Ra-223	Po-215	3.98 saniye	α : 6.82(%81) 6.55 (%11) 6.42 (%8) γ : 0.272(%9) 0.401 (%5)

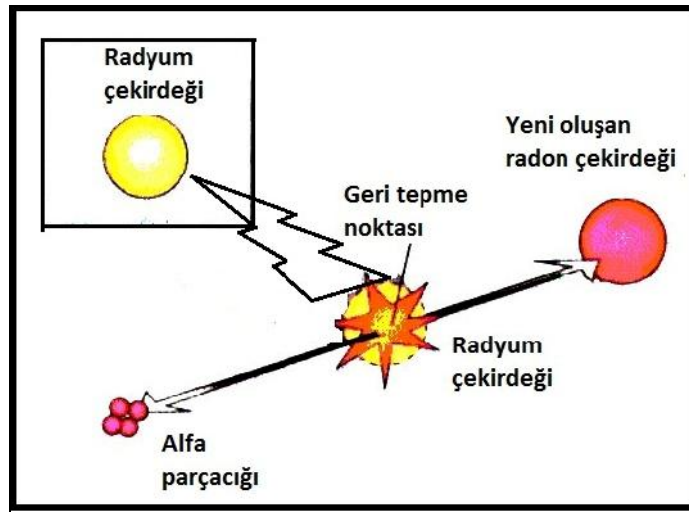
Uranyum bozunma zincirindeki Rn-222'nin bozunum ürünleri Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Radonun bozunum ürünlerini Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214 ve son ürün kararlı Pb-206'dır. Bi-214'ün beta bozunumu sonucunda oluşan Po-214 çok kısa bir ömre sahiptir ve alfa yayını yapar. Bu nedenle Bi-214 doğrudan alfa yayınlayıcısı olarak kabul edilebilir. Bazı radon ölçümlerinde, ürünlerinden soyutlanmış olarak elde edilen radon, belli bir süre bekletilerek radon ve ürünleri arasında radyoaktif denge oluşturulması sağlanır. Radyoaktif denge kısaca ürün nüklitlerin ömrünün ana nüklide göre çok kısa olması durumunda, belli bir süre sonra ürün aktivitesinin ana aktiviteye eşit olmasıdır. Radon, ürünleri ile maksimum dengeye yaklaşık dört saat içinde ulaşır (Saç,1994).



Şekil 2.5. Radonun bozunum şeması (Topçu, 2010).

2.7.3. Radon Oluşumu

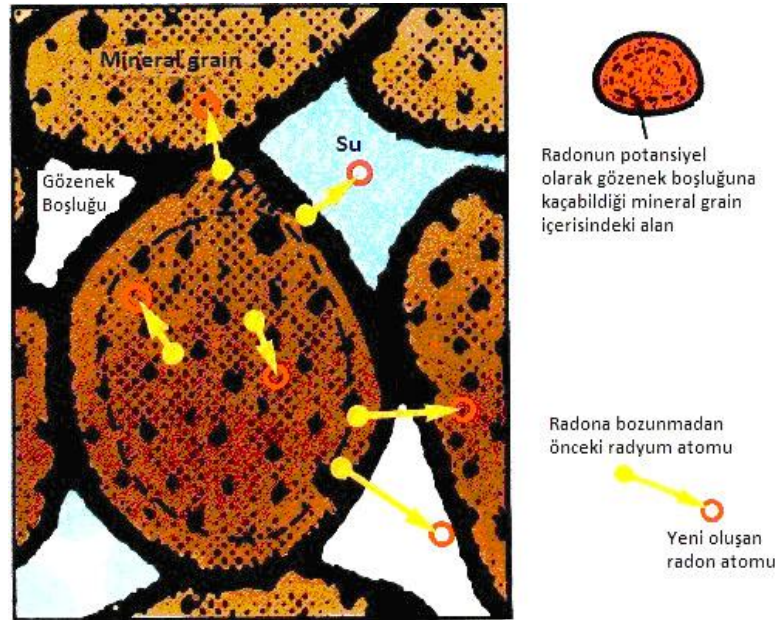
Radon, radyoaktif bozunum serisinin bir üyesi olması nedeniyle, radonun katılardan gözenekli alanlara geçişini sağlayan alfa recoil (geri tepmesi) olarak bilinen tek bir yol vardır. Her bir radyum atomu, çekirdeğinden 2 nötron ve 2 protondan oluşan bir alfa parçacığı yayınlarken bozunur. Alfa yayılımı ile bir radyonüklidin bozunma işlemi, alfa parçacığı tıpkı bir silahtan çıkan mermi gibi enerjisinin çoğunu taşıyarak çekirdekten salınır. Yeni oluşan ürün radyonüklid (radon atomu), tipik kimyasal bağ enerjisinin 10^4 - 10^5 kat enerjiyle zıt doğrultuda (tıpkı silah gibi) geri teper (Şekil 2.6). Geri tepen atom, mineral tanecik yapısında hareket edebilir; geri tepen radon atomu 20-70 nm'lik bir aralığa sahiptir. Alfa geri



Şekil 2.6. Radonun oluşumu (Otton, 1992).

tepmesi, önemlidir. Çünkü, kimyasal bağları kırabilir ve kristal yapıya zarar verebilir (Baykara, 2005; Otton ve diğ., 1992; Cothorn ve Simith, 1987).

Yeni oluşan radon atomu mineral tanecikler arasındaki gözenekli alanlara girsin girmesin mineral tanecikteki radyum atomunun yeri ve radon atomunun geri tepme doğrultusu önemlidir. Radyum atomu, büyük bir taneciğin derinlerindeyse, tanecikten gelen radonun geri tepme doğrultusu ne olursa olsun serbest olamayacaktır ve radon atomu mineral içinde gömülü kalacaktır. Radyum atomu tanecik yüzeyine yakın olduğunda geri tepme doğrultusu taneciğin merkezine doğruysa geri tepmeden dolayı radon atomu mineralin daha derinlerine gidecektir. Bununla beraber, tanecik yüzeyine yakın bazı radon atomlarının geri tepmesi taneciğin yüzeyine doğru olur. Bu durumda yeni oluşan radon mineralden ayrılır ve tanecikler yada kayalardaki çatlaklar arasındaki gözenek boşluklarına girer (Baykara, 2005, Otton ve diğ., 1992). Radon atomunun geri tepmesi oldukça güçlüdür. Yeni oluşan radon atomları sık sık gözenek boşluklarında hareket ederek burada kalırlar ve mineral tanecikler civarında gömülmüş olurlar. Gözenek alanında su varsa hareket eden radon atomları çok çabuk yavaşlar ve büyük bir olasılıkla gözenek alanında kalırlar (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Radonun ortamlardaki hareketi (Otton ve diğ.,1992).

Gözenekli alanlardaki sıvının varlığının direkt-recoil (geri tepme) kesrini arttırdığına dikkat çekmek önemlidir. Çünkü su havadan daha iyi bir şekilde atomun hareketini yavaşlatır. Bu yüzden geri saçılma mesafesi R , katıdan ne kadar radonun

kaçtığını belirlemede kritik bir faktördür. Geri tepme kesri, tanecik boyutları ile ilgilidir. Örneğin, tanecik boyutu 1 µm çapında ise atomların yaklaşık %5'i tanecikin dışına geri saçılır, halbuki milimetre boyutlu taneciklerde %0.005'i direkt geri tepme ile tanecikten ayrılabilir (Baykara, 2005; Otton ve diğ., 1992; Cothorn ve Simith, 1987). Birçok toprakta oluşan radonun sadece %10-50'si mineral taneciklerden kaçır ve gözeneklere girer. U.S.'deki birçok toprak, mineral kütlenin gramı başına 0.33-1 pCi arasında radyum ve toprak gazının litresi başına 200-2000 pCi radon içerir (Otton ve diğ., 1992).

2.7.4. Çevrede Radon

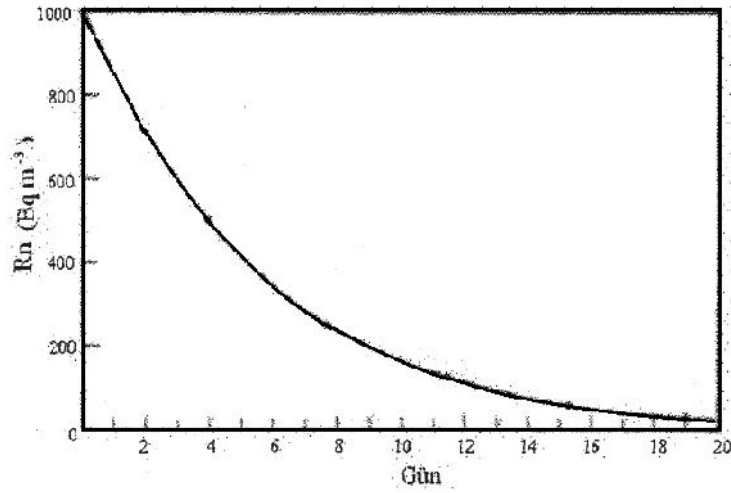
Radon, radyoaktif, normal şartlar altında herhangi bir kimyasal reaksiyon vermeyen asal bir gaz olmasından dolayı, herhangi bir noktadaki ölçüm konsantrasyonu, üç temel faktörün bir fonksiyonudur:

1. kaynak materyaldeki atasının (parent) konsantrasyonu ve dağılımı,
2. biyosfere geçişindeki geçiş işlemlerinin verimliliği,
3. radonun yarıömrü.

Radon, U-238 bozunma serisi ve Ra-226 ürününün kısa ömürlü bir üyesi olmasından dolayı, konsantrasyonu, kaynak materyaldeki U-238 ve Ra-226 düzeylerinin bir fonksiyonudur. Bununla beraber, su yada topraktaki radon ve radyum yada uranyum konsantrasyonları arasında kesin bir ilişki yoktur. Gerçekte, iyi korelasyon sadece iki durum için varolur: kaynak materyaldeki (kaya yada sedimentler) radyum içeriği çok düşük yada çok yüksekse, bu durumda radonun kaynak materyalin yanındaki suda ve toprak gazında sırasıyla çok düşük yada çok yüksek olması kuvvetle olasıdır. Bununla beraber radyum içeriği çok düşük yada çok yüksek değilse, komşu suyun ve/yada toprak gazının radon içeriği geniş bir şekilde değişebilir. Bu durumda radon konsantrasyonunun kontrolünde diğer faktörler baskındır. Radonun nerede yüksek (ya da düşük) olacağını bilebilmek için, radonun katı matristen gözenekli toprak yada suya ve sonra maruziyet noktasına geçiş işlemlerinin anlaşılması gerekir (Cothorn ve Simith, 1987).

Radon konsantrasyonunu kontrol eden üçüncü temel faktör, radonun yarı ömrüdür. Şekil 2.8, radonun ana kaynaktan çıktıktan sonraki radon bozunma eğrisini gösterir. Bu desteklenmemiş radon aktivitesidir. Radon aktivitesi exporansiyel bir

şekilde düşerken, 5 yarılanmada yani 20 günde aktivite orijinal düzeyin yaklaşık %1'indedir. 25-30 günden daha fazla bir periyotta olan geçiş işlemleri kabul edilebilir bir şekilde radon konsantrasyonlarını etkilemez. Bu yüzden, radon genellikle 50-100 metreden daha büyük mesafelerdeki yer suyunda birikir. Normal şartlarda difüzyonla topraktaki radon geçişi, radonun kısa ömründen dolayı birkaç metre ile sınırlıdır. 55 saniyelik yarı ömre sahip olan toron, hatta daha küçük mesafelerle sınırlandırılmıştır (Cothorn ve Simith, 1987).



Şekil 2.8. Radonun yarıömürüne bağlı olarak bozunum eğrisi (Cothorn ve Simith, 1987).

Radon, uranyum ve radyumun bulunduğu her yerde bulunur. Araştırmalar radon gazının biri toprakta diğeri ise yeraltı ve yüzey sularında olmak üzere başlıca iki ortamda bulunduğunu ve atmosfere bu ortamlardan yayıldığını göstermektedir (Çam ve diğ., 2004).

2.7.4.1. Toprakta Radon

Topraktaki radon göçü üç temel yolla gerçekleşir:

- * Yayılma (emanasyon): radon atomu, radyumlu kayadan bir alfa parçacığıyla yayılır. Katıdan radon geçişi yayılma olarak bilinen bir işlemdir ve yayılma gücü, katıdan kaçan radon atomlarının sayısının katıdaki radyum bozunumuyla oluşan radon atomlarının sayısına oranı olarak tanımlanır. Bu nicelik, yayılma sabiti, kaçma oranı ve yayılma yüzdesi olarak bilinir. Malzemenin belli bir tipi için ölçülen bir değerdir ve kuvvetli bir şekilde test koşullarının fonksiyonudur. Bir malzemenin yayılma sabiti, yüksek radon

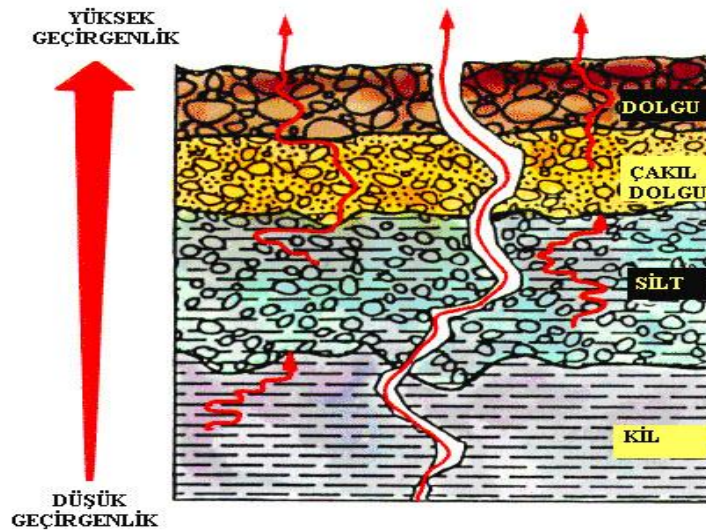
konsantrasyonlarını tahmin etmede önemli bir faktördür (Baykara, 2005; Cothorn ve Simith, 1987).

- * Difüzyon: gaz yada sıvıya (moleküler difüzyon) radon geçişi. Radon standart difüzyon kurallarına uyar, bu yüzden akı, konsantrasyon gradyenti ile orantılıdır. Çeşitli ortamlar için radon difüzyon sabitleri Çizelge 2.15’de verilmiştir.
- * Konveksiyon: konveksiyon, meteorolojik şartlar ve tektonik aktivitenin neden olduğu basınç farklılıkları ile gerçekleşir (Ereeş ve diğ., 2006).

Çizelge 2.15. Farklı ortamlarda radon izotoplarının ortalama difüzyon uzaklıkları (Baykara, 2005; Cothorn ve Simith, 1987).

Ortam	Ortalama Mesafe		Difüzyon Sabiti (cm^2s^{-1})
	Rn-222 (cm)	Rn-220 (cm)	
Hava	220	2.85	10^{-1}
Toprak Gözeneği	155	2.0	5×10^{-1}
Su	2.2	0.0285	10^{-5}
Doymuş toprak gözeneği	1.55	0.020	5×10^{-6}

Radon gaz olması sebebiyle kaya ve toprakta bulunan uranyum ve radyumdan daha fazla hareketliliğe sahiptir. Radon, toprak ve kayalardan kayalardaki açıklıklara ve kırıklara ve toprağın tanecikleri arasındaki gözenek boşluklarına kaçarak kolay bir şekilde ayrılır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Toprakta radonun hareketi (Otton, 1992)

Toprak boyunca radon hareketinin yönü ve hızı, gözenek boşluklarındaki mevcut su miktarına (toprak nem içeriği) ve topraktaki gözenek boşluğu yüzdesine (gözenekliliğe) bağlıdır. Radon, çamur gibi geçirgeniz topraklardan ziyade iri taneli kum ve çakıl gibi geçirgen topraklar boyunca daha kolay hareket eder. Toprak yada kayadaki kırıklar, radonun daha çabuk hareket etmesine izin verir (Otton, 1992).

Kristal katılarda radon için difüzyon sabitleri son derece küçüktür ve radon, kristal boyutuna bakmaksızın her hangi bir uzaklığa erişmeden önce bozunacaktır. Gözenekli alanlardaki suyun varlığı radon göçünü azaltır. Radon suda, havadaki radondan daha yavaş hareket eder. Çünkü sudaki radon difüzyon sabiti, havadaki değerin yaklaşık üç katından daha küçüktür. Katılardaki radonun moleküler difüzyon geçişi, radonun kısa yarı ömrü nedeniyle sınırlıdır. Difüzyon ile göç, çakılda yaklaşık 5 m'den doygun çamurda yada kilde yaklaşık 2 cm'ye değişir ve 1 metreden daha büyük mesafeler büyük olasılıkla mümkün değildir (Baykara, 2005; Cothorn ve Simith, 1987). Su, havaya göre toprak gözenekleri ve kaya kırıkları boyunca daha yavaş bir şekilde akma eğiliminde olduğu için radon, bozunmadan önce kuru topraklardan ziyade ıslak toprakta daha kısa mesafelere gider.

Bu nedenlerden dolayı, dağ yamaçları, kanyon ağzı ve kırılan yada mağara içeren kayalar gibi kuru, yüksek bir şekilde geçirgen toprak ve kayalıklı bölgelerdeki binalar, yüksek seviyeli bina içi radon konsantrasyonuna sahip olabilirler. Topraktaki yada kıraktaki havanın radon içeriği normal aralıkta (200-2000 pCi/L) olsa bile bu bölgelerin geçirgenliği, radonun bozunmadan hava ile birlikte daha büyük mesafelere taşınmasına izin verir ve böylece yüksek bina içi radonuna katkıda bulunur (Otton, 1992).

2.7.4.2. Suda Radon

Radonun kimyasal hareketsizliliği nedeniyle yeraltı su sistemlerine geçişi, sadece moleküler difüzyon ve kendisinin yeraltı suyuna akışı ile kontrol edilir. Sudaki $10^{-5} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ difüzyon sabiti ile difüzyon, 10^{-2} m'lik düzeyde önemli bir geçiş mekanizmasıdır. Difüzyon, bir tanecikdeki mikrokristal yapıdan gelen radonun akiferdeki (yeraltı su haznesi) gözenek alanlarına geçebileceği önemli bir işlemdir. Yeraltı su akışı, radonun akifere geçiş yapabildiği baskın bir mekanizmadır. Yeraltı suyunda radonun geçiş zamanındaki sınır faktör yarıömürdür. Yeraltı suyundaki radon içeriği, 30 günde orijinal aktivitesinin %1'inden daha az olacaktır. Radon,

yeraltı suyunda çözülmüş olduğundan kısa zamanda orijinal yerinden daha uzaklara geçiş yapabilir (Cothorn ve Simith, 1987). Radonun çözünürlülüğü, suyun sıcaklığı ve pH'ı gibi faktörlere bağlıdır (Ereeş ve diğ., 2006). Radon, organik sıvı fazlarda (gaz ve su fazları ile karşılaştırıldığında) daha çözündür.

Radon su sistemleri ile binalara da girebilir. Nehirler ve su depolarındaki radon içeriği genellikle radon havaya kaçtığı için çok azdır. Bu yüzden yüzey suyuna yakın binalar genellikle sudan kaynaklanan bir radon problemine sahip olmazlar. Büyük şehirlerdeki belediye su işletmeleri suya hava verir ve sudan radonun kaçmasını sağlar ve su insanlar tarafından kullanılmaya kadar kalan radonun çoğu radyoaktif olarak bozunur. Ülkelerin birçok bölgesinde evlerin ve toplumun temel su ihtiyacı için yeraltı suyu kullanılır. Bu küçük yerel su sistemleri ve özel evsel kuyular sıklıkla kapalı sistemlere ve sudan radonu uzaklaştırmayan yada radonun bozunmasına izin veren kısa geçiş sürelerine sahiptir. Sudaki radon, insanların duş alması, çamaşır yada bulaşık yıkaması vb. yollarla suyun kullanılmasıyla bina içine havasına geçer. Genelde, 10000 pCi/L'lik radona sahip olan ev suyu, bina içi havasındaki radon düzeyine yaklaşık 1 pCi/L'lik katkı yapar. Yeraltında radon sorununa sahip olan birçok bölge, ana kayalarda yüksek uranyum düzeyine sahip olan alanlardır. Örneğin, U.S nin çeşitli bölgelerindeki granitler, özel su arzı sağlanan yeraltı suyunda radonun yüksek seviyelerine sebep olurlar (Otton, 1992).

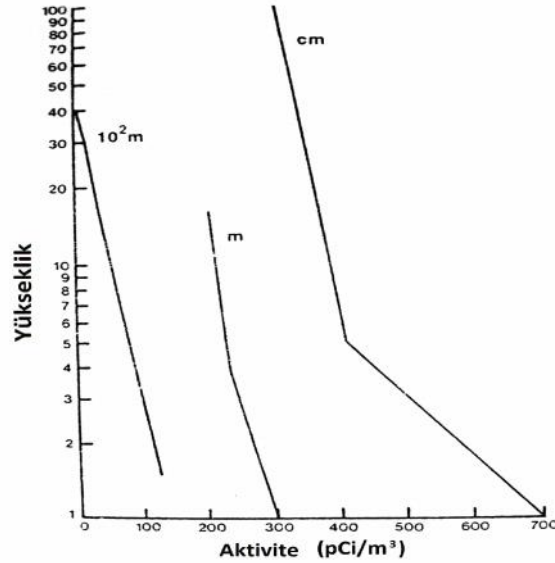
Yeraltı suyu radon yoğunluğu normal olarak 10-200 Bq/L civarındadır. Uranyum yönünden zengin granitlerin oluşturduğu ana kaya bölgesindeki yeraltı sularındaki radon yoğunluğu 1000 Bq/L'yi geçebilmektedir. Radon yoğunluğu bazen de pegmatitler (gneisses, volkanit yönünden zengin quartz ve feldspar) ile ilişkili olarak yüksek olabilmektedir. Uranyum yönünden fakir bölgelerdeki ana kayalar çevresindeki yeraltı suyundaki radon miktarı oldukça düşüktür (diyorit, gabro, temel volkanit, kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl) (Baykara, 2005; Oliver ve Khayrat, 2001).

Sulardaki radon derişimi düşük uranyum konsantrasyonuna sahip ana kayalarda dahi yüksek olabilmektedir. Diğer bir deyişle, ana kayadaki yüksek uranyum derişimi bunu çevreleyen sulardaki yoğunluklardan her zaman yüksek olacağı anlamına gelmez. Buna bir örnek olarak killi yaprak taşındaki uranyum miktarının yüksek olmasına rağmen, killi yapraktaşı bölgesindeki yeraltı suyundaki radon konsantrasyonunun nadiren yüksek olması verilebilir (Baykara,2005).

2.7.4.3. Atmosferde Radon

Toprak gözenek boşlukları ve yer yüzeyindeki kaya kırıkları boyunca hareket eden radon, genellikle atmosfere kaçar. Rn-220 ve Rn-222 izotoplarının havadaki konsantrasyonu oldukça değişkendir ve topraktaki radyum ve toryum miktarına bağlıdır. Toprak uranyum ve toryum yönünden zengin olduğunda toprak üstündeki atmosferik radon konsantrasyonu oldukça yüksek olur. Atmosferdeki radon konsantrasyonu, meteorolojik şartlardan etkilenen toprağın kuvvetliliği ve seyreltme faktörleri ile yönetilir. Atmosferik radona ikincil katkıyı okyanuslar, doğal gaz, jeotermal akışlar, volkanik gazlar, mağara ve madenlerden gelen hava çıkışları ve kömürün yanması yapmasına rağmen en büyük radon kaynağı toprak yüzeyidir. Atmosferde radonun uzaklaştırılmasının temel mekanizması radonun bozunmasıdır. Radon ürünleri yıkama ve emme gibi işlemlerle uzaklaştırılabilir. Sonuç olarak radon ürünleri radona göre yeryüzüne daha yakın noktalarda daha düşük olabilir.

Radon kaynağı temelde toprak/hava arayüzeyi olmasından dolayı, radon konsantrasyonlarında bilinen düşey bir gradyant vardır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Yerden olan yüksekliğe göre atmosferik radon yada radon ürünlerinin konsantrasyon değişimi. Her bir eğri farklı büyüklükte (10² m, m ve cm) yüksekliği göstermektedir (Cothorn ve Simith, 1987).

Şekil 2.10.'da yerden yüksekteki tipik radon profillerini gösterir. Buradaki eğrilerin her biri yerden farklı yükseklikteki ölçümler içindir. İnsan sağlığı için Şekil

2.10.'dan çıkarılabilecek bir sonuç: 0.5 metre yükseklikte binadişında nefes alan bir çocuk, 1.5 metre yükseklikte nefes alan bir yetişkinden yaklaşık %16 daha fazla radona maruz kalacaktır (Cothorn ve Simith, 1987). Havadaki radon derişimi aşığıdaki birçok faktör ile yakından ilgilidir. Bunlardan en önemlileri arasında; yeryüzündeki farklılıklar (asfalt vb. binalar ve bitki örtüsü), yerin yüksekliğı ve rakımı, toprak gözenekliliğı ve tane büyüklüğü, sıcaklık, atmosferik basınç, toprak nemi, yağış ve kar örtüsü, atmosferik şartlar ve mevsimsel farklılıklar bulunur (Burke ve Murphy, 2011; Groves-Kirkby ve diğı., 2009; Al-Shereideh ve diğı., 2006; Baykara, 2005). Atmosferik radon yoğunlaşmasındaki mevsimlik, günlük ve değışik özel jeolojik bölgeye bağılı olarak belirgin değışimler olabilmektedir (Kullab, 2001). Yeryüzü yoğunlaşma seviyesinin sonbahar ayı boyunca ve kışın ilk yarısında yüksek ve ilkbahar boyunca da düşük olduğı genel olarak kabul edilmektedir. Yeryüzünden atmosfere yayılan radon miktarının yaklaşık olarak yıllık 9.10^{19} Bq olduğı tahmin edilmektedir (Baykara, 2005).

Gesell tarafından yapılan çalışmada, atmosferdeki radon düzeylerinin yükseklik, mevsim, gün sayısı ve bölgeye göre değıştiğini bulunmuştur (Cothorn ve Simith, 1987). Dünya çapında mevsimsel değışimlerin radon konsantrasyonuna etkilerinin incelendiğı birçok çalışma vardır (Groves-Kirkby ve diğı., 2009; Al-Shereideh ve diğı., 2006). Bunlardan New Jersey de yaz ortasında (haziran-temmuz) maksimum radon konsantrasyonu, Cincinnati ve Washington D.C. de ilkbaharda minimum, sonbaharda maksimum konsantrasyonlar ölçülmüştür. Bu çalışmalar neticesinde radonun maksimum değerinin sonbahar ve kış başında olduğı görülmüştür. Minimum değerinde ilkbaharda olduğı görülür (Cothorn ve Simith, 1987).

2.7.5. Binaıçine Radon Giriş

Binaıçi radon kaynağı olarak topraklar üzerine yapılan çalışmalarda iki temel üzerine odaklanılmaktadır:

1-Toprak gazındaki radon konsantrasyonunu etkileyen faktörler,

2-Topraktan radonun havaya yada komşu yapılara transferini etkileyen faktörler.

Toprak gazındaki radon miktarı ve geçiş verimliliğı parametrelerinden her hangi birindeki yüksek değerler, yapılarda yükseltilmiş radon değerlerine neden olur.

Toprak gazındaki radon konsantrasyonunu etkileyen faktörler, radyum içeriği ve dağılımı, ve toprağın gözenekliliği (hem taneler arası hemde tane içi), nem, yoğunluk ve ana kaya gibi durumları içerir (Burke ve Murphy, 2011). Toprak gazındaki radon içeriği topraktaki radyum konsantrasyonunun doğrudan bir fonksiyonu olmamasına rağmen, radyum konsantrasyonu topraktaki ve temel kayadaki potansiyel radon kaynağının önemli bir göstergesidir. Yüksek uranyum içeren kaya tipleri, granitler, metamorfik volkanik kayalar ve şistlerdir ve ortalama yaklaşık 50 Bq/kg'lık aktiviteye sahiptirler. Uranyum mineralizasyonlu kaya tipleri için uranyum taşıyan kumtaşlarının konsantrasyonları 500.000 Bq/kg kadar yüksek olabilir ve genellikle fosfatlar 1500 Bq/kg'ın yukarısında aktiviteye sahiptirler (Cothorn ve Simith, 1987).

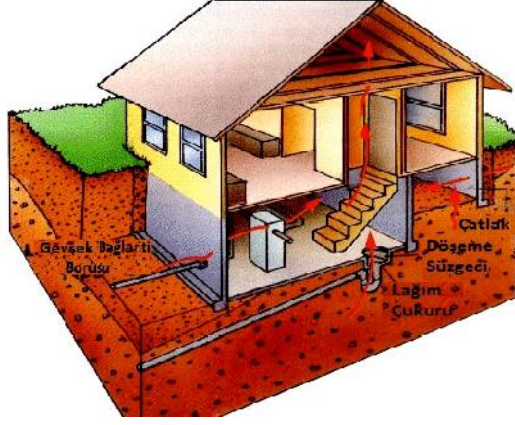
Radonun toprağın gözenek boşluklarında ve kırıklardaki hareket kolaylığı ve verimliliği bir binaya ne kadar radon girdiğini etkiler. Radon, gözenek boşluklarında kolay bir şekilde hareket edebilirse bozunmadan önce büyük bir mesafe katedebilir ve bina içerisinde yüksek konsantrasyonlara ulaşması mümkün olur.

Bir binanın bulunduğu yerde toprak havası üç sebep ile binanın temeline doğru akar:

- * toprak ve bina arasındaki hava basıncındaki farklılık,
- * binanın temelindeki açıklıklar,
- * binanın bodrumu etrafındaki geçirgenlikteki artışlardır.

Bodrumlu bir bina yapılırken, bir çukur kazılır, temel ayakları ayarlanır ve iri çakıl, genellikle bodrum döşemesi olarak temelde kullanılır. Binanın bodrum duvarları yapılırken, bodrum duvarları ile dışarıdaki toprak arası, sık sık daha geçirgen dolgu malzemeyle doldurulur. Radon çevredeki topraktan alttaki çakıl yatağına ve dolgu malzemesi ile doldurulan bölgeye hareket eder. Bu bölgedeki ve çakıl yatağındaki radon miktarı, bölgedeki kayada, dolgu malzemesinde ve çakıl yatağının altındaki toprağın uranyum miktarına, toprağın tipine, geçirgenliğine ve toprağın nem içeriğine bağlıdır (Otton, 1992).

Çoğu binanın etrafındaki hava basıncı, bina içerisindeki hava basıncından daha büyüktür. Böylece, hava disturbed bölge ve çakıl yatağından binanın içine evin temelindeki açıklıklar boyunca hareket etme yönelimindedir. Tüm ev temelleri, çatlaklar, bodrum duvarları ile döşeme arasındaki bağlantı yerleri, lağım çukuru ve geçirgen temel malzemesi gibi açıklıklara sahiptir (Şekil 2.11).



- Zemindeki çatlaklar
- Yapı bağlantı noktaları
- Duvar çatlakları
- Asma kat boşlukları
- Tesisat boru boşlukları (Lağım çukuru)
- Duvar arası boşlukları
- İçme suyu

Şekil 2.11. Radonun binaya giriş yolları. (Otton, 1992)

Radon havadan ağırdır ve yerden genellikle 50 cm mesafede kalma eğilimindedir. Ayrıca özel bir mekanizma söz konusu değilse evin içerisindeki basınç dışındaki basınçtan biraz daha düşüktür. Bu nedenle kapalı ortamdaki hava binada kalma eğilimindedir. Bununla birlikte binaların üst katlarındaki radon yoğunlukları, zemin katlardakinden daha az olmaktadır (Uzbey ve Çelebi, 2009).

Binalardaki radonun ana kaynağı, binanın altındaki topraktır fakat binada kullanılan su, gaz ve bina malzemeleride bina içi radon konsantrasyonuna katkıda bulunur (Gusain ve diğ., 2009).

Binalardaki Radon Konsantrasyonunu Etkileyen Unsurlar

- Topraktaki ve yapı malzemelerindeki Ra -226 miktarı
- Toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı
- Toprak ve yapı malzemelerinde yayılma (difüzyon) potansiyeli
- Toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve izolasyon niteliği
- Bina zemini
- Binadaki havalandırma kapasitesi
- İklim koşulları
- İç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı. (Topcu, 2010; Kobeissi ve diğ., 2008; Ereeş ve diğ., 2006; Sujo ve diğ., 2004).

2.7.6. Radon Soluma Hızı

Radon, toprakta, yer suyunda ve düşük atmosferde dağılmış halde dünyanın her yerinde eser miktarda bulunur. Topraktaki radon dağılımı, topraktaki uranyumun başlangıç dağılımı, toprak sıcaklığı, mikrokırıklar, tanecik oluşumu, gözeneklilik, nem ve yüzey rüzgarları gibi sayısız faktörlere bağlıdır. Radon, toprak ve kayadan kaçar ve evler ve yeraltı madenleri gibi kapalı alanlarda birikebilir. Radon, toron ve ürünlerinin aktivitesi, topografya, bina tipi, bina malzemeleri, sıcaklık, havalandırma, rüzgar hızı ve hatta evde yaşayanların yaşam tarzı gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilenir (Gusain ve diğ., 2009). Radon soluma hızı ölçümleri insanların sağlıkları açısından önem arz etmektedir. Çünkü insanların radon ve ürünlerini soluması ile aldıkları radyasyon dozu, doğal ve yapay tüm kaynaklardan aldıkları dozun %50'sinden daha fazlasını oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Toprak taneciklerinde üretilen ve toprağın gözenek hacmine ulaşan radon atomlarının kesri, yayılma sabiti yada soluma hızı olarak bilinir. Diğer bir deyişle radon soluması, birim zamanda birim yüzeyden ayrılan radon atomlarının sayısı olarak ifade edilmektedir (Faheem ve Matiullah, 2008). Bu sabit, temelde toprak tanecik boyut dağılımına, gözenekliliğe ve su içeriğine bağlıdır. Yer kabuğundan ve bina malzemelerindeki radon soluma hızı, bina içi ve bina dışı çevredeki radonun ana kaynağını oluşturur. Radon ve ürünlerinin solunumu ile ilgili radyolojik riskin varlığı, temelde radonun integre edilmiş ölçümüne dayanır. Radon soluma çalışmaları, atmosferdeki radonun davranışını analiz etmek için yararlıdır (Gusain ve diğ., 2009).

Doğal taşların radon emanasyon hızlarının ölçüldüğü çalışmalarda; yüksek radyoaktivite içeren granitlerin bina içi radon konsantrasyonuna önemli miktarlarda katkı yaptığı saptanmıştır. Konuya ilişkin olarak yapılan çalışmalar, doğal yapıtaşının içerdiği Ra-226 aktivite konsantrasyonu ile radon soluma hızı arasında doğrusal bir korelasyon olduğunu ve bina materyalindeki radyum içeriğinin yaklaşık %45'e varan oranda bina içindeki radon konsantrasyonuna katkıda bulunduğunu göstermiştir (Topcu, 2010; Kobeissi et al. 2008).

Uzun bir zaman sürecinde radon gazına ve onun ürünlerine yüksek konsantrasyonlarda toplumun maruz kalmasının solunum fonksiyonlarında değişiklik gibi patolojik etkilere ve akciğer kanserinin ortaya çıkmasına yol açabileceği

bilinmektedir. İnsanların radon solumasına maruz kalması bazı sağlık risklerini ortaya çıkardığı için radon konsantrasyonu ve insan sağlığı üzerine radonun etkilerinin incelendiği çalışmalar bina içerisindeki radona, bina materyallerinin katkısı, yüzeylerinden açığa çıkan radon salınım hızının bilinmesi ve bazı sağlık risklerinin azaltılması için yapılmalıdır (Kobeissi, 2008). Herhangi bir materyalin radon solumasının bilinmesi, bina iç ortamda, bu materyalden kaynaklanacak radon konsantrasyonu seviyesinin belirlenmesini ve bina içinde içsel maruz kalmayla oluşacak radyolojik zarar indekslerinin tahmin edilmesini sağlamaktadır (Righi ve Bruzzi, 2006).

2.7.7. Radon ve Sağlık Riski

Radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz.

Radonun reaktivitesi zayıf olduğu için teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Dokulardaki çözünürlüğü ise çok düşük olmasına rağmen radon bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar, radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, teneffüs edildiğinde akciğer tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronşal epitelyumdaki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalınmaktadır. Bu ise, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olabilmektedir. Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki radon ve bozunma ürünleri konsantrasyonuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Radon-222'nin yarı ömrü, ürünlerine kıyasla daha uzun olduğu için yapacağı etki diğerlerinden daha az olur (Topçu, 2010; Özdemir, 2006). Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır (Topçu, 2010). Bina içindeki alfa radyoaktivitesinin artmasına neden olabilecek bir kaynaktan polonyumdur. Polonyum, bir sigaranın yanma sıcaklığında (600-800°C) kolayca uçucu hale gelerek dumanda bulunan mikron altı parçacıklara absorbe olduğu bilinmektedir (Karalı, 1994).

Bina içi radon, insanlık için potansiyel sağlık zararlısı olarak bilinmektedir. Bina materyalleri, bina içi çevrede radonun temel kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir (Faheem ve Matiullah, 2008). Radon ve onun bozunum ürünlerinin toplam etkin doza katkısı %50'den daha fazladır ve bu durum da toplumda artan akciğer kanseri riskine yönelik temel katkılardan birisini oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000; Sujo ve diğ., 2004; Kobeissi ve diğ., 2008).

Radonun sağlık açısından tehlikeli oluşu ve sürekli olarak maruz kalınması nedeniyle değerlerinin denetim altında bulunması gerekmektedir. Bu sınır değerler ise her bölge ve ülke için farklıdır. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen konsantrasyon düzeyi 200-600 Bq/m³'dür. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise TAEK tarafından 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (TAEK, 2010; Mihci, 2010). (Çizelge 2.16.)

Çizelge 2.16. Radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³) (TAEK, 2010; Mihci, 2010).

Ülke	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Ülke	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)
A.B.D.	150	İsveç	200
Almanya	250	Kanada	800
Avustralya	200	Lüksemburg	250
Çin	200	Norveç	200
Danimarka	400	Rusya	200
Fransa	400	Türkiye	400
Hindistan	150	AB**	400
İngiltere	200	ICRP**	400
İrlanda	200	WHO***	100

*Avrupa Birliği

**Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi

***Dünya Sağlık Örgütü

2.8. DOĞAL RADYASYON DOZ HESAPLARI

Nükleer endüstrinin gelişimi, diğer teknolojiler, yayılan ve artan radyasyon kullanımı ve radyoaktif izotop kullanımından dolayı birikmiş kirliliği dedekte etmek, canlıları ve çevreyi korumak için uygun sayım cihazları seçilmeli, doğal radyasyonun sağlık üzerine etkilerini iyileştirmek için radyasyonun faydaları ve tehlikelerinin daha iyi anlaşılması gerekir.

Doğal radyasyon doz çalışmaları birçok ülke tarafından yapılmaktadır. Bu şekilde absorbe doz hızlarının yüksek olduğu alanlar belirlenmekte ve insan sağlığı açısından riskleri araştırılmaktadır. Yüksek doz hızlarının olduğu yerlerde toryum ve uranyum yataklarının olduğu düşünülmektedir. Monaziteyi kapsayan mineral kumlar bu örneklerin başlıcalarıdır. Ayrılmış monazite yakınında absorbe doz hızlarının geometriye bağlı olarak 10^5 nGy/saat'a ulaşmaktadır. Bu yüzden, kumlar üzerindeki doz oranları dikkate değerdir (UNSCEAR; 1993).

Dünya üzerinde yüksek seviyeli doğal radyasyon alanlarının büyük bir kısmı, toryumca zengin monazit içeren ağır mineral kumlar, uranyum ve toryum içeren granitler, çeşitli volkanik ve tortul kayaçlar, kum taşları, kil taşları, kireç taşları ve benzeri jeolojik yapılar üzerine yer almaktadır (Canbaz, 2007). Genel olarak, jeolojik yapı veya bu yapıya dayalı olarak, çevredeki karasal radyonüklitlerin jeokimyasal olaylarla taşınarak birikmesi sonucu oluşan bu alanlar Çizelge 2.17.'de özetlenmiştir. Hindistan'da Kerala'nın Arap denizi sahili üzerindeki doz oranları 200-4000 nGy/saat arasında, Brezilya'daki Guarapari'nin kıyı alanlarında doz oranları 90-90000 nGy/saat arasında değişmektedir. Nil deltası üzerinde doz oranları 20-400 nGy/saat ve Ganj deltası üzerinde 260-440 nGy/saat arasında değişmektedir. Brezilya'da Minas Gerais içindeki volkanik kayaların bulunduğu bir alanda ortalama doz oranı 340 nGy/saat arasındadır. İran'da Ramsar bölgesindeki radyum içeren doğal kaynak sularından dolayı doz oranları 70-17000 nGy/saat'a çıkmaktadır. Birçok granit alanlar yüksek doğal radyasyon seviyelerine sahiptir. İsveç'te uraniferous kayalar üzerinde doz oranları 100000 nGy/saat olarak bulunmuştur. Normal alanların 100 katı ve üzerinde karasal gama doz hızları ürettiği gözlenen bu alanlarda (UNSCEAR, 2000), ayrıca yerel jeolojik malzemenin bina materyali olarak kullanılması, bina içi ortamda içsel ve dışsal maruz kalmanın (Ramsar; 0.6-360 mGy/yıl) önemli derecede artmasına neden olmuştur (Canbaz, 2007).

Çizelge 2.17. Dünya üzerinde yüksek seviyeli doğal radyasyon alanları (UNSCEAR 2000).

Ülke	Bölge	Bölgenin Özellikleri	Doz Hızları (nGy/saat)
Brezilya	Guarapari	Monazitli kumlar, kıyı alanlar	90-90000
	Meaipe	Monazitli sahil kumları	20000*
	Mineas Gerais ve Goias	Volkanik sokulumlar	340*
	Pocos de Caldas araxa	Volkanik sokulumlar	2800*
Çin	Yangjiang ve Quangdong	Monazitli topraklar	370*
Mısır	Nil Deltası	Monazitli kumlar	20-400
Fransa	Orta (merkez) bölge	Granitik, şistik alanlar	20-400
	Güneybatı	Uranyum mineralleri	10-10000
Hindistan	Kerala ve Madras	Monazitli sahil kumları (200km uzunluğunda ve 0.5km genişliğinde sahil	200-4000 1800*
	Ganj deltası	Monazitli kumlar	260-440
İran	Ramsar	Radyum içeren doğal kaynak suları	70-17000
	Mahallat	Radyum içeren doğal kaynak suları	800-4000
İtalya	Lazio	Volkanik topraklar	180*
	Campania		200*
	Orvieto kasabası		560*
	Güney Toscano		150-200
Yeni Zelanda	Pasifik	Volkanik topraklar	1100(max)
İsviçre	Tessin, Alpler, Jura	Ra-226 içeren karstik topraklar	100-200
Sudan	Miri Gölü	-	31311*

* Ortalama değerleri göstermektedir.

Çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda, dozlar ya direkt olarak ölçülmüş yada toprak içindeki K-40, U-238 ve Th-232 aktiviteleri ölçülerek, dönüşüm faktörleri kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 2.18. Topraktaki karasal radyonüklidlerin çeşitli konsantrasyonlarından hesaplanan dış maruziyet doz hızı (UNSCEAR, 2000, 2008).

Radyonüklid	Topraktaki aktivite konsantrasyonu (Bq/kg)		Toprakta birim aktivite başına doz hızı (Doz sabiti) (nGysaat ⁻¹ /Bqkg ⁻¹)	Havada soğurulan doz hızı (nGy/saat)	
	Ortalama değer	Populasyon ağırlıklı değer		Ortalama değer	Populasyon ağırlıklı değer
K-40	400	420	0.0417	17	18
U-238	35	33	0.462	16	15
Th-232	30	45	0.604	18	27
Toplam				51	60

Çizelge 2.18.'de görüldüğü gibi dış ortamda soğurulan doz hızına K-40, U-238 ve Th-232'nin relatif katkıları farklıdır. Th-232'nin katkısı en büyüktür. K-40'ın katkısı Th-232'nin katkısına yakın fakat U-238'in katkısı en küçüktür. 50KeV'den büyük enerjili fotonlar için değişen foton yoğunluğu (havada) Beck tarafından hesaplanmıştır ve şu değerler elde edilmiştir.

Th-232 ve ürünleri için	0.103 foton/cm ² (1 Bq/kg başına)
K-40 için	0.005 foton/cm ² (1 Bq/kg başına)
U-238 ve ürünleri için	0.076 foton/cm ² (1 Bq/kg başına)

K-40'ın toprak içindeki aktivitesi en yüksek iken yerden 1 metre yükseklikte değişen foton yoğunluğu en düşüktür. Th-232'nin toprak içindeki aktivitesi en düşük iken, havadaki değişen foton yoğunluğu en yüksektir. Bu yüzden Th-232 ve K-40'ın hava içinde absorbe edilen doz hızına katkıları birbirine yakın olur. U-238'in değişen foton yoğunluğu Th-232'den düşük, K-40'dan yüksektir. Toprak içindeki U-238 aktivitesi Th-232'ye benzer, K-40'dan çok düşüktür. Bu nedenle U-238'in absorbe doz hızına katkısı Th-232 ve K-40'dan düşüktür. Th-232 serisinde hava içinde absorplanan doz hızlarına başlıca katkıda bulunanlar Tl-208 ve Ac-228'dir. U-238 serisinde ise Pb-214 ve Bi-214'dür.

UNSCEAR 2000 raporunda dış ortamdaki ortalama soğurulan doz hızı 59 nGy/saat'tir. Bu değerden giderek, insanların gün boyunca maruz kaldıkları yıllık ortalama efektif doz eşdeğeri;

$$\begin{aligned} \text{Efektif Doz (mSv)} &= \text{soğurulan doz hızı (Gy/saat)} \times 0.7 \text{ (Sv/Gy)} \times 8760 \text{ (saat/yıl)} \times 0.2 \quad (2.1) \\ &= 59.10^{-9} \times 0.7 \times 8760 \times 0.2 \\ &= 0.07 \text{ mSv} \end{aligned}$$

0.7 Sv/Gy sayısı, soğurulan dozdan efektif doz eşdeğerine dönüştürmek için kullanılmış bir katsayıdır. Çizelge 2.19'da çocuklar ve bebekler için oluşturulan katsayılar gösterilmektedir. Bu sonuçlar Monte Carlo hesaplamalarından çıkarılmıştır ve 0.7 Sv/Gy'lik dönüşüm katsayısının yetişkinler için uygun olduğu görülmektedir. Bu katsayı gama ışınlarına çevresel maruz kalma üzerine deneysel ve hesapsal verilerin UNSCEAR 1982 raporundaki bir analiz üzerine dayandırılmıştır. 0.2 sayısı bir günün %20'ini dış ortamlarda geçirildiği düşünülerek, getirilmiş bir katsayıdır.

Çizelge 2.19: Karasal gama ışınları için soğurulan dozdan efektif doza dönüşüm katsayıları (Gür, 1999).

Radyonüklid	Dönüşüm katsayısı (Sv/Gy)		
	Yetişkinler	Çocuklar	Bebekler
K-40	0.74	0.81	0.95
Th-232	0.72	0.81	0.92
U-238	0.69	0.78	0.91
Hepsi	0.72	0.80	0.93

Bina içi iç ortamdaki soğurulan doz hızı çalışmaları tam olarak tamamlanmamıştır. UNSCEAR 2000 raporunda bazı ülkeler için iç ortamda soğurulan doz hızı değerleri Çizelge 2.20'de verilmektedir. UNSCEAR bu verilere dayanarak populasyon ağırlıklı ortalamanın 84 nGy/saat olduğunu ve 20-200 nGy/saat aralığında değiştiğini göstermektedir (UNSCEAR, 2000). En düşük değer, ağaçtan yapılmış evlerin baskın olduğu Yeni Zelanda, İzlanda ve A.B.D'de bulunmuştur. En yüksek değerler ise binalarda çeliğin ya da tuğla malzemelerinin kullanıldığı Maceristan, Çin, Malezya, Arnavutluk, Portekiz, Avustralya, İtalya, İspanya, İsveç ve İran'da görülmektedir. İç ortam maruziyetleri (karasal gama

radasyonundan kaynaklanan havadaki soğurulan doz hızı), genelde dış ortam maruziyetlerinden %40 daha fazladır.

Çizelge 2.20. Bazı ÷lkeler için karasal gama radyasyonundan kaynaklanan soğurulma doz hızları (UNSCEAR, 2000).

÷lke	Soğurulan doz hızı (nGy/saat)				
	Bina dışı		Binaıçi		Binaıçi / Binadışı oranı
	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	
A.B.D	47	14-118	38	12-160	0.8
şili	51	21-83	61	25-105	1.2
Çin	62	2-340	99	11-420	1.6
Japonya	53	21-77	53	21-77	1
Kazakistan	63	10-250	70	20-100	1.1
Malezya	92	55-130	96	65-130	1.0
İran	71	36-130	115	70-165	1.6
İzlanda	28	11-83	23	14-32	0.8
Avusturalya	93		103		1.1
Macaristan	61	15-130	95	11-236	1.6
Arnavutluk	71	20-350	100	20-300	1.4
Portekiz	84	4-230	101	4-280	1.2
İtalya	74	3-228	105	0-700	1.4
İspanya	76	40-120	110	57-180	1.4
İsveç	56	40-500	110	20-2000	2.0
Yeni Zelanda			20	1-73	
Fransa	68	10-250	75		1.1
Ortalama	57	18-93	75	20-200	1.3 (0.6-2.3)
Populasyon ağırlıklı ortalama	59		84		1.4

0.8 sayısı, bir g÷nün %80'ini iç ortamlarda geçirildiği düşün÷lerek, getirilmiş bir katsayıdır. Bunun yanı sıra iç ortam efektif doz eşdeğeri şöyle bulunur:

$$\begin{aligned}
 \text{Efektif Doz (mSv)} &= \text{soğurulan doz hızı (Gy/saat)} \times 0.7 \text{ (Sv/Gy)} \times 8760 \text{ (saat/yıl)} \times 0.8 \quad (2.2) \\
 &= 84 \cdot 10^{-9} \times 0.7 \times 8760 \times 0.8 \\
 &= 0.41 \text{ mSv}
 \end{aligned}$$

Gama ışınlarından dolayı toplam efektif doz eşdeğeri,

$$(iç + dış) \text{ efektif doz eşdeğeri} = 0.07+0.41 = 0.48 \text{ mSv.}$$

olur. Yıllık efektif dozun dünya ortalaması 0.48 mSv'dır. Bu değer genellikle ayrı ayrı ülkelerde 0.3-0.6 mSv aralığında değişen doz değerlerin ortalaması alınarak bulunmuştur. Çocuklar ve bebekler için değerler yaklaşık %10 ve %30 daha fazladır. Çocuklar ve bebekler için dönüşüm katsayısı daha büyük olduğu için efektif doz değeri artmaktadır. Bazı ülkelerde yıllık efektif doz eşdeğerleri Çizelge 2.21'de verilmiştir. Bu değerler, 0.23 ile 0.65 mSv arasındadır (Ortabük, 2007).

Çizelge 2.21: Karasal gama ışınlarından dolayı ortalama yıllık efektif dozun ulusal tahminleri (Ortabük, 2007).

Ülke	Efektif Doz (mSv)
Bulgaristan	0.45
Kanada	0.23
Çin	0.55
Danimarka	0.36
Finlandiya	0.49
Almanya	0.41
Japonya	0.32
Norveç	0.48
İspanya	0.40
İsveç	0.65
İngiltere	0.35
Amerika	0.28
Rusya	0.32
Populasyon Ağırlık Ortalaması	0.45

Yaygın olarak kullanılan dışsal tehlike indeksi olarak adlandırılan $H_{dış}$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$H_{dış} = (A_{Ra}/370) + (A_{Th}/259) + (A_K/4810) \quad (2.3)$$

Bu dışsal tehlike indeksine ilaveten radon ve onun kısa ömürlü ürünleri de solunum sistemine zarar verir. Radon ve ürünlerine içsel maruz kalma aşağıdaki gibi içsel tehlike indeksi ($H_{i}$) ile ifade edilir.

$$H_{i} = (A_{Ra}/185) + (A_{Th}/259) + (A_K/4810) \quad (2.4)$$

$H_{dış}$ ve $H_{i}$ indeks değerleri ihmal edilebilir radyasyon tehlikesi için 1'den daha küçük olmalıdır (Diab, 2008).

3. BÖLGENİN COĞRAFİ VE JEOLJİK YAPISI

3.1. BÖLGENİN COĞRAFİ YAPISI

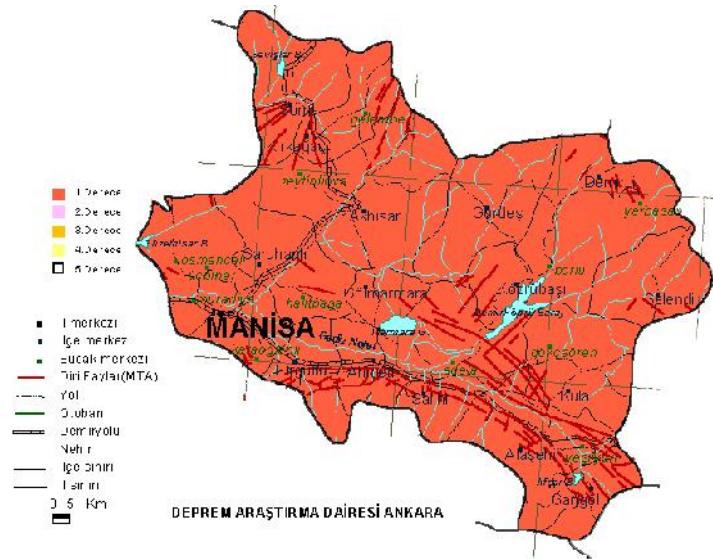
Ege Bölgesi'nde yer alan Manisa, Batı Anadolu'nun denize kıyısı bulunmayan fakat kıyıya en yakın ilidir. Doğudan Uşak ve Kütahya, kuzeyden Balıkesir, güneyden Aydın, güneydoğudan Denizli, güneybatı ve batıdan İzmir iliyle çevrilidir. Yüzölçümü 13.810 km²'dir. Yükselti ise 50 m ile 850 m arasında değişmektedir. İl merkezinden doğuya gidildikçe yükselti artmaktadır. Arazinin ana çizgilerini, doğu-batı doğrultusunda uzanan ve kuzey-güney ve güneydoğu-kuzeybatı doğrultularına çatallanan oluk şekilli çukurlar oluşturmaktadır. Bunlardan Gediz ovası Manisa ilinin Ege bölümünü boydan boya yarmakta, Akhisar ve Alaşehir kollarıyla da İç Batı Anadolu'nun il sınırları içindeki kenarı boyunca uzanmaktadır. Bu kenarın doğusunda ise il toraklarının önemli bir kısmını oluşturan Kula- Gördes platosu yer almaktadır. Ege denizine dikey olarak uzanan dağ sıraları arasındaki il topraklarında, birbirinden kesin çizgilerle ayrılabilen üç değişik yeryüzü şekli vardır. Bunlardan ilki dağlık ve sarp alanlar, ikincisi tepelik ve dalgalı kesimler, üçüncüsü de taban topraklar ve düzlüklerdir (Url-2, 2011).

Dağlık ve sarp alanlar ilin doğu, güney ve kuzeyinde bulunmaktadır: batıya gidildikçe yükseltisi azalan dağlar, dere ve çaylarla kesilmektedir. Manisa ilinin doğu kısımları, daha doğusunda yer alan İç Anadolu geniş çanağı ile Ege bölümünde yer alan Gediz ve Kum çayı ovaları arasında güneydoğu-kuzeybatı eksenli bir eşikte yer almaktadır. İlin güneyindeki Bozdağlar kuzeye doğru, yani Gediz vadisi üzerine oldukça dik inmektedir. Manisa'da yeryüzü şekillerinin bütün biçimlerine rastlanabilmektedir. Fakat ağırlık il alanının %54.3'ünü kaplayan dağlarıdır. İkinci sırada %27.8 ile platolar ve üçüncü sırada %17.9 ile ovalar yer almaktadır (Url-2, 2011).

Manisa'nın toprak, iklim ve çevre şartlarındaki farklılık bitki örtüsüne de yansır. Dağ kütlelerinin deniz etkisini kesmesi, Akdeniz iklimi ve karasal iklim bitki

türlerinin iç içe bulunmasına neden olmaktadır. Manisa il topraklarının %46'sı orman ve makilerle kaplıdır. Geniş bir alanı kaplayan makiler dağların kuzey ve batı yamaçlarında yer alır. Ormanlar meşe, dişbudak, karaağaç, karaçam, kızılçam, ardıç, ahlât ve çınardan ibarettir. Ormanlar genelde 1000 metre üzerindeki yükseltilerde bulunur. (Bağlar ve zeytinliklerde geniş yer kaplar) İl topraklarının %39.1'i ekili ve dikili arazi, %6.6'sı çayır ve meralardan, %8'i tarıma elverişsiz alanlardan oluşur (Url-2, 2011).

Manisa ilinde; Alaşehir, Salihli, Turgutlu, Merkez, Akhisar, Kırkağaç ve Soma yöreleri depremlerin çok olduğu tektonik çukurluklar ve kırıklar dizisi üzerindedir. Salihli ve Akhisar'ın doğu kesimleri ile Kırkağaç'ın batısı ve güneyi 1. Derecede deprem kuşağıdır. İlin göreceli yüksek kesimlerinde yer alan Demirci, Kula, Gördes ve Selendi yörelerinde 2. ve 3. Derece deprem kuşaklarına girer. 770 köyü, 77 belediyesi, 16 ilçesi, %100 birinci derece deprem bölgesindedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).



Şekil 3.1. Manisa ili deprem haritası (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

Merkez ilçe ile birlikte 16 ilçesi (Merkez, Ahmetli, **Akhisar**, Alaşehir, Demirci, **Gölmarmara**, **Gördes**, Kırkağaç, **Köprübaşı**, Kula, Salihli, Sarıgöl, Saruhanlı, Selendi, Soma, Turgutlu) bulunur (Url-3, 2011)

3.1.1. Akhisar İlçesi

Akhisar, İzmir-İstanbul karayolu üzerinde ilçenin adını taşıyan ovanın ortasında yer alır. 1750 km²'lik arazisi ve 158.614 nüfusu ile (2010) Ege Bölgesi'nin

en büyük ilçesi, Türkiye'nin sekizinci büyük ilçesidir. Akhisar İlçesi, Manisa İli'nin kuzeyinde aynı adı taşıyan ovada kurulmuştur. Batı yönünde Saruhanlı, kuzeyde Kırkağaç, Soma ve Balıkesir'in Sındırgı ilçesi, doğuda Manisa'nın Gördes ve güneyde Gölarmara ilçeleri ile komşudur. İlçe merkezi deniz seviyesinden 106 m yüksekliktedir. Kuzeyden güneye doğru hafif bir eğime (%0.3) sahip olan Akhisar ovası, dağlarla çevrelenmiştir (Url-4, 2011; Manisa Tarım İl Müdürlüğü, 2008). Kuzeyinde; Demirci, Gölcük ve Kadı dağları sıralanmaktadır. Güneyde Çal dağı, batıda ise zengin orman örtüsüne sahip Yund dağı bulunmaktadır. Akhisar ilçe sınırları içindeki en yüksek dağı kuzeydoğuda yer alan 1224 m rakımlı Sıdan dağıdır. Ayrıca kuzeydoğuda Görenez dağı 1173 m, güneydoğuda Gölcük dağı 807 m, güneyde Karahöyük dağı 525 m ve kuzeybatıda Kuru dağı vardır. İlçenin en alçak noktası 60 m rakımlı Kum çayı boğazının tabanıdır. Akhisar ovasının toprak yapısı alüvyonsaldır (Manisa Tarım İl Müdürlüğü, 2011).

Akhisar ovasının aslı bir çöküntü alanıdır. Ovanın kuzeyinden güneye kuş uçuşu 30 km olup, doğu-batı yönünden genişliği 9-40 km arasındadır. Yaklaşık olarak 2 milyon yıl öncesinden günümüze kadar çevredeki dağlardan inen kum çayı, gürdük çayı ve kollarının getirmiş olduğu alüvyonlarla örtülmüş ve bugünkü görünümü almıştır. İlçe sınırları içinde akarsu yoktur. Güneyde kum çayı ve batıda gürdük çayı bulunur. Toplam 152 km uzunluğundaki kum çayı Türkmen dağlarından doğar, gürdük çayı ile birleşerek suları çoğalır. Yağışların kış mevsiminde fazla düşmesi nedeniyle debileri artar. Yaz mevsiminde sıcaklığın yüksek ve buharlaşmanın fazla olması nedeniyle bazı kolları tamamen kurur (Manisa Tarım İl Müdürlüğü, 2011). Batıdaki Yunt dağları nedeniyle deniz etkilerine kapalı olduğundan karasallaşmış Akdeniz iklimi özellikleri görülür. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Karasallık özelliği doğudaki dağlık kesiminde daha belirgindir. Akdeniz iklim özellikleri görüldüğü için, doğal bitki örtüsü maki bitki topluluğudur. Makiler 600 m yüksekliğe kadar görülmektedir. Daha yükseklerde ise çam ormanlarının en yaygın olduğu kesim, ilçenin kuzey kesimli ile güney ve batısında yer yer fundalar görülür (Manisa Tarım İl Müdürlüğü, 2011).

Türkiye Hidrojeoloji haritasında Akhisar Ovası, "yaygın ve zengin akiferler" sınıfına sokulmuştur. İlçenin bulunduğu bölge, depremlerin sıklıkla olduğu tektonik çukurlar ve kırıklıklar dizisi üzerindedir. İlçenin doğu kesimi 1. derece deprem kuşağındadır (Url-4, 2011). İlçede bilinen faylar Kocakıran tepenin kuzeyden geçen

KB-GD doğrultulu fay ile güneyinde Rahmiye ile Moralılar köyü arasında uzanan D-B doğrultulu faydır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

3.1.2. Gölarmara ilçesi

Gölarmara Ege Bölgesinin kuzeybatı kesiminde yer almaktadır. İsmi­ni yakınında bulunan göl ve mermer ocaklarından almıştır. İlçenin batısında Saruhanlı ve Manisa kuzeyinde Akhisar ve Gördes, güneydoğusunda Salihli, güneybatısında Ahmetli ve Turgutlu ile sınırlanmıştır.Yüzölçümü 226 km²'dir.. Marmara dağının eteğinde kurulmuş, son yıllarda düzlüğe doğru bir yerleşim alanı inmektedir. (Url-6, 2011). İklimi Akdeniz iklimi olup, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

İlçe merkezine 12 km uzaklıkta Marmara gölü bulunmaktadır. Marmara gölü Gölarmara ile Salihli arasındadır. Teknoteknik kökenli bir oluk üzerinde oluşmuş, Alüviyal bir set gölüdür. Gölün bulunduğu oluk Gediz depresyonuna bağlanan bir çukurluktur. Kuzeybatıdan dünyedoğuya doğru uzanan fayların sınırladığı bu alanda, Menderes masifinin formasyonları ve alüvyonlar yaygındır (Url-6, 2011). Gölarmara gölü, uluslararası kitlelere göre B sınıfı nitelikte sulak alan olarak kabul edilen bir doğa şaheseridir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008). Marmara gölü doğal bir set gölü olmasına rağmen, yapay kanalları vasıtasıyla baraj gölü fonksiyonu kazanmış bir göldür. Göle bağlanan kanallar kış aylarında önemli miktarda suyun depolanmasını sağlarken, gölden tarım alanlarına yönelmiş olan kanallarda yaz aylarında sulamaya katılmaktadır. Marmara gölüne Gediz ırmağından su aktarılmaya başlanmıştır. Gölün sulak alan olarak önemi artmaktadır (Url-6, 2011).

Gölarmara yarı nemli ve park görünümlü kuru orman vejetasyonu (bitki örtüsü) olarak çıkmaktadır. Marmara gölüne su toplama alanındaki yazın kuruyan küçük derelerden ve Akpınar kaynaklarından su gelmektedir. Kurak geçen yıllarda göl seviyesi düşerken, nemli geçen yıllarda yükselmektedir (Url-6, 2011).

Gölarmara ilçesi içersinde iki önemli fay tespit edilmiş olup, bunlardan birincisi güneydoğudan Salihli-Gölarmara yolu boyunca ilçe yerleşim alanını keserek kuzeybatıda Hacıbaştanlar köyüne doğru uzanmaktadır. Fay doğrultusu KB-GD, eğimi ise KD dur. Diğer fay ise Ozanca köyünü keserek KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır. Her iki fayda eğim atımlı normal fay karakterlerinde olup, aktif özellik göstermektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

3.1.3. Gördes ilçesi

Gördes ilçesi, Ege bölgesi'nin İçbatı Anadolu bölümünde, Manisa iline bağlı olup, Manisa'nın kuzeydoğusuna düşmektedir. İlçenin doğusunda Demirci ve Köprübaşı, güneyinde Salihli, batısında Akhisar ve kuzeyinde ise Balıkesir iline bağlı Sındırgı ilçeleriyle komşudur. İlçenin yüzölçümü 769 km², deniz seviyesinden 680 m yükseklikindedir. İlçe toprakları küçük akarsu vadileriyle yarılmış bir yayla görünümündedir. İlçenin yazları kurak ve sıcak, kışları ılık ve yağışlı bir iklimi vardır. Yıllık yağış ortalaması 500-700 m³ arasında değişmektedir. Ortalama sıcaklık 11-13°C'dir. Ormanlık alanları ilçemizin toplam alanında %45 gibi önemli bir yer tutmaktadır. En önemli akarsuyu Gördes (Kum çayı) deresidir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008). Gördes çayı üzerinde Gördes Barajı bulunmaktadır. Baraj, Gördes Çayı üzerinde, sulama ve içme suyu temini amacıyla 1998-2004 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır (Url-5, 2011). Gördes barajı, sulama ve içme suyu maksatlı olup 14890 hektar tarım arazisini sulayacak ve İzmir iline yılda 59 milyon m³ içme suyu temin edecektir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

İlçede yerleşim çeşitlilik arz etmektedir. Köylerin çoğunluğu kuzey rüzgarlarından etkilenmemek için tepeliklerin ve sırtların güney yamaçlarına kurulmuştur (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

Gördes'in güneyinden başlayarak K45-60G gidişli fayın kuzeye doğru uzunluğu 15 km'nin üzerindedir. İnceleme alanının dışında (kuzeybatıda) Fındıcak Mahallesi ile Molla Hüzeyin Damları arasında çok belirgin olarak izlenmektedir. Bu yörede Kepeztepe formasyonunu keserek temel kayalarla dokanağa getiren ve sintetikleri ile birlikte yaklaşık 1.5 km enindeki bu fay zonu jeotermal akışkanlara yol vermiştir. Kırık zonunda 20 m'yi aşkın oniks oluşumu gerçekleşmiş, Kepeztepe Formasyonunun kireçtaşları jeotermal alterasyona uğramış ve üzerinde yersel travertenler gelişmiştir. Eski Gördes'in kuzeyinden KD-GB doğrultusunda uzanan ikinci bir düşey atımlı fay bulunmaktadır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

3.1.4. Köprübaşı İlçesi

Köprübaşı ilçesi, Manisa'nın kuzeydoğusunda, Salihli-Demirci karayolu üzerinde kurulmuş, Manisa il merkezine 123 km uzaklıkta ve deniz seviyesinden yüksekliği 250 m, yüzölçümü 283 km² dir. Köprübaşı ilçesi Manisa ilinin kuzeydoğusunda, Salihli-Demirci karayolu üzerinde yer alır. Kuzeybatısında Gördes,

kuzeydoğusunda Demirci, batısında Gölarmara, güneydoğusunda Demirköprü Baraj gölü, güneybatısında Salihli, güneyinde Kula ve Alaşehir, doğusunda da Selendi ilçesi ile çevrilidir. Güneydoğusunda Demirköprü Barajı bulunan, Dibek ve Çomak dağının güney uzantılarının bulunduğu, doğuda Topak tepe, batıda Tülüce, kuzeyde Kayran dağlarının eteklerinde bulunan Köprübaşı ilçesinin baraj sahası içerisinde kalan ve halk tarafından ova olarak bilinen Gediz ve Demirci çayı vadisi, en düz ve verimli arazilerdir. İlçe Akdeniz iklimi ağırlıklı, Akdeniz iklimi ve kara ikliminin etkisi altındadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir (Url-7, 2011; Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

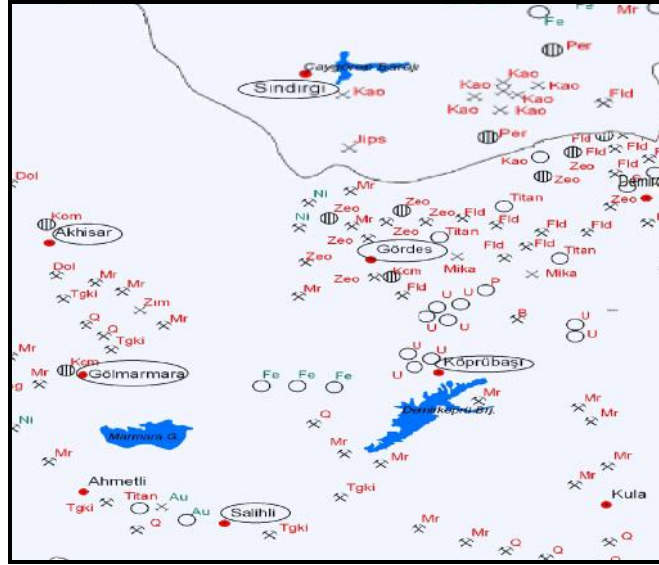
3.1.5. Sındırgı ilçesi

Sındırgı, Balıkesir'in güneydoğusunda yer almakta olup, eski Balıkesir-İzmir yolu üzerinde Balıkesir'e 63 km. uzaklıktadır. Kuzeyinde Dursunbey, Bigadiç, Güneyinde Manisa'nın Demirci, Gördes ve Akhisar, batısında yine Manisa'nın Kırkağaç, doğusunda Kütahya'nın Simav ilçesi ile çevrilmiştir. İlçenin arazisi genellikle dağlık ve ormanlarla kaplıdır. Denizden yüksekliği 250 m.'dir. Ormanlık ve dağlık bölgenin eteklerinde özellikle batı kesiminde Simav çayı çevresinde geniş düzlükler uzanmaktadır. Güneyi çamlarla kaplı dağlık alan üzerindeki Sındırgı beli 725 m. rakımda olup, Balıkesir-Manisa il sınırını kestiği noktayı meydana getirir. Doğuda 1615 m. yükseklikte Alaçam dağları, batıda Davullu ve Kazan dağlarının yamaçları, güneyde Kazan dağlarının yamaçları ve yine güneyde 1382 m. yüksekliğinde Sidan dağı bulunmaktadır. Ayrıca kuzeybatı istikametindeki Ulus dağı 1769 m. yükseklik ile Marmara ve Ege bölgesinin en yüksek dağları arasında yer almaktadır (Aygün, 2008).

İlçe arazisinin %51'i ormanlık %24'ü tarıma elverişli alan, %22'lik kısım dağlık ve kıraç arazi, %3'lük kısmı ise çayır, mera ve sulu tarım arazisinden oluşmaktadır. Ormanlık alan 71.550 hektar'dır. İlçenin başlıca akarsuları, Simav Çayı, Ilıcalı ve Cüneyt çaylarıdır. İlçenin iklimi kısmen Karasal İklim özelliklerini taşır. Kışlar yağışlı ve soğuk, yazlar kurak ve sıcak geçmektedir. Yıllık yağış ortalaması 650 mm dir. Yılın en düşük sıcaklığı -8°C, en yüksek sıcaklığı +38°C'dir (Aygün, 2008).

3.1.6. İnceleme Alanındaki Maden Yatakları

Manisa ili özellikle endüstriyel hammadde kaynakları açısından önemli potansiyellere sahiptir. Bölgede çok sayıda çalışma yapılmış ve bunların sonucunda başta mermer, zeolit ve feldispat olmak üzere, kaolen, kum-çakıl, tuğla-kiremit, titanyum, çimento hammaddeleri, disten, zımparataşı, fosfat, pirofillit ve kükürt oluşumları ortaya çıkarılmıştır (Url-8, 2011). Tez çalışmasında inceleme alanı olarak seçilen ilçelerdeki maden yatakları Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2. İnceleme alanında bulunan maden yatakları (Url-8, 2011).

MTA Ege Bölgesi Maden Envanteri’ne göre Gördes’te kömür, kaolen, nikel-demir, titan, zeolit yatakları mevcuttur. Ayrıca feldispat, mermer, disten, kalsedon, krom, kuvarsit, bor tuzları yöredeki madenler arasındadır. Kalemoğlu ve civarındaki kömür yatakları: kapalı işletmeye müsait olup, açık işletmeye ekonomik yönden uygun değildir. Kapalı işletmelerden şimdiye kadar en kalın damar 2.8 m (ortalama 1 m) tespit edilmiştir. Kömür damarlarında sık sık faylanmalar neticesinde kesintiler görülmekte ve killi ardalanmalar yer almaktadır. Ortalama derinlik 45 m’dir. Kalemoğlu yatağının muhtemel + mümkün rezervi 1.350.000 ton tespit edilmiştir (Url-5, 2011). İlçedeki zeolit sahalarındaki mineral türü höylandit ve klinoptilolit olup, %80-90 höylandit ve %60-95 arasında klinoptilolit içeren yatakların toplam rezervi yaklaşık 370.000.000 tondur (Url-8, 2011). Zeolit: Kıranköy, Oğulduruk, Kuşluk, Akdere, Arkatlı Damları, Güneşli, Evciler, Fundacık Sahalarındaki zeolit yataklarında 63.331.375 ton görünür rezerv, 307 574 000 ton mümkün rezerv tespit edilmiş olsa da Gördes çevresindeki görünür rezerv 1 milyar ton, örtülü rezerv ise 10

milyar tonun üzerindedir. Zeolit yataklarının işletildiği alanlar Bayat alanı, Bodomaz mevkii, Oğulduruk köyü, Softalar-Kıran köyü'dür (Url-5, 2011). Gördes zeolit yatakları ülkemizin ekonomik olarak işletilen ve özellikle hayvan altlığı olarak tüketilen tek yatağıdır (Url-8, 2011) Zeolit madenin kullanım alanları şunlardır: Tarım-hayvancılık ve peyzaj, enerji, madencilik ve metalurji, kâğıt sanayi, inşaat sektörü, sağlık sektörü, deterjan sektörü, kirlilik kontrolü ve günlük hayatta ve ev içlerinde kullanılmaktadır (Url-5, 2011). Gördes ilçesindeki kum-çakıl ve kaolen oluşumları da zuhur niteliğinde olup, Samanlık dere sahasında inşaatlarda kullanılabilir nitelikte 200.000 m³ muhtemel kum-çakıl rezervi, %11-13 Al₂O₃ ve %0.8-1 Fe₂O₃ içerikli kaolen oluşumları tespit edilmiştir (Url-9, 2011).

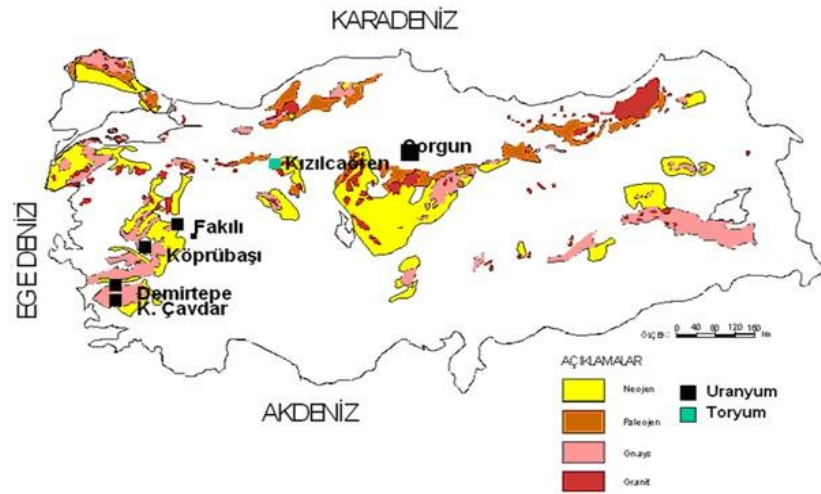
Demirci ilçesinde sarı-açık yeşil ve yer yer koyu kahve renkli ve tamamen aragonit kristallerinden oluşmuş Demirci Oniks mermeri, Akhisar'da da Ege Kahve olarak tanımlanan koyu kahve- kırmızı renkli mermer oluşumları mevcuttur. Demirci ilçesindeki K-feldispat sahalarında %7-10.4 K₂O içeriğine sahip ve seramik sanayinde sırlamada kullanılabilir kalitede 1.315.837 ton muhtemel rezerv tespit edilmiştir. Ayrıca %2-4.5 K₂O, %1.4-5 Na₂O içerikli, orta-düşük kaliteli, 1.765.740 ton muhtemel feldispat rezervi de vardır. Yatakların büyük bir kısmı halen işletilmekte olup bölge, ülkemizin önemli feldispat potansiyel alanlarından birisidir. Demirci ilçesi aynı zamanda fosfat, kükürt ve zeolit cevherleşmelerine de ev sahipliği yapmaktadır. Akdere zeolit sahasında 225.000 ton görünür rezerv vardır. Manisa-Gördes-Kuyumездere'de %1.11 TiO₂ içerikli 1.272.000 ton (görünür), Benlieli Ovası'nda 0.5 TiO₂ içerikli 45.000.000 ton (muhtemel), Demirci Çayı'nda %0.5 TiO₂ içerikli 1.700.000 ton (muhtemel) Gördes Çayı'nda %0.4-0.5 TiO₂ içerikli 6.800.000 ton (muhtemel) Salihli ve Turgutlu ovalarında %1 TiO₂ içerikli 30 milyon ton potansiyel plaser tipi titanyum zenginleşmeleri vardır. Ülkemizin verimli tarım alanlarının bulunduğu bu aktüel çökeller içindeki titan birikimleri ekonomik değildir. Akhisar'da stabilize malzeme olarak kullanılmaya elverişli 10 milyon m³ muhtemel kum-çakıl rezervi bulunmaktadır. Akhisar ilçesinde geçmiş yıllarda işletilmiş Akçaalan zımparataşı sahasının muhtemel rezervi 5.450 ton olup, cevher minerali korund, margarit ve diyasporittir. Gördes ilçesinde de bilinen linyit oluşumları bulunmaktadır (Url-9, 2011).

Yukarıda sözü edilen madenler dışında Manisa ili jeotermal enerji kaynakları bakımından da büyük potansiyellere sahip olup, ülkemizde önemli bir yer

tutmaktadır. Bu nedenle il dahilinde MTA Genel Müdürlüğü tarafından çok sayıda jeotermal enerji hammaddelerine yönelik sondajlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Başlıca Turgutlu, Salihli, Alaşehir, Köprübaşı, Kula, Demirci, Soma ve Sarıgöl ilçelerinde olmak üzere çok sayıda sıcak su kaynağı bulunan ildeki kaynaklar şehir ısıtmacılığı, kaplıca, kaplıca tesisi ve sera ısıtılması amacıyla kullanılmaya elverişlidir. Salihli ilçesindeki Kurşunlu sıcak su kaynaklarından ilçenin ısıtılmasında yararlanılmaktadır (Url-9, 2011).

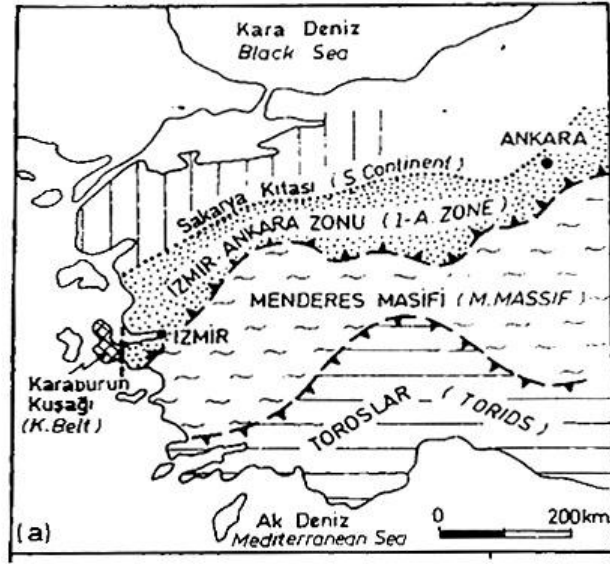
Balıkesir ili Sındırgı ilçesinin Sındırgı-Düvertepe alanında da ülkemizin en büyük kaolen sahası bulunmaktadır. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nün yaptığı çalışmalar sonucunda %13-38 Al_2O_3 ve %0.5-6 Fe_2O_3 tenörlü yaklaşık 64 milyon ton toplam rezerv saptanmıştır. Burada üretilen kaolenler ağırlıklı olarak seramik sektöründe olmak üzere refrakter, kağıt sanayii ve beyaz çimento üretiminde kullanılmaktadır. Sındırgı-Mumcu sahasındaki %14-24 Al_2O_3 ve %1 Fe_2O_3 tenörlü ve 2 milyon ton rezervli kaolenlerde geçmiş yıllarda bir miktar üretilmiştir. Ancak alunit ve bol miktarda serbest kuvars içeriği nedeniyle kalitesi düşüktür. Perlit yataklarına Sındırgı ve Savaştepe ilçelerinde rastlanmakta olup, Sındırgı ilçesinde toplam 21 milyon ton muhtemel+mümkün perlit rezervi tespit edilmiştir (Url-8, 2011).

Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi Türkiye'nin en önemli uranyum yataklarından birisi Manisa ili Köprübaşı ilçesinde yer almaktadır. Buradaki rezervin %0.04 - 0.05 U_3O_8 ortalama tenörlü olup 2.852 ton görünür rezervi vardır. Cevher Neojen yaşlı sedimanlar içindedir (Url-10; Şaşmaz, 2008).



3.2. BÖLGENİN JEOLJİK YAPISI

Batı Anadolu'nun paleotektonik yapısı içerisinde, genel uzanımı kuzeydoğu-güneybatı olan üç kuşak yer almaktadır (Şekil 3.4). Bunlardan en doğuda olanı metamorfik kayaç topluluklarından oluşan Menderes masifidir. İkinci kuşak İzmir-Ankara zonu, en batıda ise Karaburun yarımadasını içine alan platform türü devamlı bir karbonat istifinin bulunduğu Karaburun kuşağı bulunur. Güneyde, Batı Torosların allokon birimlerini oluşturan Likya Napları, Menderes masifi ile Bey Dağları otoktonu arasında yer alır (Özel ve diğ., 2006).



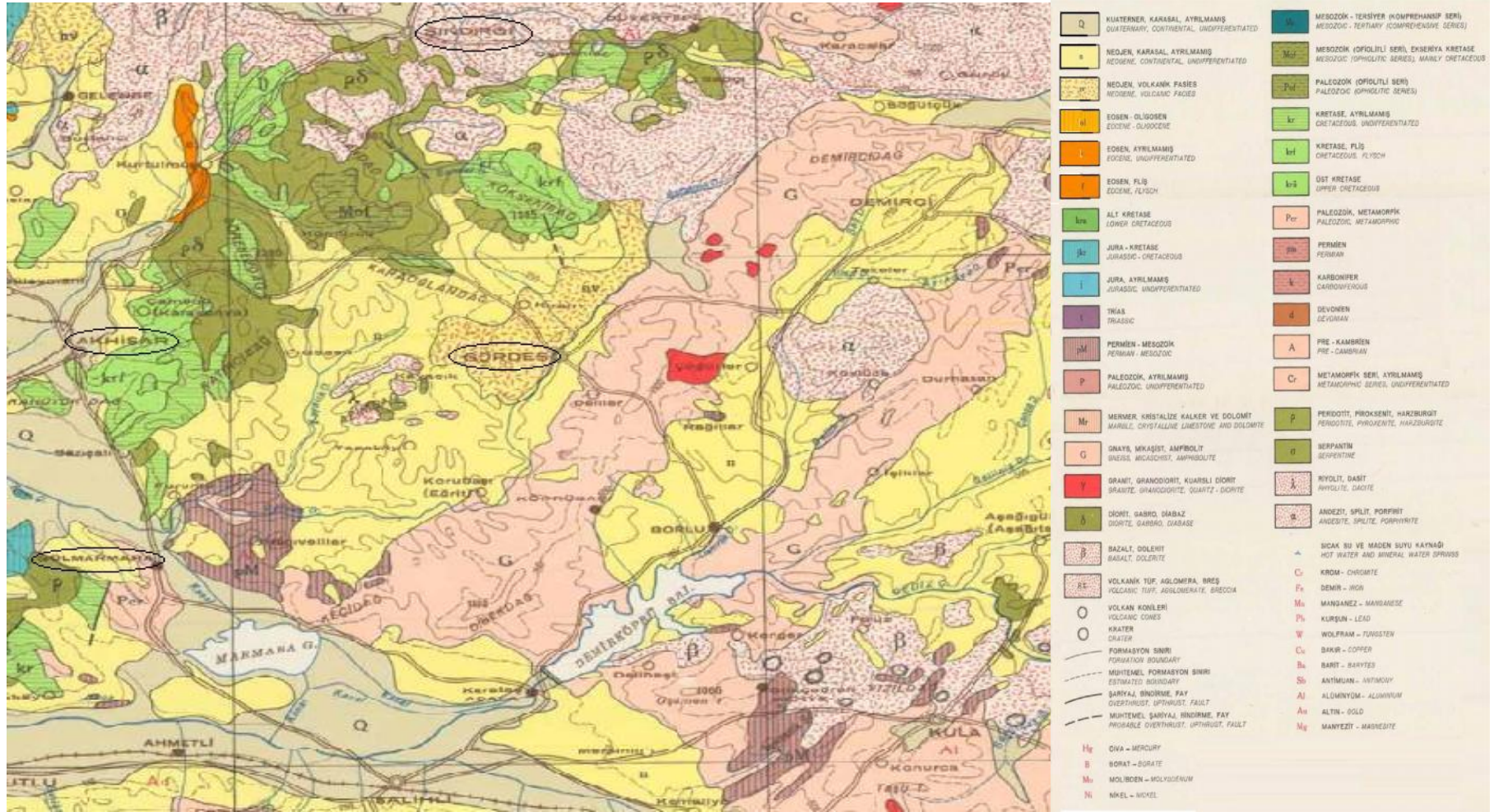
Şekil 3.4. Batı Anadolu'nun paleotektonik kuşakları; Menderes masifi, İzmir-Ankara zonu ve Karaburun kuşağının genel uzanımı (Özel ve diğ., 2006).

Orta-Üst Miyosen'de başlayıp günümüzde devam eden ve Batı Anadolu'daki grabenleri oluşturmuş doğu-batı uzanımlı neotektonik yapılar, bu eski tektonik kuşakları kesmiş ve parçalamıştır. Graben tektoniği, paleotektonik kuşakları tanınmayacak ölçüde birbirinden ayırmasa da çöküntü alanlarını dolduran tortul dolgu, birçok yerde bu sınırları örterek gizlemiştir (Özel ve diğ., 2006).

Ege bölgesinde, yaşlı Prekambriyen-Üst Permiyen serilerinden (G, Cr, Pcr) sedimentlere benzeyen molas veya epimetamorfik grovak, migmatit, mikaşistler, kuvarsitler, gnays ve gözlü gnayslar gibi çeşitli metamorfik kayaçlar yaygın halde bulunur. Bu metamorfik temel kayaçlar, Menderes masifine ait kaya bileşenleridir. Bu temel kayalar genellikle Doğanbey-Gördes-Kütahya çizgisinin güneyinde çok geniş bir yayılım gösterir. Menderes masifi, bir gözlü gnays çekirdeği ve bunun

etrafında gnayslar ile değişen bin metre kalınlıktaki metamorfik şistlerle ve mermerlerle yapılı büyük bir kubbe biçimindedir. Gnaysların içinde potaslı feldispat gözleri, siyah ve beyaz mika, plajiyoklaz ve ek mineral olarak da turmalin, apatit ve zirkon bulunur (Özel ve diğ., 2006).

Akhisar-Gördes-Gölmarmara ve Sındırgı bölgesinin 1:500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritasındaki yeri bölgedeki kaya birimleri Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Şekil 3.5’de Akhisar Sındırgı yolu boyunca ofiyolitik kayaçlar görülmektedir. Ofiyolitik seri, serpantin (σ), peridotit-hazburgit (ρ), gabro-diyorit-diyabaz (δ) ve spilit, radyolarit ile muhtelif sediment bloklarından meydana gelmiş kompleks bir tabaka olan Mesozoyik ofiyolitik kompleksi (Mof) temsil etmektedir. Bunlar, ofiyolitler veya yeşil kayaçlar adı altında bilinir (Özel ve diğ., 2006). Şekil 3.4’de Sındırgı ilçesinin bulunduğu yerin andezit-spilit, Akhisar ilçesinin Kretase, fliş, Akhisar Sındırgı yolu boyunca diorit gabro, diabaz yapısına, Akhisardan Gölmarmara yolu boyunca Neojen, karasal, ayrılmamış ve permien-mesozoik dönemin hakim olduğu, Gölmarmara civarının Kuaterner yapıya, Salihli’nin üst kısmının karasal ayrılmamış neojen, poyrazdamları civarının gnays, mikaşist, amfibolit yapıya sahip olduğu görülmektedir. Gördes civarında neojen dönemi volkanik fasiyeslerin, Borlu Demirci arasında Neojen dönemi andezit, spilit, porfirit yapının olduğu görülmektedir (Url-14).



Şekil 3.5. 1:500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritasından çalışma alanının yeri ve bölgedeki kaya birimleri (Url-14).

3.2.1. Akhisar İlçesi

Neojen öncesi temel kayaları başlıca kristalin ve ofiyolit kaya topluluklarından yapıldır. Kristalin kayalar Akhisar'ın Göcek köyü yaylakırıldık köyünün güneyinde yaygındır ve egemen olarak gnays, mikaşist, mermer fillit ve zımparataşı bileşenlerinden oluşur. Kretase sonu yaşlı kayalar Dağdere köyünün kuzeyi ve pekmezci köyünün batısından çevreleyip, başlıca ofiyolit (serpantinit, denizaltı lavları ve çört), filiş ve masif kireçtaşından yapıldır (Yağmurlu, 1982).

Akhisar doğusunda yer alan Neojen yaşlı kaya birimleri büyük bölümüyle kırıntılı ve karbonatlı kayalardan yapıldır. Neojen öncesi temel kayaları başlıca ofiyolit ve masif kireçtaşından yapıldır. Genellikle alüvyonal ve gölssel tortullardan oluşan Çıtak yöresindeki Miyosen tortul istif, egemen kaya bileşenlerine dayanılarak formasyon aşamasında beş ayrı kaya birimine ayrılmıştır. Bunlar alttan üste doğru; Göcek, Yeniköy, Kiiçükderbent, Karaboldere ve Ahmetler formasyonlarından yapıldır (Yağmurlu ve Karayiğit, 1984).

Göcek Formasyonu, çok örnek bileşenli bloктаşı, çakıltaşı, kaba kumtaşı ve yersel algli kireçtaşı ara katkılarında oluşur. Yeniköy Formasyonu, akarsu ortamını simgeleyen, egemen olarak çapraz katmanlı kumtaşı, çakıltaşı kanal dolguları ile üst bölümlerde yer alan algli kireçtaşı, çamurtaşı, karbonlu şeyi ve kömür ara katmanlarından yapıldır. Küçükderbent Formasyonu, egemen olarak gölssel ortamı yansıtan kalkerli şeyi, kireçtaşı, çamurtaşı, kumtaşı ve az orandaki bitümlü şeyi ardaşmasından yapıldır. Ahmetler Formasyonu, başlıca kaba çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve algli kireçtaşı ara katmanlarından yapıldır. Karaboldere Formasyonu genel olarak, dasit-riyodasit bileşimli lav ve asidik tüflerden oluşur (Yağmurlu ve Karayiğit, 1984).

Akhisar-Gördes ilçeleri arasında kalan Çıtak, Hamit, Dağdere ve Yayakırıldık köyleri ile sınırlanan alan içinde kömür yatakları yer alır. Kömür düzeyi, Yeniköy Formasyonunun en üst bölümünde yer alır ve Küçükderbent Formasyonu tarafından üstlenir. Kömür düzeyinin tabanında kalınlığı 5-20 m arasında değişen ve organik maddece zengin kil taşı ve çamurtaşı yer alır. Kömürün yanal kalınlık değişimleri 0.5-4.5 m arasındadır. Kömür genellikle siyahımsı mat görünümlü, masif ve yersel düzensiz katmanlıdır. Egemen olarak pirit, markasit ve jips mineralleri kapsar. Seyrek olarak 1-20 cm arasında değişen kil ve çamurtaşı ara katkıları içerir.

Belirtilen ara katkılar kalınlık yönünden yanal değişimler göstererek, bazı kesimlerde kömürü birden çok katmana ayırır. Kömür düzeyi ve altlayan kıltaşları içinde yersel olarak silisleşmiş ve kömürleşmiş bitki kökleri ve kalıntıları bulunur. Bölgedeki kömürlerin doğal haldeki ortalama kalori değeri 3205 kcal/kg, ortalama kaba nem değeri %20, kül %16, uçucu madde %43 ve kükürt miktarı %3 olarak saptanmıştır (Yağmurlu ve Karayığit, 1984).

Akhisar güneydoğusunda yüzeylenen Alt Jura volkanitleri ilk kez Akdeniz ve diğerleri (1980) tarafından Hasköy Formasyonu olarak tanımlanan Jura yaşı bir kırıntılı topluluğunun Metavolkanit Üyesi olarak ayırdedilmiştir. Akhisar doğusunda geniş yayımlı olan Hasköy Formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve kıltaşları ve bunlar içerisindeki kireçtaşı ve volkanik kaya merceklerinden oluşur. Akhisar doğusunda, değişik kalınlıklardaki tabakalar devirsellik gösteren bir istif içinde tekrarlanır. Çoğunlukla çakıltaşı ile başlayan tekrarlanmalarda kumtaşı ve silttaşına, bazen de killi kireçtaşı merceklerine geçilir. Litofasiyelerden bir veya birkaçının atlandığı düzensiz araldanmalara sık rastlanır. Kalınlıklarda oldukça değişkendir. Çoğu tekrarlanmalarda belirli bir düzen yoktur (Akdeniz ve Ercan, 1988).

Hasköy formasyonunda doku ve tane türü farklı olan iki çakıltaşı türü ayrılabilir: Kuvarslı çakıltaşı ve karbonatlı çakıltaşı. Kuvarslı çakıltaşı, açık kahve, bej, alacalı renklerde, serizitleşmiş kil veya silis çimentolu, sert, sıkı ve dayanıklıdır. Yarı yuvarlak, çubuğumsu tanelerin çoğu beyaz kuvars (%50-70), esmer çört (%30-40) ve metamorfik kaya parçaları (%5-10)'dır. Karbonatlı çakıltaşı, açık kahve, boz, alacalı renklidir. Bol gnays, şist, kuvarsit, çört çakılları ve kireçtaşı bulundurur. Çimento, kum, kil veya kireç çamurudur. Kum, kireç çamuru, yer yer serizitleşmiş kil veya mika parçalarının oluşturduğu hamur çakılların arasını dolduran çimento durumundadır. Hasköy formasyonunun en yaygın litofasiyesi olan kumtaşı, kuvars, çört, feldispat, mika, turmalin, zirkon, metamorfik kaya, kristalize kireçtaşı ve opak mineral kırıntıları içerir. Silttaşı ve kıltaşı, kirli bej, zeytin yeşili, yeşilimsi kahve, kahve, kızıl, mor renklerde, iyi yapraklanmalı, yersel kumtaşı ve kireçtaşı merceklidir. Kil çamuru içindeki mika pulcukları yer yer araldanmalı olarak dizilmiştir. Akhisar doğusunda, Hasköy formasyonunun alt seviyelerindeki kumtaşları içinde gözlenen volkanik kaya mercekleri metavolkanit üyesi olarak ayrılmıştır. Volkanik kayalara özgü ayrışması, rengi ve yapısı ile çökellerden kolayca ayırt edilebilen bu kayalar, Kabuz dere içinde, Halilbeyler mahallesi-Korkut tepe

arasında, Kızıltepe batısı ve karaballık mevki doğusunda yüzeylenir. Yeşilimsi krem, koyu yeşil arasında renk tonları gösteren metavolkanitlerin çarpıcı rengi yağlı yeşildir. Mikroskop altında metavolkanitler, kuvars, feldispat, klorit, muskovit, ikincil olarak ta epidot, kalsit ve opak mineralleri içerir (Akdeniz, 1985).

3.2.2. Gördes İlçesi

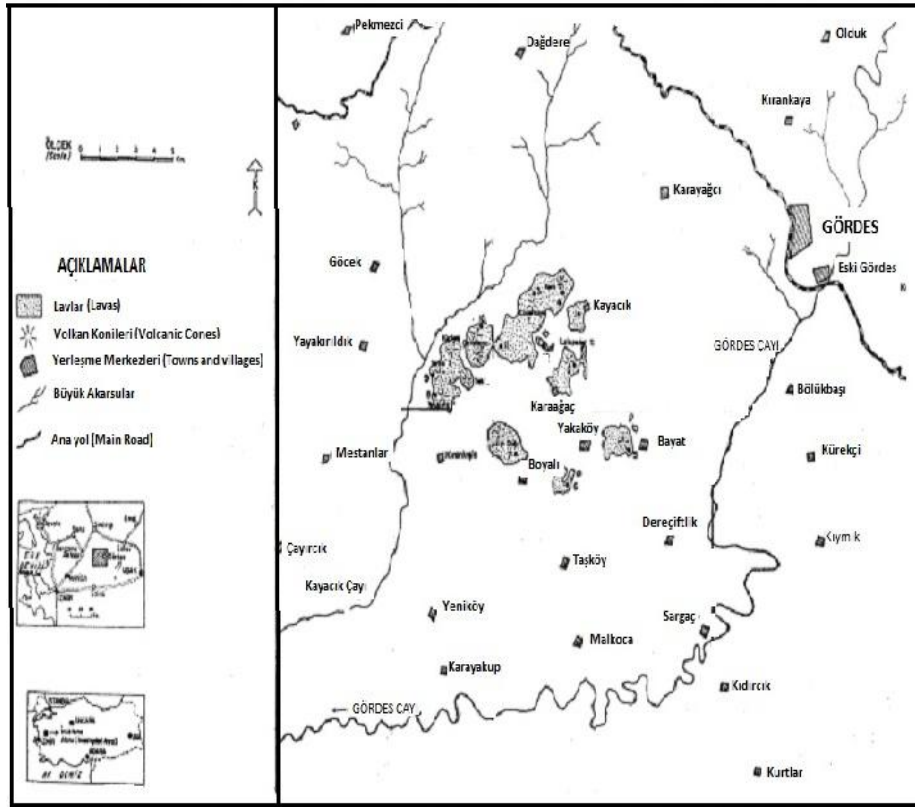
Gördes ve civarında temelde Menderes Masifine ait metamorfik kayalar (Gnays, migmatit, mikaşist, kuvarsit) yüzeylenmektedir. Menderes masifi üzerine Alt Miyosen yaşlı Kürtköyü, Yeniköy ve Çıtak formasyonları uyumsuz olarak gelmektedir. Kürtköyü formasyonu egemen olarak bloktaşı, iri çakıltaşı, çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşur. Kürtköyü formasyonunun üzerine olası sedimanter uyumsuzlukla egemen olarak akarsu ortamında çökelmiş çakıltaşı, kumtaşı ve çamur taşlarından oluşan ayrıca linyit seviyeleri ve üst seviyelerinde de algi kireçtaşı ara düzeylerinin bulunduğu Yeniköy formasyonu gelir.

Yeniköy formasyonu üzerine Küçükderbent formasyonu uyumlu ve geçişli olarak yer alır. Küçükderbent egemen olarak gösel ortamı yansıtan killi kireçtaşı, şeyl, çamurtaşı, kumtaşı tuf ve az oranda bitümlü şeyl araldanmasından oluşur. Bu birimler üzerinde uyumsuz olarak riyolitik tüflerden oluşan Gökyar tufu gelmektedir. Manisa Gördes bölgesinde çoğunlukla klinoptilolit mineralleri, bunların yanında az da olsa höylandit ve analsimli seviyelere de rastlanır. Erken Üst Miyosen'de etkinleşen ve başlıca dasit, riyodasit bileşimli lav ve tüflerden oluşan kalkalkalen volkanizma Küçükderbent gösel çökelimini sona erdirir. Bu volkanikler Karaboldere Volkanitleri olarak tanımlanmıştır. Tüm bu birimlerin üzerine uyumsuzlukla Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter istif gelir. Gördes zeolitleri olarak anılan volkano-sedimanter oluşumlar Gördes Kuzeyinde yer alan Kobaklar volkanizmasından kaynaklanan riyolitik, riyodasitik püskürüklerin o dönemde bir sedimantasyon havzası durumundaki Gördes Gölüne doğru akması ve depolanması ile oluşmuştur (Ulusoy ve Albayrak, 2009).

Batı Anadolu'da, Manisa iline bağlı Gördes ilçe merkezi batısında yer alan volkanik kayalarda yapılan petrolojik inceleme sonuçları verilmiş ve volkanizma oluşum koşulları ile kökeni araştırılmıştır. Üst Miyosen yaşlı volkanitler, tamamen dasit, riyodasit ve riyolit türde olup kalkalkalin niteliktedir. Petrokimyasal özellikleri

göz önüne alındığında, volkanizmanın kıtasal kabuk kökenli olduğu ve anateksi sonucu oluştuğu belirlenmiştir (Ercan, 1983).

Gördes ve Akhisar ilçe merkezleri arasında Gördes çayı ve Kayacık çayı arasındaki havzada Neojen çökel kayaları ve volkanitler yer alır (Şekil 3.6). Özellikle Gördes volkanitleri arazide sivri volkan çivileri (Neck) şekilleri ile uzun yıllardır araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Ercan, 1983). Gördes volkanitleri Balıklı, Boyalı, Kayacık, Karaağaç ve Yakaköy köyleri civarında, Miyosen yaşlı Yeniköy ve Küçükderbent formasyonuna ilişkin çökel kayaları keserek sivri tepeler oluşturmuştur ve tipik volkan çivileri (Neck) çok uzaklardan izlenebilirler. Özellikle Lalapeder Tepe, Cücenkaya Tepe, Tosbıyık Tepe, Kara Tepe, Çatalkaya Tepe, Yellik Tepe ve Azim dağındaki volkan çivileri ilginç görüntüler sunarlar. Lavların yükselmesi esnasında bölgesel domlaşma olayları sonucu yakınlarındaki Miyosen yaşlı çökel kaya katmanlarının eğimleri fazlalaşmış ve 70°-80°lik eğim kazanmışlardır. Pek çok yerde dokanaklardaki çökel kayalarda pişmeler oluşmuştur. Volkanizmanın bitiminden sonra oluşan Alt-Orta Pliyosen yaşlı Ahmetler formasyonu çökelleri ise yatay ve yataya yakın 5°-10° lik eğimlere sahiptirler (Ercan, 1983).

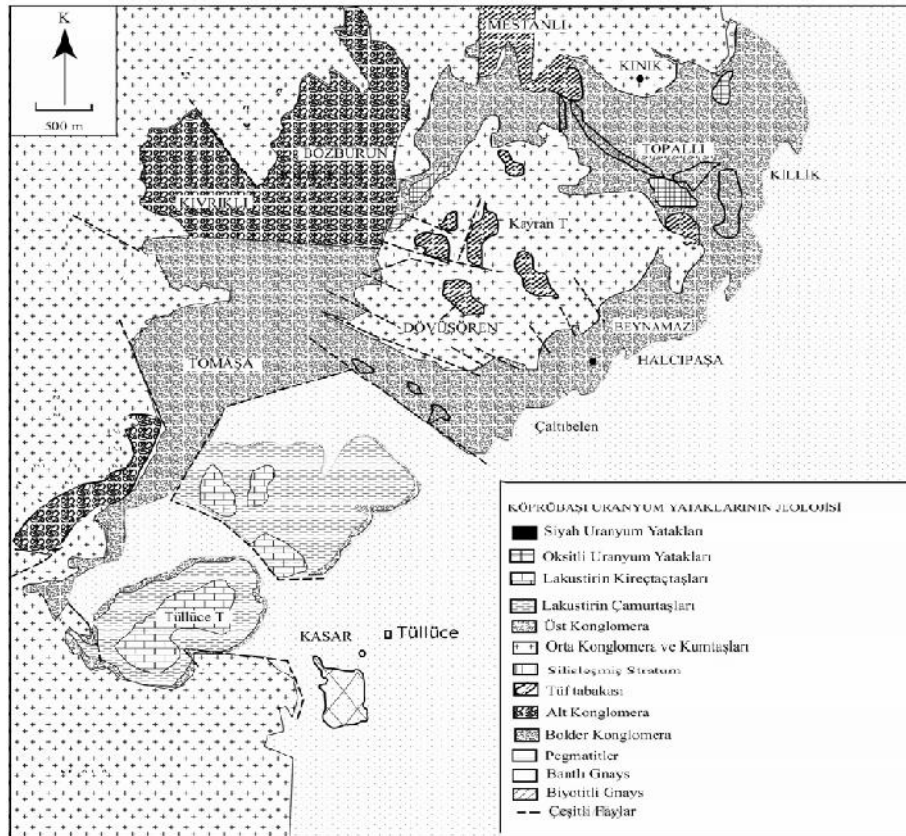


Şekil 3.6. Gördes'in batısındaki volkanitlerin dağılım haritası (Ercan, 1983)

Gördes kuzeyinde ise yine Üst Miyosenyaşlı kalkalkalin nitelikli bir volkanizma etkindir. Bu yörede çalışan Yılmaz (1075), volkanitleri ayrıntılı olarak incelemiş ve volkanizmanın birkaç evreli olduğunu, önce aneazitik lav ve tüflerle başladığını, daha sonra dasit lavları ve riyodasit lav ve tuf ürünleri oluştuğunu ve en son evrede riyolitik lavların yer aldığını belirtmiştir (Ercan, 1979).

3.2.3. Köprübaşı İlçesi

Köprübaşı uranyum yatağı çevresinde iki farklı birim yüzelemektedir. Bunlar Prekambriyen yaşlı Metamorfik Kayaçlar ile Neojen yaşlı akarsu ve göl çökelleridir (Şekil 3.7). Prekambriyen yaşlı metamorfik seri, üzerini örten seriler içindeki derin vadilerde küçük mostralar vermektedir. Menderes Masifi'ne ait olan bu seri bantlı ve biyotit gnays ile bunların içerdikleri pegmatit ve kuvarsit damarlarından oluşmuştur. Bantlı gnayslar orta-iri ve çok iri taneli olup, baskın olarak plajiyoklas, kuvars, muskovit, K-feldispat ve az oranda granat içerir.



Şekil 3.7. Köprübaşı uranyum yataklarının yeri ve jeolojisi (Şaşmaz, 2008)

Biyotit gnayslar ise ince-orta taneli olup, plajiyoklas, kuvars, muskovit, biyotit, K-feldispat ve granatla birlikte az miktarda disten içerir. Metamorfik temel kayalar üzerinde uyumsuz olarak Neojen yaşlı akarsu ve göl çökelleri görülür. Akarsu çökelleri konglomeralar ve kumtaşları ile bunların içerisindeki ince çamur, silt, kil ara tabaka ve merceklerinden oluşmuştur. Bazı alanlarda tüflerin ve silisleşmiş tabakaların akarsu çökelleri ile ardalanması gözlenir. Gölsel birimler en üstte olup, bu birimler tabanda çamur taşları ile başlar, yukarıya doğru beyaz ve yeşil renkli kil katmanları ile devam eder ve en üstte kireçtaşları ile son bulur (Şaşmaz, 2008).

Köprübaşı'nda Neojen alüvyal yelpazesinin çakıltaşı ve kum taşları içinde uzamış mercekler biçiminde bulunan uranyum yataklarının çoğu oksitlenmiştir. Metamorfik temelin hemen kıyısında yer alan oksitli yataklar jarosit-vaylandit tipi ve ilmenit-manyetit tipi olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Oksitlenmemiş uranyum yatakları ise pirit-siderit tipindedir. Kumtaşı ve çakıltaşı içinde uranyum, kayaç hamurunda saçılmış olarak bulunur (Yılmaz, 1982).

Köprübaşı uranyum yataklarında gözlenen detritik mineraller kuvars, feldispat, biyotit, muskovit, rutil, turmalin, zirkon, ilmenit manyetit, apatit ve dişindir; klorit ve illit gibi kil mineralleri de taşınmışlardır. Biyotitler hemen hemen bütünü ile bozmuş ve klorite dönüşmüştür. İlmenitlerin çoğu lökoksit ve anatasa, manyetitler ise limonit veya hematite dönüşmüşlerdir (Yılmaz, 1982).

3.2.4. Sındırgı İlçesi

İçinde mafik volkanitler ile serpantin merceklerini kapsayan ve başlıca meta kilitaşı, meta kumtaşı kireçtaşından oluşan karmaşık seri, Üst Kretase yaşlıdır. Üst Kretase yaşlı bu birim üzerine uyumsuzlukla gelen Tersiyer volkanit topluluğu Miyosen ve Pliyosen'de meydana gelmiştir. Volkanitler bölgede, asidik bileşimli kayaçlarla, bunların tüfleri şeklinde yüzlekler vermektedir (Çakır, 2007). Üst Kretase yaşlı serpantin, radyolarite ve rekristalize kireçtaşlarının oluşturduğu karmaşık birimler, alanda temel kayalarını oluşturur. Oldukça geniş alanlarda mostra veren birimler içerisindeki serpantin seviyeleri kalın, radyolarit seviyeleri ince katmanlıdır. Geçirdiği deformasyona bağlı olarak kıvrımlanmış ve ilksel tabakalanma izlerini kaybetmişlerdir. Radyolarit, kırmızı renklerde olup, farklı seviyelerde karmaşık içerisinde yer almaktadır. Karmaşık içerisinde bulunan

rekristalize kireçtaşları ise 50-100 m arasında kalınlığa sahiptir. Temeli oluşturan ve yukarıda bahsedilen karmaşığın kalınlığı yaklaşık 400 m olarak belirlenmiştir. Temel kayası üzerine açısız uyumsuzlukla gelen diğeri önemli bir kaya türü ise Neojen yaşlı sedimanter (çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve marnlı) ve mafik volkanik (dasit ve tüfler) serilerdir. Sedimanter kayaçları oluşturan çakıltaşları ile başlayan seri üst seviyelerde kumtaşları, silttaşları ve en üst seviyede marnlar ile devam etmektedir. Neojen seriler içerisinde yer alan mafik volkanikleri ise genel olarak dasit ve tüflerden oluşmaktadır (Aksoy ve diğ., 2009). Kaolen oluşumları da üstte Pliyosen yaşlı dasitik tüf-tüfitler ile ilişkili olan birimin orta-üst seviyelerinde bulunmaktadır. Kaolenin içerisinde muhtelif seviyelerde ve yersel küçük mercekler şeklinde opal yuvalanmaları mevcuttur. Bölgede kaolen oluşumunu takiben uyumsuz olarak riyolitik tüfler gelmiştir. Riyolitik tüflerde kaolenleşme gözlenmemektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon ise bölgedeki en genç çökelleri oluşturmaktadır. Sahada gözlenen alüvyon; çakıl, kum, silt türü sedimanların gevşek bir şekilde depolanmaları sonucu oluşmuştur (Çakır, 2007)

Sıcak su çıkışlarına bağlı olarak oluşan traverten ve çevredeki ayrılmış kayalardan oluşan alüvyonlar ise kuvaterner yaşlı birimleri oluşturur. Alüvyonlar Simav çayı yatağı boyunca, travertenler ise jeotermal saha içerisinde yaygın olarak gözlenmektedir. Silisli bir yapı sunan travertenlerin kalınlıkları 50 m'den incedir (Aksoy ve diğ., 2009).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Tez çalışmasında, Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinin doğal radyoaktivitesinin jeolojik yapıyla ilişkisinin incelenmesi amacı ile Akhisar- Gördes-Gölmarmara-Sındırgı alanından toprak, su ve sediment örnekleri Şekil 4.1.'de verilen çalışma alanından toplanmıştır.

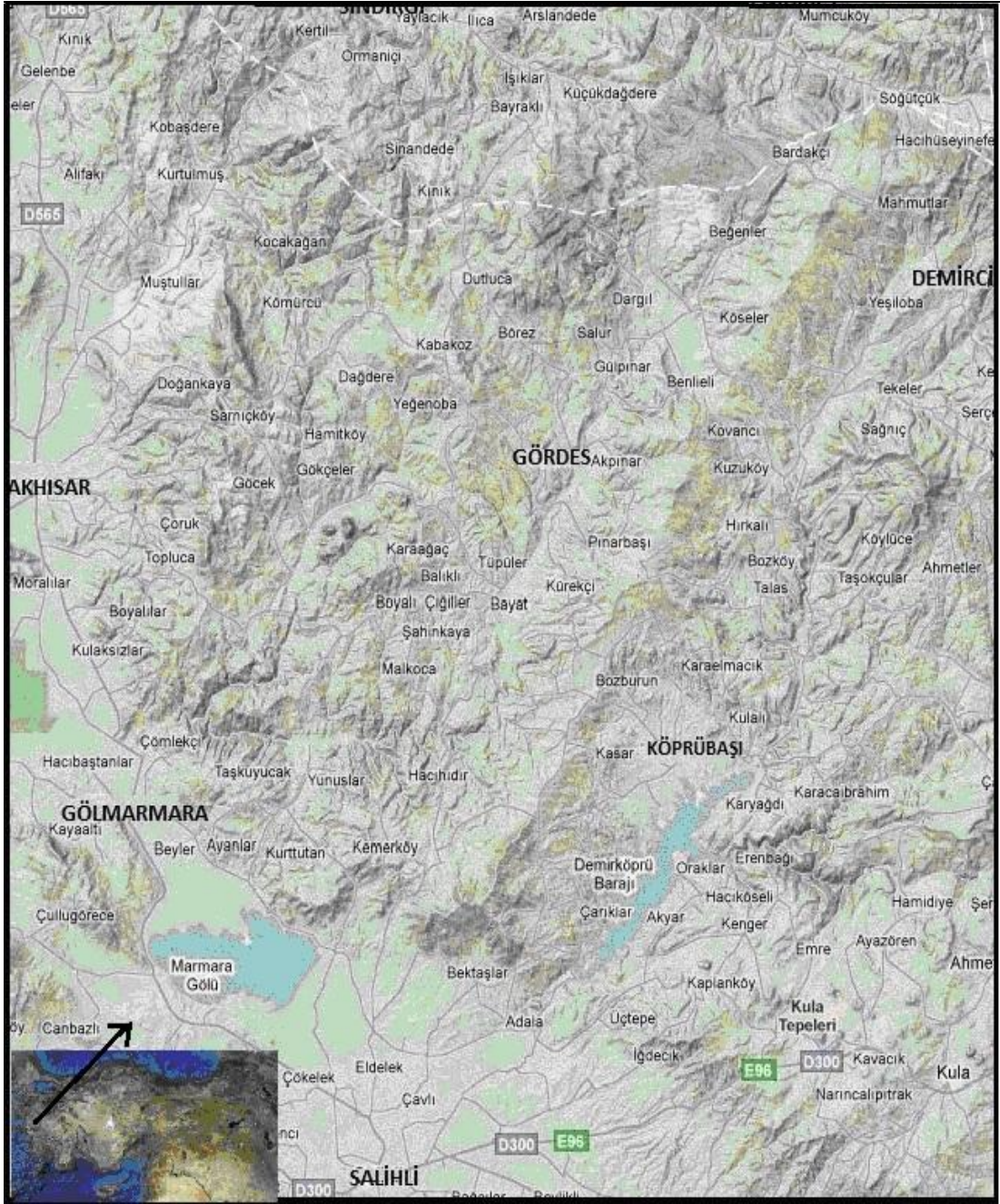
Örnekleme öncelikle ilçe karayolları üzerinden başlanıp daha sonra aracın girebileceği köy yollarına gidilmeye çalışıldı. Toprak örnekleri izlenen yol boyunca her 5 km'de bir, ekim yapılmamış alanlardan yüzey toprağının 10 cm altından alınmasına dikkat edilerek toplandı. Her noktadan yaklaşık 2-3 kg'lık toprak örnekleri alınarak temiz plastik poşetlere koyuldu ve etiketlendi.

İnceleme alanında karşılaşılan çeşmelerden su ve dere yataklarından da sediment örnekleri alındı. Su örnekleri yol boyunca suyu akan çeşmelerden temiz 1L'lik plastik şişelere koyularak toplandı ve etiketlendi. Sediment örnekleri de derelerin sığ olan kısımlarından alındı ve etiketlendi.

İnceleme alanı boyunca toplam 137 tane toprak, 85 tane su ve 38 tane sediment örneği toplandı.

Örnekleme yapılan her bir noktanın koordinatları GARMIN marka GPS cihazları ile belirlendi ve bu noktadaki yüzey gama doz hızları TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) Dose Rate Meter-NEB.211 marka yüzey gama ölçüm cihazı ile ($\mu\text{R/saat}$) olarak ölçüldü. Yüzey gama doz hızları çevrim faktörü kullanılarak nGy/saat olarak hesaplandı.

Örnek toplama işlemi esnasında çalışma alanındaki Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Köprübaşı-Sındırgı ilçe merkezlerine bina içi radon ölçümü yapmak için toplam 160 tane CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri dağıtıldı. Bu filmler bir ay sonra toplandı ve laboratuara getirildi.



Şekil 4. 1. Çalışma alanı (Url-15).

4.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

4.2.1. Binaıçi Radon Ölçümü

Tez çalışması kapsamında Akhisar, Gölarmara, Gördes, Köprübaşı ve Sındırgı ilçelerinde binaıçi radon ölçümü CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri ile yapıldı. İz kazıma dedektörleri ile ilgili bilgiler aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

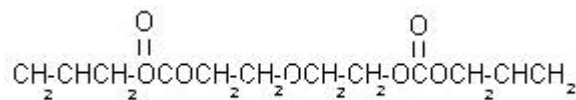
İz Kazıma Filmlerinin Yapısı ve Özellikleri

Katıhal iz kazıma dedektörleri genel olarak özdirenci 2000 Ωcm 'den büyük dielektrik maddelerden veya organik maddelerden yapılmaktadır (Davutoğlu, 2010; Monnin, 1987). Organik olanları (plastik selüloz asetat, selüloz nitrat, polikarbonat, polietilen ve polimerler) olduğu gibi inorganik (cam, mika, mineral, kuvartz) olanları da vardır. Işık geçirgen maddeden yapılan selüloz asetat, selüloz triasetat organik dedektörleri plastik levhanın bir yüzüne 10-1000 μm kalınlığında kaplanarak hazırlanmaktadır. Bu filmler diğer elektromanyetik ışımaldan etkilenmezler, elektronlara karşı duyarsızdırlar. Filmin bulunduğu ortamda gamma veya X-ışınları bulunsa bile yinede kullanılabilirler. Bu çalışmada kullanılan CR-39 filmleri polikarbonat yapıdadır (Topçu, 2010).

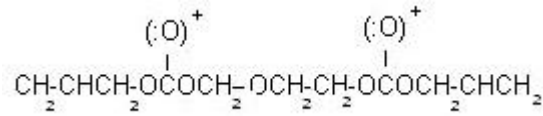
İz kazıma işleminde kullanılan çözeltilerin bazık yapı içermesi yani pH değerlerinin yüksek olması gerekir. Her iki çözelti için pH değerleri pH (NaOH) 12.7, pH (KOH) 13.7 olarak ölçülmüştür. İz kazıma işleminde çözeltilerin yalnız bazık yapı içermesi yeterli değildir. Kazımayı etkileyen çözelti sıcaklığı, çözelti konsantrasyonu, banyo süresi gibi parametrelerin dışındaki bir faktörde su içerisinde çözünecek madde miktarıdır. Bir örnek vermek gerekirse 100 ml'de 0.1 gram $\text{Ca}(\text{OH})_2$ çözünp pH=12 olmasına rağmen su içinde çözünürlüğü çok az olduğu için kazıma işlemini gerçekleştirilemez (Evren, 1992).

CR-39 Filminin Kazınma Reaksiyonu

CR-39 iz kazıma filminin kimyasal yapısı,



gibidir. Yukarıdaki ifade ile verilen CR-39 polimeri alfa radyasyonuna maruz bırakıldığında öncelikle bir iyonizasyona uğrar. İyonizasyon esterik bağlarda olmaktadır. Pozitif yüke sahip alfa parçacığı polimerik yapıdaki CR-39 filmi üzerine etkilediğinde, oksijen atomlarının diğer atomlara göre çaplarının büyük olması ve diğer atomlara daha fazla elektron bulundurmasını göz önüne alındığında ester bağlarındaki oksijen atomları ile etkileşir. Bu etkileşme sonucu alfa taneciği oksijen elektronlarını kopararak onun pozitif konuma gelmesine sebep olur. Alfa taneciği ile etkileşen polimerik yapı aşağıdaki gibi gösterilebilir.



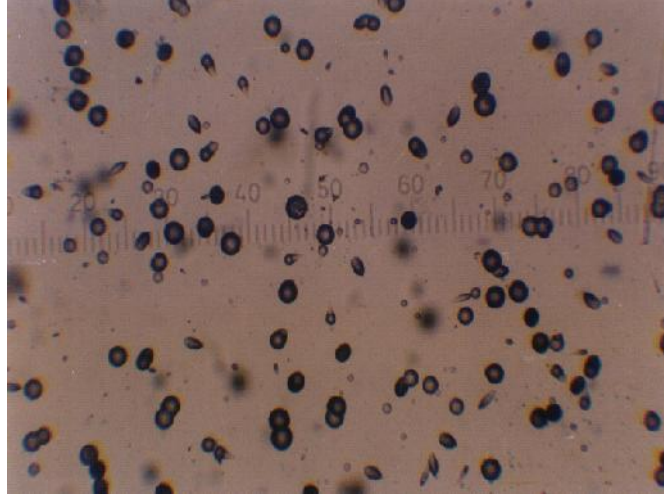
Daha sonra film, NaOH veya KOH çözeltisi ile belirli koşullar altında etkileştiğinde, OH⁻ iyonu içeren çözelti ile pozitif durumda bulunan oksijen etkileşip ester bağlarını kopararak sadece alfa taneciğinin çarptığı yerde bir deformasyona sebep olacaktır. Bütün bu işlemlerden sonra film üzerinde alfa taneciğinin sebep olduğu iz büyüyecek ve izler normal mikroskop altında görülebilir hale gelecektir (Topçu, 2010).

Alfa tanecikleri ile CR-39 İz Kazıma Filmlerinin Etkileşmesi

Radyoaktif bozunma sonucu yayımlanan yüklü tanecikler herhangi bir madde ile veya yüzeyle karşılaştıklarında enerjilerinin bir kısmını veya tamamını maddeye veya yüzeye bırakır. Bu çarpışma esnasında maddenin yüzeyinde herhangi bir hasar meydana getirme kabiliyeti, taneciğin türüne, taneciğin sahip olduğu enerjiye ve maddenin cinsine bağlıdır. Alfa tanecikleri diğer radyasyon türlerine göre daha fazla enerjiye sahip ağır taneciklerdir. Ağır ve elektriksel yüklü olduğu için madde içerisindeki menzilleri oldukça kısadır. Çünkü tanecikler madde içerisinden geçerken yolları boyunca enerji transferi ederler. Ortam içindeki moleküllerle ya da atomlara ait elektronlarla coulomb etkileşmesi yapan yüklü tanecikler enerjisini yitirerek madde içerisinde dururlar. Çok sayıda uyarılma ve iyonlaşma ile iyon yolu boyunca yapısal hasar oluştururlar.

Tez çalışmasında toplam 160 tane CR-39 nükleer iz kazıma dedektörü Akhisar, Gölarmara, Gördes, Köprübaşı ve Sındırgı ilçelerine dağıtıldı. Filmler plastik kapların dibine yerleştirildi ve bir ay boyunca evlerde bırakıldı. Bir ay

sonunda dağıtılan 160 tane filmden sadece 137 tanesine ulaşılabildi. Toplanan CR-39 filmler, 70°C sıcaklıkta %20 NaOH çözeltisi içinde 10 saat süre ile banyo edilip aşınma işlemine tabi tutuldu. 10 saatlik süre sonunda alınan filmler oda sıcaklığında destile su ile yıkanmış ve temiz bir ortamda kurumaya bırakıldı.



Şekil 4.2. Alfa taneciklerinin CR-39 film üzerinde bıraktığı izler.

Şekil 4.2’de görülen film üzerindeki izlerin sayımı 10x10 büyütmeli optik mikroskopla yapılmıştır. Detektör üzerindeki zayıf sayım istatistiğinden kaçınmak için rutin olarak 1 cm²’lik detektör alanı sayılmıştır. Bir cm²’yi 100 mm²’ye bölen özel ölçekle mm²’deki iz sayıları toplanıp, ortalaması alınmıştır. iz/mm².saat olarak bulunan iz değerleri aşağıdaki uygun kalibrasyon faktörü

$$1 \text{ iz/mm}^2 \cdot \text{saat} = 5 \text{ kBq/m}^3 \quad (4.1)$$

kullanılarak Bq/m³’e dönüştürülmüştür (Ereeş ve diğ., 2005).

Radon konsantrasyonları değerlerinden yıllık efektif doz Ereeş’in 2006 yılında yaptığı çalışmada kullandığı

$$1 \text{ Bq/m}^3 = 0.05 \text{ mSv/yıl} \quad (4.2)$$

çevrim faktörü kullanılarak hesaplanmıştır (Ereeş ve diğ., 2006).

4.2.2. Toprak ve Sediment Örneklerindeki Çalışmalar

4.2.2.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Ölçümü

Arazi çalışması ile toplanan 137 toprak ve 38 sediment örneği laboratuara getirilip yaş olan toprak ve sediment örnekleri açık havada kurumaya bırakıldı. Toprak örnekleri 30°C’de kurutulup elendikten sonra her bir toprak örneğinden 20 gram alındı, cam beherlere kondu ve üzerlerine 50 mL saf su ilave edilip bir gün bekletildikten sonra WTW marka Multi 340İ/SET ile pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk ölçümleri yapıldı (Url-1, 2010).

4.2.2.2. CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü

Araziden toplanan 137 toprak ve 38 sediment örneğinin radon konsantrasyonu CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak yapıldı.

Toprak ve sediment örnekleri 50°C’de kurutulduktan sonra öğütüldü 100 gram tartılıp, çapı 5.5 cm boyu 15 cm olan plastik şişelere koyuldu. Plastik şişelerin üst kısmına CR-39 filmler yerleştirilip, kutular sıkıca kapatıldı ve 1 ay süre ile bekletildi. 1 ay sonunda CR-39 filmler kimyasal banyo işlemine (70°C’de, %20’lik NaOH çözeltisi, 10 saat) tabi tutuldu, filmler saf su ile yıkanıp kurutulduktan sonra 10x10 büyütmeli optik mikroskopla sayıldı. İz değerlerinden radon aktivitesi Eşitlik (4.1) deki dönüşüm faktörü kullanılarak Bq/m³ olarak hesaplandı.

Yüzey alanı başına radon soluma hızı

$$E = \frac{CtV\lambda}{S \left[t - \frac{(1 - e^{-\lambda t})}{\lambda} \right]} \quad (4.3)$$

eşitliği kullanılarak hesaplandı (Maged ve Borham, 1997).

Burada E, bina materyallerinden ortalama radon soluma hızıdır (Bq/m²saat); C, CR-39 nükleer iz kazıma dedektörü ile ölçülen ortalama radon konsantrasyonudur (Bq/m³); t, maruziyet süresidir (30 gün = 720 saat); V, boş kap hacmidir (0.33x10⁻³ m³); λ, radon bozunum sabitidir (λ = 0.693/T_{1/2}) ve S, radonun yayıldığı yüzey alanıdır (m²).

Deneyde kullanılan plastik şişenin boyutları; çapı 5.5 cm; boyu 15 cm'dir. Buradan yüzey alanı $S = 0.002375 \text{ m}^2$ 'dir. Plastik kutunun hacmi $V = 0.33L$ 'dir.

Yüzey alanı başına radon soluma hızı

$$E = \frac{\rho h}{\eta} \left[\frac{\lambda}{t - (1/\lambda)(1 - e^{-\lambda t})} \right] \quad (4.4)$$

formülüyle de hesaplanabilir (Baykara, 2005).

Burada ρ , CR-39 dedektörü ile ölçülen iz yoğunluğu; λ , Rn-222'nin bozunma sabiti; η , dedeksiyon verimliliği; h , örnek kabının yüksekliği.

Toprak örneklerindeki efektif radyum içeriği,

$$C_{Ra} = \frac{\rho V}{\eta M T_{eff}} \quad (4.5)$$

kullanılarak hesaplanmıştır (Baykara, 2005). Burada ρ , CR-39 dedektörü ile ölçülen iz yoğunluğu; V , örnek kabının hacmi, η , dedeksiyon verimliliği; M , örneğin kütlesi (kg); T_{eff} , efektif maruz kalmadır ($T_{eff} = T + 1/\lambda (e^{-\lambda T} - 1)$).

4.2.2.3. Gama Spektrometresi ile Radyoaktivite (eU, eTh ve %K) Ölçümü

Araziden toplanan toprak ve sediment örneklerinin uranyum, toryum ve potasyum ölçümleri gama spektrometresi ile yapılmıştır. Gama spektrometresi ile uranyum, toryum ve potasyum ölçümü ile ilgili ayrıntılı bilgi aşağıda verilmiştir.

Toprak örnekleri içinde U, Th ve K değişik konsantrasyonlarda ve birlikte bulunurlar. Alınan spektruma bu üç elementten de katkı gelmektedir. Bu katkılar ve konsantrasyonlar belirli formüllerle tayin edilmektedir.

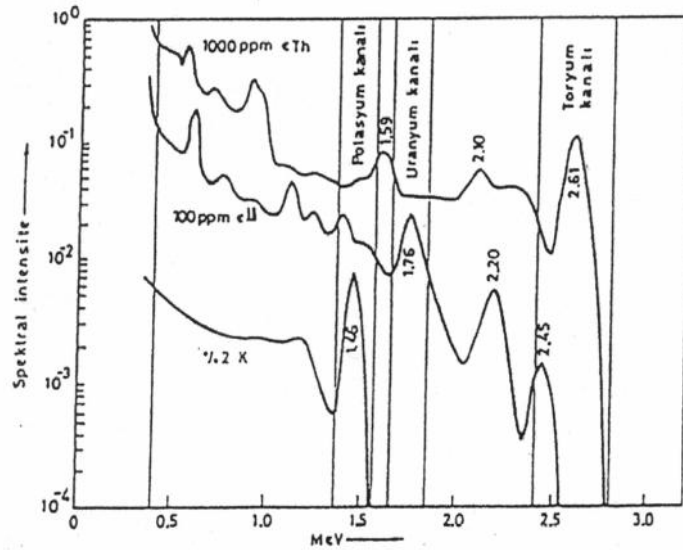
Potasyum spektrumu, tek enerjili gama kaynağına karşı NaI(Tl) dedektörünün tipik bir cevabıdır. K-40 pikinin enerjisi 1.461 MeV gama ışınının compton saçılması yapmasından ileri gelmektedir. Uranyum spektrumu, çok sayıdaki değişik gama enerjili ürün radyonüklidlerden dolayı potasyuma nazaran daha komplekstir. Spektrumda Bi-214'den gelen 1.76 MeV enerjili gama piki, örnek içindeki eU'yu tespit etmek için kullanılır. Toryum spektrumunda, ürün radyonüklidlerin bozunmasıyla oluşan birçok gama ışını pikine sahiptir. Bunların en önemlisi Tl-208'dir. Bu pik, eTh'ü tespit etmek için kullanılır. Toprak örneklerinde K, U, Th tayini yapmak için spektrumlarda bu anlattığımız gama enerjilerine karşılık gelen

enerji aralıkları seçilir. Seçilen enerji aralığına düşen net sayımdan dolayı, örnek konsantrasyonunu hesaplamak için o enerji aralığına diğer elementlerden gelen gama ışınlarının katkısının çıkarılması gerekir (Çam, 2004).

Toryum Kanalı: Toryum için seçilen kanallardaki sayımların %86'sı toryumdan, %2'si uranyumdan, geri kalanda art ortamdan gelmektedir. Şekil 4.3'deki gibi uranyum spektrumundaki Bi-214'ün 1.76 MeV enerjili gama pikinden bu kanala küçük bir katkı gelir.

Uranyum Kanalı: Spektrumda uranyum için seçilen kanallara toryumdan ihmal edilmeyecek katkılar gelir. Toryum serisinden Tl-208'in 2.614 MeV enerjili gamasından kaynaklanan tek kaçak pik 2.10 meV'de ve çift kaçak pik 1.59 MeV'de oluşur. Uranyumu saptamakta kullanılan 1.76 MeV gama enerjisine sahip pik, bu iki enerji arasındadır (Şekil 4.3). Bunlardan başka toryum serisinde Ac-228'in 1.588 MeV enerjili gaması da uranyum kanalındaki sayımlara katkıda bulunur. Bu yüzden, uranyum kanallarındaki sayımlar uranyum konsantrasyonu hesabında doğrudan kullanılmazlar.

Potasyum Kanalı: Bu kanaldaki sayımların çoğu art ortamdan kaynaklanmaktadır. Sistemin bulunduğu yerdeki ortamdan, bu kanala gelen katkılar %65 dolayındadır. Toryum ve uranyumdan gelen katkılar %15-20 arasındadır. Bu kanallardaki sayımlarda doğrudan konsantrasyon hesabında kullanılmaz.



Şekil 4.3. Potasyum, Uranyum ve Toryum kanallarına gelen katkılar (Çam, 2004)

Potasyum, uranyum, toryum konsantrasyonlarını saptamak için seçilen kanallardaki katkıları uygun faktörlerle çıkarmak gerekir. Bu katkı oranlarını geometriye ve spektrometrenin çeşitli ayarlarına bağlı olarak veren faktörlere ‘Sıyırma’ (Stripping) oranları denir. Net sayımlardan %K, ppm eU, ppm eTh olarak konsantrasyona geçmeyi sağlayan faktörlere de ‘Duyarlılık’ faktörleri denir (Çam, 2004).

Duyarlılık Faktörleri:

$$K_1 = \frac{C(Th)}{Th(ppm)} \quad K_2 = \frac{C(U)}{U(ppm)} \quad K_3 = \frac{C(K)}{K(\%)} \quad (4.6)$$

C(Th): Toryum kanalındaki net sayım.

Th(ppm): Hazırlanan standart kaynağın ppm olarak değeri.

C(U): Uranyum kanalındaki net sayım.

U(ppm): Hazırlanan standart kaynağın ppm olarak değeri.

C(K): Potasyum kanalındaki net sayım.

%K: %olarak potasyum miktarı.

Sıyırma Oranları:

α = Toryumdan Uranyuma gelen katkı / Toryum net sayımı

β = Toryumdan Potasyuma gelen katkı / Toryum net sayımı

γ = Uranyumdan Potasyuma gelen katkı / Uranyum net sayımı

Hazırlanan uygun standartlar ile duyarlılık faktörleri ve sıyırma oranları saptandıktan sonra, örnek içindeki konsantrasyonlar aşağıdaki eşitlikler tarafından bulunur.

$$eTh(ppm) = \frac{C(Th)}{K_1} \quad (4.7)$$

$$eU(ppm) = \frac{1}{K_2[C(U) - \alpha.C(Th)]} \quad (4.8)$$

$$\%K = \frac{1}{K_3.[C(K) - \gamma.[C(U) - \alpha.C(Th)] - \beta.C(Th)]} \quad (4.9)$$

Örneklerin K-40, U-238 ve Th-232 aktivitesi,

$$\%1K = 296 \text{ Bq/kg} \quad (4.10)$$

$$eU (1\text{ppm}) = 12.58 \text{ Bq/kg} \quad (4.11)$$

$$eTh (1\text{ppm}) = 4.07 \text{ Bq/kg} \quad (4.12)$$

dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır (Barış, 2006).

Eşdeğer Radyum Hesabı

Ra-226, Th-232 ve K-40'ın aktivite düzeyleri ile ilgili radyasyon zararlarını içine alan tek bir nicelikle ifade etmek için yaygın bir radyolojik indeks getirilmiştir. Bu indeks eşdeğer radyum aktivitesidir. Yerden 1 metre yükseklikteki efektif eşdeğer doz oranını, belirli deneysel aktivitelerle tahmin etmek mümkündür. Eşdeğer radyumun hesabı için analiz edilen radyonüklid dağılımının uniform olmadığını düşünmek gerekir. Eşdeğer radyum hesabı, temel radyonüklidlerin ölçümü ile gerçekleştirilir. Eşdeğer radyum aktivitesi yada basitçe eşdeğer radyum, U-238 (Ra-226), Th-232 ve K-40 serilerindeki, gama yayınlayıcıların katkılarından gelen dış maruziyeti tahmin etmek için kullanılan bir parametredir (Junior ve diğ., 2010; Diab ve diğ., 2008).

Eşdeğer radyum aktivitesi,

$$e(\text{Ra}) = C_U + 1.43 C_{\text{Th}} + 0.077 C_K \quad (4.13)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Burada C_U , C_{Th} ve C_K sırasıyla U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonlarıdır (Bq/kg). Yukarıdaki bağıntıda 10 Bq/kg'lık Ra-226, 7 Bq/kg'lık Th-232 ve 130 Bq/kg'lık K-40'ın eşit gama dozu ürettiği varsayılmıştır. (Junior ve diğ., 2010; El-Daly, 2008; Diab ve diğ., 2008).

Çalışmada Kullanılan Gama Spektrometre Sistemi

Çalışmamızda 3" x 3" (inçlik) NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçümler yapıldı. Sistemi oluşturan parçalar şunlardır: NaI(Tl) sintilasyon dedektörü, fotoçoğaltıcı tüp, tüp ayağı ve preamplifikatörü, Ortec model 478 Volt yüksek voltaj kaynağı, Ortec Maestro bilgisayar programlı puls yüksekliği analizöründen oluşmaktadır. Dedektör sistemi ve örneğin bulunduğu odacığın yüksekliği yaklaşık olarak 45 cm, çapı 25 cm'dir. Tabanlarda ve yan yüzlerde kurşun bloklar bulunmaktadır. Kurşunun konmasının sebebi, bina yapı malzemelerinden ve

çevreden gelebilecek radyasyonu en aza indirmektir. Gama spektroskopisi çalışma sistemi Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Gama spektroskopisi çalışma sistemi.

Gama spektrometresinde işlem yapabilmek için spektrometrenin kalibrasyonu şarttır. Diğer bir deyişle standart gama kaynaklarından alınan gama ışınları çok kanallı analizör kullanılarak kanal sayısı ile gama enerjisi arasındaki kalibrasyon doğrusu çizilmelidir. Çalışma esnasında, kullanılan gama enerjileri bölgesinde spektrometrenin enerji lineerliği sürekli kontrol edilmelidir. Enerji kalibrasyonu yapılırken, dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise spektrometrenin ölü zamanının her zaman aynı olmasıdır. Spektrometre Co-60 ve Cs-137 standart kaynaklarının 1.17 MeV, 1.33 MeV ve 0.662 MeV gama enerjileri kullanılarak kalibre edilmiştir.

Araziden toplanan 137 toprak ve 38 sediment örneği 50°C’de kurutulduktan sonra öğütüldü, 100 gram tartılıp, yüksekliği 6,5 cm, eni 4,5 cm genişliği 3,5 cm olan plastik kutulara yerleştirildi ve radonun kaçmaması için kutular sıkıca kapatıldı. Örnekler içindeki radyum ve ürünleri arasındaki radyoaktif dengenin oluşması için en az 30 gün beklendi. NaI(Tl) dedektörü kullanılarak bekleme sonunda örneklerin toplam gama sayımları ve ayrıca çok kanallı analizörde K-40, U-238 (Bi-214) ve Th-232 (Tl-208) ait (sırasıyla 1.46 MeV, 1.76 MeV ve 2.61 MeV) enerjilerine karşılık gelen gama piklerinin altındaki alanlardan gidilerek elementlere ait gama sayımları Eşitlik (4.6), (4.7), (4.8) ve (4.9) kullanılarak ppm olarak elde edilmiştir. Örneklerin

K-40, U-238 ve Th-232 aktivitesi, Eşitlik (4.10), (4.11) ve (4.12) kullanılarak hesaplandı.

4.2.3. Su Örneklerindeki Çalışmalar

4.2.3.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Ölçümü

Arazi çalışması ile toplanan 85 su örneğinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk ölçümleri de WTW marka Multi 340İ/SET ile yapıldı.

4.2.3.2. Alkalite Ölçümü

85 su örneğinden 50 mL alınıp üzerine 3-4 damla fenolftalain (FF) damlatıldı. Renk pembe olduğunda, örneğin rengi kaybolma kadar 0.02 N H₂SO₄ ile titre edildi. Ne kadar sarfiyat yapıldığı kaydedildi. Sonra su örneğinin üzerine 3-4 damla metil oranj (MO) ilave edildi. Renk sarıdan kırmızıya dönene kadar 0.02 N H₂SO₄ ile titre edildi. Sarfiyatın ne kadar olduğu kaydedildi. Aşağıdaki formül kullanılarak su örneklerinin alkalitesi hesaplandı (Abalı ve diğ., 2002).

$$\text{Toplam Alkalite (CaCO}_3\text{) (ppm)} = \frac{N \times S \times 50 \times 1000}{\text{Örnek (mL)}} \quad (4.14)$$

N: Asidin normalitesi

S: Toplam sarfiyat

50: CaCO₃'ün ekivalent gramı

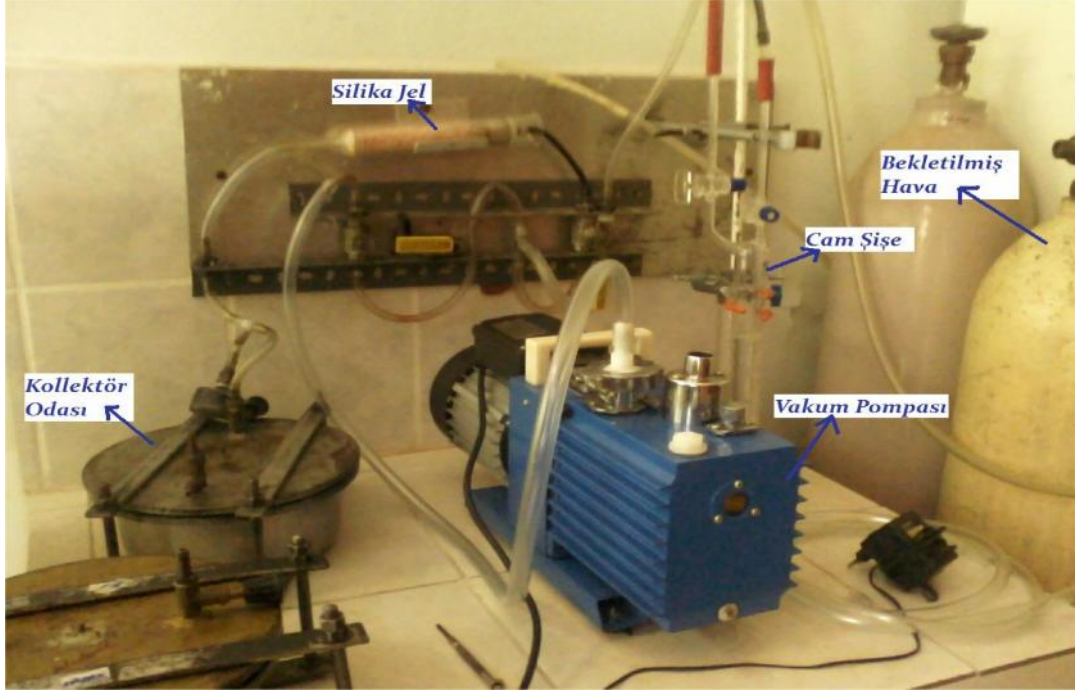
Örnek (mL): kullanılan su örneği.

Su örneklerinin kimyasal ölçümleri tamamlandıktan sonra su örneklerinin diğer deneylere hazır hale gelmesi için asitlendirildi ve pH 2'ye düşürüldü.

4.2.3.3. Radyum Ölçümü

Araziden toplanan 85 su örneğinin radyum ölçümleri için Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilen kollektör yöntemi kullanıldı. Kollektör yöntemi ile sulara radyum konsantrasyonunu belirlemek için Şekil 4.5'de verilen deney düzeneği kullanıldı. Sistem genel olarak h = 8.7 cm, r = 9.5 cm (V = 2.47 L) boyutlu paslanmaz çelikten yapılmış silindirik şekilde kollektör odası ve bundan izole edilmiş şekilde önyüzü iletken (bakır) arka yüzü yalıtkan 4.5cm çaplı

dairesel kollektör plakası, 30 cm yükseklik ve 3 cm genişlikte cam şişe, yüksek voltaj kaynağı (600 VDC) ve alfa sayım cihazından oluşan elektronik sistemdir.



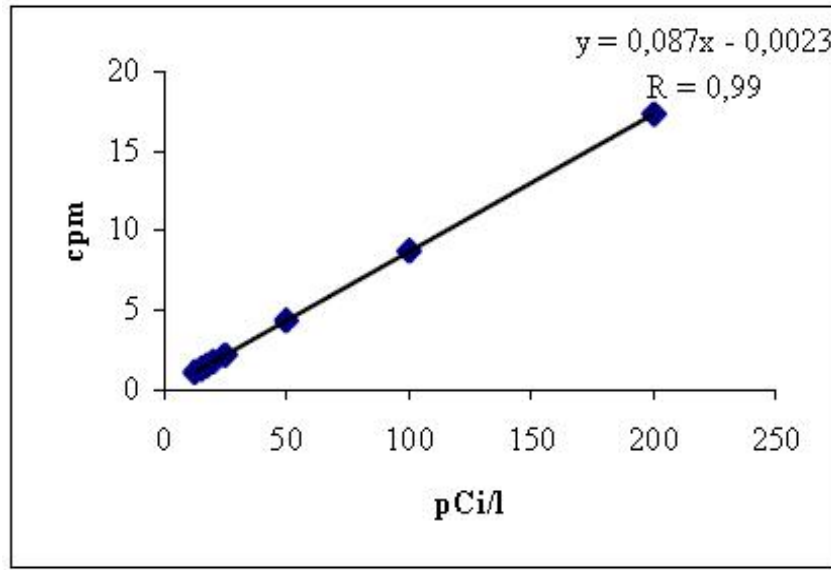
Şekil 4.5. Kolektör yöntemi ölçüm sistemi.

Akhisar, Gölmmarmara, Gördes ve Sındırgı bölgesinden toplanan 85 su örneğinin 100 ml alınarak cam şişelere koyuldu. Çevresel su örnekleri genellikle çözülmüş olarak radyum ve radon içerir. Bununla beraber yaygın olarak radyoaktif dengede bulunmaz. Denge süresi yaklaşık 43 gün'dür. Bu sürenin bitiminde cam şişedeki radon konsantrasyonu maksimumdur. Ölçüm süresini kısaltmak için su örneğinin cam şişede bekleme süresi 7 gün olarak alınır. Bu süre sonunda denge kesri 0.719 olarak oluşur. Bu yüzden 100 ml alınan su örnekleri cam şişelerde 1 hafta bekletildi. Sonra şişelerin üst kısmında oluşan radon gazı vakum yapılmış kollektör odasına aktarıldı. Aktarma işleminde, su içerisinden geçirilen gaz nemli olacağından, kollektör odasına alınmazdan önce nem çekici silika jel ile doldurulmuş bir tüp nem çekici olarak kullanıldı. Vakum göstergesi sıfıra gelinceye kadar işleme devam edildi. Kollektör odasının kapağındaki vanalar sıkıca kapatıldı. Radon ve ürünlerinin dengeye gelmesi için 4 saat süreyle bekletilmiş ve bu sürede kollektör odası pozitif, kollektör plakası negatif olmak üzere 600 VDC lik bir potansiyel uygulandı. Radonun bozunumu sonucu oluşan ürünleri, voltajın etkisi ile kollektör plakasının ön yüzeyine toplandı. Çünkü alfa parçacıklarının çekirdekten çıkışları sırasında,

yörünge elektronlarını götürmesinden dolayı radonun bozunum ürünlerinin büyük bir kısmı pozitif iyonlar olarak oluşur (Saç., 1994).

4 saat sürenin sonunda kollektör plakaları kollektör odasından alınarak alfa sayım cihazında (SAC-4 Eberline Sintilasyon Alfa Sayıcısıdır. Plastik boru üzerinde ZnS(Ag) tozu) 20 dakika süre ile sayılarak toplam alfa aktiviteleri ölçüldü.

Şekil 4.6'da verilen kalibrasyon grafiği kullanılarak radyum konsantrasyonları pCi/L olarak hesaplandı. Radyum konsantrasyonları Bq/L biriminde hesaplayabilmek için 0.037 Bq/pCi sabiti ile çarpıldı (Saç., 1994).



Şekil 4.6. Ra-226 ölçümlerinde kullanılan sistemin kalibrasyon grafiği (Saç,1994).

4.2.3.4. CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Ölçümü

Arazi çalışması ile toplanan 85 su örneğindeki radon konsantrasyonu ölçmek için CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanıldı. Su örneklerinden 500ml alınarak yarıçapı 4.5 cm ve uzunluğu 20 cm olan plastik şişelere koyuldu. Radon ve ürünlerinin radyoaktif dengeye ulaşabilmesi için bir aydan daha fazla süre şişenin sıkıca kapalı tutulması gerekir. Böylece radon gazının, şişe hacmi içerisinde tutulması ve ayrıca radon ürünlerinin örnek içinde kalması sağlanmış olacaktır. CR-39 polikarbonat filmler 1x1 cm boyutunda kesilip, Özel hazırlanmış 1 litrelik plastik şişelerin ağız kısmında olacak şekilde sıkıca kapatıldı ve 3 ay boyunca bekletildi.

3 ay boyunca radon ve ürünlerinden yayınlanan alfalara maruz kalan CR-39 filmler (dedektörler) toplandı ve kimyasal banyo işlemine (70°C'de, %20'lik NaOH

çözültüsü, 10 saat) tabii tutuldu, filmler saf su ile yıkanıp kurutulduktan sonra 10x10 büyütme optik mikroskopla sayıldı. İz değerlerinden radon aktivitesi Eşitlik (4.1) deki dönüşüm faktörü kullanılarak Bq/m³ olarak hesaplandı.)

Sudaki radon konsantrasyonu ($A_{Rn(su)}$),

$$A_{su} = \frac{\lambda \cdot C \cdot h \cdot T}{L} \quad (4.15)$$

kullanılarak hesaplanmıştır (Baykara ve Doğru, 2006). Burada λ , Rn-222'nin bozunma sabiti; C, Radon konsantrasyonu (Bq/m³); h, plastik şişedeki suyun dedektöre olan uzaklığı; T, örneğin maruziyet zamanı; L, şişedeki su örneğinin derinliğidir.

Su örneğindeki radon soluma hızı (E_{su}),

$$E_{su} = \frac{\rho \cdot V \cdot \lambda}{\eta \cdot A \cdot T_{eff}} \quad (4.16)$$

kullanılarak bulunmuştur (Baykara ve Doğru, 2006). Burada ρ , CR-39 dedektörü ile ölçülen iz yoğunluğu; V, örnek kabının hacmi, λ , Rn-222'nin bozunma sabiti; η , dedeksiyon verimliliği; A, örnek kabının yüzey alanı; T_{eff} , efektif maruz kalmadır ($T_{eff} = T - 1/\lambda(1 - e^{-\lambda T})$).

Efektif radyum içeriği,

$$C_{Ra} = \frac{\rho \cdot V}{\eta \cdot K \cdot T_{eff}} \quad (4.17)$$

kullanılarak hesaplanmıştır (Baykara ve Doğru, 2006). Burada ρ , CR-39 dedektörü ile ölçülen iz yoğunluğu; V, örnek kabının hacmi; η , dedeksiyon verimliliği; K, su örneğin hacmi; T_{eff} , efektif maruz kalmadır ($T_{eff} = T - 1/\lambda(1 - e^{-\lambda T})$).

Sudaki Rn-222 ve Ra-226'dan kaynaklanan dozu hesaplamak için

$$\text{Rn-222 için : } 6 \text{ nSv/Bq} \quad (4.18)$$

$$\text{Ra-226 için : } 2.8 \times 10^{-4} \text{ mSv/Bq} \quad (4.19)$$

dönüşüm faktörleri kullanılmıştır (Baykara, 2006).

5. BULGULAR

5.1.YÜZEY GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜM SONUÇLARI

Çalışma alanı olarak seçtiğimiz Akhisar-Göğdes-Gölmarmara-Sındırgı arasında kalan bölgeden toplamda 137 tane toprak örneği, 85 tane su örneği ve 38 tane sediment örneği toplanmıştır. Aynı zamanda örnekleme yerlerinin koordinatları ve doz hızları belirlenmiştir.

Çalışmada Akhisar-Göğdes-Gölmarmara-Sındırgı alanından izlenen yol boyunca her 5 km'de bir alınan toprak örneklemlerinin kodu, karşılaşılan çeşmelerden alınan su örneklemlerinin kodu, derelerden alınan sediment örneklemlerinin kodu, örnekleme yapılan noktaların belirlenen 35S-UTM koordinat değerleri, $\mu\text{R/saat}$ olarak ölçülen yüzey gama doz hızları ve hesaplanan nGy/saat doz hızları sırasıyla Çizelge 5.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi Akhisar-Göğdes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinde örnekleme yerlerinin alındığı noktalarda yerden 1 metre yükseklikte ölçülen yüzey gama doz hızları 9.39-28.06 $\mu\text{R/saat}$ aralığında ortalama 15.79 $\mu\text{R/saat}$ olarak bulundu. Bu değerlerden hesaplanan doz hızı değerleri 81.69-244.122 nGy/saat aralığında ve ortalama 137.40 nGy/saat olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden toplanan toprak, su ve sediment örneklerinin koordinatlara göre TAEK Dose Rate Meter-NEB.211 ile $\mu\text{R/saat}$ olarak ölçülen ve nGy/saat olarak hesaplanan yüzey gama doz hızları.

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen ($\mu\text{R/saat}$)
1	A1	1			4306886	570642	136.33	15.67
2					4306896	570639	122.50	14.08
3	A2	2	1		4312342	572866	124.50	14.31
4	A3	3			4312342	574828	124.41	14.30
5	A4	4			4316944	576518	111.80	12.85
6	A5	5			4315043	580102	138.59	15.93
7	A6	6			4316989	583352	117.62	13.52
8			2		4316084	585630	98.75	11.35
9				1	4315168	586419	114.58	13.17
10	A7	7			4314327	587080	117.28	13.48
11				2	4314923	586594	145.99	16.78
12			3		4314100	587743	139.03	15.98
13			4		4314054	587989	119.54	13.74
14	A8	8			4313955	588324	124.67	14.33
15			5		4314337	589249	135.55	15.58
16			6		4314896	590392	132.07	15.18
17	A9	9			4316390	591742	119.02	13.68
18	A10	10			4317174	592273	113.10	13.00
19	A11	11			4317174	592273	113.10	13.00
20	A12	12			4317242	596266	141.03	16.21

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
21			7		4317378	597722	140.77	16.18
22	A13	13			4315630	599891	85.70	9.85
23			8		4315742	600290	118.76	13.65
24			9		4315942	600621	102.66	11.80
25	A14	14			4316861	601140	127.02	14.60
26					4316861	601140	127.02	14.60
27			10		4316809	602651	129.80	14.92
28			11		4316809	602651	129.80	14.92
29	G1	15	12		4316219	604207	130.07	14.95
30	G2	16	13		4316147	604410	105.10	12.08
31			14		4315320	605032	118.58	13.63
32	G3	17			4313518	608502	234.90	27.00
33	G4	18			4310691	610783	145.81	16.76
34	G5	19			4308332	611094	140.59	16.16
35			15		4308332	611094	140.59	16.16
36				3	4307709	612508	159.91	18.38
37			16		4307509	612837	125.45	14.42
38	G6	20			4306159	612227	121.80	14.00
39	G7	21		4	4304068	611994	142.51	16.38
40	G8	22			4301260	613465	131.98	15.17
41			17		4301686	614814	99.18	11.40
42	G9	23		5	4300751	615309	163.13	18.75
43	G10	24		6	4299649	613842	118.06	13.57

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
44	K1	25			4295046	613966	147.90	17.00
45	K2	26			4293584	617693	106.92	12.29
46	K3	27	18		4291483	620360	129.20	14.85
47				7	4290592	620935	127.54	14.66
48			19		4290592	620935	127.54	14.66
49					4260889	599223	118.67	13.64
50	S1	28			4261805	599605	120.50	13.85
51	S2	29		8	4264137	598970	175.13	20.13
52				9	4264071	599041	119.45	13.73
53				10	4264071	599041	119.45	13.73
54	S3	30			4266411	595547	141.03	16.21
55	Gm1	31		11	4268510	591787	128.33	14.75
56	Gm2	32			4270793	587559	137.55	15.81
57	Gm3	33			4272220	583265	113.45	13.04
58	Gm4	34		12	4275423	581747	126.41	14.53
59	Gm5	35			4279921	582504	112.49	12.93
60	Gm6	36	20		4284128	580737	98.31	11.30
61					4285793	579909	118.49	13.62
62	Gm7	37		13	4288501	580591	87.96	10.11
63				14	4288501	580591	87.96	10.11
64				15	4288501	580591	87.96	10.11
65				16	4288501	580591	87.96	10.11

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
66	Gm8	38	21		4291858	579166	123.11	14.15
67	A15	39			4296560	576925	122.32	14.06
68	A16	40			4300747	574722	138.59	15.93
69	A17	41			4305171	572817	127.11	14.61
70	A18	42			4318373	576147	148.68	17.09
71	A19	43			4320954	579828	116.49	13.39
72			22		4321452	580206	83.43	9.59
73			23		4323032	581575	99.09	11.39
74	A20	44	24		4323320	582099	81.69	9.39
75			25	17,18,19	4324087	583391	125.54	14.43
76	A21	45		20	4327474	584149	126.59	14.55
77				21	4327474	584149	126.59	14.55
78			26		4328400	585372	102.14	11.74
79			27		4329733	586002	119.36	13.72
80	A22	46		22	4331033	586929	112.14	12.89
81			28	23	4331033	586929	112.14	12.89
82			29		4331510	587355	147.81	16.99
83			30	24	4331968	587422	118.15	13.58
84	A23	47			4334237	588392	146.60	16.85
85	A24	48			4337650	590857	135.98	15.63
86	Sın1	49	31	25	4340179	594648	135.98	15.63
87	Sın2	50			4341313	596853	103.88	11.94
88	Sın3	51			4343392	598870	139.20	16.00

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
89					4344028	601470	120.23	13.82
90	S4	52		26	4259472	596596	134.85	15.50
91	S5	53			4262514	603550	94.13	10.82
92				27	4263301	603895	117.10	13.46
93			32		4264460	604722	118.06	13.57
94	S6	54			4266439	605820	130.94	15.05
95	S7	55			4268183	610160	99.27	11.41
96			33		4269268	611287	119.54	13.74
97	S8	56			4271914	611660	124.50	14.31
98	K4	57			4274696	614459	116.06	13.34
99	K5	58			4277676	616326	110.49	12.70
100			34		4279551	616494	153.82	17.68
101			35		4279736	616772	161.39	18.55
102	K6	59			4281519	616691	172.09	19.78
103			36		4283817	615528	140.51	16.15
104	K7	60			4284404	615496	131.98	15.17
105	K8	61	37		4287097	616678	154.25	17.73
106			38		4288216	619139	131.20	15.08
107			39		4288472	620181	138.77	15.95
108	K9	62			4289066	621239	105.71	12.15
109	S9	63			4287287	612245	162.52	18.68
110	S10	64	40	28	4285455	608449	138.42	15.91
111	S11	65			4283770	604450	149.64	17.20

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
112	S12	66			4280394	601950	171.65	19.73
113			41		4280160	601420	102.31	11.76
114			42		4280743	601100	162.78	18.71
115	S13	67			4278266	599937	124.85	14.35
116	S14	68			4272944	598870	133.02	15.29
117	S15	69			4269207	598754	103.79	11.93
118	S16	70			4264733	598311	153.21	17.61
119	K10	71	43,44		4290550	623333	169.39	19.47
120	K11	72	45		4290779	626436	134.85	15.50
121	D1	73			4295344	631708	168.52	19.37
122	D2	74			4299672	632256	193.75	22.27
123			46		4300293	632235	184.09	21.16
124	D3	75			4303822	632540	198.88	22.86
125			47		4304201	632715	161.12	18.52
126			48		4306551	632236	139.98	16.09
127	D4	76			4307304	631462	133.20	15.31
128			49		4309011	631113	161.65	18.58
129			50		4310498	631535	127.11	14.61
130	D5	77	51		4311559	631186	164.17	18.87
131			52		4312768	630996	144.25	16.58
132	Sm4	78			4343236	602218	155.47	17.87
133			53		4343096	602353	162.60	18.69
134			54		4341406	603799	162.60	18.69

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
135	Sın5	79			4341436	603799	175.57	20.18
136			55		4341406	603799	151.73	17.44
137			56		4341406	603799	115.62	13.29
138			57		4338658	607756	141.55	16.27
139	Sın6	80	58		4338658	607762	135.63	15.59
140			59		4338377	608087	163.91	18.84
141	Sın7	81	60		4337840	610689	139.81	16.07
142	Sın8	82			4336394	614387	134.76	15.49
143			61		4335531	617890	172.09	19.78
144	Sın9	83			4334997	618305	184.53	21.21
145			62		4333728	620076	115.45	13.27
146	Sın10	84			4333808	621662	157.12	18.06
147	Sın11	85			4333728	625377	244.12	28.06
148			63		4332913	627273	177.83	20.44
149	Sın12	86			4331568	630017	235.60	27.08
150	G11	87	64		4328433	628032	192.62	22.14
151	G12	88	65		4325514	625089	165.30	19.00
152	G13	89			4321521	622455	205.15	23.58
153	G14	90		29-30	4319303	619610	175.91	20.22
154			66		4319282	618627	170.61	19.61
155	G15	91			4316708	616116	149.64	17.20
156	G16	92			4314938	618370	197.58	22.71
157	G17	93			4312111	616411	128.06	14.72

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
158	G18	94			4311316	614543	155.03	17.82
159			67		4311321	614543	148.34	17.05
160	Gm9	95			4285777	580645	122.15	14.04
161				31	4285774	580644	118.67	13.64
162	Gm10	96			4284600	584327	108.92	12.52
163			68		4284226	585180	132.24	15.20
164	Gm11	97			4285234	586875	87.96	10.11
165	Gm12	98			4286103	590664	91.79	10.55
166			69		4283959	590379	101.96	11.72
167	Gm13	99			4282765	589782	126.32	14.52
168			70		4279840	590010	131.98	15.17
169	Gm14	100		32-33-34	4278859	590734	150.95	17.35
170				35	4278702	591136	113.80	13.08
171				36	4277768	592655	113.54	13.05
172				37	4277765	592662	118.49	13.62
173	Gm15	101			4276277	595877	111.80	12.85
174	S17	102			4280218	598647	123.37	14.18
175			71		4281895	599684	135.37	15.56
176	S18	103			4283397	600741	147.38	16.94
177	S19	104			4282431	603534	97.96	11.26
178	S20	105	72		4287122	603952	120.23	13.82
179	G19	106			4291478	603908	136.16	15.65
180				38	4292130	603956	142.33	16.36

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
181	G20	107			4292074	602323	129.46	14.88
182	G21	108	73		4295377	601466	154.77	17.79
183	G22	109			4299533	601011	158.86	18.26
184			74		4300165	600973	126.67	14.56
185	G23	110	75		4301196	603277	160.08	18.40
186	G24	111			4301159	608139	171.13	19.67
187	G25	112			4303541	605875	166.95	19.19
188			76		4304168	605526	149.81	17.22
189	A25	113			4307405	603053	153.38	17.63
190	A26	114			4308946	599864	206.97	23.79
191	A27	115			4307266	595448	165.13	18.98
192	G26	116			4306626	593011	172.00	19.77
193	G27	117			4305250	611240	152.25	17.50
194	K12	118			4305256	611243	141.72	16.29
195	K13	119	77		4293845	613925	120.32	13.83
196	K14	120			4287743	616414	135.29	15.55
197	K15	121			4289534	620880	157.64	18.12
198	K16	122			4290200	618398	229.33	26.36
199			78		4289768	619443	162.43	18.67
200	K17	123			4291004	621535	155.64	17.89
201	K18	124			4296165	621242	196.79	22.62
202	K19	125			4298987	620478	156.60	18.00
203	G28	126			4301459	619182	159.38	18.32

Çizelge 5.1.'in devamı

Örnekleme Noktası	Örnek Kodu	Toprak No	Su No	Sediment No	UTM	35S	Gama Doz hızı	
							Hesaplanan (nGy/saat)	Ölçülen (µR/saat)
204			79		4302564	619622	135.37	15.56
205	G29	127			4304777	616838	217.07	24.95
206	G30	128			4306541	613675	157.21	18.07
207	A28	129			4312260	588190	139.81	16.07
208			80		4311922	589134	115.97	13.33
209	A29	130			4310010	590616	151.03	17.36
210	A30	131			4306635	591348	147.55	16.96
211	A31	132			4302177	592065	109.27	12.56
212			81		4301838	591827	145.20	16.69
213	A32	133	82		4298789	588791	135.98	15.63
214	A33	134			4302085	584455	116.41	13.38
215	A34	135			4305057	581020	113.27	13.02
216	A35	136	83		4306883	578554	157.38	18.09
217	A36	137	84		4308602	575764	145.46	16.72
			Min.				81.69	9.39
			Max.				244.12	28.06
			Ortalama				137.40	15.79

A: Akhisar

K: Köprübaşı

Sın: Sındırgı

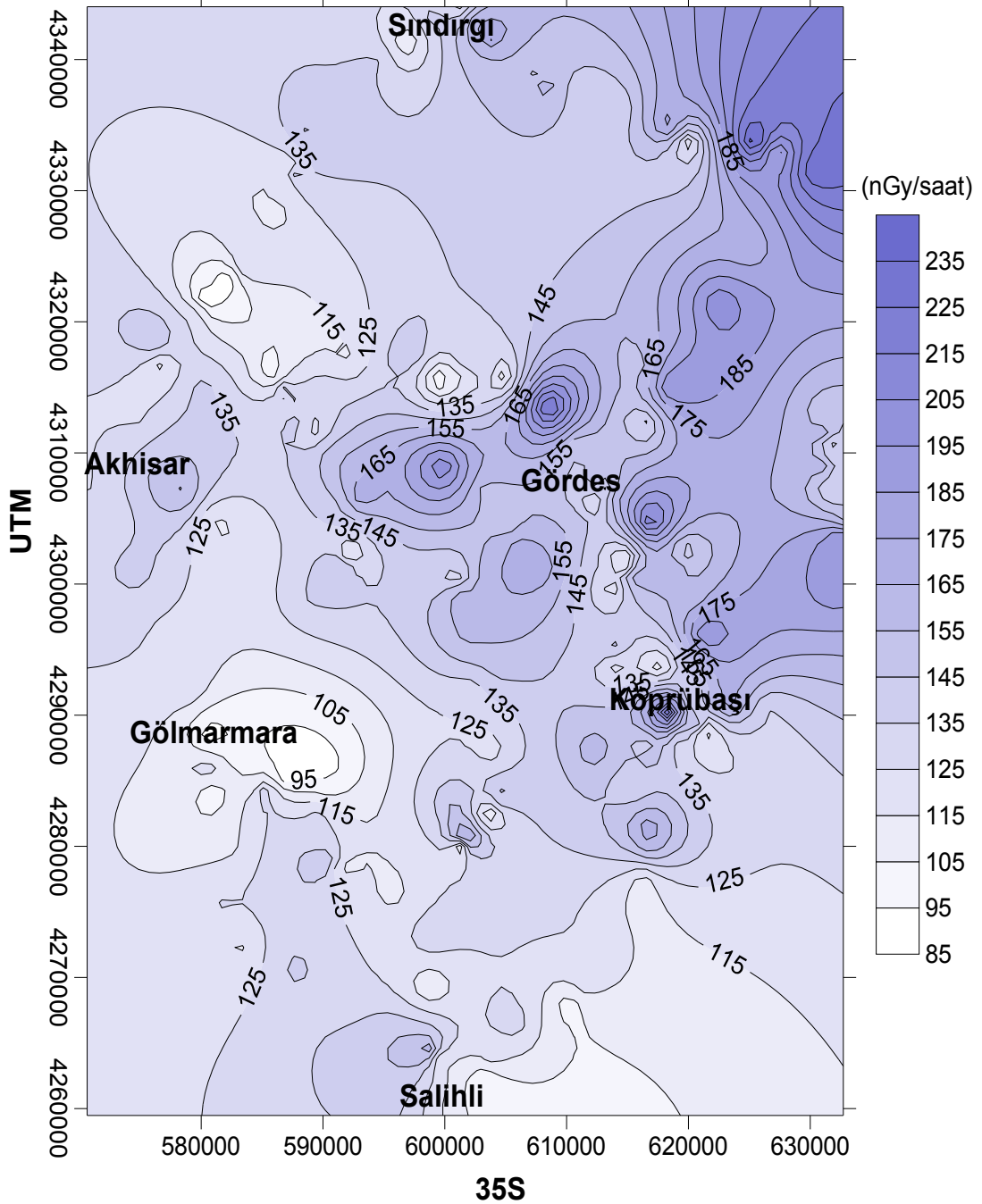
G: Gördes

S: Salihli

D: Demirci

Gm: Gölarmmara

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinde örnekleme noktalarında $\mu\text{R/saat}$ olarak ölçülen yüzey gama doz hızları çevirme faktörü ile nGy/saat olarak hesaplandı. 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen gama doz hızlarının kontur grafiği Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Gama doz hızlarının dağılımı açık renkten koyu renge doğru artmaktadır.



Şekil 5.1. Tüm örnekleme noktalarına göre hesap edilen yüzey gama doz hızlarının kontur grafiği. (Kontur aralığı 10 nGy/saat).

5.2. BİNAİÇİ RADON ÖLÇÜM SONUÇLARI

Binaıçi radon ölçümleri çalışma alanımız içine giren Manisa'nın Akhisar, Gördes, Gölarmara, Köprübaşı ilçelerinde ve Balıkesir'in Sındırgı ilçesine yerleştirilen CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri ile gerçekleştirilmiştir. Aşağıda ilçelere ait sonuçlar detaylı olarak verilmektedir.

5.2.1 Akhisar İlçesi

İlçesi merkezindeki binalara dağıtılan 30 tane CR-39 filminden 1 ay sonra 27 tanesine ulaşılmıştır. Filmler laboratuarda kimyasal banyo yapıldıktan sonra mikroskopla mm²'ye düşen iz değerleri sayılmıştır. İz değerlerinden Eşitlik (4.1) ve Eşitlik (4.2) kullanılarak radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Sonuçlar, Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Akhisar ilçesinin merkezindeki binaıçi radon konsantrasyonları ve efektif doz eşdeğerleri.

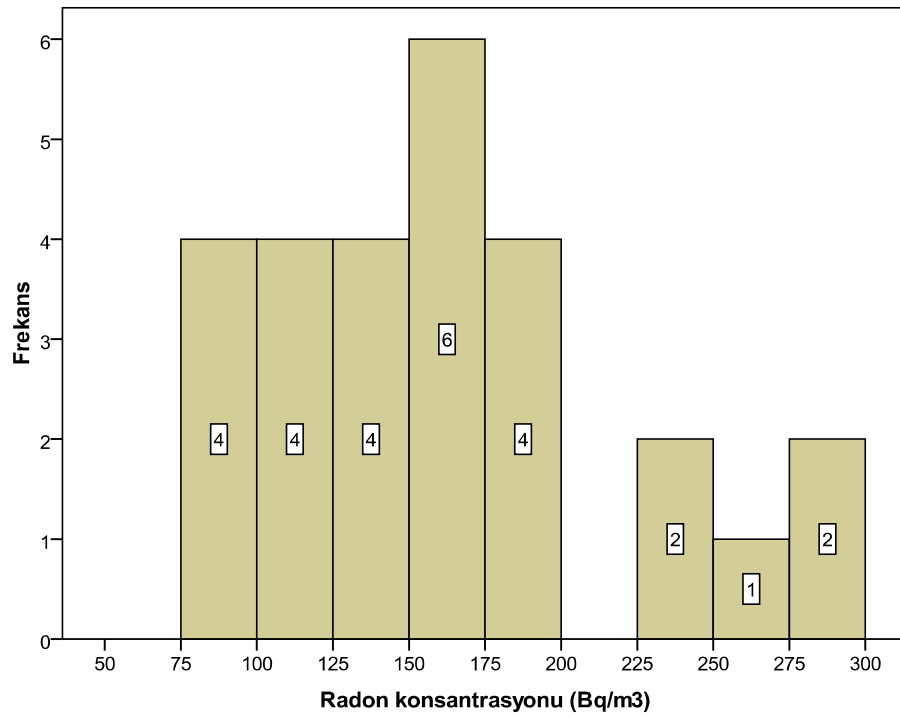
Örnek No	Örnek Kodu	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	1	288	14.38
2	2	141	7.03
3	3	244	12.20
4	4	164	8.19
5	5	191	9.55
6	6	84	4.18
7	7	160	8.00
8	8	232	11.60
9	9	163	8.16
10	10	178	8.88
11	11	83	4.15
12	12	124	6.19
13	13	102	5.11
14	14	90	4.49
15	15	265	13.23
16	16	90	4.51
17	17	109	5.44
18	18	167	8.33
19	19	112	5.61
20	20	199	9.95

Çizelge 5.2'nin devamı.

Örnek No	Örnek Kodu	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
21	23	159	7.97
22	24	130	6.48
23	25	159	7.97
24	26	138	6.91
25	27	181	9.06
26	28	290	14.50
27	30	144	7.22
Minimum		83	4.15
Maksimum		290	14.50
Ortalama		162.5	8.13

Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi Akhisar ilçesindeki bina içi radon konsantrasyonları 83-290 Bq/m³ aralığında ve ortalama 162.5 Bq/m³ olarak ölçülmüştür.

Akhisar ilçesi bina içi radon konsantrasyonlarının dağılım frekansı Şekil 5.2'de verilmektedir. Radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğinde ölçüm sonuçlarının genelde 75-200 Bq/m³ aralığında olduğu 225 Bq/m³ değerini aşan beş ölçüm sonucunun olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. Akhisar ilçesi bina içi radon konsantrasyonu frekans dağılımı.

5.2.2 Gördes ilçesi

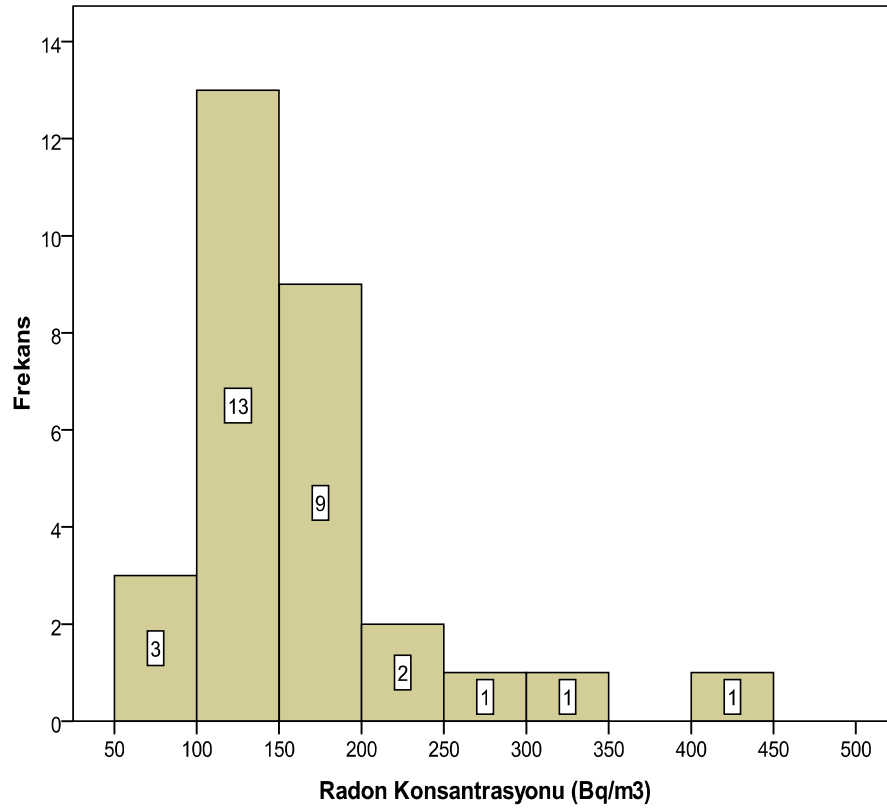
Gördes ilçesinin merkezindeki binalara dağıtılan 40 tane CR-39 filminden 1 ay sonra 30 tanesine ulaşılmıştır. Filmler laboratuarda kimyasal banyo yapıldıktan sonra mikroskopla mm²'ye düşen iz değerleri sayılmıştır. İz değerlerinden Eşitlik (4.1) ve Eşitlik (4.2) kullanılarak radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Sonuçlar, Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Gördes ilçesinin merkezindeki bina içi radon konsantrasyonları.

Örnek No	Örnek Kodu	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	32	123	6.15
2	34	121	6.06
3	36	163	8.14
4	37	134	6.70
5	38	133	6.63
6	40	172	8.59
7	41	405	20.24
8	42	151	7.55
9	43	183	9.15
10	44	83	4.17
11	45	95	4.77
12	46	160	8.02
13	47	63	3.13
14	48	145	7.23
15	49	122	6.11
16	51	133	6.67
17	52	164	8.21
18	53	270	13.49
19	55	344	17.20
20	56	145	7.26
21	58	201	10.05
22	59	160	7.99
23	60	109	5.45
24	61	248	12.38
25	62	108	5.42
26	63	126	6.29
27	67	122	6.11
28	68	108	5.41
29	69	165	8.23
30	70	190	9.50
	Minimum	63	3.13
	Maksimum	405	20.24
	Ortalama	161.5	8.08

Çizelge 5.3’de görüldüğü gibi Gördes ilçesindeki bina içi radon konsantrasyonları 63-405 Bq/m³ aralığında ve ortalama 161.5 Bq/m³ olarak ölçülmüştür.

Gördes ilçesi bina içi radon konsantrasyonlarının dağılım frekansı Şekil 5.3’de verilmektedir. Radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğinde ölçüm sonuçlarının genelde 50-350 Bq/m³ aralığında olduğu 400 Bq/m³ değerini aşan bir ölçüm sonucunun olduğu görülmektedir



Şekil 5.3. Gördes ilçesi bina içi radon konsantrasyonu frekans dağılımı.

5.2.3. Sındırgı İlçesi

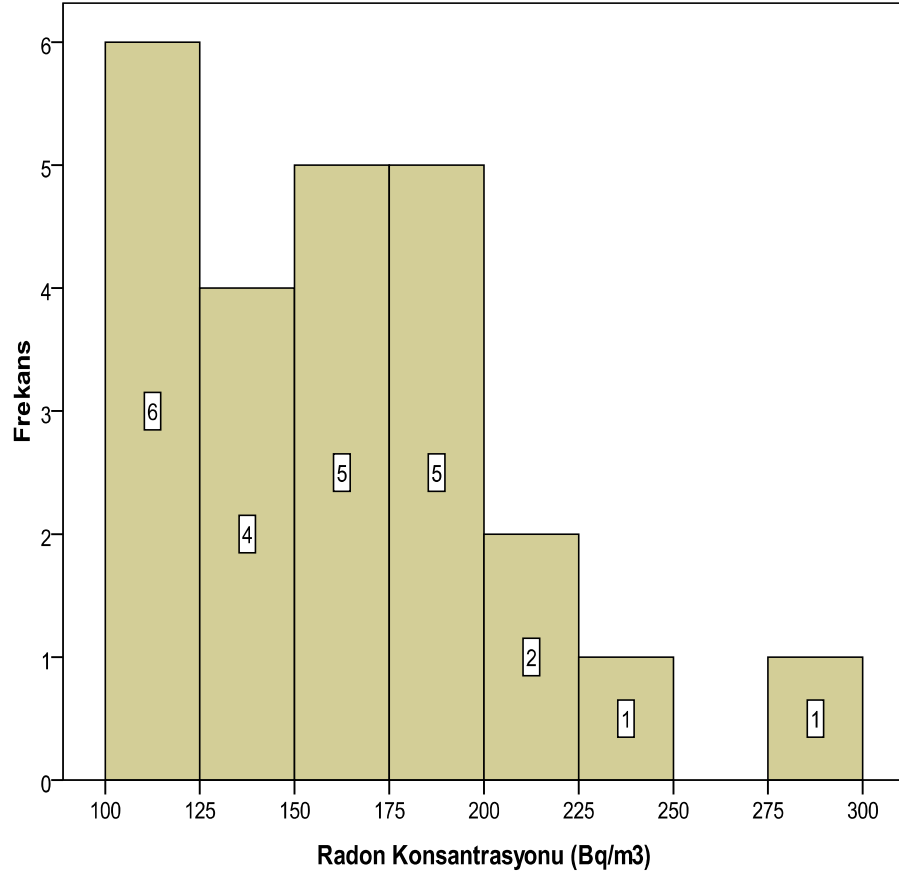
Sındırgı ilçesinin merkezindeki binalara dağıtılan 30 tane CR-39 filminden 1 ay sonra 24 tanesine ulaşılmıştır. Filmler laboratuarda kimyasal banyo yapıldıktan sonra mikroskopla mm^2 'ye düşen iz değerleri sayılmıştır. İz değerlerinden Eşitlik (4.1) ve Eşitlik (4.2) kullanılarak radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Sonuçlar, Çizelge 5. 4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Sındırgı ilçesinin merkezindeki binaiçi radon konsantrasyonları.

Örnek No	Örnek Kodu	Radon Kons. (Bq/m^3)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	71	149	7.45
2	72	120	5.99
3	73	157	7.86
4	74	166	8.30
5	75	108	5.41
6	76	150	7.48
7	77	179	8.96
8	78	136	6.79
9	79	285	14.24
10	82	198	9.88
11	84	144	7.20
12	85	209	10.47
13	86	221	11.04
14	87	156	7.81
15	88	195	9.77
16	89	167	8.33
17	90	172	8.61
18	92	102	5.11
19	93	104	5.19
20	96	191	9.53
21	97	120	6.01
22	98	115	5.75
23	99	179	8.94
24	100	243	12.17
Minimum		102	5.11
Maksimum		285	14.24
Ortalama		165.3	8.27

Çizelge 5.4'de görüldüğü gibi Sındırgı ilçesindeki binaiçi radon konsantrasyonları $102\text{-}285 \text{ Bq/m}^3$ aralığında ve ortalama 165.3 Bq/m^3 olarak ölçülmüştür.

Sındırgı ilçesi binaiçi radon konsantrasyonlarının dağılım frekansı Şekil 5.4'de verilmektedir. Radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğinde ölçüm sonuçlarının genelde 100-250 Bq/m³ aralığında olduğu 275 Bq/m³ değerini aşan bir ölçüm sonucunun olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. Sındırgı ilçesi binaiçi radon konsantrasyonu frekans dağılımı.

5.2.4. Köprübaşı İlçesi

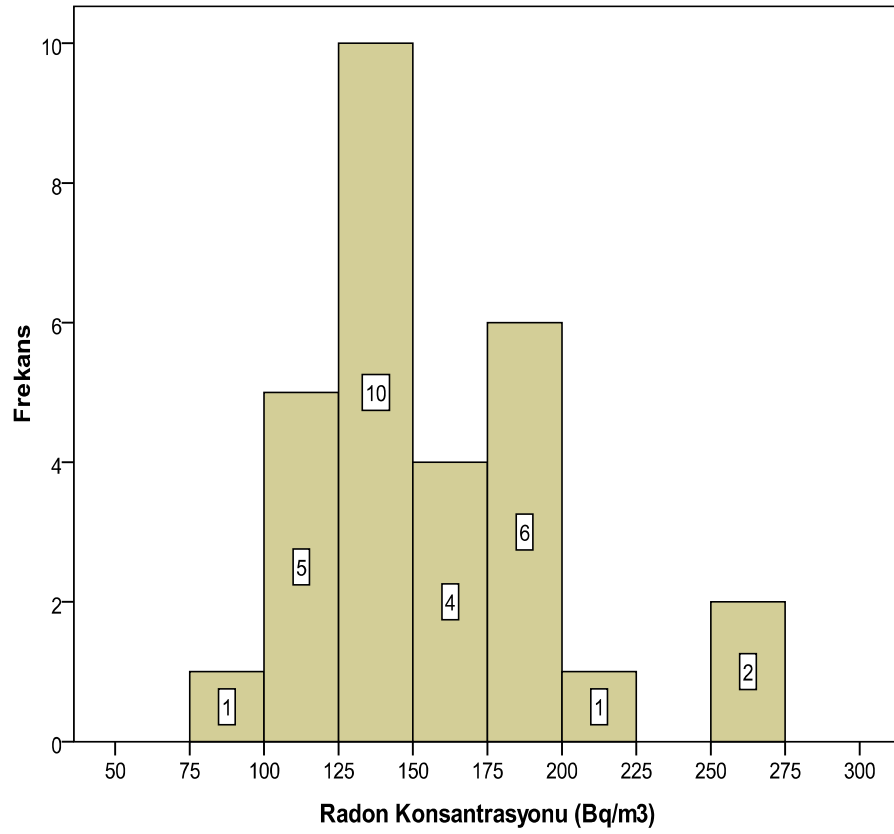
Köprübaşı ilçesinin merkezindeki binalara dağıtılan 30 tane CR-39 filminden 1 ay sonra 29 tanesine ulaşılmıştır. Filmler laboratuvarda kimyasal banyo yapıldıktan sonra mikroskopla mm²'ye düşen iz değerleri sayılmıştır. İz değerlerinden Eşitlik (4.1) ve Eşitlik (4.2) kullanılarak radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Sonuçlar, Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Köprübaşı ilçesinin merkezindeki binaiçi radon konsantrasyonları.

Örnek No	Örnek Kodu	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	101	222	11.11
2	102	133	6.63
3	103	176	8.82
4	104	137	6.84
5	105	196	9.79
6	106	127	6.34
7	107	177	8.84
8	108	255	12.74
9	109	130	6.48
10	110	147	7.33
11	111	172	8.61
12	112	194	9.69
13	113	140	7.00
14	114	104	5.21
15	115	165	8.23
16	116	148	7.40
17	117	109	5.47
18	118	123	6.16
19	120	127	6.34
20	121	272	13.59
21	122	108	5.42
22	123	87	4.36
23	124	194	9.72
24	125	120	5.99
25	126	188	9.38
26	127	162	8.11
27	128	167	8.37
28	129	127	6.34
29	130	132	6.58
Minimum		87	4.36
Maksimum		272	13.59
Ortalama		156.45	7.82

Çizelge 5.5’de görüldüğü gibi Köprübaşı ilçesindeki binaiçi radon konsantrasyonları 87-272 Bq/m³ aralığında ve ortalama 156.45 Bq/m³ olarak ölçülmüştür.

Köprübaşı ilçesi binaiçi radon konsantrasyonlarının dağılım frekansı Şekil 5.5’de verilmektedir. Radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğinde ölçüm sonuçlarının genelde 75-225 Bq/m³ aralığında olduğu 250 Bq/m³ değerini aşan iki ölçüm sonucunun olduğu görülmektedir



Şekil 5.5. Köprübaşı ilçesi binaiçi radon konsantrasyonu frekans dağılımı.

5.2.5. Gölarmara İlçesi

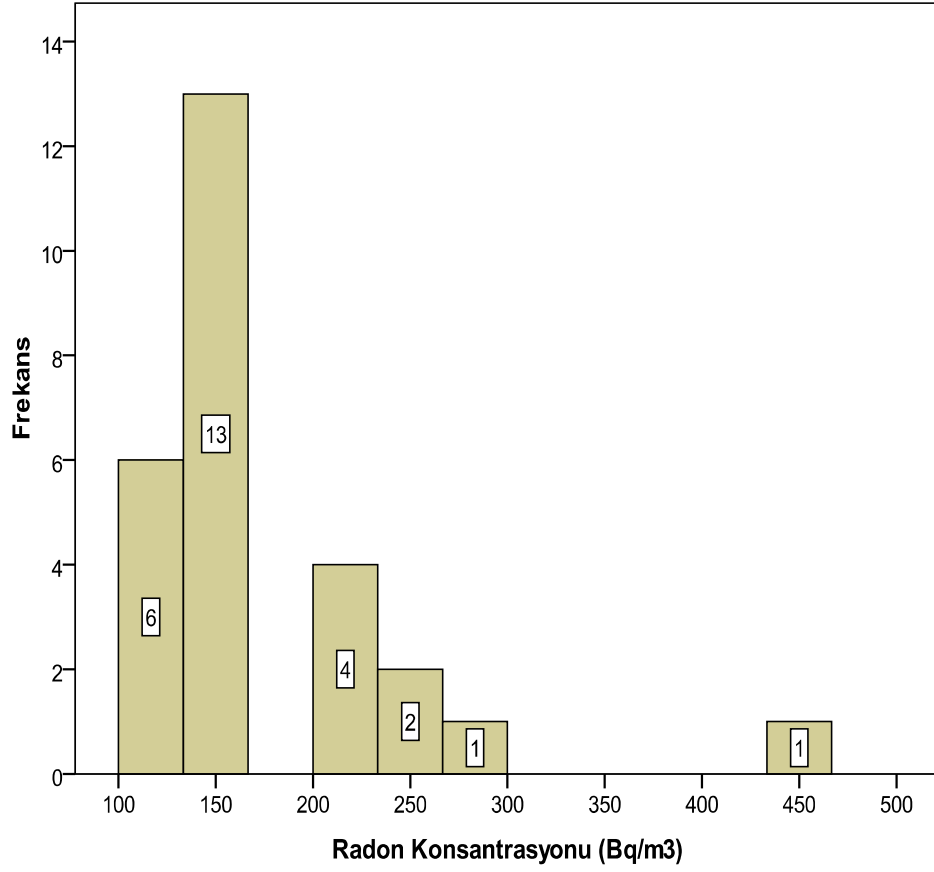
Gölarmara ilçesinin merkezindeki binalara dağıtılan 30 tane CR-39 filmden 1 ay sonra 27 tanesine ulaşılmıştır. Filmler laboratuarda kimyasal banyo yapıldıktan sonra mikroskopla mm²'ye düşen iz değerleri sayıldı. İz değerlerinden Eşitlik (4.1) ve Eşitlik (4.2) kullanılarak radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğeri hesaplandı. Sonuçlar, Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Gölarmara ilçesinin merkezindeki binaıçi radon konsantrasyonları.

Örnek No	Örnek Kodu	Radon Kons. (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)
1	131	101	5.03
2	132	216	10.78
3	133	226	11.32
4	134	442	22.08
5	135	219	10.95
6	136	202	10.12
7	137	108	5.40
8	138	153	7.64
9	140	140	7.00
10	142	253	12.64
11	143	266	13.32
12	144	145	7.24
13	145	280	13.98
14	146	120	5,99
15	147	140	7,01
16	148	114	5,68
17	149	160	7,99
18	150	143	7,14
19	151	156	7,78
20	152	152	7,59
21	153	124	6,18
22	154	162	8,11
23	155	144	7,20
24	156	146	7,29
25	157	138	6,89
26	158	146	7,31
27	159	131	6,53
Minimum		101	5.03
Maksimum		442	22.08
Ortalama		174.9	8.75

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi Gölarmara ilçesindeki binaıçi radon konsantrasyonları 101-442 Bq/m³ aralığında ve ortalama 174.9 Bq/m³ olarak ölçülmüştür

Gölmarmara ilçesi bina içi radon konsantrasyonlarının dağılım frekansı Şekil 5.6'da verilmektedir. Radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğinde ölçüm sonuçlarının genelde 100-175 Bq/m³ aralığında olduğu 275 Bq/m³ değerini aşan iki ölçüm sonucunun olduğu görülmektedir



Şekil 5.6. Gölmarmara ilçesi bina içi radon konsantrasyonu frekans dağılımı.

5.3. TOPRAK ÖRNEKLERİ ÖLÇÜM SONUÇLARI

Toplanan toprak örneklerinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk değerleri, radon soluma hızları ve gama spektrometresi ile ölçülen U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

5.3.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 137 toprak örneğinin laboratuarda ölçülen pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları Çizelge 5.7'de verilmektedir.

Çizelge 5.7. Toprak örneklerinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları.

Toprak Örnek No	pH	mV	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk
1	7.73	-44	73	0.0
2	7.90	-54	211	0.0
3	7.62	-38	118	0.0
4	7.47	-30	60	0.0
5	7.22	-16	162	0.0
6	7.20	-14	78	0.0
7	7.44	-28	101	0.0
8	6.42	29	63	0.0
9	7.65	-39	127	0.0
10	7.79	-47	163	0.0
11	7.69	-42	76	0.0
12	7.81	-48	120	0.0
13	7.68	-41	138	0.0
14	8.28	-75	286	0.0
15	7.71	43	108	0.0
16	7.72	-43	122	0.0
17	7.72	-43	77	0.0
18	7.71	-43	50	0.0
19	7.60	-37	82	0.0
20	7.70	-43	83	0.0
21	7.68	-41	179	0.0
22	7.60	-37	187	0.0
23	6.95	0	72	0.0
24	6.43	29	44	0.0
25	7.46	-29	118	0.0
26	7.01	-4	105	0.0
27	7.59	-36	113	0.0
28	7.11	-9	733	0.1
29	7.80	-47	174	0.0
30	7.31	-20	1515	0.6

Çizelge 5.7'nin devamı.

Toprak Örnek No	pH	mV	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk
31	8.61	-93	177	0.0
32	7.51	-32	61	0.0
33	7.29	-19	149	0.0
34	7.96	-57	117	0.0
35	7.40	-25	56	0.0
36	7.44	-28	178	0.0
37	7.83	-50	184	0.0
38	7.81	-48	240	0.0
39	7.22	-15	60	0.0
40	7.51	-32	130	0.0
41	7.51	-32	151	0.0
42	7.43	-27	24	0.0
43	7.00	-37	118	0.0
44	7.78	-47	92	0.0
45	7.43	-27	192	0.0
46	7.15	-11	106	0.0
47	7.01	-4	118	0.0
48	7.50	-31	89	0.0
49	7.04	-5	1100	0.0
50	7.20	-15	148	0.0
51	7.32	-21	102	0.0
52	7.50	-31	108	0.0
53	7.51	-32	150	0.0
54	7.65	-40	64	0.0
55	7.47	-29	172	0.0
56	7.84	-50	113	0.0
57	7.29	-19	113	0.0
58	6.55	22	71	0.0
59	7.40	-25	71	0.0
60	7.75	-45	80	0.0
61	7.07	-7	121	0.0
62	7.78	-47	144	0.0
63	6.32	35	44	0.0
64	7.20	-14	47	0.0
65	6.93	0	95	0.0
66	7.46	-29	116	0.0
67	7.50	-31	109	0.0
68	7.13	-11	110	0.0
69	7.60	-37	163	0.0
70	7.62	-38	321	0.0
71	7.76	-48	115	0.0
72	7.31	-21	350	0.0
73	7.56	-36	156	0.0
74	7.80	-50	116	0.0
75	7.66	-42	90	0.0

Çizelge 5.7'nin devamı.

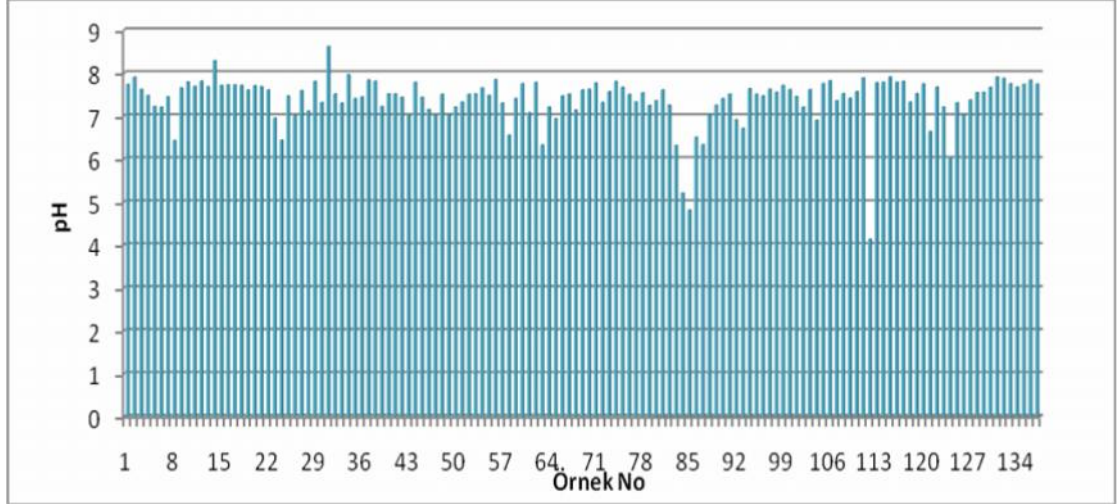
Toprak Örnek No	pH	mV	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk
76	7.50	-33	143	0.0
77	7.32	-22	295	0.0
78	7.53	-34	154	0.0
79	7.24	-17	193	0.0
80	7.35	-24	182	0.0
81	7.60	-38	58	0.0
82	7.25	-18	83	0.0
83	6.31	37	54	0.0
84	5.20	102	28	0.0
85	4.81	124	83	0.0
86	6.50	26	48	0.0
87	6.33	36	71	0.0
88	7.02	-4	101	0.0
89	7.25	-18	105	0.0
90	7.40	-27	230	0.0
91	7.50	-33	103	0.0
92	6.91	2	57	0.0
93	6.71	14	83	0.0
94	7.63	-40	156	0.0
95	7.50	-33	172	0.0
96	7.46	-30	1223	0.5
97	7.62	-39	248	0.0
98	7.55	-35	117	0.0
99	7.71	-45	153	0.0
100	7.61	-39	361	0.0
101	7.45	-30	249	0.0
102	7.20	-15	125	0.0
103	7.61	-39	185	0.0
104	6.89	3	86	0.0
105	7.75	-47	170	0.0
106	7.82	-51	134	0.0
107	7.35	-24	85	0.0
108	7.52	-33	5910	3.2
109	7.41	-27	455	0.0
110	7.56	-36	134	0.0
111	7.88	-55	104	0.0
112	4.13	165	612	0.1
113	7.77	-49	132	0.0
114	7.78	-49	87	0.0
115	7.90	-56	127	0.0
116	7.78	-49	106	0.0
117	7.80	-50	147	0.0
118	7.32	-22	153	0.0
119	7.52	-34	94	0.0
120	7.74	-46	90	0.0

Çizelge 5.7'nin devamı.

Toprak Örnek No	pH	mV	İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Tuzluluk
121	6.63	18	49	0.0
122	7.67	-42	264	0.0
123	7.20	-15	374	0.0
124	6.05	52	40	0.0
125	7.30	-21	63	0.0
126	7.01	-4	89	0.0
127	7.37	-25	113	0.0
128	7.54	-35	115	0.0
129	7.55	-36	90	0.0
130	7.66	-42	165	0.0
131	7.90	-56	62	0.0
132	7.87	-54	145	0.0
133	7.75	-47	187	0.0
134	7.67	-42	294	0.0
135	7.73	-46	216	0.0
136	7.83	-52	157	0.0
137	7.74	-47	208	0.0
Min.	4.13	-93	24	0.0
Max.	8.61	165	5910	3.20
Ort.	7.38	-24	166	

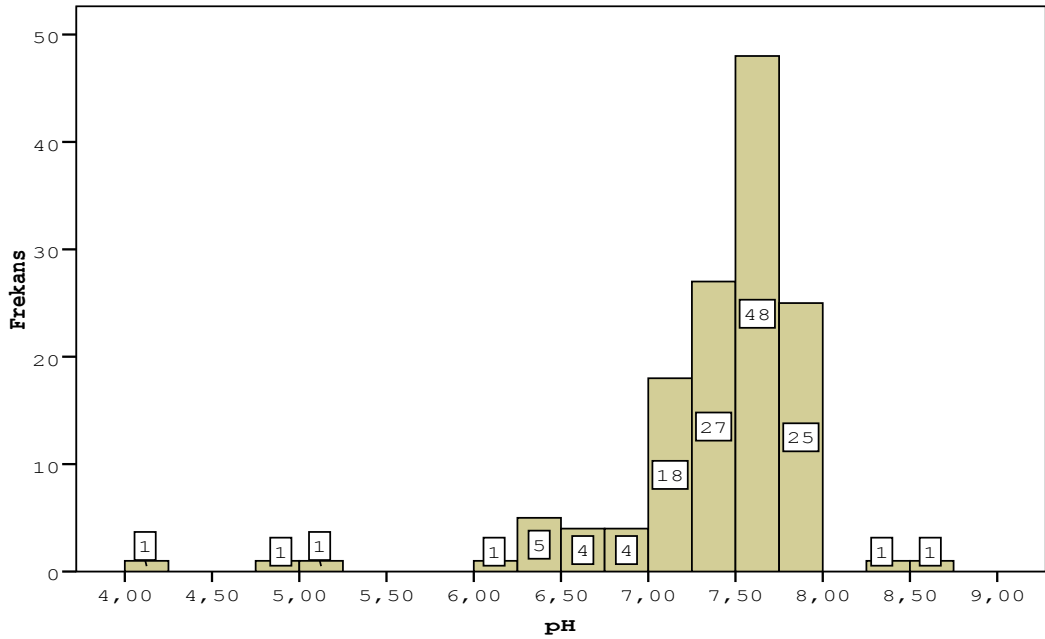
Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi 137 toprak örneğinde pH değerleri 4.13-8.61 aralığında ortalama 7.38; mV değerleri -93 - +165 aralığında ortalama -24 ve iletkenlik değerleri 24-5910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında ortalama 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. 137 tane toprak örneğinin sadece beş tanesinde tuzluluk tespit edilmiştir.

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı alanından alınan 137 toprak örneğinin pH değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.7’de ve pH değerleri frekans dağılımı Şekil 5.8’de verilmektedir.



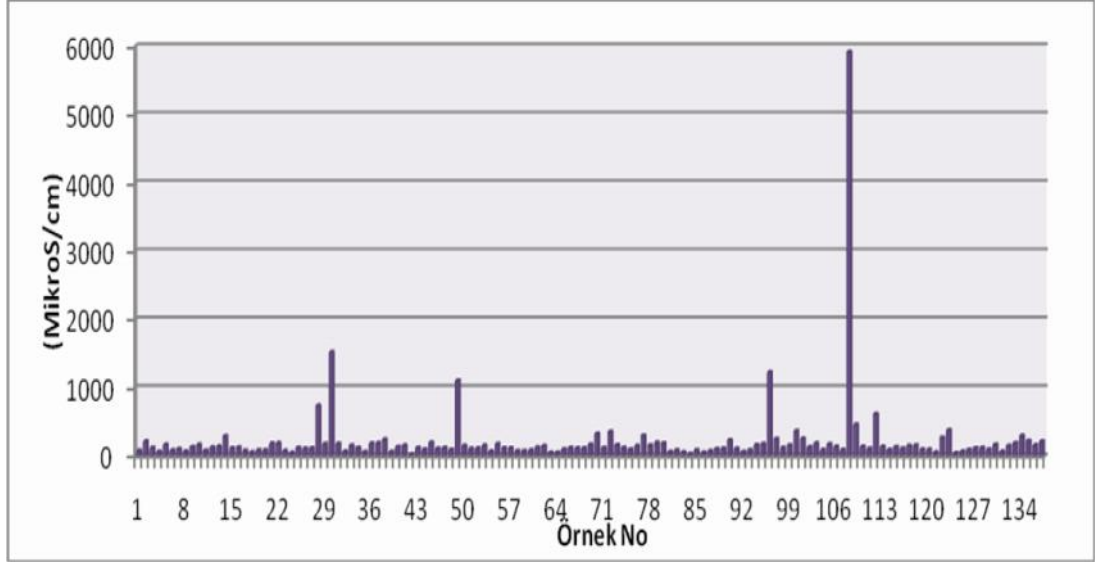
Şekil 5.7. Toprak örneklerinin pH değerleri.

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi iki toprak örneğinde (14 ve 31 numaralı) pH değeri 8’i geçerken iki toprak örneğinde (85 ve 112 numaralı) pH değeri 5’in altında ölçülmüştür.



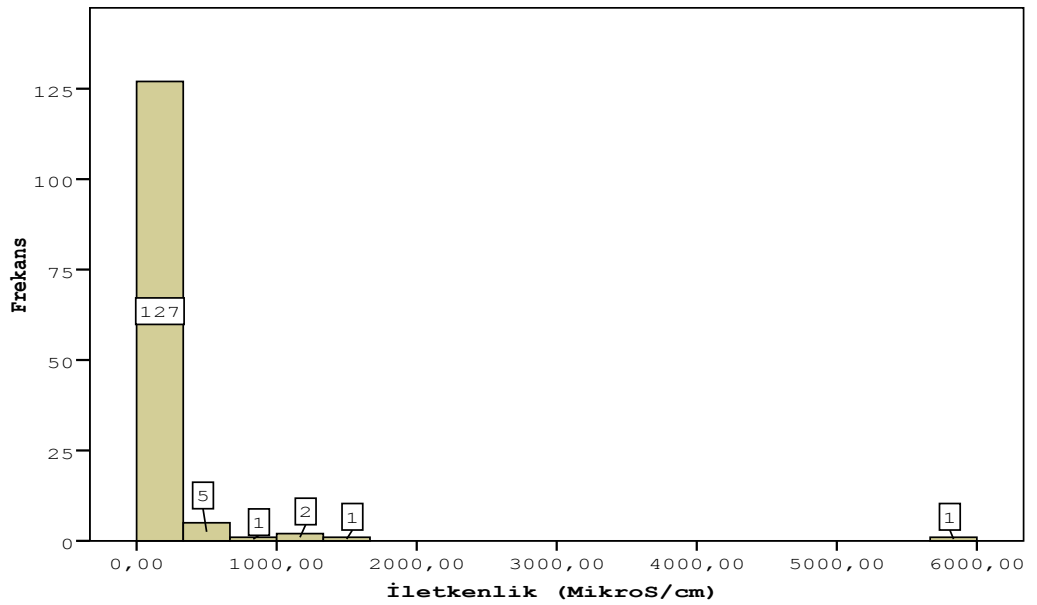
Şekil 5.8. Toprak örneklerinin pH frekans dağılımı.

İnceleme alanından alınan 137 toprak örneğinin iletkenlik değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.9’da ve iletkenlik değerlerinin frekans dağılımı Şekil 5.10’da verilmektedir.



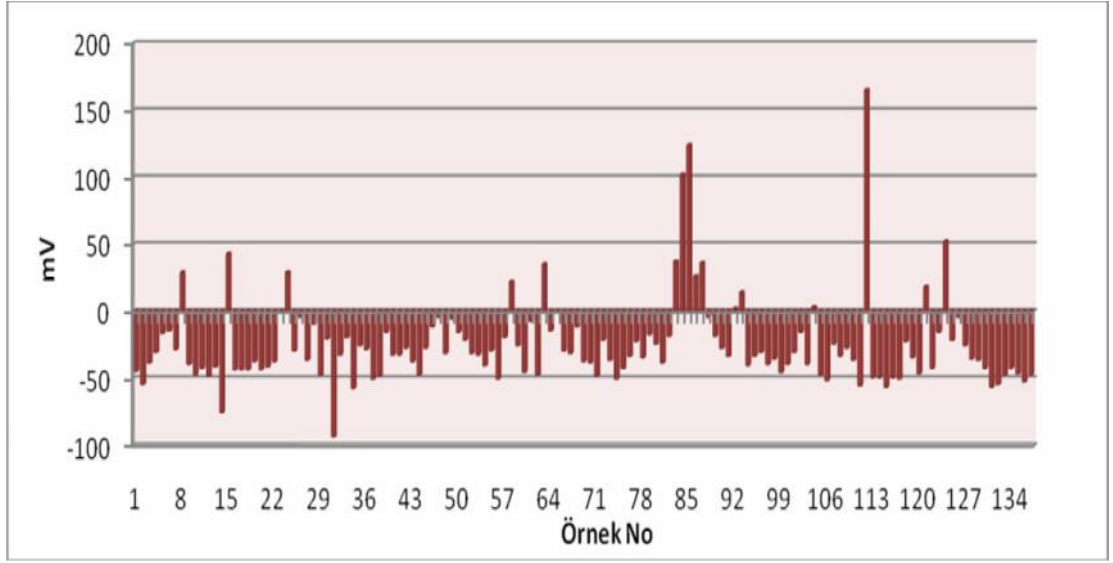
Şekil 5.9. Toprak örneklerinin iletkenlik değerleri.

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi 108 numaralı toprak örneğine ait olan iletkenlik değeri (5910 $\mu\text{S/cm}$) diğer toprak örneklerinin iletkenlik değerlerinden çok yüksek ölçülmüştür.



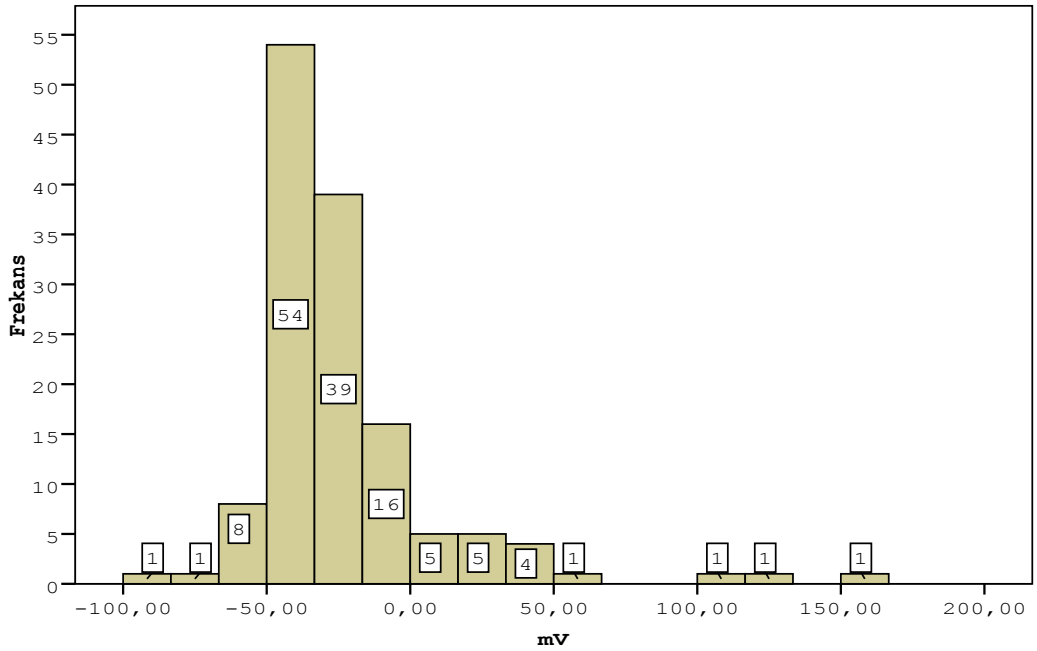
Şekil 5.10. Toprak örneklerinin iletkenlik frekans dağılımı.

İnceleme alanından alınan 137 toprak örneğinin mV değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.11’de ve mV değerleri frekans dağılımı Şekil 5.12’de verilmektedir.



Şekil 5.11. Toprak örneklerinin mV değerleri.

Şekil 5.11’de görüldüğü gibi 112 numaralı toprak örneğinin mV değeri (+165) diğer örneklerin mV değerlerinden çok büyük bir değer almaktadır. Genelde mV değerleri -100 ile +60 aralığında değişirken üç örneğin (84, 85 ve 112 numaralı) mV değerinin + 100 değerini aştığı görülmektedir.



Şekil 5.12. Toprak örneklerinin mV frekans dağılımı.

5.3.2. Toprak Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Aktivitesi Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 137 toprak örneğinin CR-39 nükleer iz kazıma filmleri ile radon ölçümü kapalı plastik şişe içerisinde (plastik şişenin üst kısmına film yerleştirildi) 1 ay süre bekletilerek gerçekleştirildi. 1 ay sonunda filmler kimyasal banyo yapıldı, saf su ile yıkandı ve mikroskopla mm^2 'ye düşem iz miktarları sayıldı. Eşitlik 4.1, Eşitlik 4.3 ve Eşitlik 4.5 kullanılarak hesaplanan toprak örneklerinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi sonuçları Çizelge 5.8'de verilmektedir.

Çizelge 5.8. Toprak örneklerinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi.

Toprak Örnek No	Radon Konsantrasyonu (A_{Rn}) (Bq/m^3)	Radon Soluma Hızı (E_{toprak}) ($\text{Bq/m}^2\text{saat}$)	Efektif Radyum Aktivitesi C_{Ra} (Bq/m^3)
1	190.14	0.24	0.77
2	91.11	0.12	0.37
3	108.96	0.14	0.44
4	268.13	0.34	1.08
5	314.72	0.40	1.27
6	115.97	0.15	0.47
7	157.78	0.20	0.64
8	109.10	0.14	0.44
9	104.44	0.13	0.42
10	257.29	0.33	1.04
11	132.22	0.17	0.53
12	1263.89	1.62	5.10
13	122.36	0.16	0.49
14	135.07	0.17	0.55
15	102.22	0.13	0.41
16	71.18	0.09	0.29
17	232.36	0.30	0.94
18	303.33	0.39	1.23
19	446.94	0.57	1.81
20	237.64	0.31	0.96
21	107.43	0.14	0.43
22	189.10	0.24	0.76
23	178.19	0.23	0.72
24	90.49	0.12	0.37
25	115.97	0.15	0.47
26	95.14	0.12	0.38
27	254.24	0.33	1.03
28	169.72	0.22	0.69
29	103.96	0.13	0.42
30	175.97	0.23	0.71
31	95.14	0.12	0.38
32	94.03	0.12	0.38

Çizelge 5.8'in devamı.

Toprak Örnek No	Radon Konsantrasyonu (A_{Rn}) (Bq/m³)	Radon Soluma Hızı (E_{toprak}) (Bq/m²saat)	Efektif Radyum Aktivitesi C_{Ra} (Bq/m³)
33	192.22	0.25	0.78
34	332.92	0.43	1.34
35	183.82	0.24	0.74
36	203.96	0.26	0.82
37	168.75	0.22	0.68
38	286.81	0.37	1.16
39	257.85	0.33	1.04
40	247.08	0.32	1.00
41	288.26	0.37	1.16
42	190.14	0.24	1.03
43	254.17	0.33	0.97
44	240.35	0.31	0.30
45	74.44	0.10	0.84
46	207.22	0.27	1.80
47	445.07	0.57	0.36
48	87.92	0.11	0.57
49	140.28	0.18	0.64
50	157.36	0.20	0.94
51	232.85	0.30	0.67
52	165.49	0.21	0.30
53	73.40	0.09	0.99
54	245.49	0.32	1.12
55	278.19	0.36	1.01
56	250.00	0.32	0.61
57	151.04	0.19	0.75
58	185.76	0.24	1.30
59	321.67	0.41	0.71
60	175.69	0.23	0.47
61	117.01	0.15	2.47
62	611.46	0.79	1.03
63	255.56	0.33	0.59
64	145.00	0.19	0.96
65	236.81	0.30	0.41
66	102.43	0.13	0.56
67	137.64	0.18	0.43
68	107.43	0.14	0.50
69	124.31	0.16	0.47
70	115.97	0.15	0.42
71	109.86	0.14	0.44
72	244.72	0.31	0.99
73	147.15	0.19	0.59
74	165.00	0.21	0.67
75	117.36	0.15	0.47
76	102.15	0.13	0.41
77	160.07	0.21	0.65
78	362.99	0.47	1.47
79	208.33	0.27	0.84
80	80.90	0.10	0.33

Çizelge 5.8'in devamı.

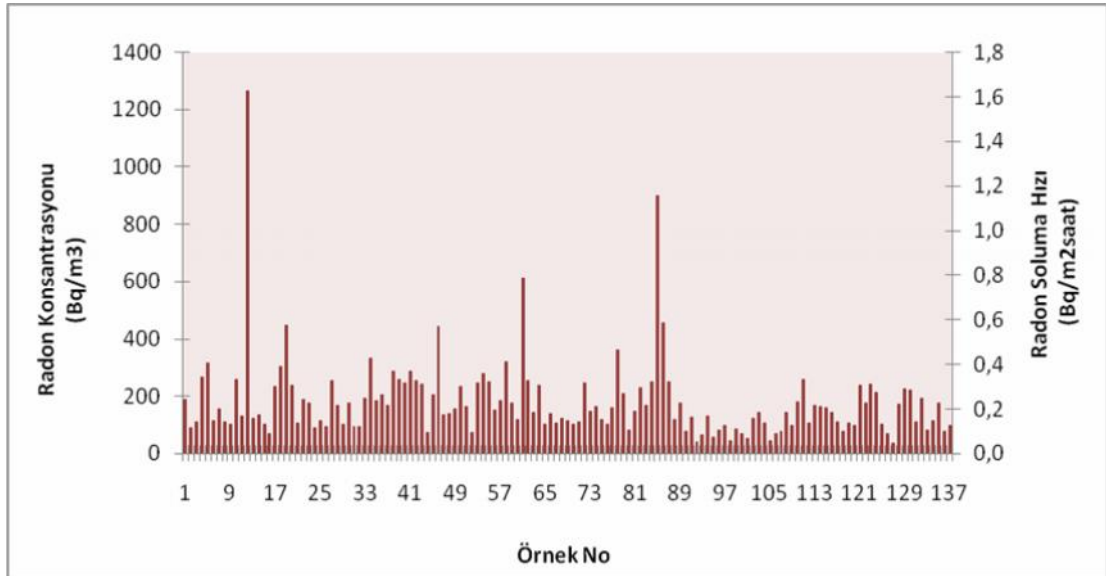
Toprak Örnek No	Radon Konsantrasyonu (A_{Rn}) (Bq/m³)	Radon Soluma Hızı (E_{toprak}) (Bq/m²saat)	Efektif Radyum Aktivitesi C_{Ra} (Bq/m³)
81	148.06	0.19	0.60
82	230.42	0.30	0.93
83	168.40	0.22	0.68
84	249.31	0.32	1.01
85	898.47	1.16	3.63
86	454.51	0.58	1.84
87	250.63	0.32	1.01
88	118.06	0.15	0.48
89	176.94	0.23	0.71
90	79.86	0.10	0.32
91	129.10	0.17	0.52
92	42.92	0.06	0.17
93	66.67	0.09	0.27
94	131.53	0.17	0.53
95	55.56	0.07	0.22
96	83.82	0.11	0.34
97	98.26	0.13	0.40
98	45.14	0.06	0.18
99	85.07	0.11	0.34
100	70.42	0.09	0.28
101	51.94	0.07	0.21
102	121.32	0.16	0.49
103	144.17	0.19	0.58
104	104.86	0.13	0.42
105	43.75	0.06	0.18
106	70.63	0.09	0.29
107	76.39	0.10	0.31
108	142.36	0.18	0.57
109	100.56	0.13	0.41
110	179.93	0.23	0.73
111	260.07	0.33	1.05
112	107.08	0.14	0.43
113	168.89	0.22	0.68
114	163.82	0.21	0.66
115	159.72	0.21	0.65
116	144.10	0.19	0.58
117	111.11	0.14	0.45
118	77.36	0.10	0.31
119	106.74	0.14	0.43
120	99.72	0.13	0.40
121	237.57	0.31	0.96
122	177.43	0.23	0.72
123	240.63	0.31	0.97
124	213.54	0.27	0.86
125	101.67	0.13	0.41
126	71.74	0.09	0.29
127	38.68	0.05	0.16
128	171.74	0.22	0.69
129	225.35	0.29	0.91
130	221.88	0.29	0.90

Çizelge 5.8'in devamı.

Toprak Örnek No	Radon		Efektif Radyum
	Konsantrasyonu (A_{Rn}) (Bq/m^3)	Radon Soluma Hızı (E_{toprak}) (Bq/m^2 saat)	Aktivitesi C_{Ra} (Bq/m^3)
132	192.78	0.25	0.45
133	83.89	0.11	0.78
134	115.07	0.15	0.34
135	178.47	0.23	0.46
136	79.03	0.10	0.72
137	100.42	0.13	0.32
Min.	38.68	0.05	0.16
Max.	1263.89	1.62	5.10
Ort.	180.04	0.23	0.73

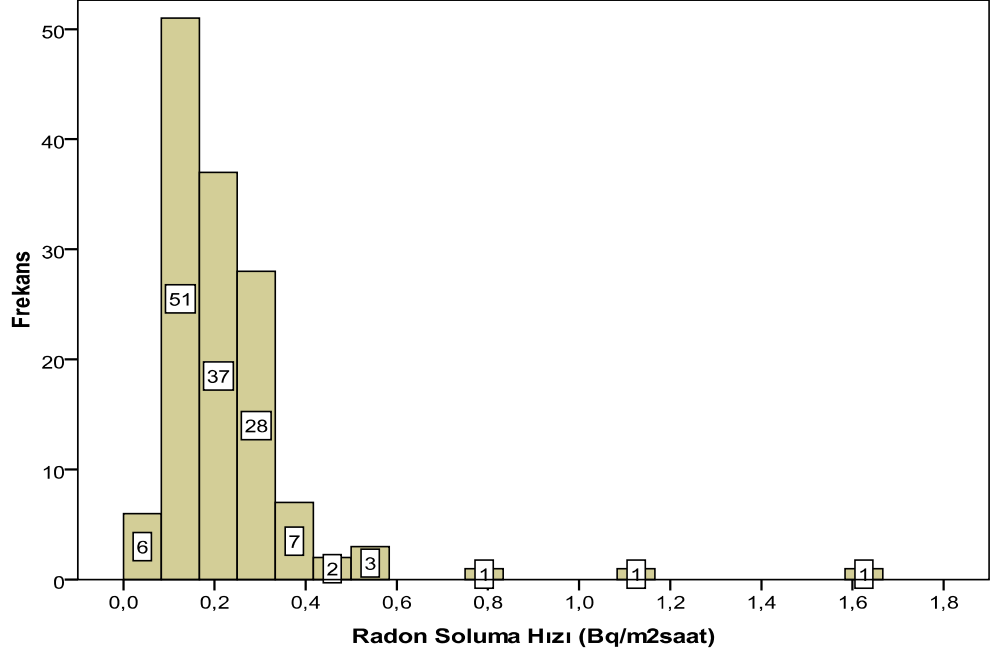
Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi 137 toprak örneğinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi değerleri sırasıyla 38.68-1263.89 Bq/m^3 aralığında ve ortalama 180.04 Bq/m^3 , 0.05-1.62 Bq/m^2 saat aralığında ve ortalama 0.23 Bq/m^2 saat, 0.16-5.10 Bq/m^3 aralığında ve ortalama 0.73 Bq/m^3 olarak tespit edilmiştir.

Toprak örneklerinin radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.13'de; radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi frekans dağılım grafikleri sırasıyla Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de verilmektedir.

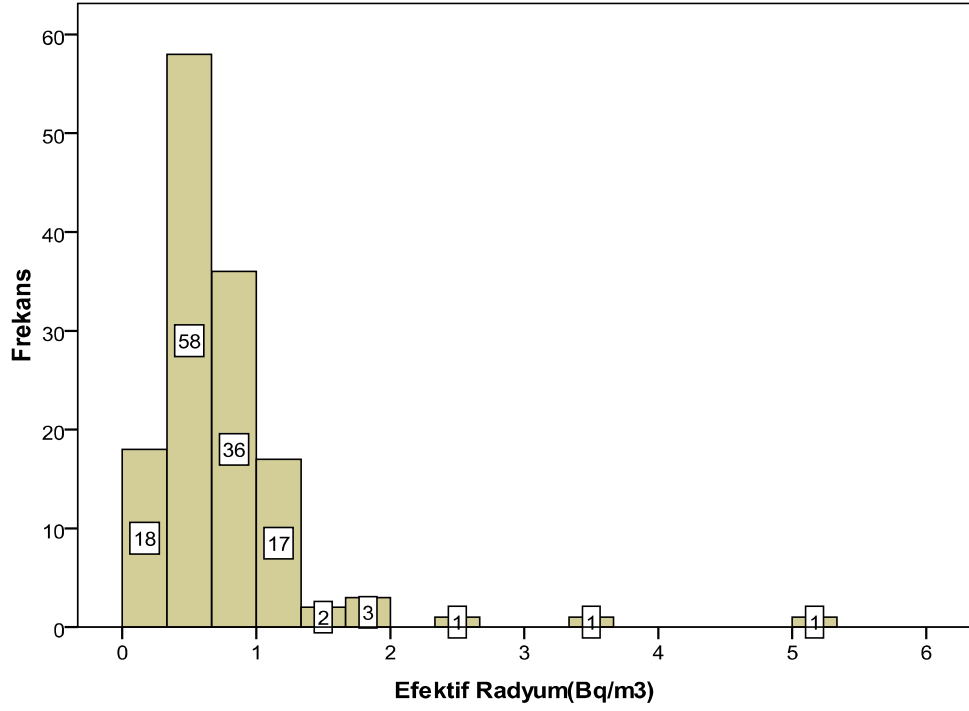


Şekil 5.13. Toprak örneklerinin radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı değerleri.

Şekil 5.13'de görüldüğü gibi üç toprak örneğinde (12, 62 ve 85 numaralı) $600 Bq/m^3$ 'den daha büyük radon konsantrasyonu tespit edilmiştir.



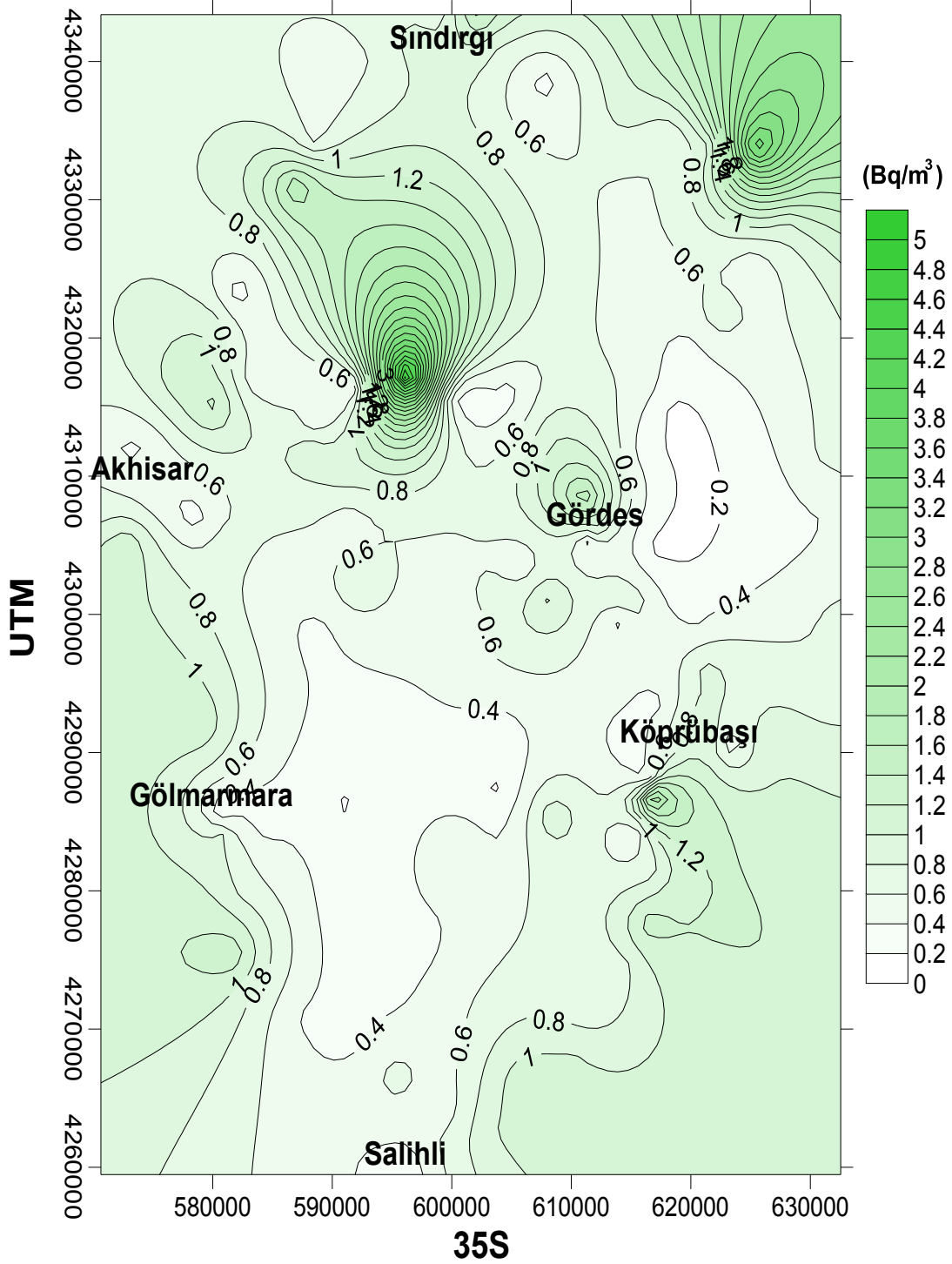
Şekil 5.14. Toprak örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılımı.



Şekil 5.15. Toprak örneklerinin efektif radyum aktivitesi frekans dağılımı.

Şekil 5.14 ve 5.15’de görüldüğü gibi üç toprak örneğinde radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi diğer örneklerden daha yüksektir.

Toprak örneklerinde CR-39 iz kazıma yöntemiyle elde edilen efektif radyum aktivite değerlerinin 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği Şekil 5.16'da verilmektedir. Efektif radyum aktivitesi açık renkten koyu renge doğru artmaktadır.



Şekil 5.16. Toprak örneklerinin efektif radyum aktivite değerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 0.2 Bq/m³).

5.3.3. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 137 toprak örneği gama spektrometresi ile sayıldı. Elde edilen spektrumlarda K, U ve Th kanallarına ait olan piklerin altında kalan net sayım değerleri hesaplandı. Daha sonra Eşitlik (4.6), (4.7), (4.8) ve (4.9) kullanılarak örneklerin U ve Th değerleri ppm olarak K'da %olarak hesaplandı. Eşitlik (4.10), (4.11) ve (4.12) kullanılarak örneklerin U-238, Th-232 ve K-40 aktivite değerleri Bq/kg olarak bulundu.

Gama spektrometresi kullanılarak elde edilen U-238, Th-232, K-40 aktivite konsantrasyonlarından Çizelge 2.9'da verilen birim aktivite başına doz hızı dönüşüm faktörleri kullanılarak K-40, U-238 ve Th-232 için doz eşdeğer değerleri, nGy/saat olarak dış ortamdaki ortalama soğurulan doz hızı değerleri ve Eşitlik 2.1 kullanılarak maruz kalınan yıllık efektif doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Ayrıca eşdeğer radyum aktivitesi Eşitlik 4.13 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9'da verilmektedir.

Çizelge 5.9. Toprak örneklerinin doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonu

Toprak Örnek No	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 için Doz Hızı (nGy/saat)	U-238 için Doz Hızı (nGy/saat)	Th-232 için Doz Hızı (nGy/saat)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Ortamda Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv)
1	0.81	7.06	13.25	240.18	88.86	53.94	10.02	41.05	32.58	184.48	83.64	102.58
2	0.82	4.16	7.84	243.07	52.28	31.91	10.14	24.15	19.28	116.63	53.57	65.69
3	0.63	2.71	8.12	185.39	34.14	33.04	7.73	15.77	19.95	95.66	43.46	53.30
4	0.01	2.86	10.88	3.41	36.03	44.27	0.14	16.65	26.74	99.61	43.53	53.39
5	1.16	7.81	9.44	343.92	98.25	38.43	14.34	45.39	23.21	179.69	82.95	101.73
6	1.08	4.79	12.31	320.86	60.26	50.12	13.38	27.84	30.27	156.63	71.49	87.67
7	2.21	6.55	6.74	653.57	82.45	27.42	27.25	38.09	16.56	171.98	81.91	100.45
8	0.42	5.90	5.41	124.68	74.23	22.02	5.20	34.29	13.30	115.32	52.80	64.75
9	LLD	0.79	7.45	LLD	9.90	30.34	0.00	4.57	18.33	53.28	22.90	28.08
10	0.07	2.66	15.68	19.32	33.52	63.83	0.81	15.48	38.55	126.27	54.84	67.26
11	LLD	2.28	9.28	LLD	28.66	37.76	0.00	13.24	22.80	82.66	36.05	44.21
12	0.10	6.15	16.07	29.77	77.32	65.40	1.24	35.72	39.50	173.13	76.46	93.77
13	LLD	2.88	10.99	LLD	36.17	44.72	0.00	16.71	27.01	100.12	43.72	53.62
14	LLD	3.10	3.26	LLD	38.96	13.26	0.00	18.00	8.01	57.92	26.01	31.90
15	LLD	3.73	5.30	LLD	46.86	21.57	0.00	21.65	13.03	77.71	34.68	42.53
16	LLD	1.15	6.68	LLD	14.42	27.19	0.00	6.66	16.42	53.30	23.09	28.31
17	7.93	7.16	14.30	2347.77	90.12	58.21	97.90	41.63	35.16	354.13	174.69	214.24
18	3.64	5.78	19.16	1078.11	72.74	77.98	44.96	33.61	47.10	267.27	125.67	154.12
19	1.57	7.27	22.14	465.98	91.48	90.12	19.43	42.26	54.43	256.23	116.13	142.42
20	2.08	9.39	20.32	615.16	118.18	82.70	25.65	54.60	49.95	283.82	130.21	159.68
21	0.54	9.76	19.99	159.05	122.76	81.36	6.63	56.71	49.14	251.34	112.49	137.95
22	1.46	4.79	15.68	433.52	60.28	63.83	18.08	27.85	38.55	184.93	84.48	103.60
23	1.09	7.67	15.07	321.59	96.49	61.35	13.41	44.58	37.06	208.99	95.05	116.56
24	0.68	4.36	12.53	201.68	54.84	51.02	8.41	25.34	30.81	143.32	64.56	79.17

Çizelge 5.9.'un devamı.

Toprak Örnek No	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 için Doz Hızı (nGy/saat)	U-238 için Doz Hızı (nGy/saat)	Th-232 için Doz Hızı (nGy/saat)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Ortamda Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv)
25	0.37	5.04	10.16	110.14	63.35	41.35	4.59	29.27	24.98	130.97	58.84	72.16
26	0.85	5.53	13.58	251.93	69.60	55.29	10.51	32.15	33.39	168.05	76.05	93.27
27	2.11	4.36	15.52	624.88	54.87	63.15	26.06	25.35	38.14	193.29	89.55	109.82
28	0.78	5.45	10.38	229.53	68.59	42.25	9.57	31.69	25.52	146.69	66.78	81.90
29	0.84	6.17	10.16	249.45	77.56	41.35	10.40	35.83	24.98	155.90	71.21	87.34
30	0.85	5.80	9.83	252.75	72.90	40.00	10.54	33.68	24.16	149.57	68.38	83.87
31	0.66	5.36	4.53	195.70	67.48	18.43	8.16	31.18	11.13	108.91	50.47	61.90
32	0.77	2.74	12.92	228.72	34.46	52.59	9.54	15.92	31.76	127.28	57.22	70.18
33	0.25	2.35	9.28	73.29	29.61	37.76	3.06	13.68	22.80	89.25	39.54	48.49
34	0.76	2.98	12.87	224.67	37.47	52.36	9.37	17.31	31.63	129.65	58.31	71.51
35	1.57	5.01	17.01	465.62	63.05	69.22	19.42	29.13	41.81	197.89	90.35	110.81
36	0.53	4.08	8.67	158.01	51.38	35.28	6.59	23.74	21.31	114.00	51.64	63.33
37	0.55	3.02	11.76	162.78	38.04	47.87	6.79	17.58	28.91	119.03	53.28	65.34
38	LLD	3.03	10.88	LLD	38.17	44.27	0.00	17.63	26.74	101.48	44.37	54.42
39	LLD	5.59	8.06	LLD	70.31	32.81	0.00	32.48	19.82	117.23	52.30	64.14
40	0.19	3.79	10.33	56.43	47.69	42.03	2.35	22.03	25.38	112.13	49.77	61.04
41	1.25	3.26	13.20	369.03	40.95	53.71	15.39	18.92	32.44	146.18	66.75	81.86
42	0.56	6.20	8.95	166.74	78.00	36.41	6.95	36.04	21.99	142.90	64.98	79.69
43	LLD	2.94	6.29	LLD	36.93	25.62	0.00	17.06	15.47	73.56	32.53	39.90
44	0.18	1.05	9.00	53.37	13.18	36.63	2.23	6.09	22.13	69.67	30.44	37.33
45	LLD	3.89	9.00	LLD	48.94	36.63	0.00	22.61	22.13	101.32	44.73	54.86
46	1.56	1.51	14.85	461.58	19.02	60.45	19.25	8.79	36.51	141.01	64.55	79.16
47	1.99	6.83	8.01	589.91	85.87	32.59	24.60	39.67	19.68	177.89	83.95	102.96

Çizelge 5.9.'un devamı.

Toprak Örnek No	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 için Doz Hızı (nGy/saat)	U-238 için Doz Hızı (nGy/saat)	Th-232 için Doz Hızı (nGy/saat)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Ortamda Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv)
48	0.82	4.93	6.68	242.88	62.02	27.19	10.13	28.65	16.42	119.61	55.21	67.70
49	0.78	7.00	13.97	231.53	88.06	56.86	9.65	40.68	34.34	187.20	84.68	103.85
50	0.63	5.30	14.30	186.10	66.67	58.21	7.76	30.80	35.16	164.24	73.72	90.41
51	1.28	5.58	14.30	378.68	70.22	58.21	15.79	32.44	35.16	182.62	83.39	102.27
52	1.22	4.98	18.22	361.95	62.62	74.16	15.09	28.93	44.79	196.54	88.82	108.92
53	1.77	4.11	14.47	524.99	51.71	58.88	21.89	23.89	35.56	176.34	81.35	99.76
54	1.56	5.20	12.26	461.21	65.40	49.89	19.23	30.22	30.13	172.26	79.58	97.60
55	1.02	4.84	12.09	303.36	60.94	49.22	12.65	28.15	29.73	154.68	70.53	86.50
56	0.14	3.75	8.95	42.65	47.21	36.41	1.78	21.81	21.99	102.56	45.58	55.90
57	2.02	6.31	11.43	598.40	79.33	46.52	24.95	36.65	28.10	191.93	89.70	110.01
58	2.33	6.67	20.38	691.09	83.91	82.93	28.82	38.77	50.09	255.71	117.67	144.32
59	2.09	8.22	15.07	619.76	103.36	61.35	25.84	47.75	37.06	238.82	110.65	135.70
60	3.14	5.77	17.45	928.77	72.58	71.02	38.73	33.53	42.89	245.65	115.16	141.23
61	2.07	4.29	14.74	611.37	53.94	60.00	25.49	24.92	36.24	186.82	86.66	106.28
62	2.19	3.91	14.91	648.36	49.16	60.68	27.04	22.71	36.65	185.86	86.40	105.96
63	LLD	4.49	7.84	LLD	56.54	31.91	0.00	26.12	19.28	102.18	45.40	55.68
64	0.86	5.53	9.44	255.92	69.60	38.43	10.67	32.15	23.21	144.26	66.04	80.99
65	LLD	6.74	13.20	LLD	84.76	53.71	0.00	39.16	32.44	161.57	71.60	87.81
66	1.35	4.14	12.04	399.92	52.11	48.99	16.68	24.07	29.59	152.96	70.34	86.27
67	0.90	4.75	8.17	267.18	59.78	33.26	11.14	27.62	20.09	127.92	58.85	72.18
68	1.18	3.90	12.04	348.81	49.03	48.99	14.55	22.65	29.59	145.95	66.79	81.91
69	1.16	3.41	7.12	342.15	42.89	28.99	14.27	19.82	17.51	110.70	51.59	63.28
70	0.87	1.84	9.66	258.11	23.21	39.33	10.76	10.72	23.75	99.32	45.24	55.48
71	2.02	4.04	9.55	598.68	50.78	38.88	24.96	23.46	23.48	152.48	71.91	88.19
72	1.63	6.54	9.50	481.09	82.22	38.65	20.06	37.98	23.35	174.54	81.39	99.82

Çizelge 5.9.'un devamı.

Toprak Örnek No	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 için Doz Hızı (nGy/saat)	U-238 için Doz Hızı (nGy/saat)	Th-232 için Doz Hızı (nGy/saat)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Ortamda Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv)
73	3.53	6.16	17.17	1043.43	77.46	69.89	43.51	35.79	42.22	257.75	121.51	149.02
74	4.82	5.43	12.70	1426.79	68.30	51.69	59.50	31.55	31.22	252.08	122.27	149.95
75	3.05	4.90	17.45	901.90	61.69	71.02	37.61	28.50	42.89	232.69	109.00	133.68
76	1.72	4.65	10.60	508.89	58.44	43.15	21.22	27.00	26.06	159.33	74.28	91.10
77	2.42	5.34	21.48	716.44	67.24	87.42	29.88	31.06	52.80	247.42	113.74	139.49
78	0.76	20.37	17.12	225.87	256.19	69.67	9.42	118.36	42.08	373.21	169.86	208.32
79	1.40	10.27	16.51	415.74	129.24	67.20	17.34	59.71	40.59	257.34	117.63	144.26
80	0.42	5.67	6.96	124.46	71.35	28.32	5.19	32.96	17.10	121.43	55.26	67.77
81	0.82	5.23	4.91	243.60	65.82	20.00	10.16	30.41	12.08	113.18	52.65	64.57
82	2.46	4.82	18.33	727.44	60.62	74.61	30.33	28.01	45.07	223.33	103.41	126.82
83	2.55	7.85	20.27	754.16	98.70	82.48	31.45	45.60	49.82	274.71	126.86	155.59
84	2.05	10.22	19.27	606.25	128.53	78.43	25.28	59.38	47.37	287.37	132.03	161.93
85	1.19	6.36	26.17	351.49	79.98	106.53	14.66	36.95	64.34	259.38	115.95	142.20
86	0.46	4.85	25.01	136.76	61.06	101.81	5.70	28.21	61.49	217.18	95.40	117.00
87	2.48	9.96	23.08	734.12	125.29	93.94	30.61	57.88	56.74	316.15	145.24	178.12
88	1.50	5.75	19.38	443.87	72.30	78.88	18.51	33.40	47.65	219.28	99.56	122.10
89	1.11	6.33	19.00	327.65	79.65	77.31	13.66	36.80	46.70	215.43	97.16	119.15
90	1.10	5.87	12.53	326.62	73.78	51.02	13.62	34.09	30.81	171.89	78.52	96.30
91	0.99	6.05	11.49	293.17	76.08	46.75	12.23	35.15	28.23	165.50	75.61	92.72
92	0.60	8.58	9.06	176.35	107.97	36.86	7.35	49.88	22.26	174.26	79.50	97.50
93	0.46	9.12	8.95	137.35	114.71	36.41	5.73	52.99	21.99	177.35	80.71	98.99
94	0.16	10.81	11.49	48.22	135.99	46.75	2.01	62.83	28.23	206.55	93.07	114.15
95	0.62	6.04	11.37	182.29	75.94	46.30	7.60	35.09	27.96	156.18	70.65	86.65
96	0.43	4.61	10.22	126.22	57.97	41.58	5.26	26.78	25.11	127.15	57.16	70.10
97	LLD	3.62	13.47	LLD	45.55	54.84	0.00	21.04	33.12	123.96	54.16	66.43

Çizelge 5.9.'un devamı.

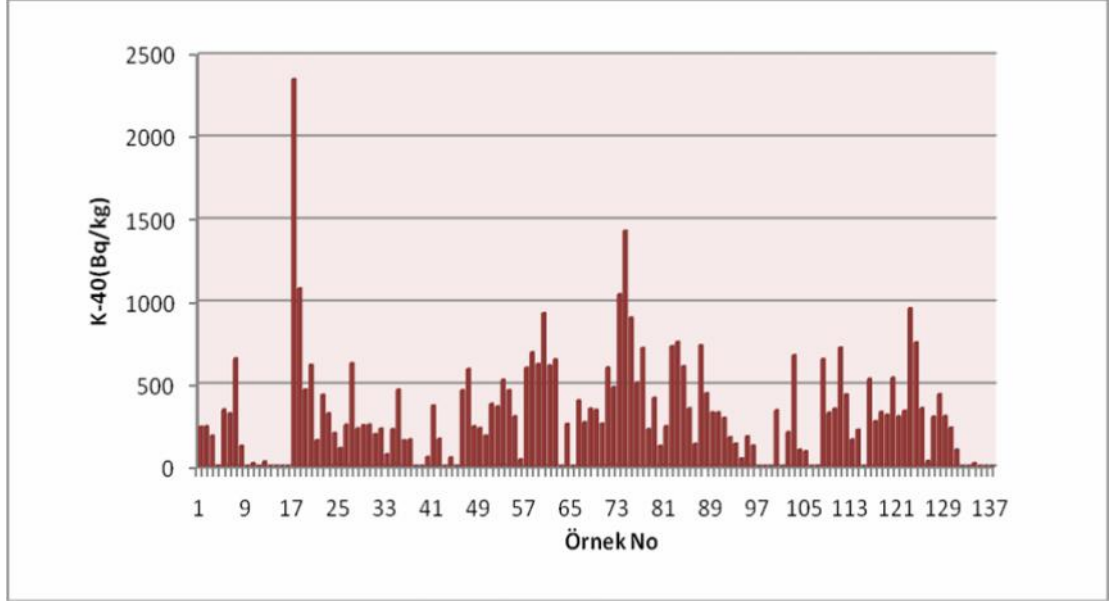
Toprak Örnek No	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 için Doz Hızı (nGy/saat)	U-238 için Doz Hızı (nGy/saat)	Th-232 için Doz Hızı (nGy/saat)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Ortamda Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv)
98	LLD	4.23	8.67	LLD	53.28	35.28	0.00	24.61	21.31	103.73	45.92	56.32
99	LLD	4.63	8.06	LLD	58.23	32.81	0.00	26.90	19.82	105.15	46.72	57.30
100	1.15	4.81	12.70	340.11	60.48	51.69	14.18	27.94	31.22	160.59	73.35	89.95
101	LLD	4.45	3.04	LLD	55.98	12.36	0.00	25.86	7.47	73.66	33.33	40.88
102	0.70	6.95	5.58	207.18	87.45	22.70	8.64	40.40	13.71	135.87	62.75	76.96
103	2.27	5.55	14.19	673.30	69.85	57.76	28.08	32.27	34.89	204.29	95.23	116.80
104	0.34	3.32	8.34	101.23	41.75	33.94	4.22	19.29	20.50	98.07	44.01	53.97
105	0.31	6.25	4.75	92.07	78.64	19.33	3.84	36.33	11.67	113.37	51.85	63.58
106	LLD	3.22	2.37	LLD	40.51	9.66	0.00	18.71	5.84	54.33	24.55	30.11
107	0.01	2.78	9.00	2.80	34.96	36.63	0.12	16.15	22.13	87.56	38.40	47.09
108	2.20	2.63	11.76	649.90	33.07	47.87	27.10	15.28	28.91	151.57	71.29	87.43
109	1.10	5.26	7.62	325.35	66.22	31.01	13.57	30.60	18.73	135.63	62.90	77.13
110	1.18	2.31	13.91	349.70	29.02	56.63	14.58	13.41	34.21	136.94	62.20	76.28
111	2.43	5.47	14.36	718.52	68.87	58.43	29.96	31.82	35.29	207.75	97.07	119.05
112	1.47	2.84	11.60	435.46	35.71	47.19	18.16	16.50	28.51	136.73	63.16	77.46
113	0.55	4.79	16.07	162.30	60.27	65.40	6.77	27.84	39.50	166.28	74.11	90.89
114	0.75	7.50	13.31	221.56	94.37	54.16	9.24	43.60	32.71	188.88	85.55	104.92
115	LLD	7.59	9.33	LLD	95.52	37.98	0.00	44.13	22.94	149.83	67.07	82.25
116	1.79	3.33	10.44	530.54	41.90	42.48	22.12	19.36	25.66	143.49	67.14	82.34
117	0.93	6.04	9.66	273.82	76.02	39.33	11.42	35.12	23.75	153.34	70.29	86.21
118	1.11	6.78	9.11	329.18	85.30	37.08	13.73	39.41	22.40	163.68	75.53	92.64
119	1.06	3.64	8.39	312.59	45.84	34.16	13.03	21.18	20.63	118.76	54.85	67.26
120	1.82	5.02	14.30	537.31	63.12	58.21	22.41	29.16	35.16	187.73	86.72	106.36
121	1.03	5.68	15.57	303.44	71.51	63.38	12.65	33.04	38.28	185.50	83.97	102.98
122	1.13	10.68	17.06	335.86	134.40	69.44	14.01	62.09	41.94	259.57	118.04	144.77

Çizelge 5.9.'un devamı.

Toprak Örnek No	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 için Doz Hızı (nGy/saat)	U-238 için Doz Hızı (nGy/saat)	Th-232 için Doz Hızı (nGy/saat)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Ortamda Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv)
123	3.24	4.59	15.79	957.94	57.80	64.27	39.95	26.71	38.82	223.48	105.47	129.35
124	2.54	5.82	15.02	751.03	73.22	61.13	31.32	33.83	36.92	218.46	102.07	125.17
125	1.19	5.69	10.10	352.90	71.58	41.13	14.72	33.07	24.84	157.56	72.63	89.07
126	0.11	5.34	10.93	31.94	67.12	44.50	1.33	31.01	26.88	133.22	59.22	72.63
127	1.02	7.65	15.07	301.30	96.25	61.35	12.56	44.47	37.06	207.19	94.09	115.39
128	1.48	3.79	18.55	437.32	47.62	75.51	18.24	22.00	45.61	189.28	85.85	105.28
129	1.03	3.98	10.38	304.19	50.12	42.25	12.68	23.16	25.52	133.96	61.36	75.25
130	0.79	3.66	13.14	234.06	46.10	53.49	9.76	21.30	32.31	140.61	63.36	77.71
131	0.35	2.08	8.95	102.21	26.14	36.41	4.26	12.07	21.99	86.07	38.33	47.00
132	LLD	4.68	6.18	LLD	58.82	25.17	0.00	27.17	15.20	94.81	42.38	51.97
133	LLD	4.11	8.72	LLD	51.68	35.51	0.00	23.88	21.45	102.46	45.33	55.59
134	0.06	3.82	7.84	18.71	48.02	31.91	0.78	22.18	19.28	95.09	42.24	51.80
135	LLD	4.94	11.10	LLD	62.11	45.17	0.00	28.70	27.28	126.71	55.98	68.65
136	LLD	2.75	10.71	LLD	34.65	43.60	0.00	16.01	26.33	97.00	42.34	51.93
137	LLD	2.88	12.59	LLD	36.20	51.24	0.00	16.72	30.95	109.47	47.67	58.46
Min.	-	0.79	2.37	2.80	9.90	9.66	-	4.57	5.84	53.28	22.90	28.08
Max.	7.93	20.37	26.17	2347.77	256.19	106.53	97.90	118.36	64.34	373.21	174.69	214.24
Ort.	1.29	5.2	12.11	384.80	65.51	49.29	16.05	30.27	29.77	160.65	76.09	93.32

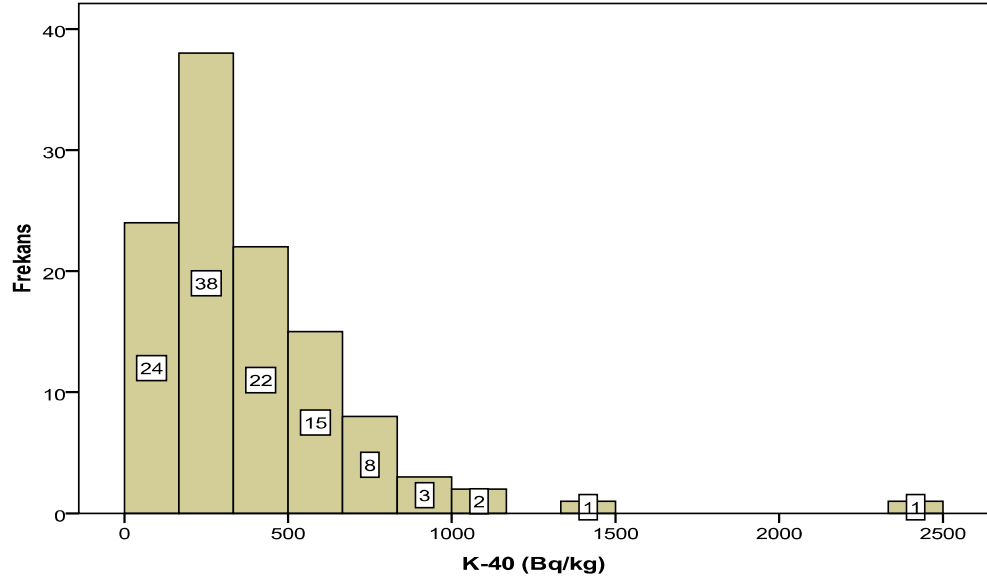
LLD: Dedekte edilemedi

Toprak örneklerinin gama spektrometresi ile bulunan K-40 aktivite konsantrasyonları ve frekans dağılımı sırasıyla Şekil 5.17 ve 5.18’de verilmektedir.



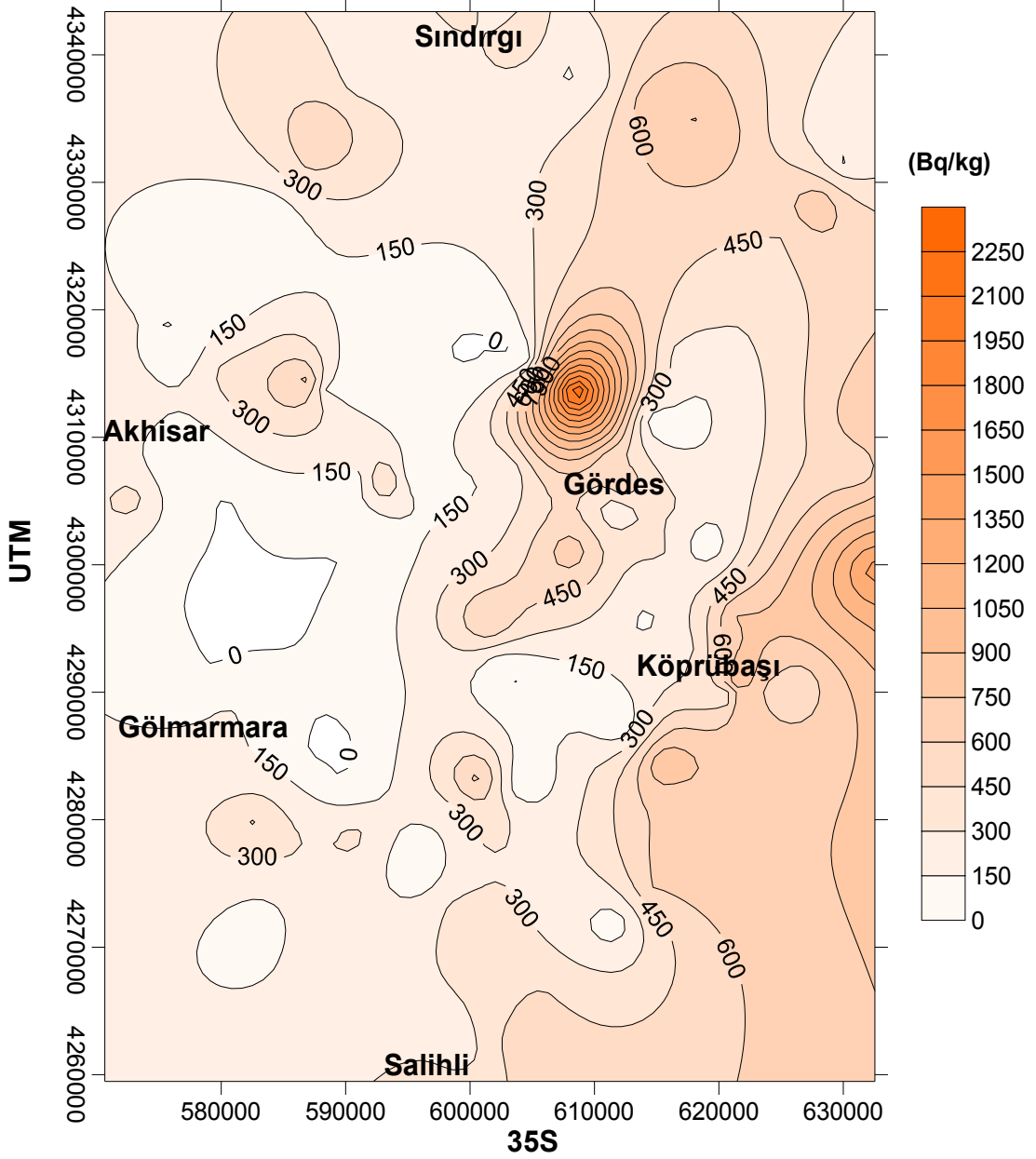
Şekil 5.17. Toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu.

Şekil 5.17’de görüldüğü gibi dört toprak örneğinde (17, 18, 73 ve 74 numaralı) 1000 Bq/kg’den daha büyük K-40 aktivitesi tespit edilmiştir.



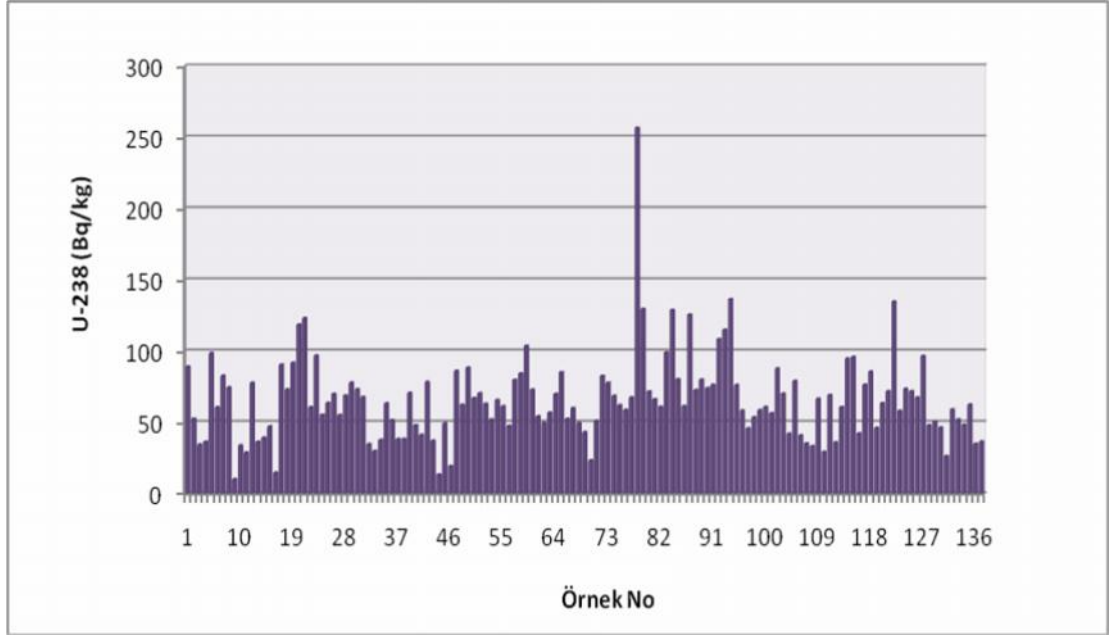
Şekil 5.18. Toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu frekans dağılımı.

Toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonlarının 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen kontur grafiği Şekil 5.19’da verilmektedir. K-40 aktivite konsantrasyonlarının dağılımı açık renkten koyu renge doğru artmaktadır.

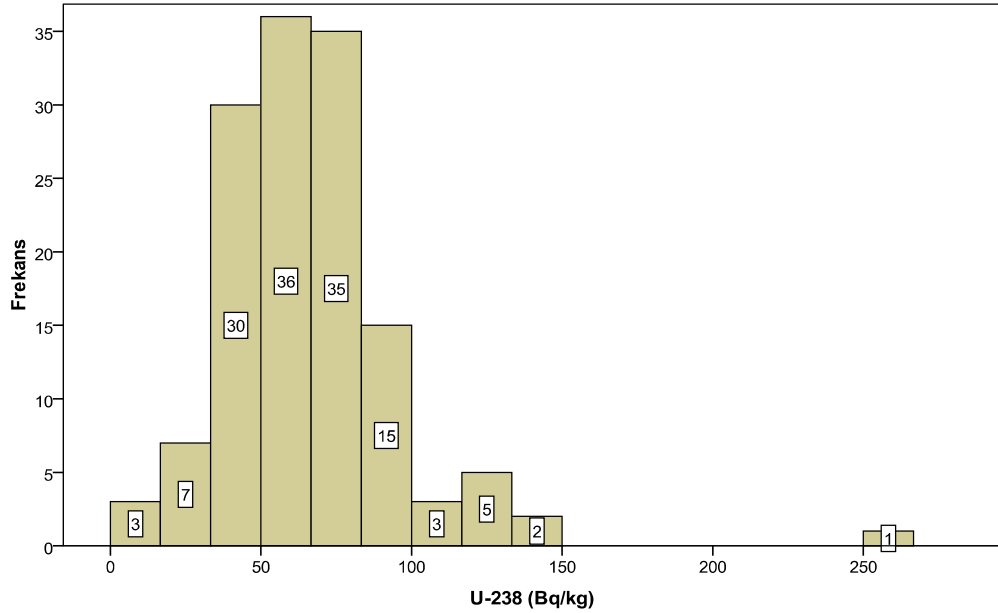


Şekil 5.19. Toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonlarının bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 150 Bq/kg).

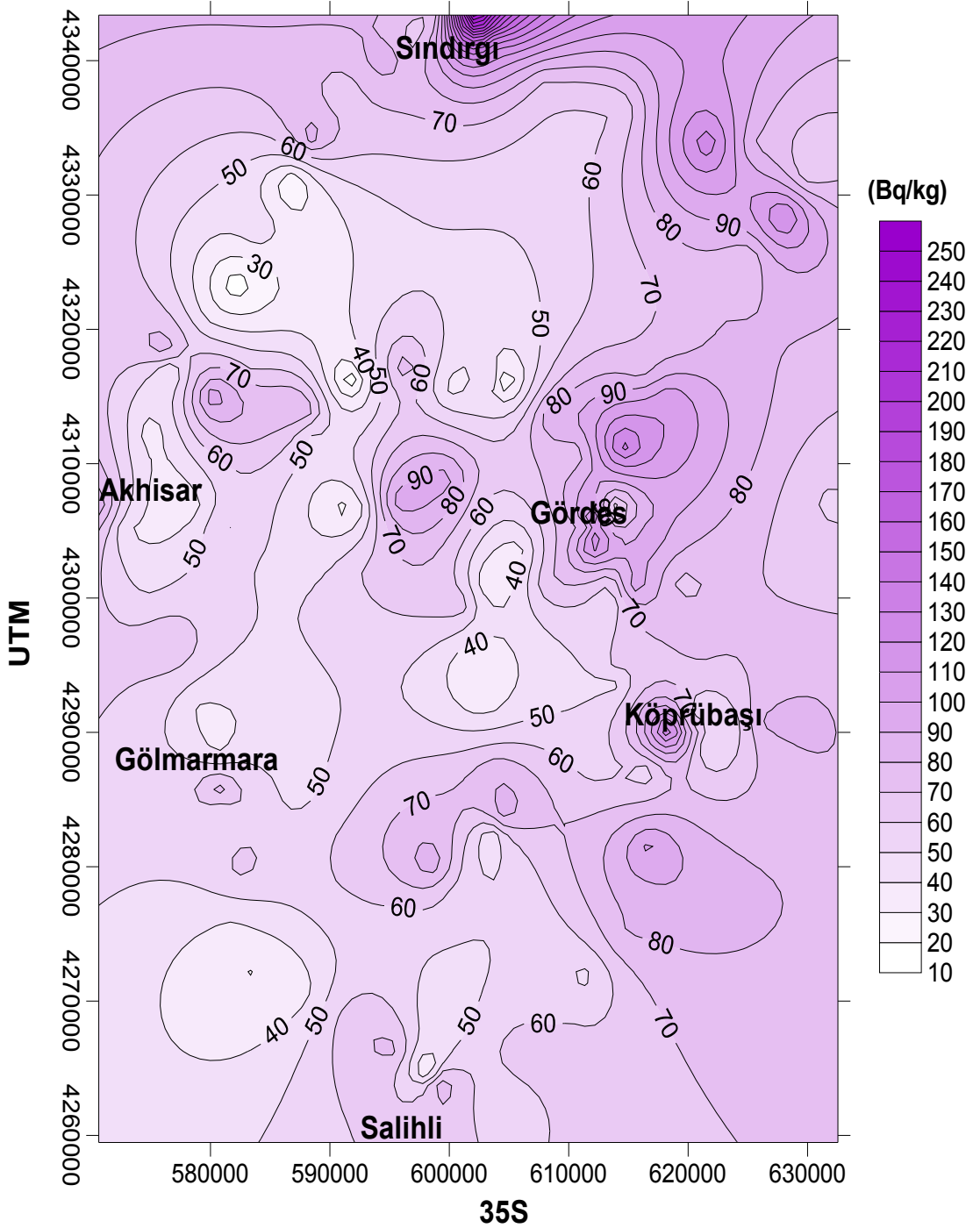
Toprak örneklerinin gama spektrometresi ile bulunan U-238 aktivite konsantrasyonları ve frekans dağılımı sırasıyla Şekil 5.20 ve 5.21’de verilmektedir.



Şekil 5.20’de görüldüğü gibi 78 numaralı toprak örneğinde diğer örneklerden daha yüksek U-238 aktivitesi tespit edilmiştir.

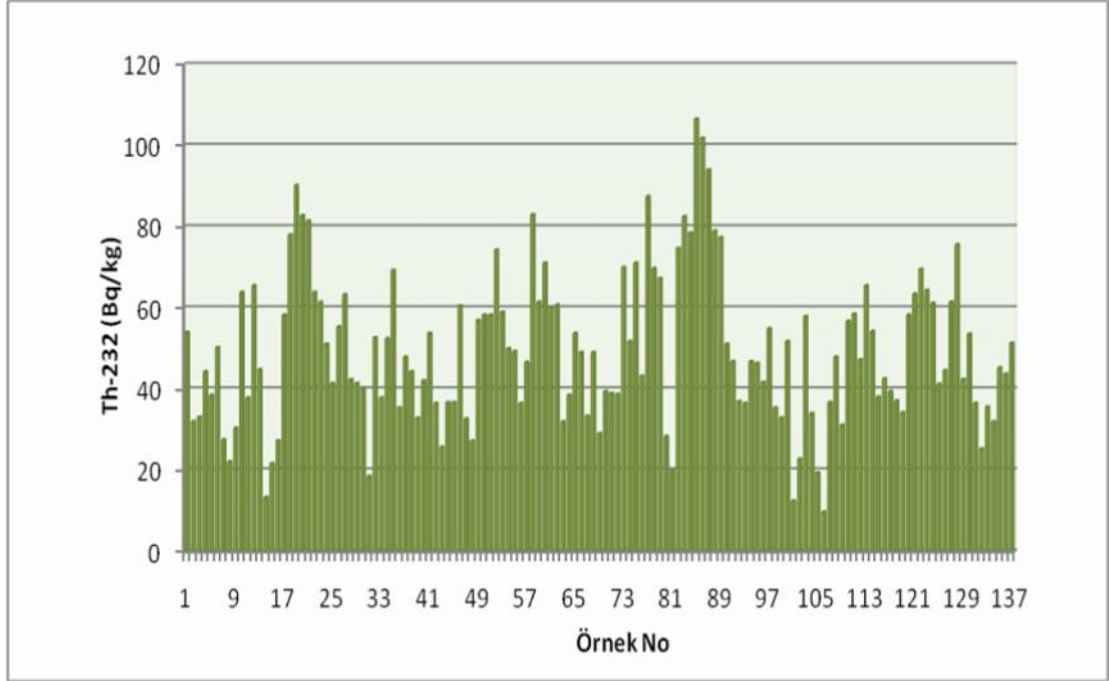


Toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonlarının 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen kontur grafiği Şekil 5.22’de verilmektedir. U-238 aktivite konsantrasyonlarının dağılımı açık renkten koyu renge doğru artmaktadır.

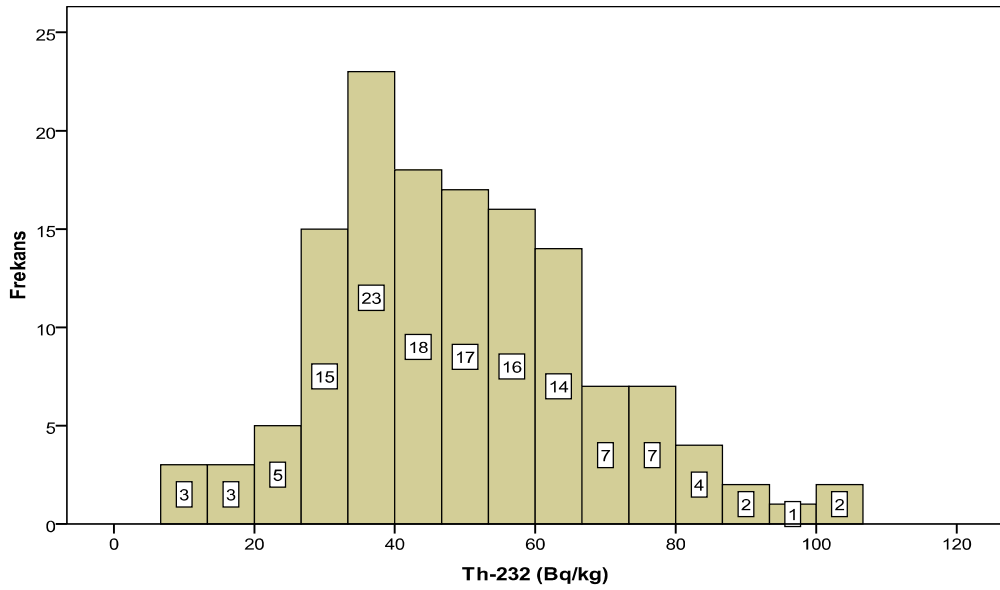


Şekil 5.22. Toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonlarının bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 10 Bq/kg).

Toprak örneklerinin gama spektrometresi ile bulunan Th-232 aktivite konsantrasyonları ve frekans dağılımı sırasıyla Şekil 5.23 ve 5.24'de verilmektedir. Şekil 5.23'de görüldüğü gibi 85 ve 86 numaralı toprak örneklerinde ölçülen Th-232 aktivite konsantrasyonu 100 Bq/kg'ı aşmaktadır.

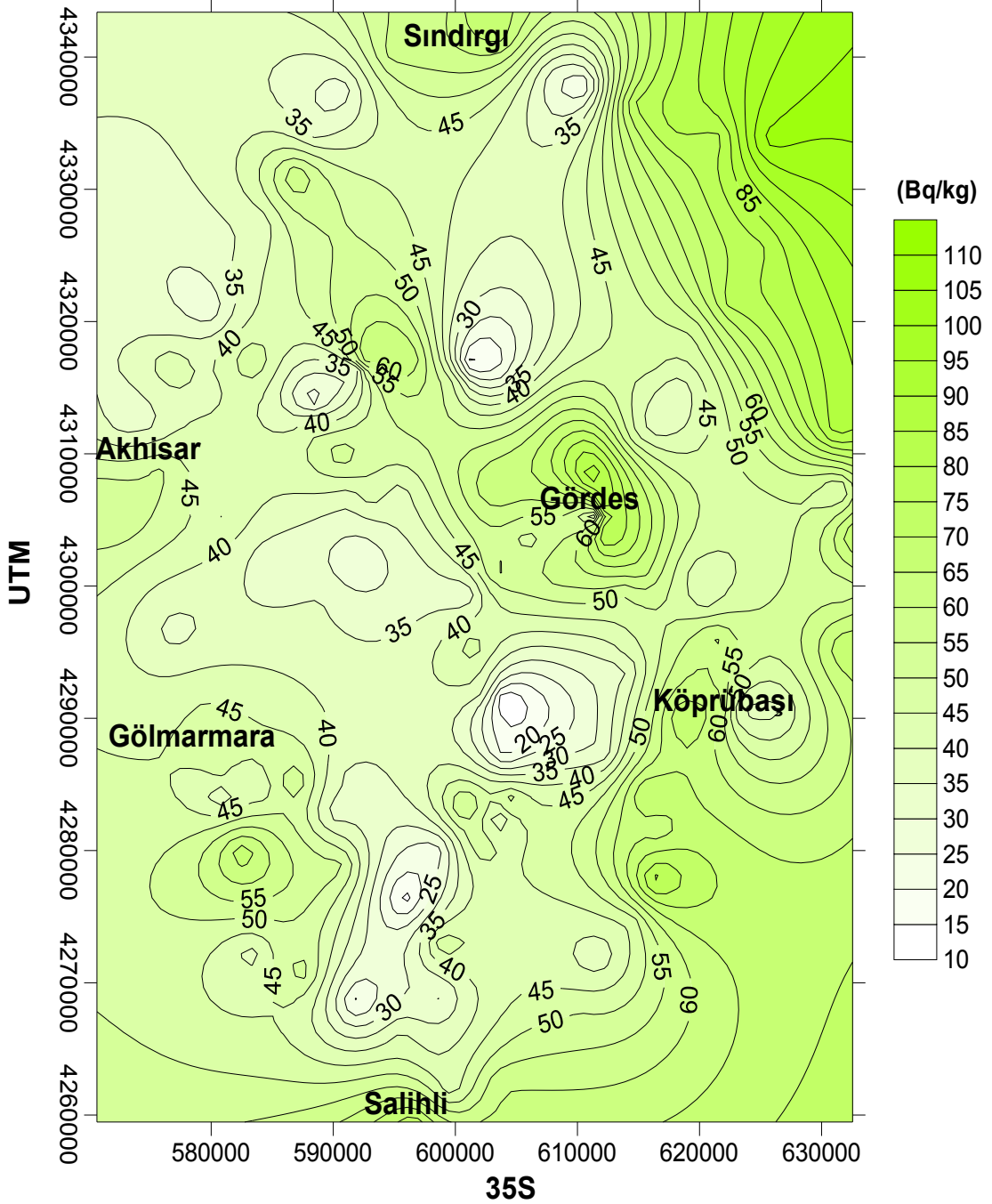


Şekil 5.23. Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonu.



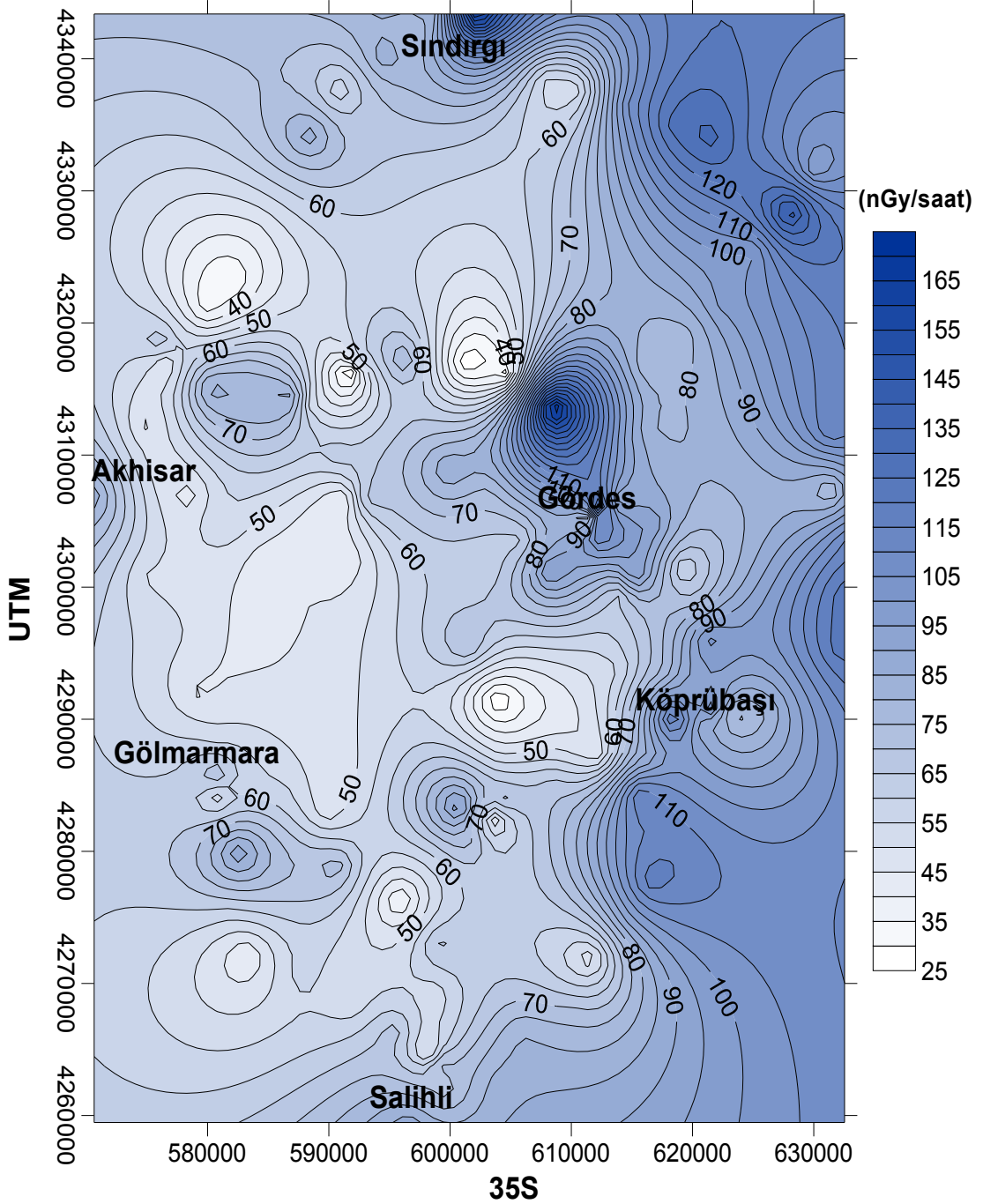
Şekil 5.24. Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonunun frekans dağılımı.

Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonlarının 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen kontur grafiği Şekil 5.25’de verilmektedir. Th-232 aktivite konsantrasyonlarının dağılımı açık renkten koyu renge doğru artmaktadır.



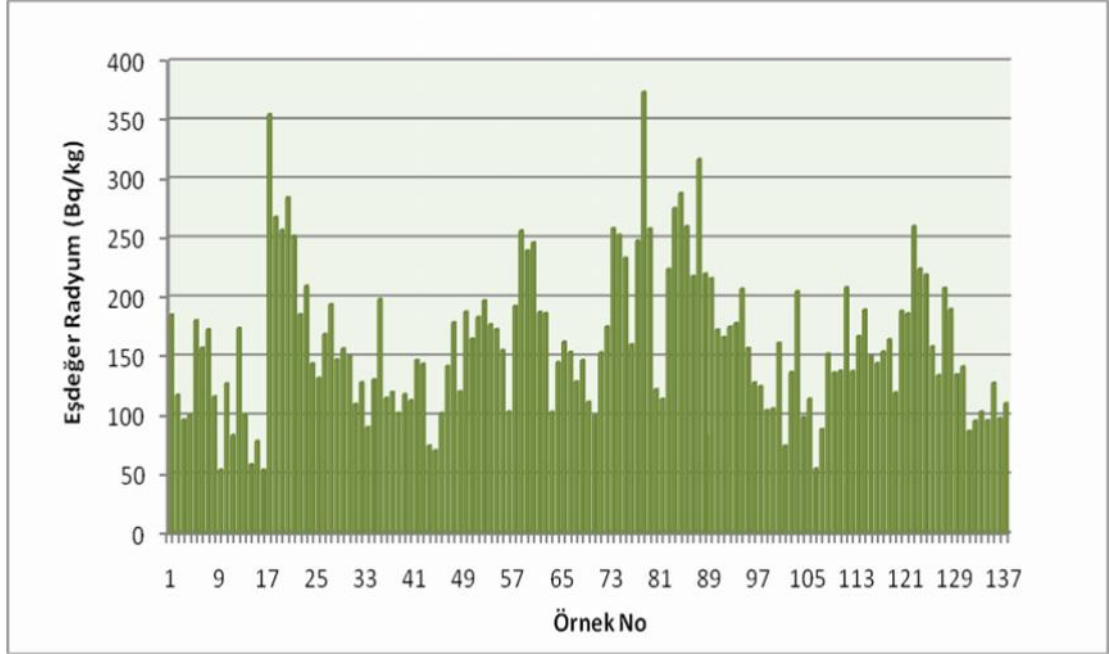
Şekil 5.25. Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonlarının bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 5 Bq/kg).

Toprak örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan yerden 1 metre yükseklikteki doz hızı değerlerinin 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen kontur grafiği Şekil 5. 26'da verilmektedir. Doz hızı değerlerinin dağılımı açık renkten koyu renge doğru artmaktadır.

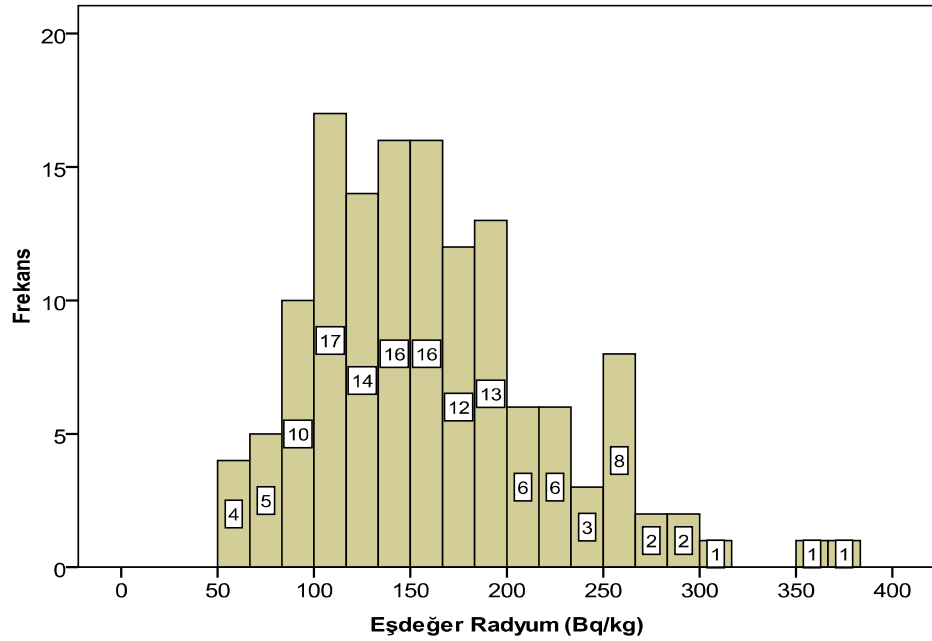


Şekil 5.26. Toprak örneklerinden nGy/saat olarak hesaplanan doz hızı değerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 5 nGy/saat).

Toprak örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan eşdeğer radyum aktiviteleri ve frekans dağılımı sırasıyla Şekil 5. 27 ve 5.28’de verilmektedir. Hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesi bir toprak örneğinde (78 numaralı) 350 Bq/kg’ı geçmektedir.

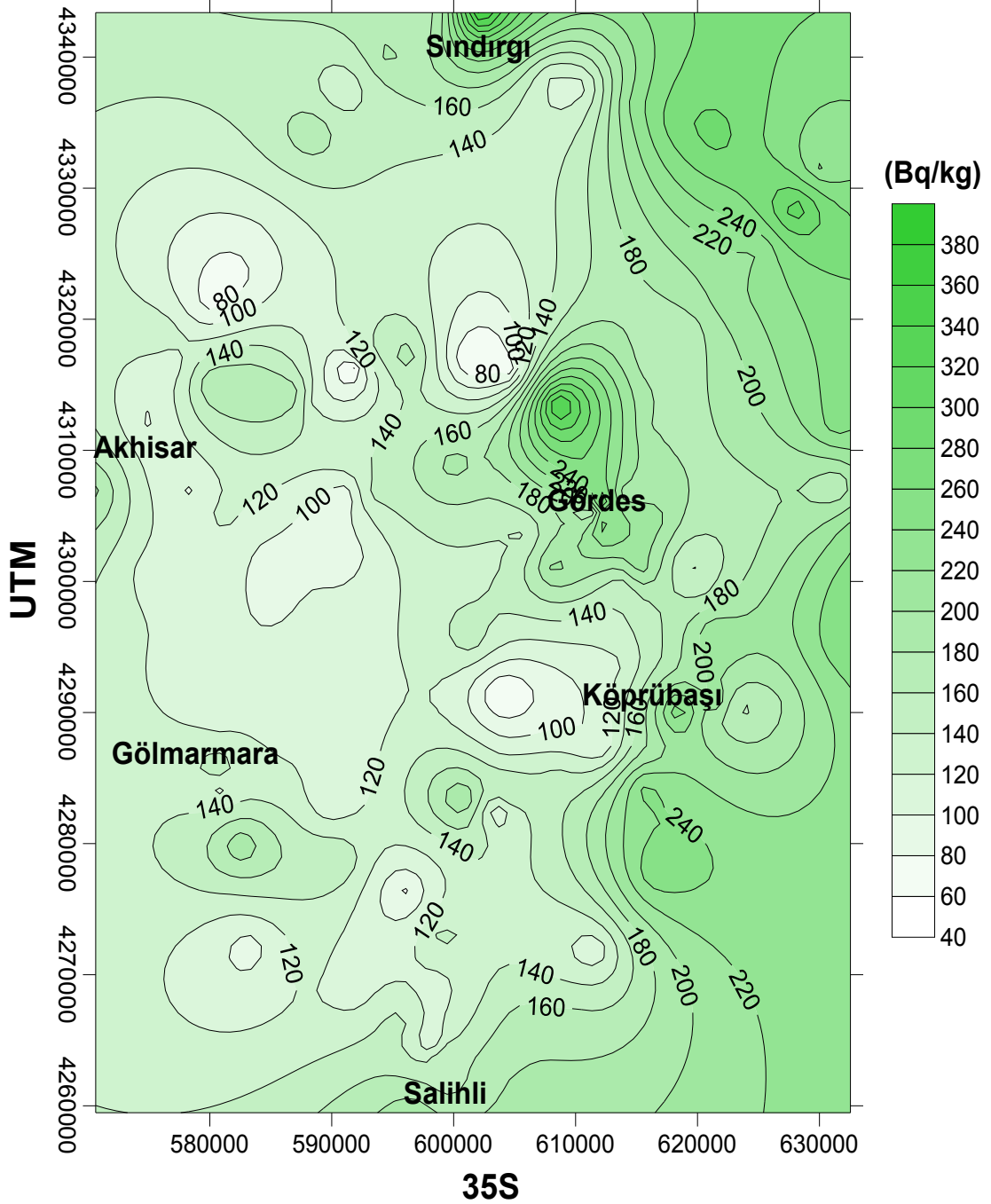


Şekil 5.27. Toprak örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesi.



Şekil 5.28. Toprak örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesinin frekans dağılımı.

Toprak örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen kontur grafiği Şekil 5. 29'da verilmektedir. Eşdeğer radyum değerlerinin dağılımı açık renkten koyu renge doğru artmaktadır.



Şekil 5.29. Toprak örneklerinin eşdeğer radyum değerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 20 Bq/kg).

5.4. U-238, Th-232 ve K-40 AKTİVİTESİNDEN HESAPLANAN BÖLGESEL EFEKTİF DOZ EŞDEĞERİ SONUÇLARI

Toprak örneklerdeki K-40, U-238 ve Th-232 aktiviteleri Bq/kg olarak bulunduktan sonra Çizelge 2.18’de verilen birim aktivite başına doz hızı dönüşüm faktörleri kullanılarak dış ortamda maruz kalınan doz hızları nGy/saat olarak ve insanların gün boyunca maruz kaldıkları yıllık efektif doz eşdeğeri Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

Akhisar İlçesi

Çizelge 5.1’de verilen Akhisar ilçe sınırı içerisindeki 36 toprak örneğinin ortalama K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak Akhisar ilçesi için dışsal ve içsel tehlikeindeksleri hesaplanmıştır.

K-40 için.	142.98 Bq/kg x 0.0417	= 5.96 nGy/saat
U-238 için.	53.28 Bq/kg x 0.462	= 24.61 nGy/saat
Th-232 için.	40.63 Bq/kg x 0.604	= 24.54 nGy/saat
Toplam doz hızı		= 55.11 nGy/saat
Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri		= 0.068 mSv/yıl

Gördes İlçesi

Çizelge 5.1’de verilen Gördes ilçe sınırı içerisindeki 30 toprak örneğinin ortalama K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak Gördes ilçesi için doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır.

K-40 için.	450.62 Bq/kg x 0.0417	= 18.79 nGy/saat
U-238 için.	73.04 Bq/kg x 0.462	= 33.74 nGy/saat
Th-232 için.	54.46 Bq/kg x 0.604	= 32.89 nGy/saat
Toplam doz hızı		= 85.42 nGy/saat
Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri		= 0.104 mSv/yıl

Gölmarmara İlçesi

Çizelge 5.1’de verilen Gölmarmara ilçe sınırı içerisindeki 15 toprak örneğinin ortalama K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak Gölmarmara ilçesi için doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır.

K-40 için.	143.83 Bq/kg x 0.0417	= 6.00 nGy/saat
U-238 için.	51.14 Bq/kg x 0.462	= 23.63 nGy/saat
Th-232 için.	42.18 Bq/kg x 0.604	= 25.48 nGy/saat
Toplam doz hızı		= 55.11 nGy/saat
Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri		= 0.068 mSv/yıl

Köprübaşı İlçesi

Çizelge 5.1’de verilen Köprübaşı ilçe sınırı içerisindeki 19 toprak örneğinin ortalama K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak Köprübaşı ilçesi için doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır.

K-40 için.	528.67 Bq/kg x 0.0417	= 22.05 nGy/saat
U-238 için.	71.89 Bq/kg x 0.462	= 33.21 nGy/saat
Th-232 için.	55.19 Bq/kg x 0.604	= 33.33 nGy/saat
Toplam doz hızı		= 88.59 nGy/saat
Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri		= 0.109 mSv/yıl

Sındırgı İlçesi

Çizelge 5.1’de verilen Sındırgı ilçe sınırı içerisindeki 12 toprak örneğinin ortalama K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak Sındırgı ilçesi için doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır.

K-40 için.	365.17 Bq/kg x 0.0417	= 15.23 nGy/saat
U-238 için.	98.04 Bq/kg x 0.462	= 45.29 nGy/saat
Th-232 için.	66.86 Bq/kg x 0.604	= 40.38 nGy/saat
Toplam doz hızı		= 100.9 nGy/saat
Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri		= 0.124 mSv/yıl

Gölmarmara-Salihli-Köprübaşı arası

Çizelge 5.1’de verilen Gölmarmara-Salihli-Köprübaşı arası içerisindeki 20 toprak örneğinin ortalama K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak Salihli ilçesi için doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır.

K-40 için.	268.59 Bq/kg x 0.0417	= 11.20 nGy/saat
U-238 için.	61.13 Bq/kg x 0.462	= 28.24 nGy/saat
Th-232 için.	42.48 Bq/kg x 0.604	= 25.66 nGy/saat
Toplam doz hızı		= 65.1 nGy/saat
Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri		= 0.080 mSv/yıl

Köprübaşı-Demirci arası

Çizelge 5.1’de verilen Köprübaşı- Demirci arası içerisindeki 5 toprak örneğinin ortalama K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak Demirci ilçesi için doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır.

K-40 için.	919.49 Bq/kg x 0.0417	= 38.34 nGy/saat
U-238 için.	66.62 Bq/kg x 0.462	= 30.78 nGy/saat
Th-232 için.	64.63 Bq/kg x 0.604	= 39.04 nGy/saat
Toplam doz hızı		= 108.16nGy/saat
Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri		= 0.133 mSv/yıl

Tüm alan için

Çizelge 5.1’de verilen 137 toprak örneğinin ortalama K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak tüm inceleme alanı için doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri hesaplanmıştır.

K-40 için.	384.80 Bq/kg x 0.0417	= 16.05 nGy/saat
U-238 için.	65.51 Bq/kg x 0.462	= 30.27 nGy/saat
Th-232 için.	49.29 Bq/kg x 0.604	= 29.77 nGy/saat
Toplam doz hızı		= 76.09 nGy/saat
Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri		= 0.093 mSv/yıl

Bölgesel olarak dış ortamda soğurulan doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri değeri sonuçları Çizelge 5.10’da verilmektedir.

Çizelge 5.10. Bölgesel olarak dış ortamda soğurulan doz hızı ve yıllık efektif doz eşdeğeri sonuçları.

İlçe	Dış ortamda soğurulan doz hızı (nGy/saat)	Yıllık efektif doz eşdeğeri (mSv/yıl)
Akhisar	55.11	0.068
Gördes	85.42	0.104
Gölmarmara	55.11	0.068
Köprübaşı	88.59	0.109
Sındırgı	100.9	0.124
Gölmarmara-Salihli-Köprübaşı arası	65.1	0.080
Köprübaşı-Demirci arası	108.16	0.133
Tüm alan	76.09	0.093

Dışsal ve İçsel Tehlike İndeksi Sonuçları

Toprak örneklerindeki K-40, U-238 ve Th-232 aktiviteleri Bq/kg olarak bulunduktan sonra Eşitlik (2.3) ve (2.4) kullanılarak dışsal ve içsel tehlike indeksleri her bir ilçe için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 5.11. Bölgesel olarak hesaplanan dışsal ve içsel tehlike indeksleri.

Yer	Örnek sayısı	Dışsal Tehlike İndeksi ($H_{dış}$)			İçsel Tehlike İndeksi ($H_{iç}$)		
		Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
Akhisar	36	0.14	0.51	0.33	0.17	0.77	0.47
Gördes	30	0.10	0.96	0.46	0.14	1.20	0.68
Gölmarmara	15	0.20	0.53	0.33	0.32	0.70	0.47
Köprübaşı	19	0.32	0.70	0.52	0.44	1.06	0.71
Sındırgı	12	0.31	1.01	0.60	0.48	1.70	0.86
Gölmarmara-Salihli-Köprübaşı arası	20	0.26	0.55	0.39	0.33	0.74	0.55
Köprübaşı-Demirci arası	5	0.43	0.70	0.62	0.59	0.91	0.80
Tüm alan	137	0.10	1.01	0.43	0.14	1.70	0.61

5.5. SEDİMENT ÖRNEKLERİ SONUÇLARI

Toplanan sediment örneklerinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk değerleri , radon soluma hızları ve gama spektrometresi ile ölçülen U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonları aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

5.5.1. pH, İletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 38 sediment örneğinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları Çizelge 5.12’de verilmektedir.

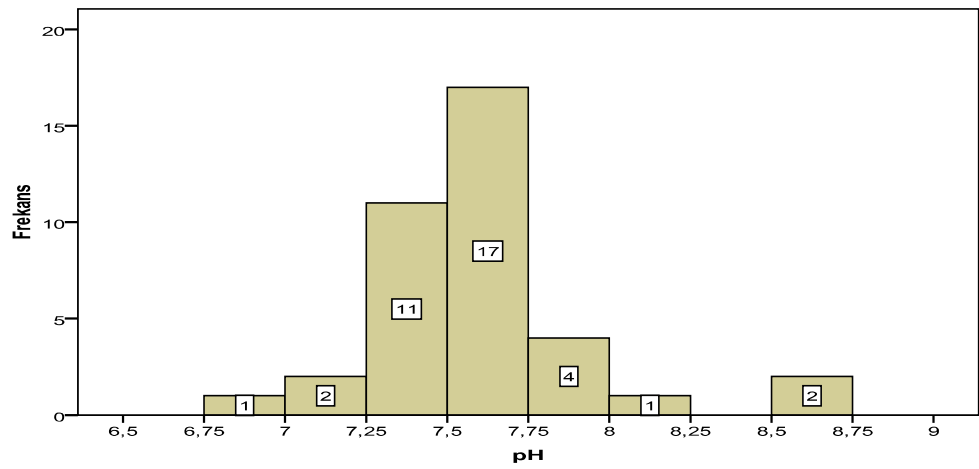
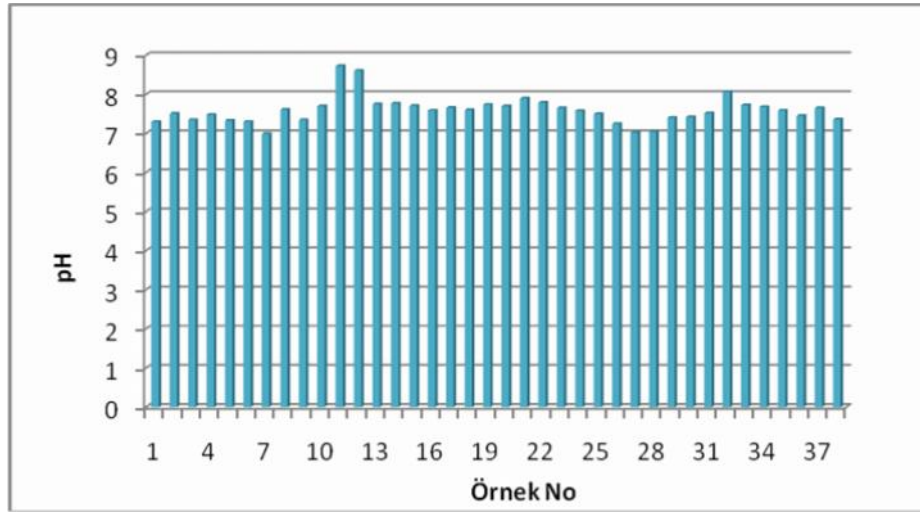
Çizelge 5.12. Sediment örneklerinin pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları.

Sediment Örnek No	pH	mV	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk
1	7.30	-20	81	0.0
2	7.51	-31	76	0.0
3	7.35	-22	89	0.0
4	7.48	-30	93	0.0
5	7.33	-21	90	0.0
6	7.30	-19	103	0.0
7	6.99	-3	37	0.0
8	7.61	-37	92	0.0
9	7.35	-22	262	0.0
10	7.70	-42	84	0.0
11	8.73	-99	106	0.0
12	8.61	-92	298	0.0
13	7.75	-45	109	0.0
14	7.77	-46	144	0.0
15	7.71	-42	77	0.0
16	7.59	-36	204	0.0
17	7.66	-39	108	0.0
18	7.60	-36	67	0.0
19	7.74	-44	78	0.0
20	7.70	-42	111	0.0
21	7.90	-53	142	0.0
22	7.79	-47	104	0.0
23	7.65	-39	131	0.0
24	7.58	-35	117	0.0
25	7.50	-31	180	0.0
26	7.25	-17	562	0.0
27	7.03	-5	218	0.0
28	7.05	-6	48	0.0
29	7.40	-27	141	0.0
30	7.42	-27	413	0.0
31	7.52	-33	205	0.0
32	8.07	-64	242	0.0

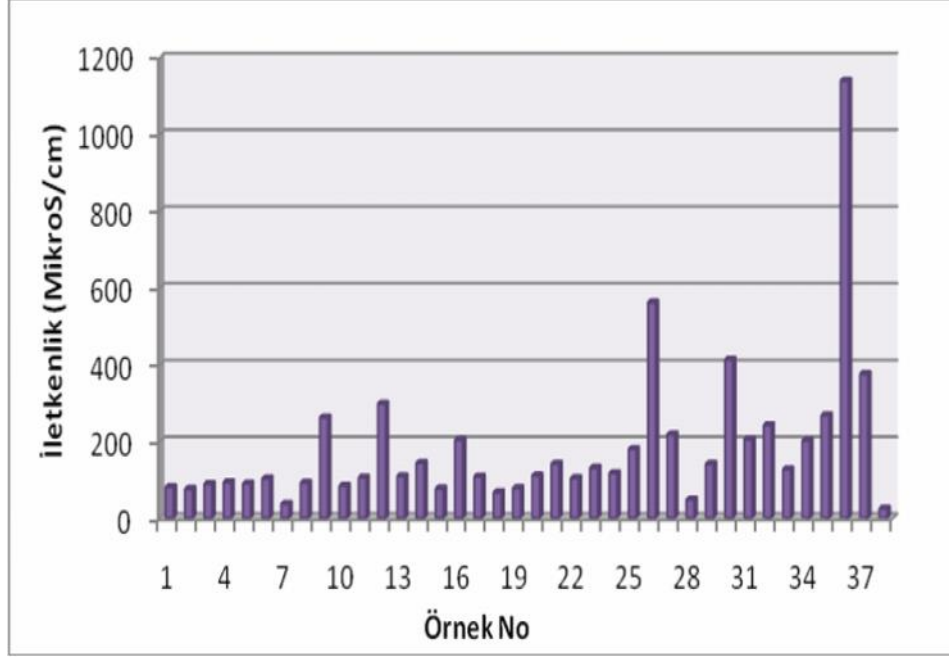
Çizelge 5.12'nin devamı.

Sediment Örnek No	pH	mV	İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Tuzluluk
33	7.73	-45	127	0.0
34	7.68	-42	202	0.0
35	7.59	-37	268	0.0
36	7.45	-29	1140	0.4
37	7.65	-40	376	0.0
38	7.36	-24	25	0.0
Min.	6.99	-99	25	0.0
Max.	8.73	-3	1140	0.4
Ort.	7.6	-36	157	

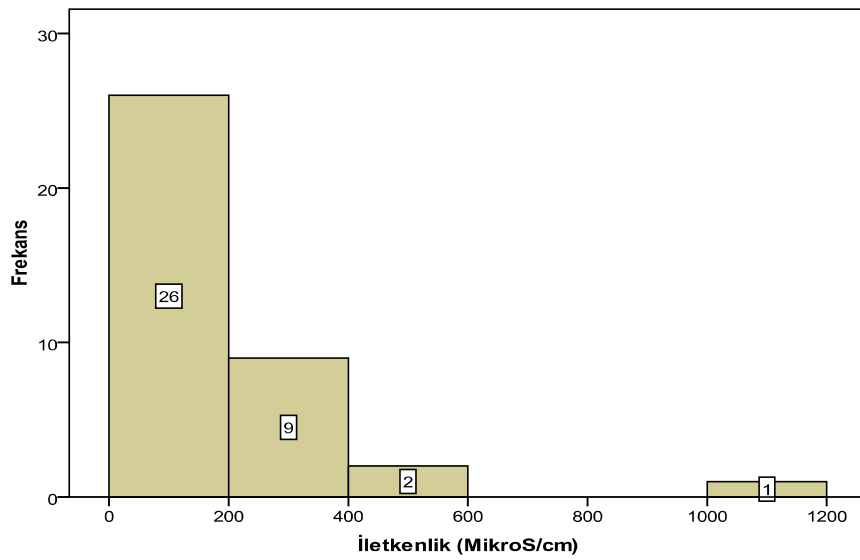
İnceleme alanından alınan 38 sediment örneğinin pH değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.30'da ve pH değerleri frekans dağılımı Şekil 5.30'da verilmektedir. Şekil 5.30'da 11, 12 ve 32 numaralı sediment örneklerinde pH 8'i geçmektedir.



İnceleme alanından alınan 38 sediment örneğinin iletkenlik değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.32’de ve iletkenlik değerleri frekans dağılımı Şekil 5.33’de verilmektedir. İletkenlik değerleri en yüksek 36 numaralı sediment örneğinde 1140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Diğer örneklerde 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den düşük değerler tespit edilmiştir.

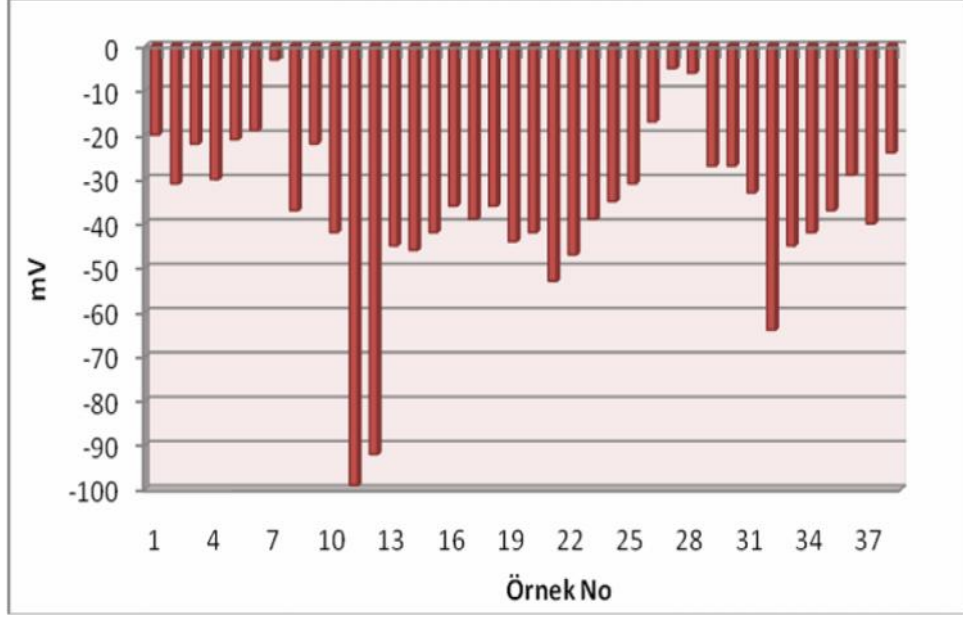


Şekil 5.32. Sediment örneklerinin iletkenlik değerleri.

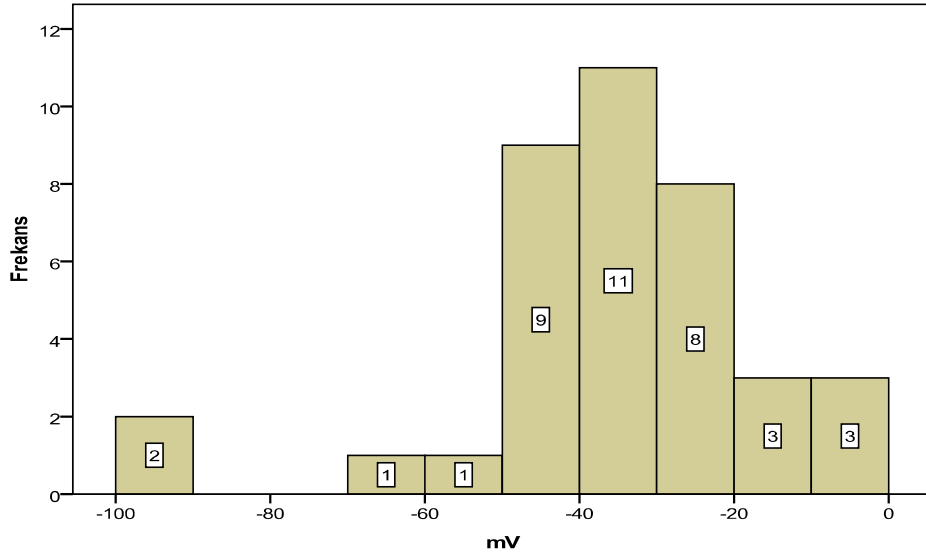


Şekil 5.33. Sediment örneklerinin iletkenlik frekans dağılımı.

İnceleme alanından alınan 38 sediment örneğinin mV değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.34’de ve mV değerleri frekans dağılımı Şekil 5.35’de verilmektedir. Tüm sediment örneklerinde mV değerleri negatif değerler almıştır. En düşük mV değeri 11 ve 12 numaralı örneklerde tespit edilmiştir.



Şekil 5.34. Sediment örneklerinin mV değerleri.



Şekil 5.35. Sediment örneklerinin mV frekans dağılımı.

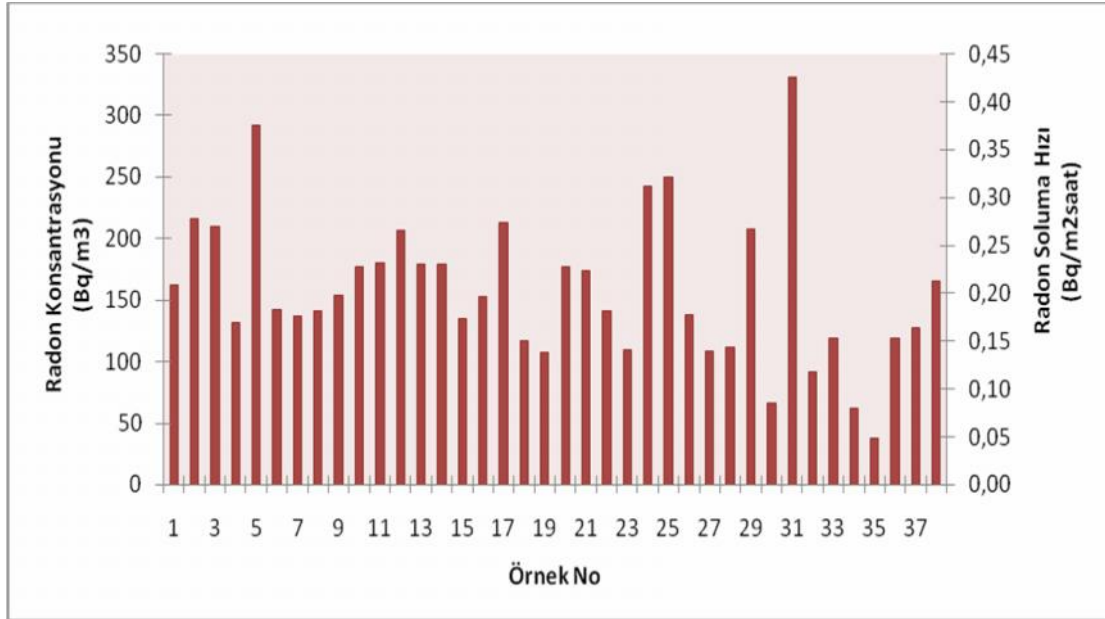
5.5.2. Sediment Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Aktivitesi Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 38 sediment örneğinin CR-39 iz kazıma dedektörleri ile hesaplanan radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi Çizelge 5.13’de verilmektedir.

Çizelge 5.13. Sediment örneklerinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi.

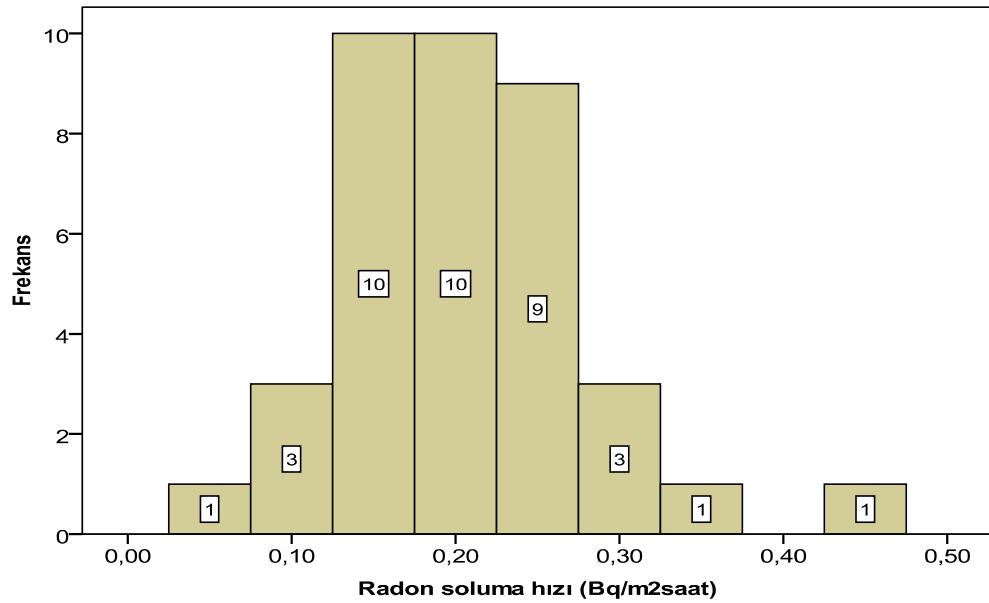
Sediment Örnek No	Radon Konsantrasyonu (A_{Rn}) (Bq/m^3)	Radon Soluma Hızı ($E_{sediment}$) (Bq/m^2saat)	Efektif Radyum Aktivitesi C_{Ra} (Bq/m^3)
1	162.15	0.21	0.65
2	215.63	0.28	0.87
3	209.72	0.27	0.85
4	132.29	0.17	0.53
5	291.67	0.37	1.18
6	142.01	0.18	0.57
7	137.50	0.18	0.56
8	140.97	0.18	0.57
9	154.17	0.20	0.62
10	176.74	0.23	0.71
11	179.86	0.23	0.73
12	206.94	0.27	0.84
13	179.51	0.23	0.73
14	179.17	0.23	0.72
15	134.72	0.17	0.54
16	152.43	0.20	0.62
17	212.50	0.27	0.86
18	117.01	0.15	0.47
19	107.99	0.14	0.44
20	177.43	0.23	0.72
21	173.61	0.22	0.70
22	140.97	0.18	0.57
23	109.38	0.14	0.44
24	242.36	0.31	0.98
25	250.00	0.32	1.01
26	138.54	0.18	0.56
27	109.03	0.14	0.44
28	112.15	0.14	0.45
29	207.99	0.27	0.84
30	66.11	0.08	0.27
31	330.90	0.43	1.34
32	91.25	0.12	0.37
33	119.58	0.15	0.48
34	62.50	0.08	0.25
35	38.33	0.05	0.15
36	119.03	0.15	0.48
37	127.99	0.16	0.52
38	165.76	0.21	0.67
Min.	38.33	0.05	0.15
Max.	330.90	0.43	1.34
Ortalama	158.31	0.20	0.64

Sediment örneklerinin radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.36'de verilmektedir

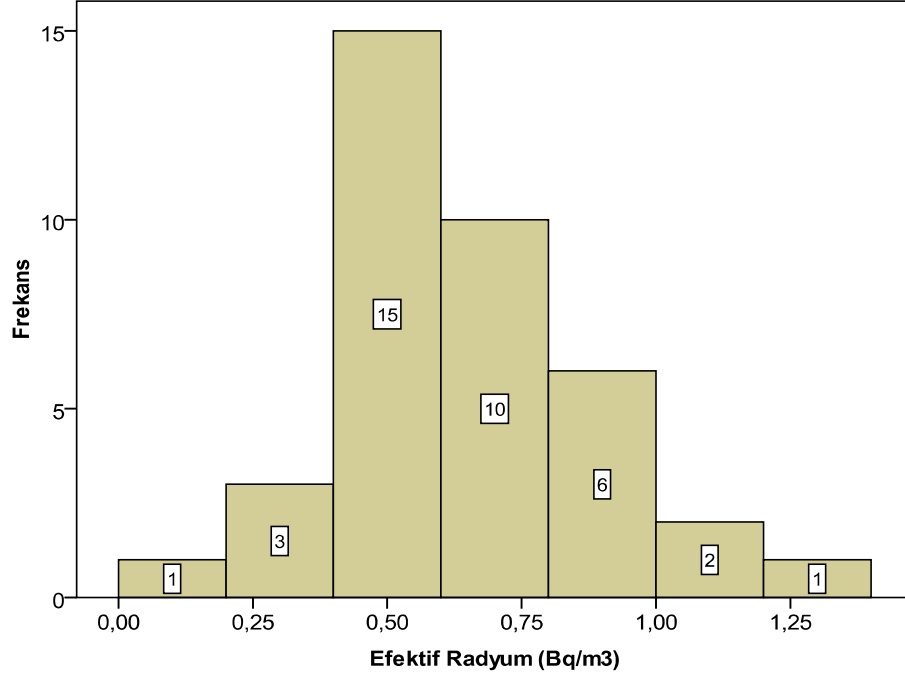


Şekil 5.36. Sediment örneklerinin radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı değerleri.

Sediment örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılımı ve efektif radyum aktivitesi frekans dağılımı sırasıyla Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de verilmektedir.



Şekil 5.37. Sediment örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılımı.



Şekil 5.38. Sediment örneklerinin efektif radyum aktivitesi frekans dağılımı.

5.5.3. Sediment Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 38 sediment örneğinin gama spektrometresi kullanılarak elde edilen U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonlarından Çizelge 2.18’de verilen birim aktivite başına doz hızı dönüşüm faktörleri kullanılarak K-40, U-238 ve Th-232 için doz eşdeğer değerleri, nGy/saat olarak dış ortamdaki ortalama soğurulan doz hızı değerleri ve Eşitlik 2.1 kullanılarak maruz kalınan yıllık efektif doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Ayrıca eşdeğer radyum aktivitesi Eşitlik 4.13 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.14’de verilmektedir.

Çizelge 5.14. Sediment örneklerinin doğal radyonüklid aktivite konsantrasyonu

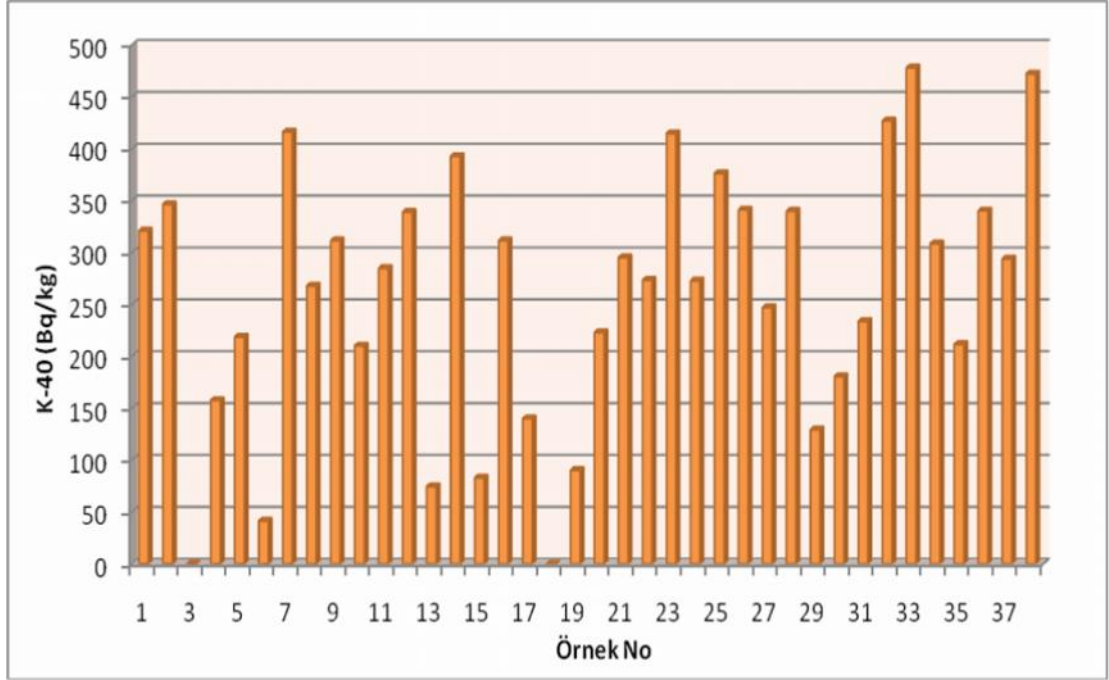
Sediment Örnek No	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 için Doz Hızı (nGy/saat)	U-238 için Doz Hızı (nGy/saat)	Th-232 için Doz Hızı (nGy/saat)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Ortamda Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv)
1	1.08	4.93	8.89	321.04	62.07	36.18	13.39	28.67	21.85	138.53	63.92	78.39
2	1.17	6.55	6.68	346.47	82.39	27.19	14.45	38.06	16.42	147.95	68.93	84.54
3	LLD	6.67	0.44	LLD	83.89	1.80	0	38.76	1.09	86.46	39.84	48.86
4	0.53	4.37	5.58	157.69	55.01	22.70	6.58	25.41	13.71	99.61	45.70	56.05
5	0.74	1.67	12.76	218.83	21.00	51.91	9.13	9.70	31.36	112.09	50.18	61.55
6	0.14	5.09	2.04	41.45	64.03	8.32	1.73	29.58	5.02	79.11	36.33	44.56
7	1.41	2.06	11.32	416.41	25.91	46.07	17.36	11.97	27.83	123.85	57.16	70.10
8	0.91	4.40	10.60	267.97	55.36	43.15	11.17	25.58	26.06	137.70	62.81	77.03
9	1.05	5.57	9.22	311.62	70.04	37.53	0.00	32.36	22.67	147.71	55.03	67.49
10	0.71	8.31	9.77	210.17	104.57	39.78	8.76	48.31	24.03	177.64	81.10	99.46
11	0.96	6.37	10.16	285.07	80.17	41.35	0.00	37.04	24.98	161.25	62.01	76.05
12	1.15	5.21	13.58	339.13	65.57	55.29	14.14	30.29	33.39	170.74	77.83	95.45
13	0.25	3.03	5.52	74.66	38.13	22.47	0.00	17.62	13.57	76.02	31.19	38.25
14	1.33	5.65	13.25	392.80	71.09	53.94	0.00	32.85	32.58	178.47	65.42	80.24
15	0.28	4.10	6.63	82.87	51.53	26.97	0.00	23.81	16.29	96.48	40.10	49.17
16	1.05	7.17	7.90	311.57	90.24	32.14	0.00	41.69	19.41	160.19	61.10	74.93
17	0.47	4.99	2.60	140.02	62.80	10.56	5.84	29.01	6.38	88.68	41.23	50.56
18	LLD	5.03	4.53	LLD	63.22	18.43	0	29.21	11.13	89.57	40.34	49.47
19	0.31	1.83	9.94	90.33	23.07	40.45	3.77	10.66	24.43	87.87	38.86	47.65
20	0.75	5.02	10.77	223.04	63.14	43.82	9.30	29.17	26.47	142.98	64.94	79.64

Çizelge 5.14.'ün devamı.

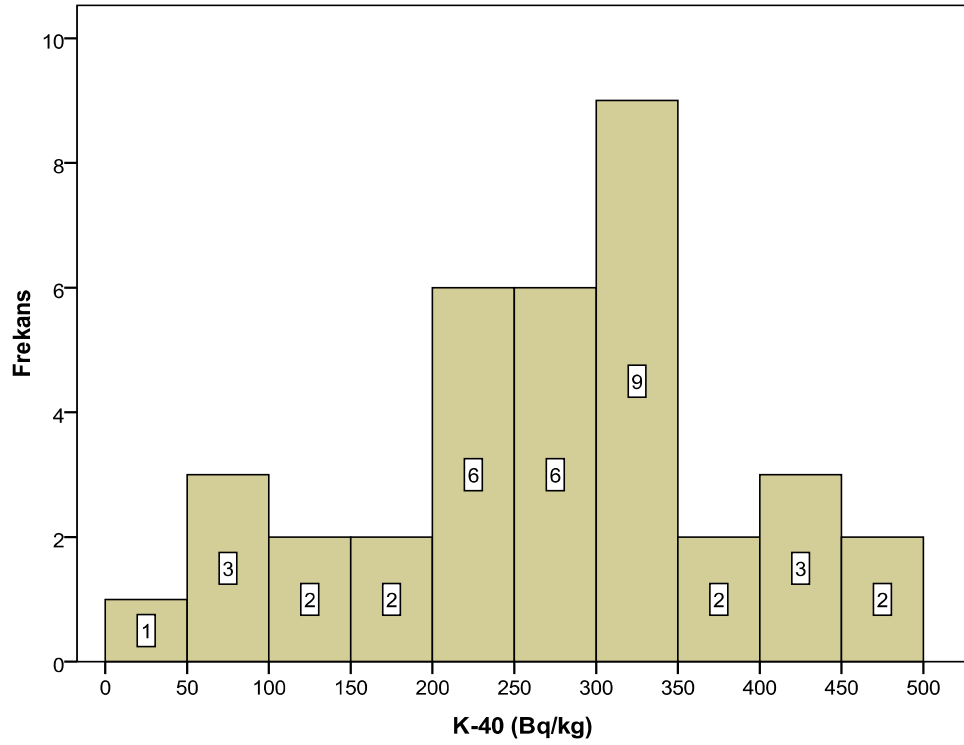
Sediment Örnek No	K (%)	eU (ppm)	eTh (ppm)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	K-40 için Doz Hızı (nGy/saat)	U-238 için Doz Hızı (nGy/saat)	Th-232 için Doz Hızı (nGy/saat)	Eşdeğer Radium Aktivitesi (Bq/kg)	Dış Ortamda Soğurulan Doz Hızı (nGy/saat)	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (µSv)
21	1.00	4.96	12.76	295.36	62.45	51.91	12.32	28.85	31.36	159.43	72.52	88.94
22	0.92	3.99	10.66	273.54	50.22	43.37	11.41	23.20	26.20	133.30	60.80	74.57
23	1.40	2.08	13.31	414.84	26.16	54.16	17.30	12.09	32.71	135.56	62.10	76.16
24	0.92	3.64	12.31	272.99	45.81	50.12	11.38	21.16	30.27	138.50	62.82	77.04
25	1.27	5.30	11.71	376.31	66.63	47.64	15.69	30.78	28.78	163.74	75.25	92.29
26	1.15	2.30	13.86	341.28	28.96	56.41	14.23	13.38	34.07	135.90	61.68	75.65
27	0.83	4.77	7.18	247.10	60.01	29.22	10.30	27.72	17.65	120.82	55.68	68.28
28	1.15	3.10	8.78	339.98	38.96	35.73	14.18	18.00	21.58	116.24	53.76	65.93
29	0.44	6.74	6.96	129.38	84.85	28.32	5.40	39.20	17.10	135.30	61.70	75.67
30	0.61	5.98	6.46	180.51	75.25	26.29	7.53	34.77	15.88	126.75	58.18	71.35
31	0.79	8.29	8.78	233.87	104.32	35.73	9.75	48.20	21.58	173.43	79.53	97.54
32	1.44	5.66	8.17	426.96	71.15	33.26	17.80	32.87	20.09	151.59	70.77	86.79
33	1.62	3.89	13.53	478.17	48.93	55.06	19.94	22.60	33.26	164.48	75.80	92.96
34	1.04	6.91	11.43	308.77	86.90	46.52	12.88	40.15	28.10	177.20	81.12	99.49
35	0.72	3.51	13.86	211.76	44.12	56.41	8.83	20.38	34.07	141.09	63.28	77.61
36	1.15	4.94	7.56	340.28	62.13	30.79	14.19	28.71	18.60	132.36	61.49	75.41
37	0.99	4.07	10.33	294.03	51.24	42.03	12.26	23.67	25.38	133.98	61.32	75.20
38	1.60	7.54	10.60	472.33	94.91	43.15	0.00	43.85	26.06	192.98	69.91	85.74
Min.	LLD	1.67	0.44	LLD	21	1.8	LLD	9.70	1.09	76.02	31.19	38.25
Max.	1.62	8.31	13.86	478.17	104.57	56.41	19.94	48.31	34.07	192.98	81.12	99.49
Ort.	0.92	4.89	9.12	274.13	61.54	37.11	8.71	28.40	22.67	135.15	59.78	73.32

LLD: Dedekte Edilemedi

Sediment örneklerinin gama spektrometresi ile bulunan K-40 aktivite konsantrasyonları ve frekans dağılımı sırasıyla Şekil 5.39 ve 5.40'da verilmektedir.

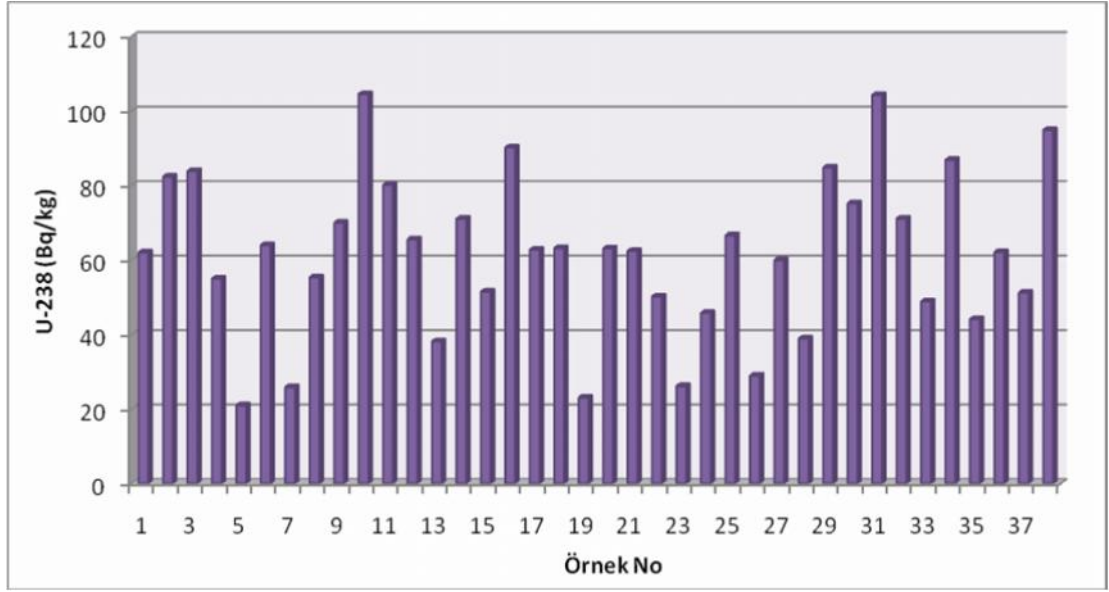


Şekil 5.39. Sediment örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu.

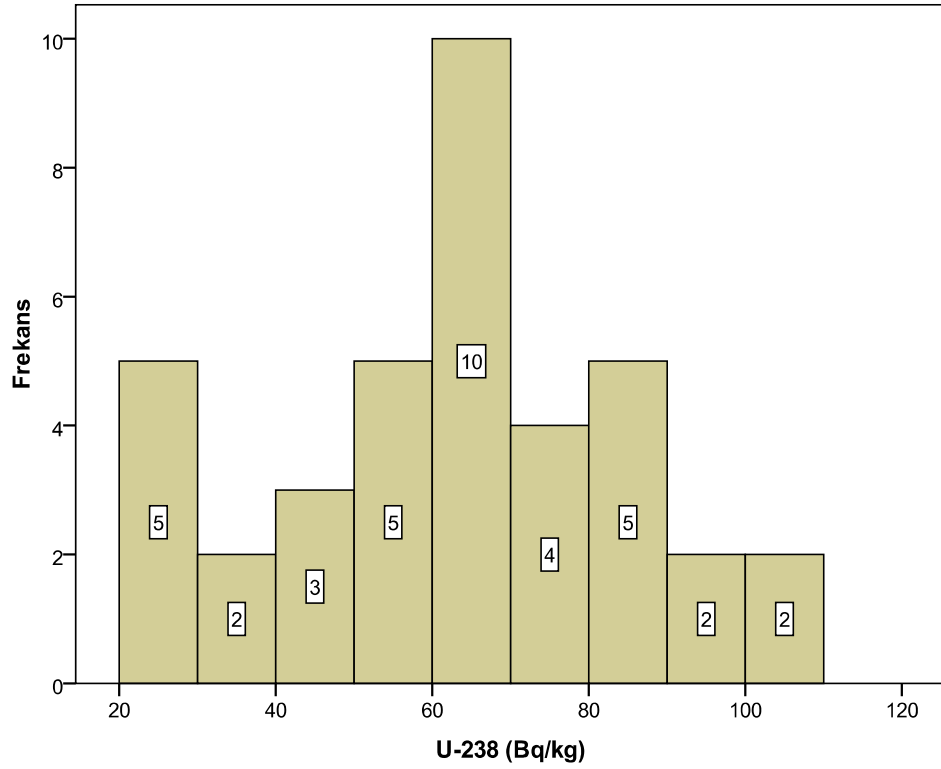


Şekil 5.40. Sediment örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonunun frekans dağılımı.

Sediment örneklerinin gama spektrometresi ile bulunan U-238 aktivite konsantrasyonları ve frekans dağılımı sırasıyla Şekil 4. 41 ve 4.42’de verilmektedir.

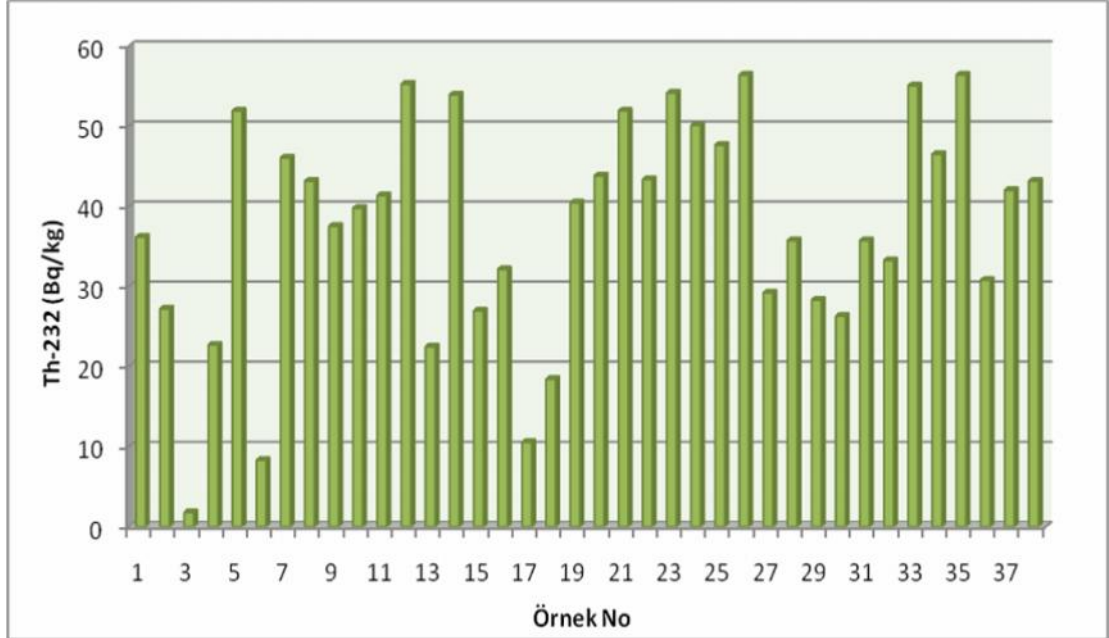


Şekil 5.41.Sediment örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonu.

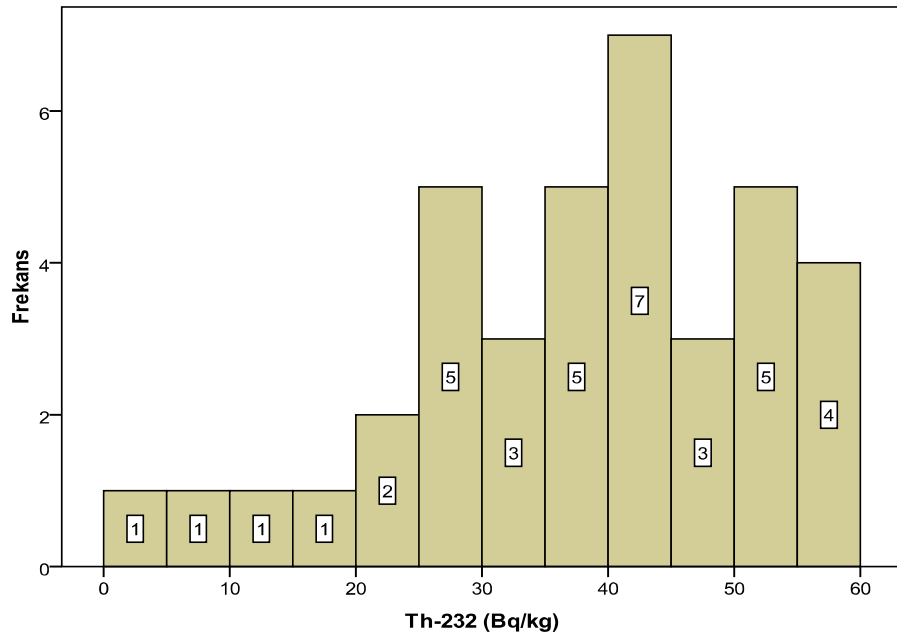


Şekil 5.42. Sediment örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonunun frekans dağılımı

Sediment örneklerinin gama spektrometresi ile bulunan Th-232 aktivite konsantrasyonları ve frekans dağılımı sırasıyla Şekil 4. 43 ve 4.44’de verilmektedir.

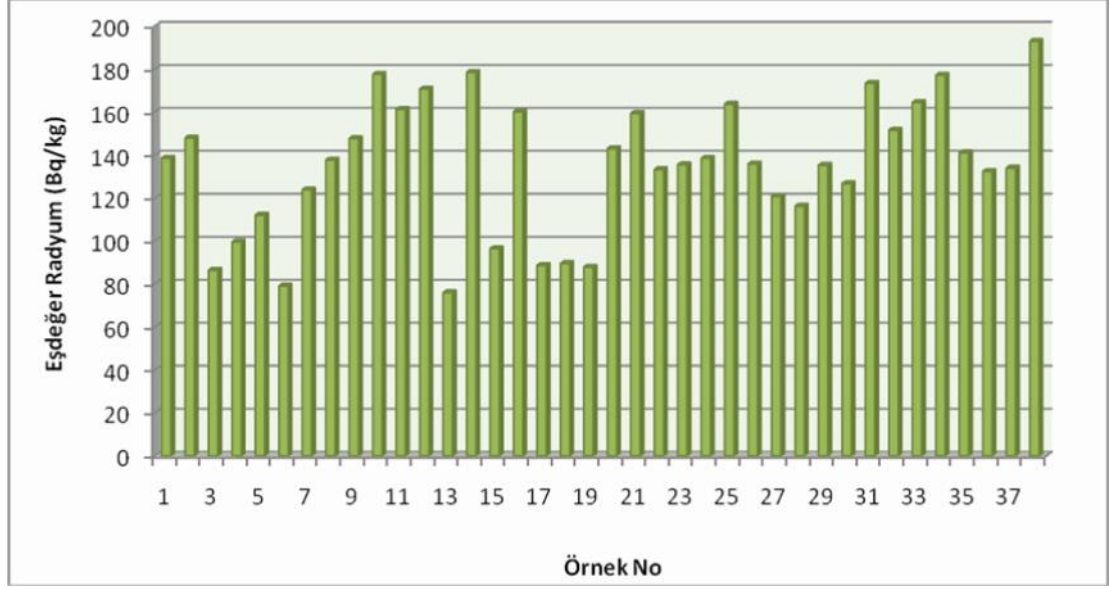


Şekil 5.43. Sediment örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonu

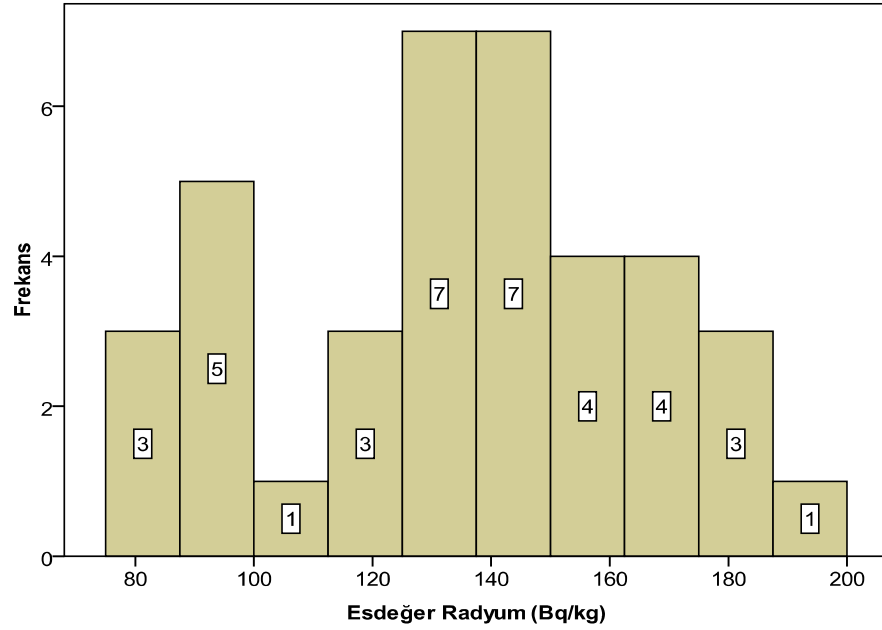


Şekil 5.44. Sediment örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonunun frekans dağılımı.

Sediment örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan eşdeğer radyum aktiviteleri ve frekans dağılımı sırasıyla Şekil 5.45 ve 5.46'da verilmektedir.



Şekil 5.45. Sediment örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesi.



Şekil 5.46. Sediment örneklerinin hesaplanan eşdeğer radyum aktivitesinin frekans dağılımı.

5.6. SU ÖRNEKLERİ ÖLÇÜM SONUÇLARI

Toplanan su örneklerinin pH, iletkenlik, mV , alkalite ve tuzluluk değerleri , CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri ile radon soluma hızları ve efektif radyum aktivitesi ve kolektör metodu ile radyum konsantrasyonu aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

5.6.1. Alkalite, pH, iletkenlik, mV ve Tuzluluk Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 85 su örneğinin alkalite, pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları Çizelge 5.15.'de verilmektedir.

Çizelge 5.15. Su örneklerinin toplam alkalite, pH, iletkenlik, mV ve tuzluluk sonuçları.

Su Örnek No	Toplam Alkalite (CaCO ₃) (ppm)	pH	mV	İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk
1	418	7.36	-22	715	0.1
2	364	7.15	-11	589	0.0
3	396	7.72	-43	738	0.1
4	366	7.36	-25	519	0.0
5	440	7.10	-7	695	0.1
6	462	7.09	-7	550	0.0
7	334	7.12	-9	573	0.0
8	476	7.57	-34	715	0.1
9	562	7.06	-6	728	0.1
10	456	7.53	-34	729	0.1
11	456	7.01	-5	1234	0.4
12	392	7.37	-24	657	0.1
13	618	8.03	-59	952	0.2
14	402	7.60	-35	710	0.1
15	520	7.51	-33	560	0.0
16	220	6.54	20	1231	0.4
17	488	7.34	-23	893	0.2
18	134	6.16	42	281	0.0
19	254	8.32	-79	427	0.0
20	348	7.60	-39	618	0.0
21	314	7.30	-20	445	0.0
22	330	7.39	-24	545	0.0
23	604	7.36	-22	1067	0.3
24	558	7.34	-25	993	0.3
25	910	7.64	-40	1325	0.5
26	318	7.05	-8	587	0.0
27	388	6.97	-1	760	0.1
28	358	6.75	9	760	0.1
29	518	7.03	-5	972	0.3
30	522	6.81	7	939	0.2

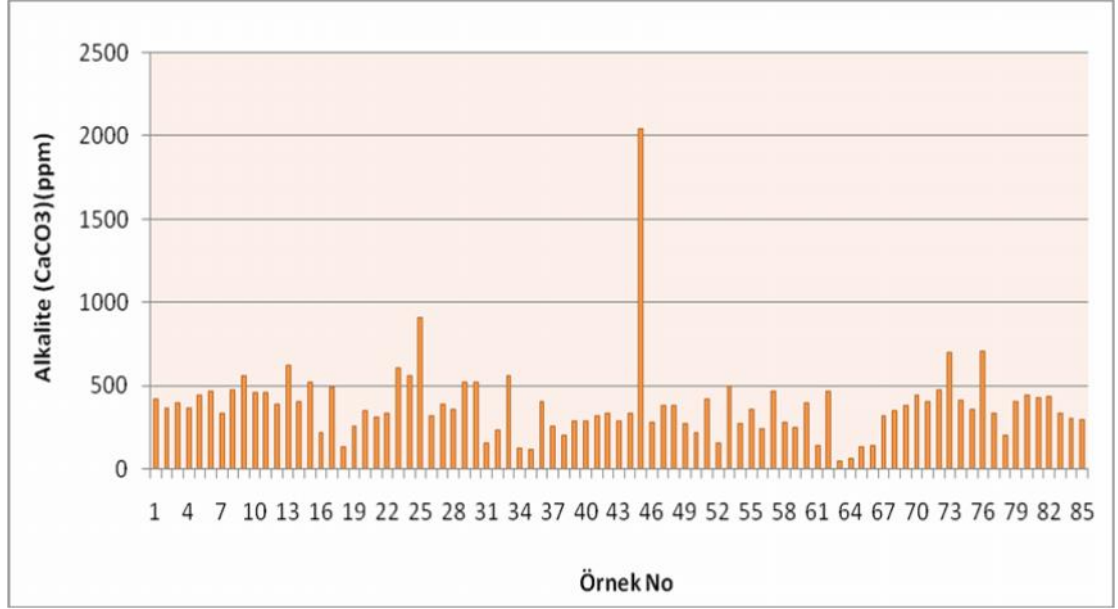
Çizelge 5.15'in devamı.

Su Örnek No	Toplam Alkalite (CaCO ₃) (ppm)	pH	mV	İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk
31	152	7.01	-1	239	0.0
32	234	7.69	-42	441	0.0
33	560	6.87	3	1006	0.3
34	128	7.07	-5	226	0.0
35	114	6.95	0	225	0.0
36	406	7.31	-22	892	0.2
37	256	7.40	-28	581	0.0
38	200	7.21	-16	545	0.0
39	288	7.14	-11	815	0.2
40	284	7.50	-29	670	0.1
41	320	7.43	-24	705	0.1
42	330	6.90	2	817	0.2
43	286	7.10	-9	703	0.1
44	334	7.70	-44	764	0.1
45	2044	7.31	-22	4410	2.3
46	280	7.40	-27	651	0.1
47	378	7.22	-16	734	0.1
48	382	7.08	-8	752	0.1
49	268	7.50	-33	533	0.0
50	220	6.80	9	437	0.0
51	418	7.01	-4	919	0.2
52	152	6.56	22	308	0.0
53	496	7.28	-20	996	0.3
54	268	7.38	-26	521	0.0
55	360	6.87	4	625	0.1
56	244	7.37	-25	449	0.0
57	464	6.97	-2	839	0.2
58	278	7.05	-7	498	0.0
59	250	7.17	-13	462	0.0
60	398	7.34	-23	688	0.1
61	138	6.67	16	253	0.0
62	468	7.40	-27	926	0.2
63	50	5.38	91	69	0.0
64	62	7.10	-10	105	0.0
65	134	6.78	10	343	0.0
66	142	6.53	25	345	0.0
67	318	7.66	-42	831	0.2
68	348	7.27	-19	610	0.0
69	382	7.18	-14	708	0.1
70	444	7.24	-18	816	0.2
71	402	7.00	-3	954	0.3
72	474	7.09	-9	881	0.2
73	696	7.14	-11	1464	0.6
74	414	7.16	-13	795	0.2
75	354	7.48	-31	620	0.1

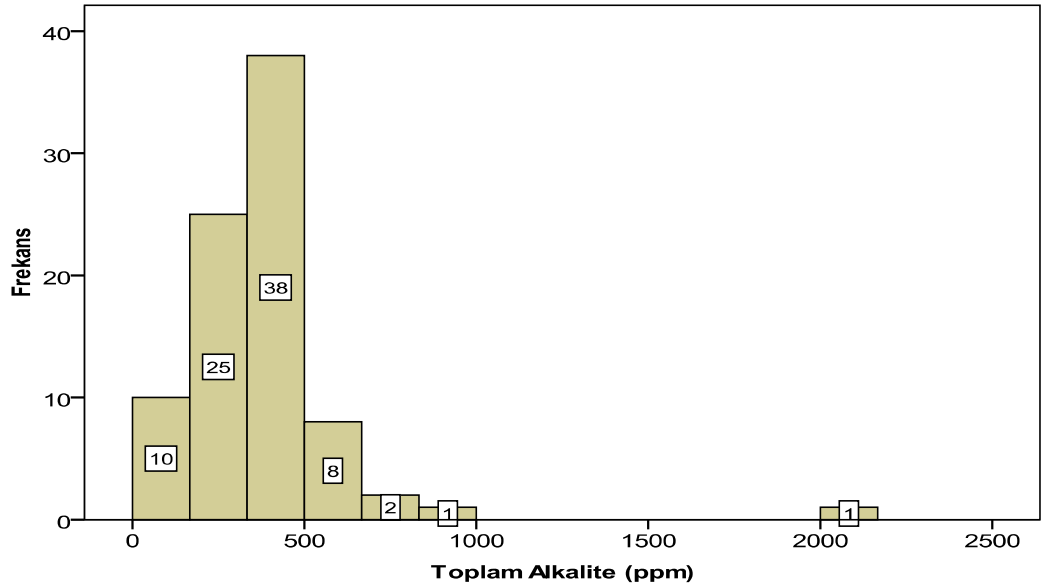
Çizelge 5.15'in devamı.

Su Örnek No	Toplam Alkalite (CaCO₃) (ppm)	pH	mV	İletkenlik (µS/cm)	Tuzluluk
76	704	6.90	2	3240	1.6
77	330	6.82	7	827	0.2
78	198	7.09	-8	890	0.2
79	400	7.24	-17	699	0.1
80	444	7.12	-10	722	0.1
81	424	7.05	-6	725	0.1
82	438	7.03	-5	886	0.2
83	334	6.74	12	726	0.1
84	300	7.34	-24	574	0.0
85	292	7.23	-17	433	0.0
Min.	50	5.38	-79	69	0.0
Max.	2044	8.32	91	4410	2.3
Ort.	361.48	7.17	-13	714	

Akhisar-Görcdes-Gölmarmara-Sındırgı alanından alınan 85 su örneğinin alkalite değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.47’de ve alkalite değerleri frekans dağılımı Şekil 5.48’de verilmektedir. Şekil 5.47’de görüldüğü gibi su örneklerinde alkalite değerleri genelde 1000 ppm değerinin altında iken bir örnekte (45 numaralı) 2000 ppm’i aşan değer tespit edilmiştir.

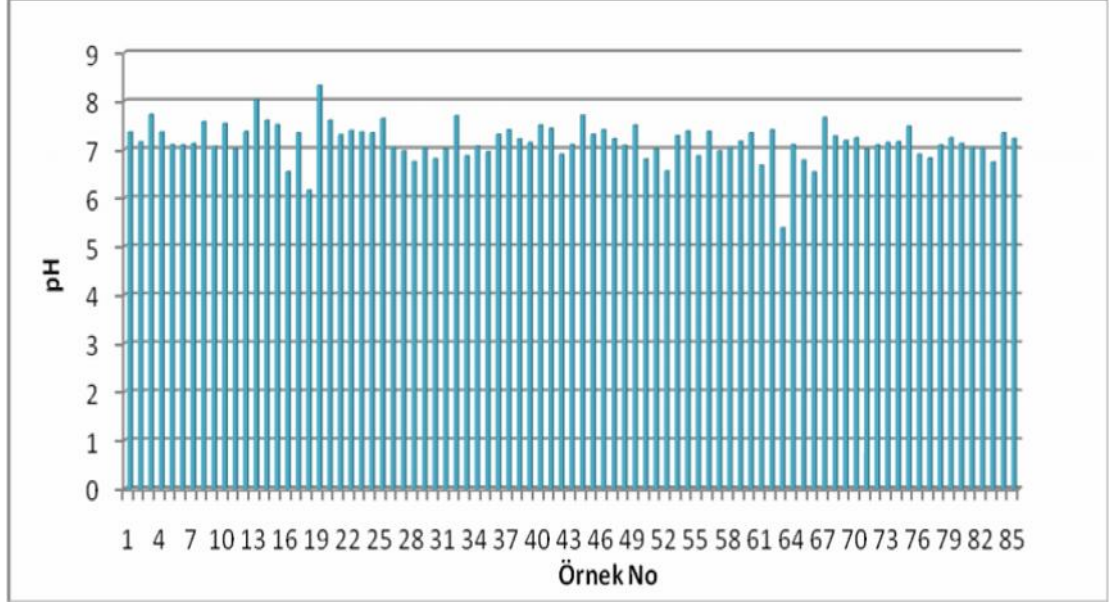


Şekil 5.47. Su örneklerindeki toplam alkalite değerleri.

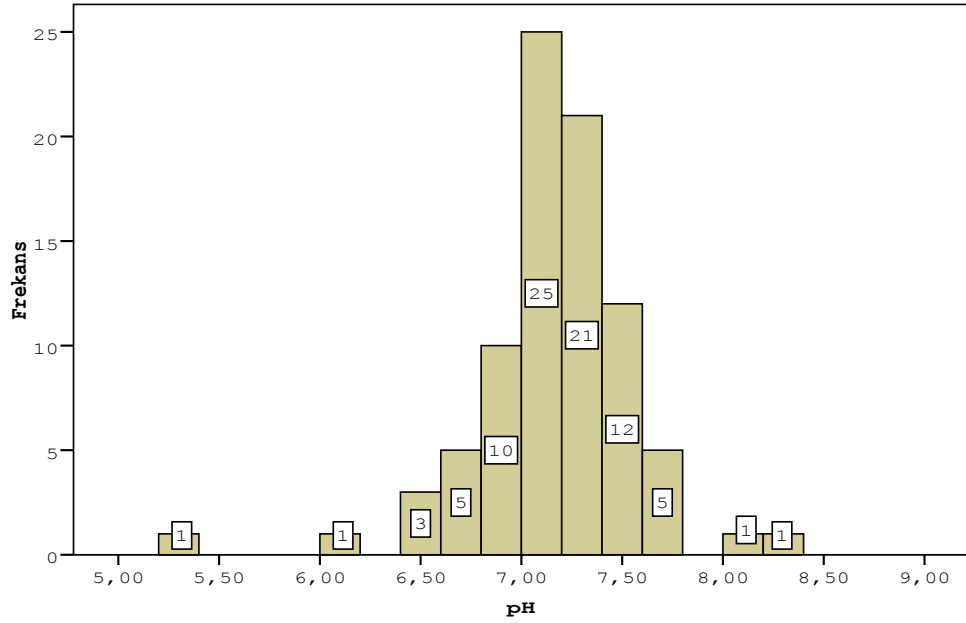


Şekil 5.48. Su örneklerinin toplam alkalite frekans dağılımı.

Akhisar-Görcdes-Gölmarmara-Sındırğı alanından alınan 85 su örneğinin pH değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.49'da ve pH değerleri frekans dağılımı Şekil 5.50'da verilmektedir.

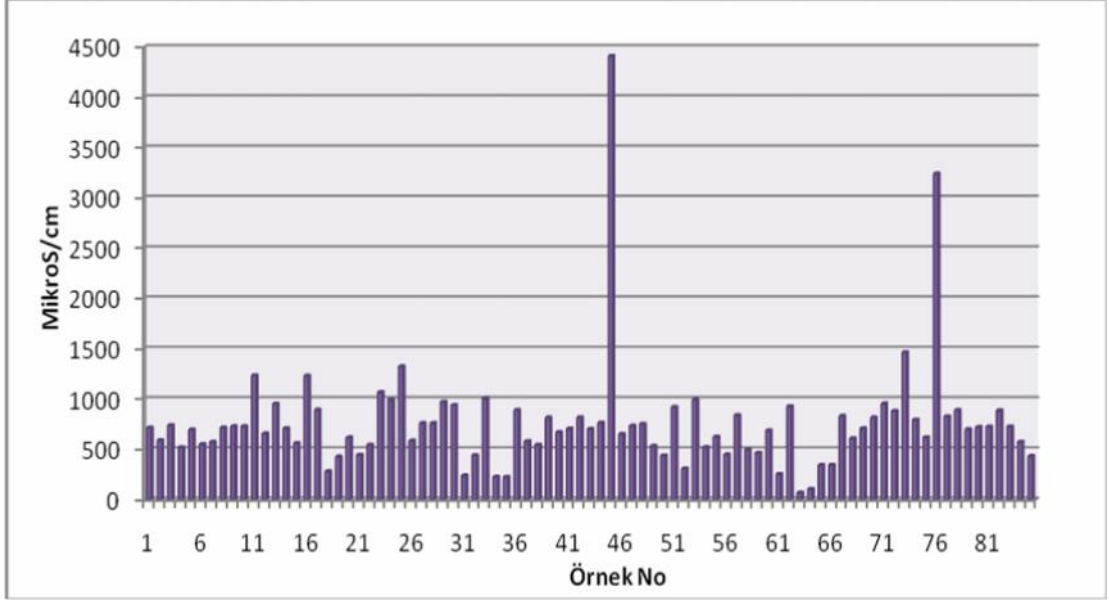


Şekil 5.49. Su örneklerinin pH değerleri.

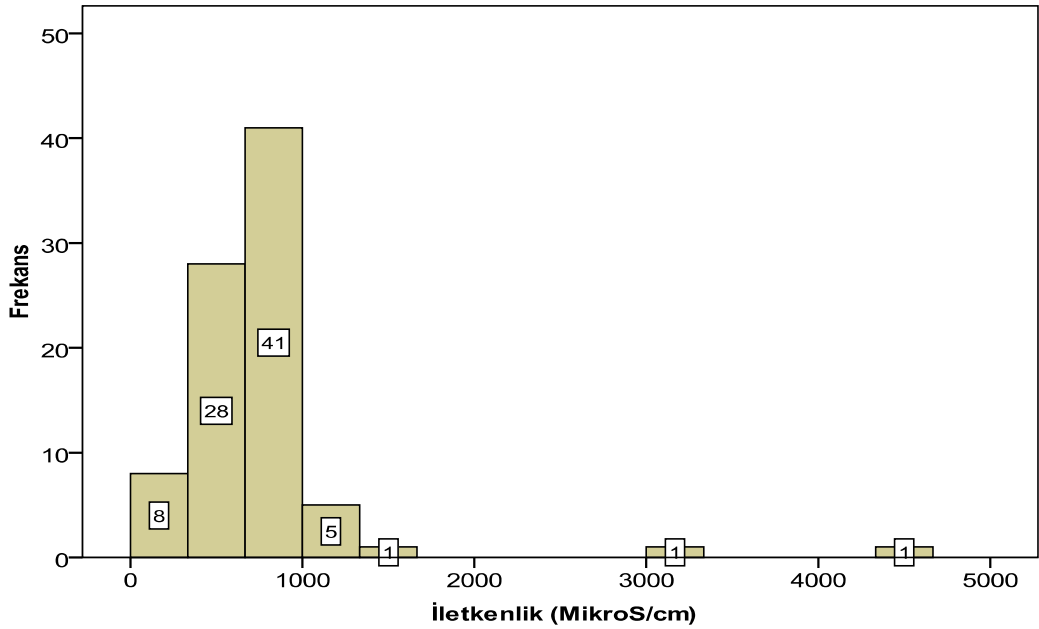


Şekil 5.50. Su örneklerinin pH frekans dağılımı.

Akhisar-Görcdes-Gölmarmara-Sındırgı alanından alınan 85 su örneğinin iletkenlik değeri değişim grafiği Şekil 5.51’de ve iletkenlik değeri frekans dağılımı Şekil 5.52’de verilmektedir.

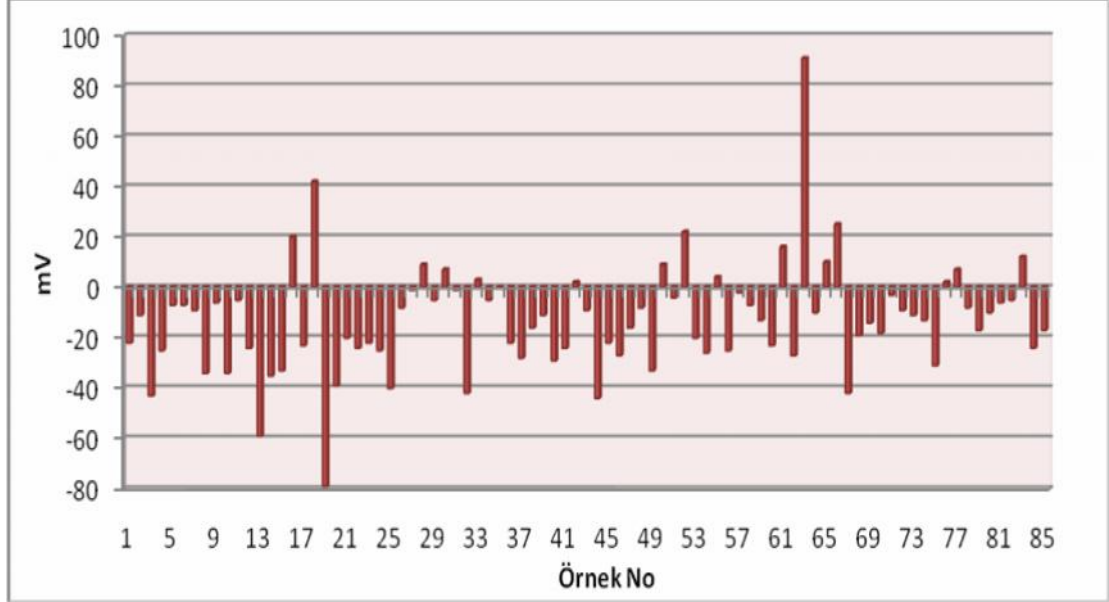


Şekil 5.51. Su örneklerinin iletkenlik değeri.

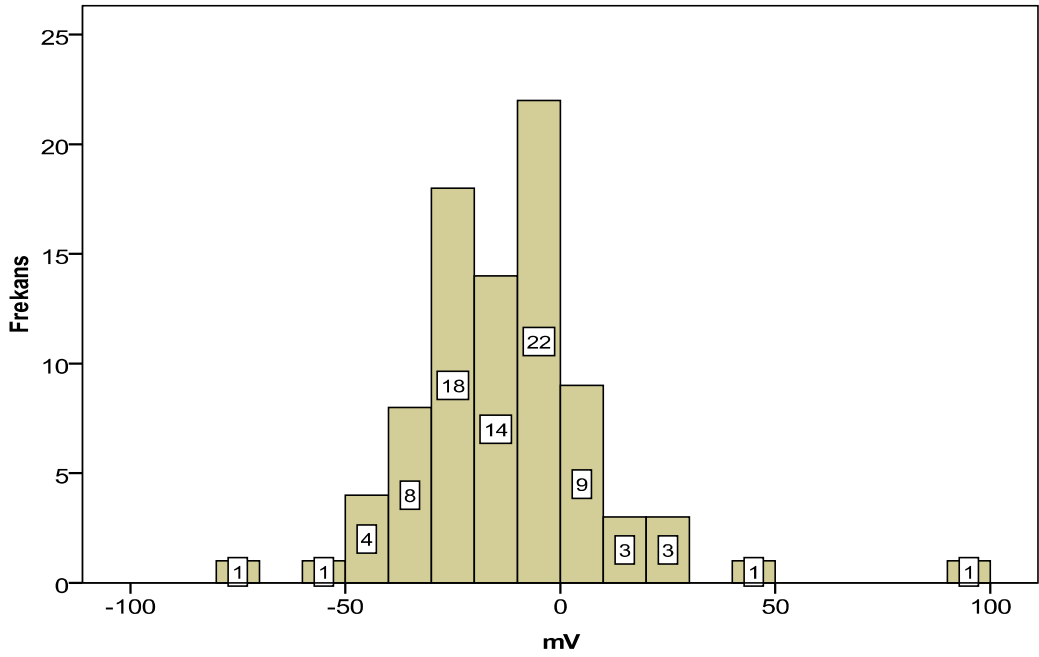


Şekil 5.52. Su örneklerinin iletkenlik frekans dağılımı.

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı alanından alınan 85 su örneğinin mV değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.53'de ve mV değerleri frekans dağılımı Şekil 5.54'de verilmektedir.

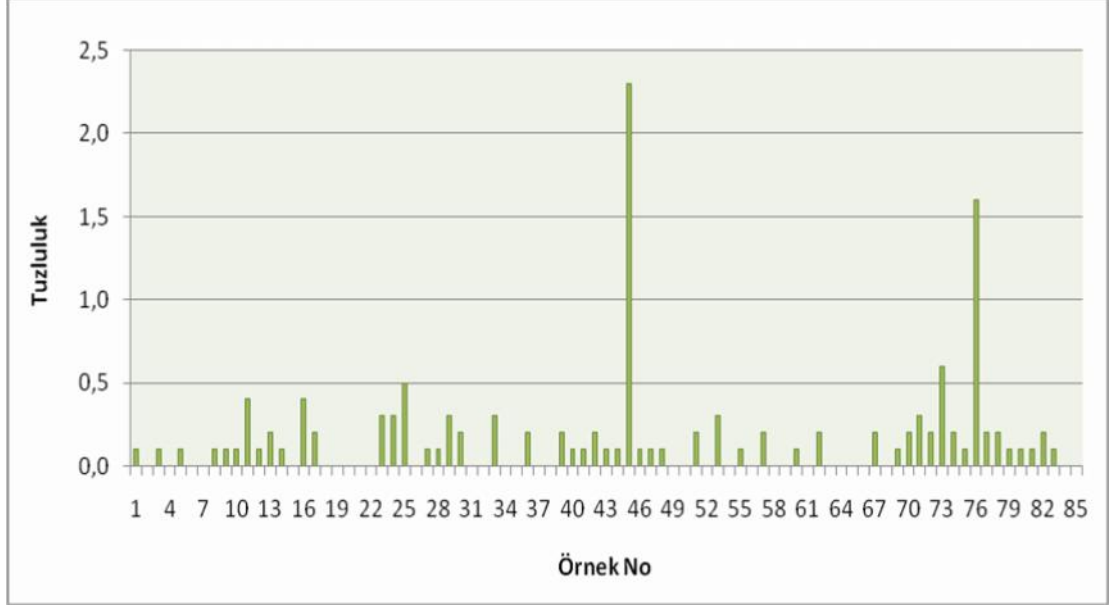


Şekil 5.53. Su örneklerinin mV değerleri.

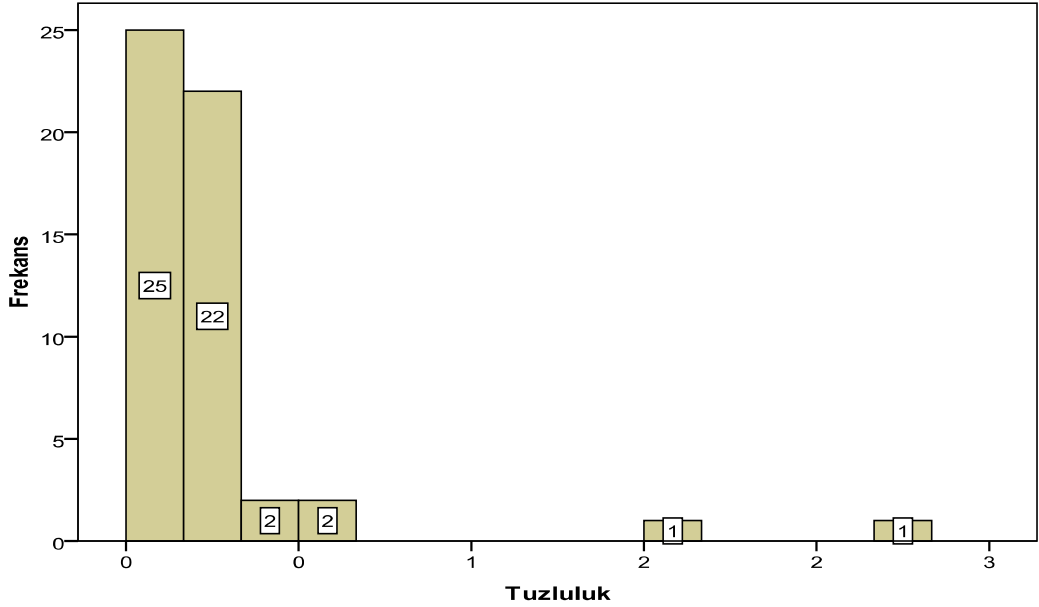


Şekil 5.54. Su örneklerinin mV frekans dağılımı.

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı alanından alınan 85 su örneğinin tuzluluk değerlerinin değişim grafiği Şekil 5.55’de ve tuzluluk değerleri frekans dağılımı Şekil 5.56’de verilmektedir.



Şekil 5.55. Su örneklerinin tuzluluk değerleri.



Şekil 5.56. Su örneklerinin tuzluluk frekans dağılımı.

5.6.2. Su Örneklerinin Kollektör Yöntemi ile Radyum Aktivitesi Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 85 su örneğinin Kollektör yöntemi ile bulunan radyum aktivite sonuçları Çizelge 5.16'da verilmektedir.

Çizelge 5.16. Su örneklerinin radyum aktiviteleri.

Su Örnek No	Radyum Aktivite Konsantrasyonu		
	(pCi/L)	(Bq/L)	(Bq/m ³)
1	19.85	0.73	735
2	14.11	0.52	522
3	16.98	0.63	628
4	9.51	0.35	352
5	7.21	0.27	267
6	15.26	0.56	564
7	7.21	0.27	267
8	10.66	0.39	394
9	4.34	0.16	160
10	4.34	0.16	160
11	11.81	0.44	437
12	6.64	0.25	246
13	16.41	0.61	607
14	5.49	0.20	203
15	8.36	0.31	309
16	5.49	0.20	203
17	6.64	0.25	246
18	4.34	0.16	160
19	6.64	0.25	246
20	5.49	0.20	203
21	20.43	0.76	756
22	21.58	0.80	798
23	7.79	0.29	288
24	6.64	0.25	246
25	5.49	0.20	203
26	8.36	0.31	309
27	4.91	0.18	182
28	2.04	0.08	75
29	2.61	0.10	97
30	2.04	0.08	75
31	8.93	0.33	331
32	5.49	0.20	203
33	0.89	0.03	33
34	2.61	0.10	97
35	4.34	0.16	160

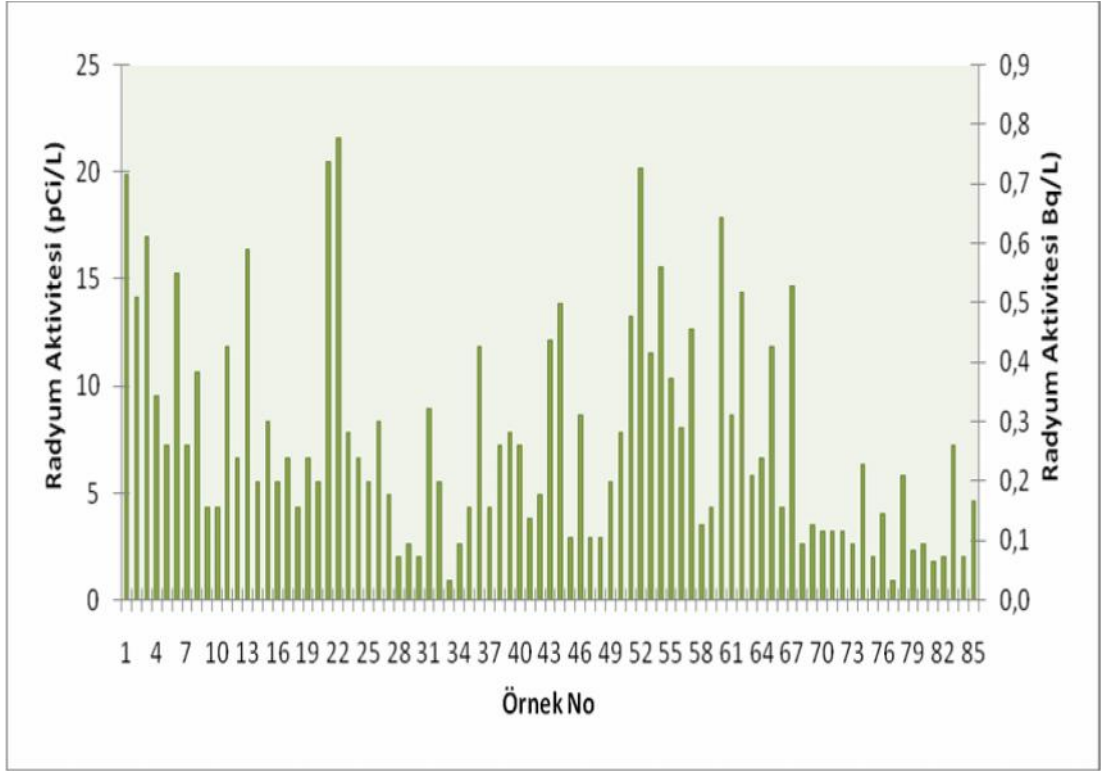
Çizelge 5.16'nın devamı.

Su Örnek No	Radyum Aktivite Konsantrasyonu		
	(pCi/L)	(Bq/L)	(Bq/m ³)
36	11.81	0.44	437
37	4.34	0.16	160
38	7.21	0.27	267
39	7.79	0.29	288
40	7.21	0.27	267
41	3.76	0.14	139
42	4.91	0.18	182
43	12.10	0.45	448
44	13.82	0.51	511
45	2.90	0.11	107
46	8.65	0.32	320
47	2.90	0.11	107
48	2.90	0.11	107
49	5.49	0.20	203
50	7.79	0.29	288
51	13.24	0.49	490
52	20.14	0.75	745
53	11.52	0.43	426
54	15.54	0.58	575
55	10.37	0.38	384
56	8.07	0.30	299
57	12.67	0.47	469
58	3.47	0.13	129
59	4.34	0.16	160
60	17.84	0.66	660
61	8.65	0.32	320
62	14.39	0.53	533
63	5.77	0.21	214
64	6.64	0.25	246
65	11.81	0.44	437
66	4.34	0.16	160
67	14.68	0.54	543
68	2.61	0.10	97
69	3.47	0.13	129
70	3.19	0.12	118
71	3.19	0.12	118
72	3.19	0.12	118
73	2.61	0.10	97
74	6.35	0.23	235
75	2.04	0.08	75
76	4.05	0.15	150

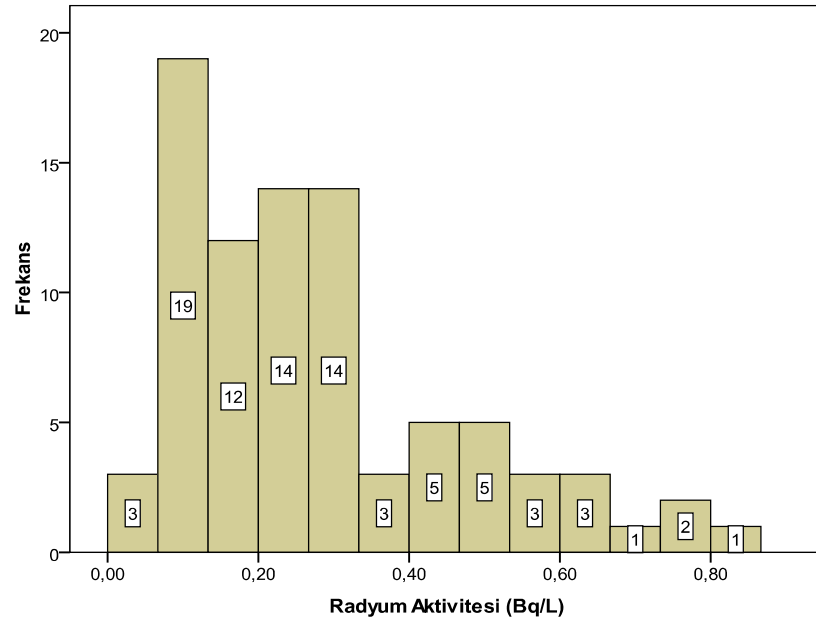
Çizelge 5.16'nın devamı.

Su Örnek No	Radyum Aktivite Konsantrasyonu		
	(pCi/L)	(Bq/L)	(Bq/m ³)
77	0.89	0.03	33
78	5.77	0.21	214
79	2.33	0.09	86
80	2.61	0.10	97
81	1.75	0.06	65
82	2.04	0.08	75
83	7.21	0.27	267
84	2.04	0.08	75
85	4.62	0.17	171
Min.	0.89	0.03	33
Max.	21.58	0.80	798
Ort.	7.59	0.28	281

85 su örneğinin Kollektör yöntemi ile pCi/L ve Bq/L olarak bulunan radyum aktivite değerleri Şekil 5.57’de ve frekans dağılımı Şekil 5.58’de verilmiştir.

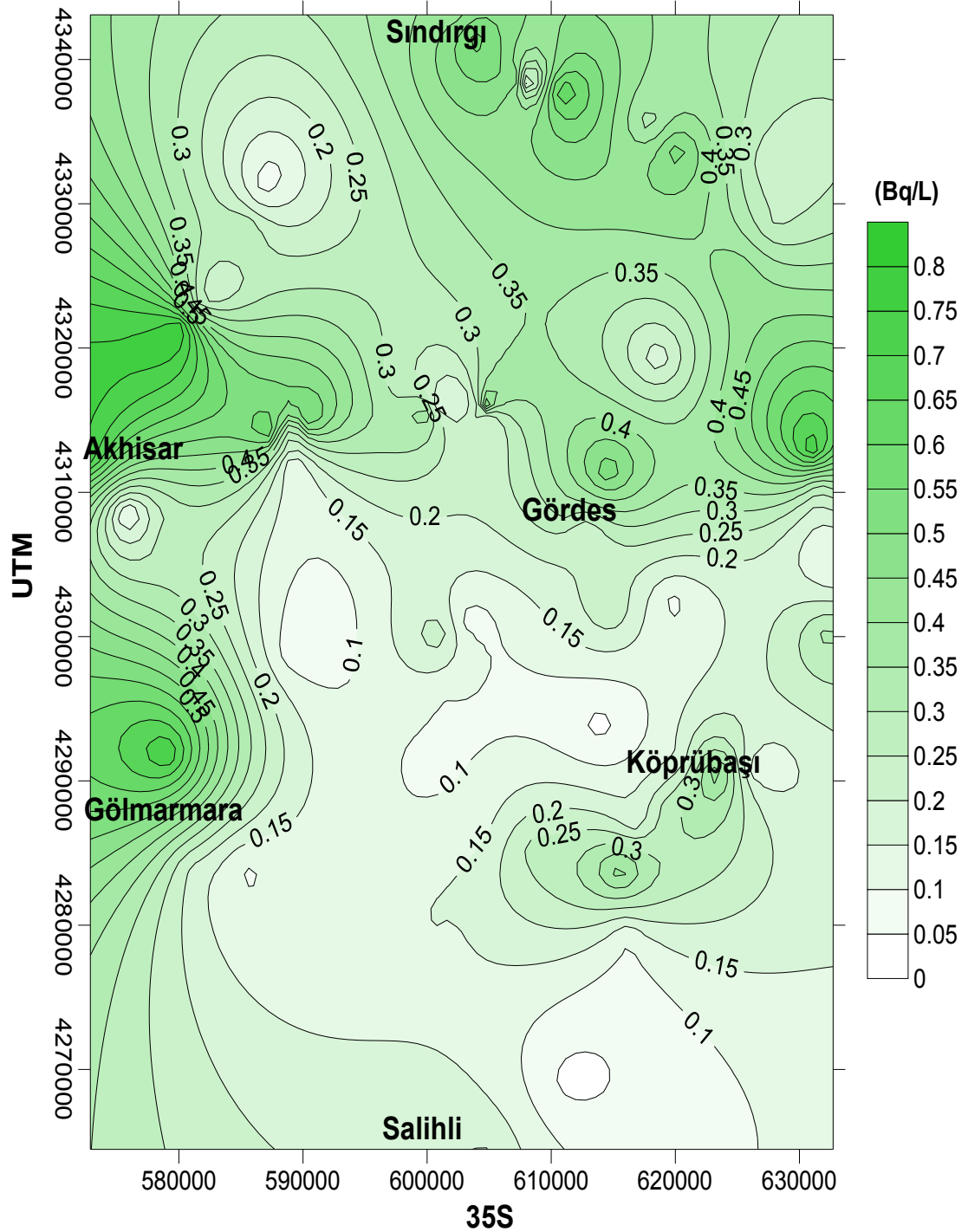


Şekil 5.57. Su örneklerinin radyum aktivite konsantrasyonları.



Şekil 5.58. Su örneklerinin radyum aktivitesi frekans dağılımı.

Araziden alınan 85 su örneğinin Kollektör yöntemi ile hesaplanan radyum sonuçlarının 35S - UTM koordinat sistemine göre çizilen kontur grafiği Şekil 5.59'da verilmektedir.



Şekil 5.59. Su örneklerinin kollektör yöntemi kullanılarak bulunan radyum değerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 0.05 Bq/L).

5.6.3. Su Örneklerinin CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Sonuçları

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinden alınan 85 su örneğinin CR-39 iz kazıma filmleri ile radon ölçümü kapalı plastik şişe içerisinde (plastik şişenin üst kısmına film yerleştirildi) 3 ay süre bekletilerek gerçekleştirildi. 3 ay sonunda filmler kimyasal banyo yapıldı, saf su ile yıkandı ve mikroskopla mm²'ye düşen iz miktarları sayıldı. Su örneklerinin sırasıyla radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum içeriği sırasıyla Eşitlik 4.15, Eşitlik 4.16 ve Eşitlik 4.17 kullanılarak hesaplandı. Sonuçlar, Çizelge 5.17'de verilmektedir.

Çizelge 5.17. Su örneklerinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi.

Su Örnek No	Radon Kon. $A_{Rn(su)}$ (Bq/m ³)	Radon Soluma Hızı E_{su} (Bq/m ² saat)	Efektif Radyum Aktivitesi C_{Ra} (Bq/m ³)
1	1240	0.033	55.47
2	1494	0.040	66.85
3	1569	0.042	70.17
4	731	0.019	32.71
5	1449	0.039	64.81
6	1360	0.036	60.83
7	1106	0.029	49.45
8	1314	0.035	58.79
9	1484	0.039	66.38
10	1060	0.028	47.41
11	1166	0.031	52.15
12	1102	0.029	49.31
13	1233	0.033	55.14
14	1243	0.033	55.61
15	1099	0.029	49.17
16	1057	0.028	47.27
17	1392	0.037	62.25
18	1523	0.040	68.13
19	1226	0.033	54.86
20	1476	0.039	66.04
21	1696	0.045	75.86
22	1844	0.049	82.50
23	2148	0.057	96.10
24	1820	0.048	81.41
25	1985	0.053	88.80

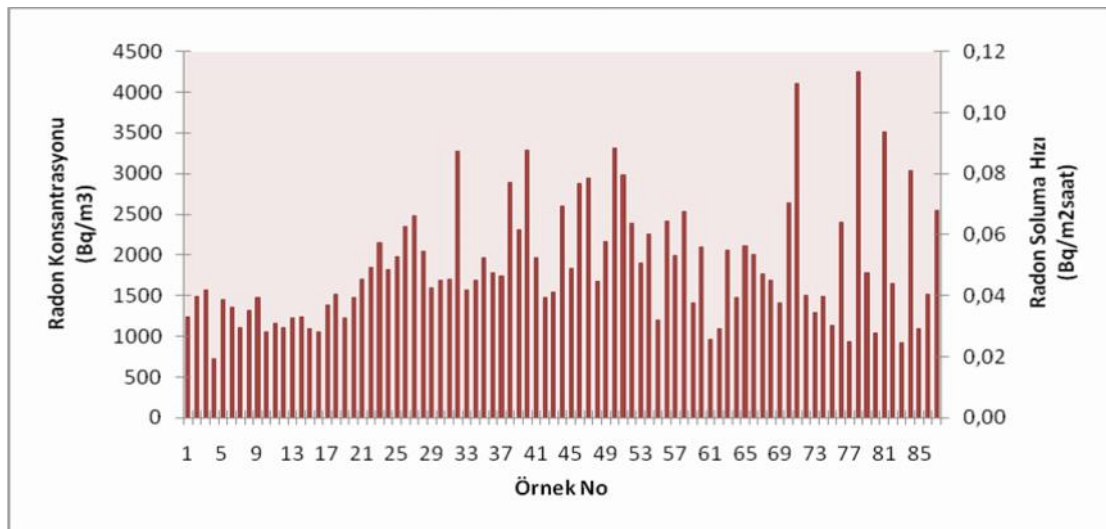
Çizelge 5.17.'nin devamı.

Su Örnek No	Radon Kon. $A_{Rn(su)}$ (Bq/m³)	Radon Soluma Hızı E_{su} (Bq/m²saat)	Efektif Radyum Aktivitesi C_{Ra} (Bq/m³)
26	2342	0.062	104.78
27	2477	0.066	110.80
28	2046	0.054	91.50
29	1597	0.042	71.45
30	1686	0.045	75.43
31	1703	0.045	76.19
32	3277	0.086	144.94
33	1573	0.041	69.55
34	1686	0.044	74.58
35	1969	0.052	87.10
36	1779	0.047	78.70
37	1740	0.046	76.95
38	2887	0.076	127.68
39	2305	0.061	101.94
40	3288	0.086	145.41
41	1965	0.052	86.91
42	1476	0.039	65.29
43	1516	0.041	68.56
44	2545	0.068	115.12
45	1840	0.049	83.21
46	2877	0.077	130.15
47	2940	0.079	132.99
48	1677	0.045	75.86
49	2170	0.058	98.14
50	3317	0.089	150.06
51	2982	0.080	134.89
52	2390	0.064	108.10
53	1902	0.051	86.05
54	2259	0.061	102.17
55	1205	0.032	54.52
56	2421	0.065	109.52
57	1986	0.053	89.85
58	2537	0.068	114.74
59	1410	0.038	63.77
60	2102	0.057	95.06
61	957	0.026	43.29
62	1098	0.030	49.69
63	2054	0.055	92.93
64	1478	0.040	66.85
65	2107	0.057	95.30

Çizelge 5.17'nin devamı.

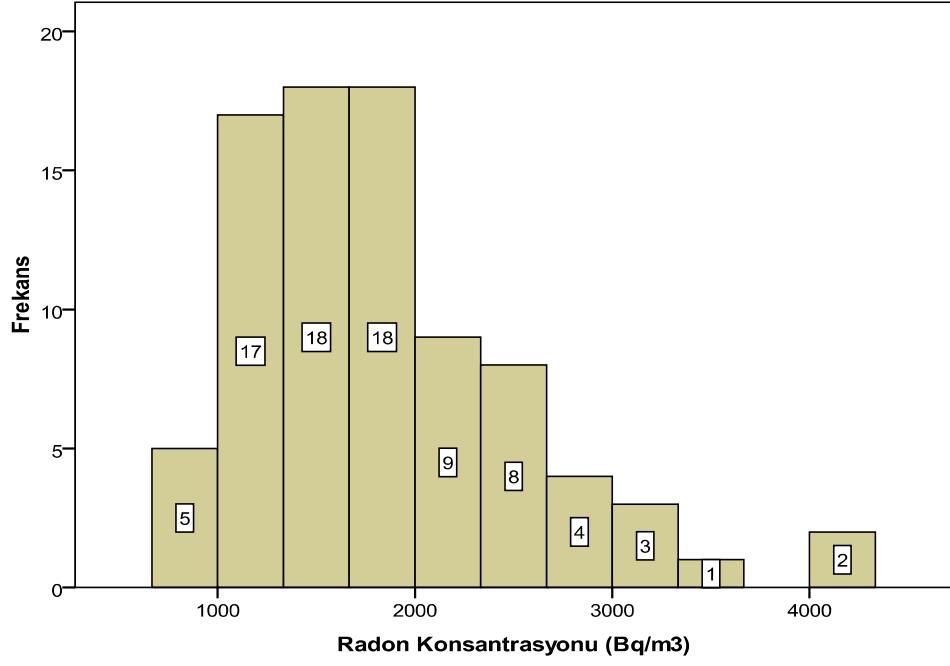
Su Örnek No	Radon Kon. $A_{Rn(su)}$ (Bq/m ³)	Radon Soluma Hızı E_{su} (Bq/m ² saat)	Efektif Radyum
			Aktivitesi C_{Ra} (Bq/m ³)
66	2002	0.054	90.56
67	1771	0.048	80.13
68	1688	0.045	76.33
69	1409	0.038	63.72
70	2644	0.071	119.62
71	4109	0.110	185.85
72	1504	0.040	68.04
73	1294	0.035	58.55
74	1494	0.040	67.56
75	1131	0.030	51.16
76	2400	0.065	108.57
77	939	0.025	42.48
78	4245	0.114	192.02
79	1777	0.048	80.36
80	1039	0.028	46.98
81	3506	0.094	158.59
82	1656	0.045	74.91
83	929	0.025	42.01
84	3034	0.082	137.26
85	1101	0.030	49.78
Min.	731	0.02	32.71
Max.	4245	0.11	192.02
Ort.	1859	0.05	83.55

Su örneklerinin radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı değerleri Şekil 5.60'da verilmektedir.

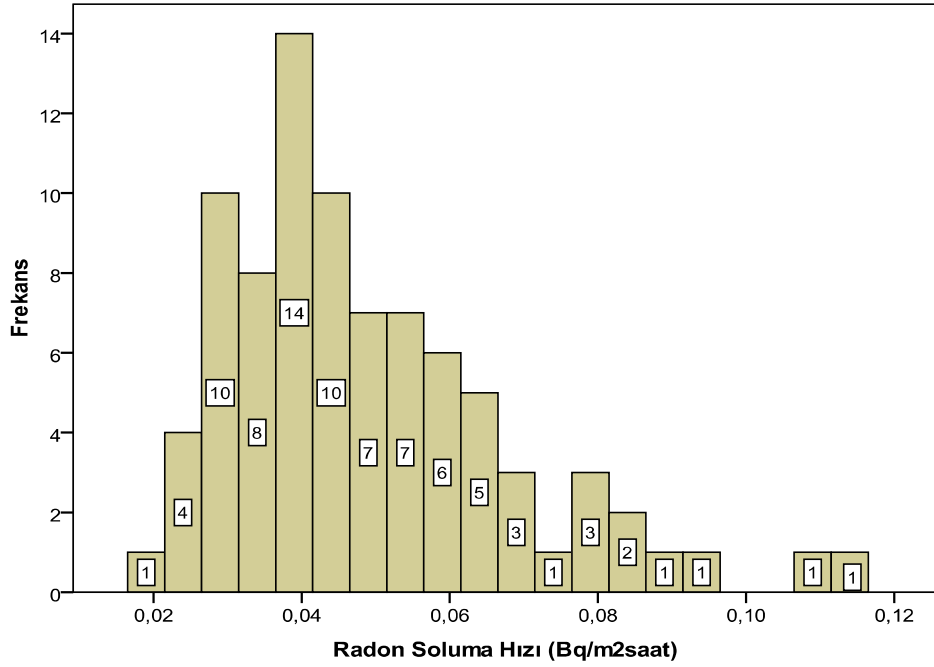


Şekil 5.60. Su örneklerinin radon konsantrasyonları ve radon soluma hızı.

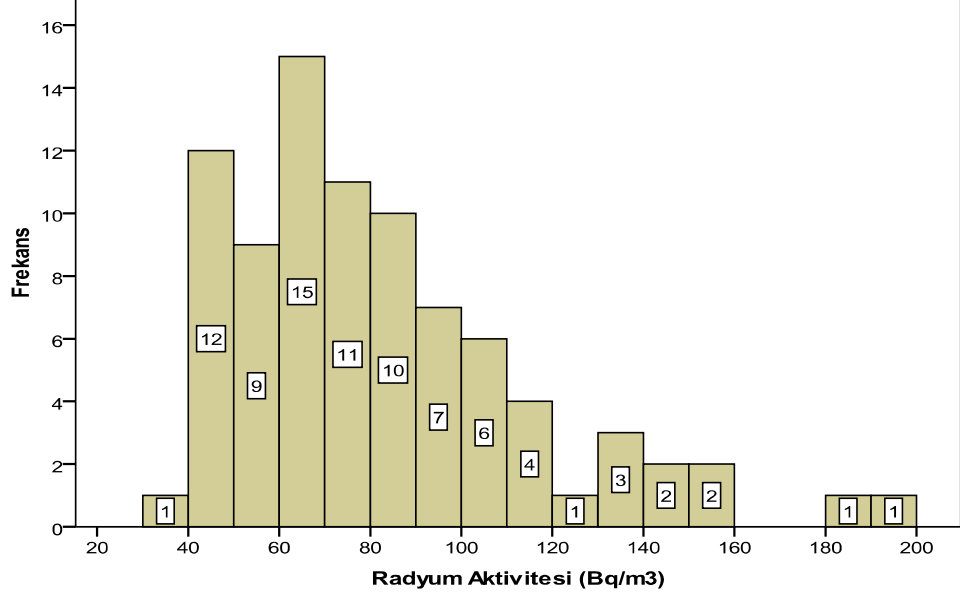
Su örneklerinin radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi frekans dağılımları sırasıyla Şekil 5.61, 5.62 ve 5.63’de verilmektedir.



Şekil 5.61. Su örneklerinin radon konsantrasyonu frekans dağılımı.



Şekil 5.62. Su örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılımı.



Şekil 5.63. Su örneklerinin efektif radyum aktivitesi frekans dağılımı.

85 su örneğinde CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak bulunan radon konsantrasyonları ve efektif radyum aktivitesinden Eşitlik 4.18 ve 4.19'daki dönüşüm faktörleri kullanılarak yıllık efektif doz eşdeğerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Radon ve radyum için yıllık efektif doz eşdeğeri.

Örnek no	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (μSv)	
	Rn-222 için	Ra-226 için
1	7.44	15.53
2	8.97	18.72
3	9.41	19.65
4	4.39	9.16
5	8.69	18.15
6	8.16	17.03
7	6.63	13.85
8	7.89	16.46
9	8.90	18.59
10	6.36	13.28
11	7.00	14.60
12	6.61	13.81
13	7.40	15.44
14	7.46	15.57
15	6.59	13.77
16	6.34	13.24
17	8.35	17.43

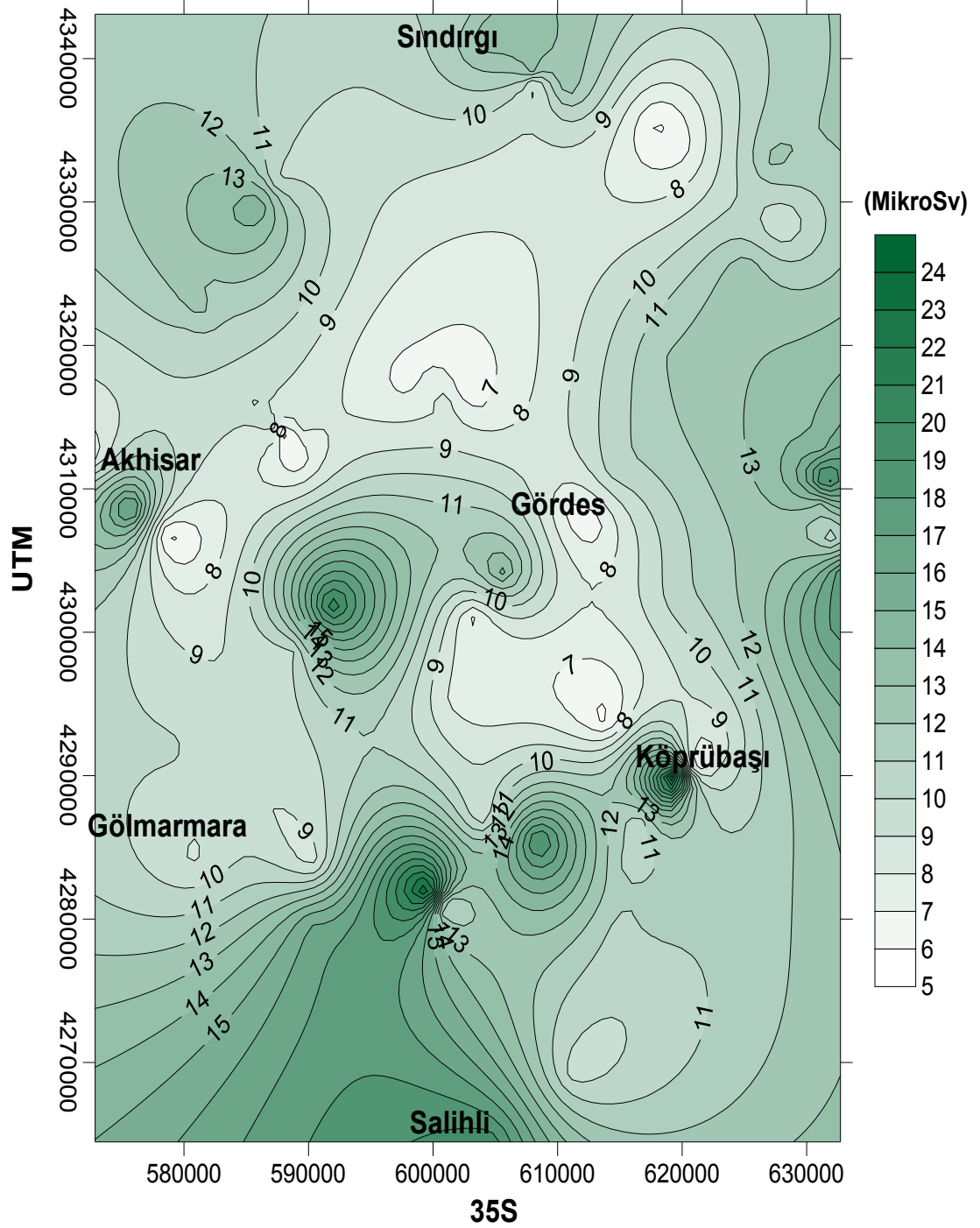
Çizelge 5.18'in devamı.

Örnek no	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (μSv)	
	Rn-222 için	Ra-226 için
18	9.14	19.08
19	7.36	15.36
20	8.86	18.49
21	10.18	21.24
22	11.07	23.10
23	12.89	26.91
24	10.92	22.79
25	11.91	24.86
26	14.05	29.34
27	14.86	31.02
28	12.27	25.62
29	9.58	20.01
30	10.12	21.12
31	10.22	21.33
32	19.66	40.58
33	9.44	19.47
34	10.12	20.88
35	11.82	24.39
36	10.68	22.04
37	10.44	21.55
38	17.32	35.75
39	13.83	28.54
40	19.73	40.72
41	11.79	24.33
42	8.86	18.28
43	9.30	19.20
44	15.62	32.23
45	11.04	23.30
46	17.26	36.44
47	17.64	37.24
48	10.06	21.24
49	13.02	27.48
50	19.90	42.02
51	17.89	37.77
52	14.34	30.27
53	11.41	24.09
54	13.55	28.61
55	7.23	15.27
56	14.53	30.67
57	11.92	25.16
58	15.22	32.13
59	8.46	17.86
60	12.61	26.62

Çizelge 5.18'in devamı.

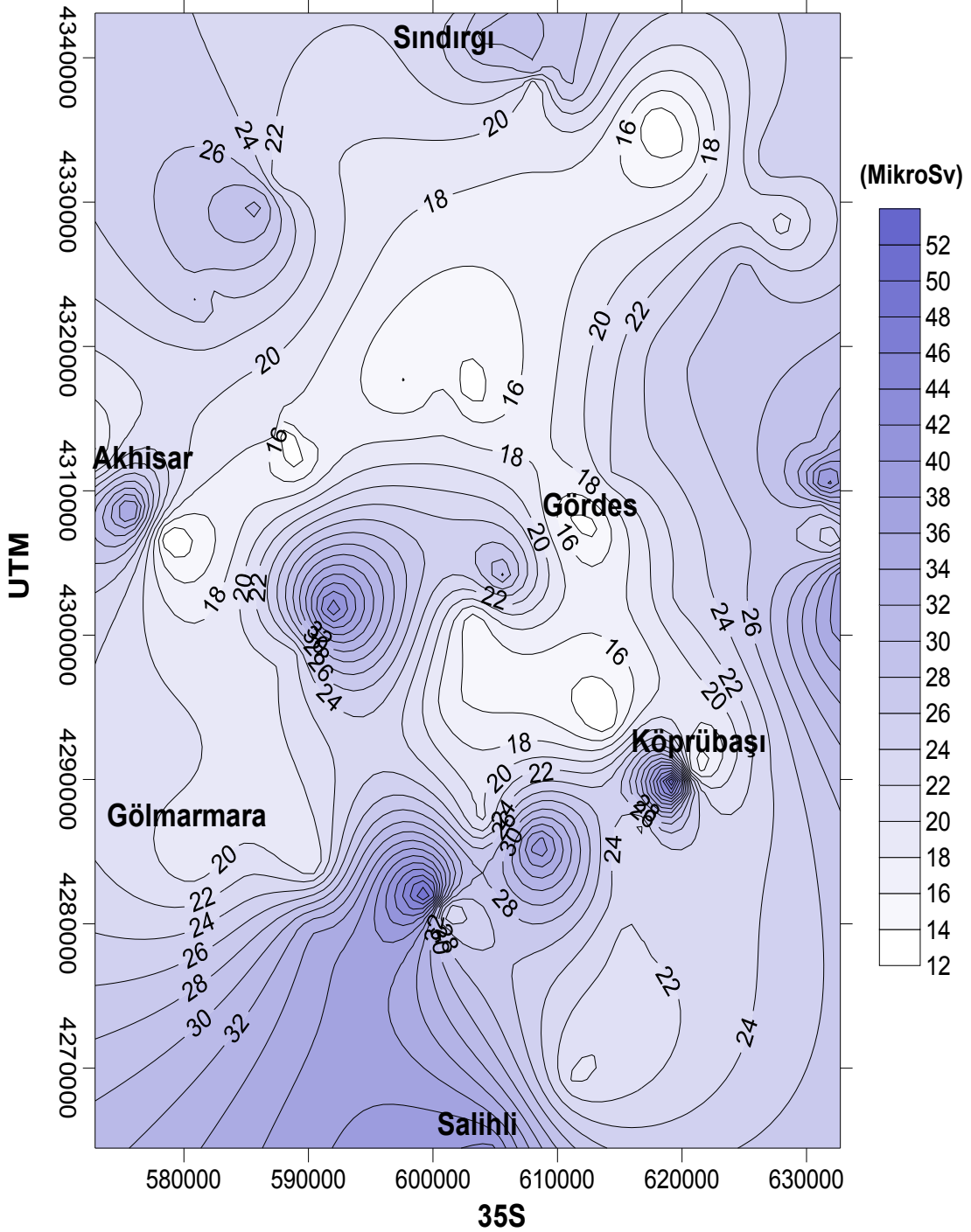
Örnek no	Yıllık Efektif Doz Eşdeğeri (μSv)	
	Rn-222 için	Ra-226 için
61	5.74	12.12
62	6.59	13.91
63	12.33	26.02
64	8.87	18.72
65	12.64	26.68
66	12.01	25.36
67	10.63	22.44
68	10.13	21.37
69	8.45	17.84
70	15.87	33.49
71	24.65	52.04
72	9.02	19.05
73	7.77	16.39
74	8.96	18.92
75	6.79	14.32
76	14.40	30.40
77	5.63	11.89
78	25.47	53.76
79	10.66	22.50
80	6.23	13.16
81	21.04	44.41
82	9.94	20.97
83	5.57	11.76
84	18.21	38.43
85	6.60	13.94
Min.	4.39	9.16
Max.	25.47	53.76
Ort.	11.16	23.39

Su örneklerinde CR-39 iz kazıma yöntemiyle elde edilen radon değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerlerinin 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen bölgesel kontur grafiği Şekil 5.64’de verilmektedir.



Şekil 5.64. Su örneklerinin radon değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 1 μ Sv).

Su örneklerinde CR-39 iz kazıma yöntemiyle elde edilen efektif radyum değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerlerinin 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen bölgesel kontur grafiği Şekil 5.65’de verilmektedir.



Şekil 5.65. Su örneklerinin efektif radyum değerleri kullanılarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerlerinin bölgesel dağılımını gösteren kontur grafiği (kontur aralığı 2 μ Sv).

5.7. İSTATİSTİKSEL SONUÇLAR

Çalışma bölgemize ait toprak, su, sedimet örneklerinin sonuçları ve binaiçi radon konsantrasyonları sonuçları kullanılarak istatistiksel değerlendirmeler aşağıda detaylı olarak yapılmaktadır.

5.7.1. Toprak Sonuçları

Akhisar-Sındırgı-Gördes-Gölmarmara alanından toplanan 137 toprak örneğinin ölçüm sonuçları kullanılarak yapılan korelasyon çizelgesi Çizelge 5.19'da verilmektedir.

Çizelge 5.19. Toprak sonuçlarının korelasyon çizelgesi.

		pH	mV	İletkenlik	Tuzluluk	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Radon kon. (Bq/m ³)	Radon Soluma hızı (Bq/m ² saat)	Doz Hızı (µR/saat)	Yıllık Etkin Doz (µSv)
K-40 (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,118	,096	,054	,076	1	,236**	,488**	,733**	,137	,121	,417**	,767**
	Sig. (2- tailed)	,168	,265	,534	,376		,005	,000	,000	,110	,160	,000	,000
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137
U-238 (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,185*	,175*	-,093	-,092	,236**	1	,349**	,734**	,130	,154	,393**	,720**
	Sig. (2- tailed)	,030	,041	,282	,284	,005		,000	,000	,130	,073	,000	,000
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137
Th-232 (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,313**	,290**	-,044	-,021	,488**	,349**	1	,795**	,436**	,406**	,443**	,772**
	Sig. (2- tailed)	,000	,001	,608	,808	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137
Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,268**	,248**	-,044	-,024	,733**	,734**	,795**	1	,303**	,296**	,557**	,998**
	Sig. (2- tailed)	,002	,003	,609	,779	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

Çizelge 5.19'un devamı.

		pH	mV	İletkenlik	Tuzluluk	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Radon kon. (Bq/m ³)	Radon Soluma hızı (Bq/m ² saat)	Doz Hızı (μR/saat)	Yıllık Efektif Doz (μSv)
Radon kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	-,194*	,184*	-,056	-,034	,137	,130	,436**	,303**	1	,873**	,167	,288**
	Sig. (2- tailed)	,023	,031	,514	,693	,110	,130	,000	,000	,000	,000	,052	,001
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137
Radon Soluma hızı (Bq/m ² saat)	Pearson Correlation	-,166	,156	-,059	-,034	,121	,154	,406**	,296**	,873**	1	,167	,282**
	Sig. (2- tailed)	,052	,068	,497	,695	,160	,073	,000	,000	,000	,000	,052	,001
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137
Dozhızı μR/saat	Pearson Correlation	-,281**	,271**	,003	,022	,417**	,393**	,443**	,557**	,167	,167	1	,557**
	Sig. (2- tailed)	,001	,001	,975	,796	,000	,000	,000	,000	,052	,052	,000	,000
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137
Yıllık Efektif Doz (μSv)	Pearson Correlation	-,257**	,238**	-,038	-,018	,767**	,720**	,772**	,998**	,288**	,282**	,557**	1
	Sig. (2- tailed)	,002	,005	,659	,837	,000	,000	,000	,000	,001	,001	,000	,000
	N	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137	137

** Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

5.7.1.1. Akhisar İlçesi

Akhisar ilçesi sınırından alınan 36 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile Akhisar ilçe merkezinde yapılan bina içi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon Çizelge 5.20.'de verilmektedir.

Çizelge 5.20. Akhisar ilçesi toprak örnekleri ile bina içi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları.

		K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Radon Kon. (Bq/m ³)	Radon Solunma Hızı (Bq/m ² saat)	Bina içi Radon kon. (Bq/m ³)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Yıllık Efektif Doz (µSv)
K-40 (Bq/kg)	Pearson Correlation	1	-,119	-,136	,246	,243	,233	-,294	-,273
	Sig. (2-tailed)		,553	,500	,217	,222	,251	,136	,168
	N	27	27	27	27	27	26	27	27
U-238 (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,119	1	,009	,193	,193	,170	,750**	,784**
	Sig. (2-tailed)	,553		,957	,260	,260	,371	,000	,000
	N	27	36	36	36	36	30	36	36
Th-232 (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,136	,009	1	,449**	,451**	,478**	,558**	,484**
	Sig. (2-tailed)	,500	,957		,006	,006	,008	,000	,003
	N	27	36	36	36	36	30	36	36
Radon Kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	,246	,193	,449**	1	1,000**	1,000**	,354*	,322
	Sig. (2-tailed)	,217	,260	,006		,000	,000	,034	,055
	N	27	36	36	36	36	30	36	36
Radon Solunma Hızı (Bq/m ² saat)	Pearson Correlation	,243	,193	,451**	1,000**	1	1,000**	,354*	,322
	Sig. (2-tailed)	,222	,260	,006	,000		,000	,034	,056
	N	27	36	36	36	36	30	36	36
Bina içi Radon kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	,233	,170	,478**	1,000**	1,000**	1	,328	,290
	Sig. (2-tailed)	,251	,371	,008	,000	,000		,077	,120
	N	26	30	30	30	30	30	30	30
Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,294	,750**	,558**	,354*	,354*	,328	1	,990**
	Sig. (2-tailed)	,136	,000	,000	,034	,034	,077		,000
	N	27	36	36	36	36	30	36	36
Yıllık Efektif Doz (µSv)	Pearson Correlation	-,273	,784**	,484**	,322	,322	,290	,990**	1
	Sig. (2-tailed)	,168	,000	,003	,055	,056	,120	,000	
	N	27	36	36	36	36	30	36	36

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

5.7.1.2. Gördes İlçesi

Gördes ilçesi sınırından alınan 30 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile Gördes ilçe merkezinde yapılan binaıçi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon Çizelge 5.21.'de verilmektedir.

Çizelge 5.21. Gördes ilçesi toprak örnekleri ile binaıçi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları.

		K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Radon Kon. (Bq/m ³)	Radon Soluma Hızı (Bq/m ² saat)	Binaıçi Radon kon. (Bq/m ³)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Yıllık Efektif Doz (µSv)
K-40 (Bq/kg)	Pearson Correlation	1	,008	,273	,489**	,491**	,489**	,651**	,735**
	Sig. (2-tailed)		,969	,168	,010	,009	,010	,000	,000
	N	27	27	27	27	27	27	27	27
U-238 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,008	1	,460*	,195	,202	,195	,722**	,680**
	Sig. (2-tailed)	,969		,011	,303	,284	,303	,000	,000
	N	27	30	30	30	30	30	30	30
Th-232 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,273	,460*	1	,670**	,672**	,670**	,827**	,785**
	Sig. (2-tailed)	,168	,011		,000	,000	,000	,000	,000
	N	27	30	30	30	30	30	30	30
Radon Kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	,489**	,195	,670**	1	1,000**	1,000**	,611**	,623**
	Sig. (2-tailed)	,010	,303	,000		,000	,000	,000	,000
	N	27	30	30	30	30	30	30	30
Radon Soluma Hızı (Bq/m ² saat)	Pearson Correlation	,491**	,202	,672**	1,000**	1	1,000**	,617**	,629**
	Sig. (2-tailed)	,009	,284	,000	,000		,000	,000	,000
	N	27	30	30	30	30	30	30	30
Binaıçi Radon kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	,489**	,195	,670**	1,000**	1,000**	1	,611**	,623**
	Sig. (2-tailed)	,010	,303	,000	,000	,000		,000	,000
	N	27	30	30	30	30	30	30	30
Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Pearson Correlation	,651**	,722**	,827**	,611**	,617**	,611**	1	,992**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	27	30	30	30	30	30	30	30
Yıllık Efektif Doz (µSv)	Pearson Correlation	,735**	,680**	,785**	,623**	,629**	,623**	,992**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	27	30	30	30	30	30	30	30

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

5.7.1.3. Gölarmara İlçesi

Gölarmara ilçesi sınırından alınan 15 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile Gölarmara ilçe merkezinde yapılan binaıçi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon Çizelge 5.22.'de verilmektedir.

Çizelge 5.22. Gölarmara ilçesi toprak örnekleri ile binaıçi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları.

		K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Radon Kon. (Bq/m ³)	Radon Soluma Hızı (Bq/m ² saat)	Binaıçi Radon kon. (Bq/m ³)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Yıllık Efektif Doz (µSv)
K-40 (Bq/kg)	Pearson Correlation	1	,360	,684*	-,006	-,003	-,025	,881**	,896**
	Sig. (2-tailed)		,307	,029	,988	,994	,944	,001	,000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
U-238 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,360	1	-,183	-,565*	-,570*	-,347	,366	,428
	Sig. (2-tailed)	,307		,514	,028	,027	,205	,180	,111
	N	10	15	15	15	15	15	15	15
Th-232 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,684*	-,183	1	,328	,331	,333	,792**	,761**
	Sig. (2-tailed)	,029	,514		,233	,228	,226	,000	,001
	N	10	15	15	15	15	15	15	15
Radon Kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	-,006	-,565*	,328	1	1,000**	,495	,071	,011
	Sig. (2-tailed)	,988	,028	,233		,000	,061	,801	,968
	N	10	15	15	15	15	15	15	15
Radon Soluma Hızı (Bq/m ² saat)	Pearson Correlation	-,003	-,570*	,331	1,000**	1	,498	,069	,010
	Sig. (2-tailed)	,994	,027	,228	,000		,059	,807	,972
	N	10	15	15	15	15	15	15	15
Binaıçi Radon kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	-,025	-,347	,333	,495	,498	1	,094	,055
	Sig. (2-tailed)	,944	,205	,226	,061	,059		,738	,844
	N	10	15	15	15	15	27	15	15
Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Pearson Correlation	,881**	,366	,792**	,071	,069	,094	1	,991**
	Sig. (2-tailed)	,001	,180	,000	,801	,807	,738		,000
	N	10	15	15	15	15	15	15	15
Yıllık Efektif Doz (µSv)	Pearson Correlation	,896**	,428	,761**	,011	,010	,055	,991**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,111	,001	,968	,972	,844	,000	
	N	10	15	15	15	15	15	15	15

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

5.7.1.4. Sındırgı İlçesi

Sındırgı ilçesi sınırından alınan 12 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile Sındırgı ilçe merkezinde yapılan bina içi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon Çizelge 5.23.'de verilmektedir.

Çizelge 5.23. Sındırgı ilçesi toprak örnekleri ile bina içi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları.

		K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Radon Kon. (Bq/m ³)	Radon Solunma Hızı (Bq/m ² saat)	Bina içi Radon kon. (Bq/m ³)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Yıllık Etkin Doz (µSv)
K-40 (Bq/kg)	Pearson Correlation	1	-,006	,330	-,084	-,078	,374	,369	,418
	Sig. (2-tailed)		,986	,294	,794	,810	,231	,237	,177
	N	12	12	12	12	12	12	12	12
U-238 (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,006	1	,108	,072	,076	,036	,803**	,800**
	Sig. (2-tailed)	,986		,739	,825	,815	,912	,002	,002
	N	12	12	12	12	12	12	12	12
Th-232 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,330	,108	1	,729**	,729**	,246	,646*	,625*
	Sig. (2-tailed)	,294	,739		,007	,007	,441	,023	,030
	N	12	12	12	12	12	12	12	12
Radon Kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	-,084	,072	,729**	1	1,000**	-,068	,397	,362
	Sig. (2-tailed)	,794	,825	,007		,000	,833	,201	,247
	N	12	12	12	12	12	12	12	12
Radon Solunma Hızı (Bq/m ² saat)	Pearson Correlation	-,078	,076	,729**	1,000**	1	-,068	,402	,367
	Sig. (2-tailed)	,810	,815	,007	,000		,833	,195	,240
	N	12	12	12	12	12	12	12	12
Bina içi Radon kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	,374	,036	,246	-,068	-,068	1	,228	,241
	Sig. (2-tailed)	,231	,912	,441	,833	,833		,477	,451
	N	12	12	12	12	12	24	12	12
Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Pearson Correlation	,369	,803**	,646*	,397	,402	,228	1	,998**
	Sig. (2-tailed)	,237	,002	,023	,201	,195	,477		,000
	N	12	12	12	12	12	12	12	12
Yıllık Etkin Doz (µSv)	Pearson Correlation	,418	,800**	,625*	,362	,367	,241	,998**	1
	Sig. (2-tailed)	,177	,002	,030	,247	,240	,451	,000	
	N	12	12	12	12	12	12	12	12

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

5.7.1.5. Köprübaşı İlçesi

Köprübaşı ilçesi sınırından alınan 19 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile Köprübaşı ilçe merkezinde yapılan bina içi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon Çizelge 5.24.'de verilmektedir.

Çizelge 5.24. Köprübaşı ilçesi toprak örnekleri ile bina içi radon konsantrasyonu arasındaki korelasyon sonuçları.

		K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Radon Kon. (Bq/m ³)	Radon Solunma Hızı (Bq/m ² saat)	Bina içi Radon kon. (Bq/m ³)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Yıllık Etkin Doz (µSv)
K-40 (Bq/kg)	Pearson Correlation	1	-,148	,526*	,323	,319	-,198	,587**	,658**
	Sig. (2-tailed)		,544	,021	,178	,183	,416	,008	,002
	N	19	19	19	19	19	19	19	19
U-238 (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,148	1	,284	-,128	-,129	-,050	,619**	,568*
	Sig. (2-tailed)	,544		,239	,600	,598	,840	,005	,011
	N	19	19	19	19	19	19	19	19
Th-232 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,526*	,284	1	,408	,408	,013	,863**	,851**
	Sig. (2-tailed)	,021	,239		,083	,083	,958	,000	,000
	N	19	19	19	19	19	19	19	19
Radon Kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	,323	-,128	,408	1	1,000**	,527*	,265	,275
	Sig. (2-tailed)	,178	,600	,083		,000	,021	,273	,254
	N	19	19	19	19	19	19	19	19
Radon Solunma Hızı (Bq/m ² saat)	Pearson Correlation	,319	-,129	,408	1,000**	1	,527*	,263	,273
	Sig. (2-tailed)	,183	,598	,083	,000		,021	,277	,259
	N	19	19	19	19	19	19	19	19
Bina içi Radon kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	-,198	-,050	,013	,527*	,527*	1	-,101	-,120
	Sig. (2-tailed)	,416	,840	,958	,021	,021		,682	,625
	N	19	19	19	19	19	29	19	19
Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Pearson Correlation	,587**	,619**	,863**	,265	,263	-,101	1	,996**
	Sig. (2-tailed)	,008	,005	,000	,273	,277	,682		,000
	N	19	19	19	19	19	19	19	19
Yıllık Etkin Doz (µSv)	Pearson Correlation	,658**	,568*	,851**	,275	,273	-,120	,996**	1
	Sig. (2-tailed)	,002	,011	,000	,254	,259	,625	,000	
	N	19	19	19	19	19	19	19	19

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

5.7.2. Sediment Sonuçları

Akhisar-Sındırgı-Gördes-Gölmarmara alanından toplanan 38 sediment örneğinin tüm ölçüm sonuçları kullanılarak yapılan korelasyon çizelgesi Çizelge 5.25'de verilmektedir.

Çizelge 5.25. Sediment sonuçlarının korelasyon çizelgesi.

		pH	mV	İletkenlik	Tuzluluk	Radon kon. (Bq/m ³)	Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Yıllık Efektif Doz (µSv)	Doz Hızı (µR/saat)
K-40 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,026	-,036	,130	,101	-,063	,695**	,659**	,109
	Sig. (2-tailed)	,879	,835	,449	,557	,716	,000	,000	,527
	N	36	36	36	36	36	36	36	36
U-238 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,181	-,188	-,008	,005	,231	,504**	,430**	,103
	Sig. (2-tailed)	,276	,257	,960	,976	,163	,001	,007	,539
	N	38	38	38	38	38	38	38	38
Th-232 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,234	-,243	,078	-,081	-,033	,643**	,637**	-,053
	Sig. (2-tailed)	,157	,142	,641	,630	,846	,000	,000	,750
	N	38	38	38	38	38	38	38	38
Radon kon. (Bq/m ³)	Pearson Correlation	,058	-,049	-,214	-,109	1	,122	,110	,017
	Sig. (2-tailed)	,729	,771	,197	,515		,467	,512	,917
	N	38	38	38	38	38	38	38	38
Eşdeğer Radyum Aktivitesi (Bq/kg)	Pearson Correlation	,297	-,312	,099	-,015	,122	1	,935**	,045
	Sig. (2-tailed)	,070	,057	,552	,929	,467		,000	,789
	N	38	38	38	38	38	38	38	38
Yıllık Efektif Doz (µSv)	Pearson Correlation	,254	-,271	,155	,022	,110	,935**	1	,173
	Sig. (2-tailed)	,123	,100	,352	,898	,512	,000		,299
	N	38	38	38	38	38	38	38	38
Doz Hızı (µR/saat)	Pearson Correlation	-,136	,127	-,055	-,112	,017	,045	,173	1
	Sig. (2-tailed)	,417	,447	,744	,505	,917	,789	,299	
	N	38	38	38	38	38	38	38	38

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

5.7.3. Su Sonuçları

Akhisar-Sındırgı-Gördes-Gölmarmara alanından toplanan 85 su örneğinin tüm ölçüm sonuçları arasında yapılan korelasyon çizelgesi Çizelge 5.26'da, aynı noktadan alınan su ve toprak örneklerinin ölçüm sonuçları arasındaki korelasyon Çizelge 5.26'da verilmektedir.

Çizelge 5.26. Su sonuçlarının korelasyon çizelgesi

		Alkalite	pH	mV	İletkenlik	Tuzluluk	Radon kon. (Bq/m ³)	Radon Soluma hızı (Bq/m ² .saat)	Efektif Radyum (Bq/m ³)	Kollektör Metodu Radyum (Bq/L)	Radon için yıllık efektif doz (μSv)	Radyum için yıllık efektif doz (μSv)	Doz hızı (μR/saat)
Radon Kon (Bq/m ³)	Pearson Correlation	-,108	-,044	,045	,025	,025	1	1,000**	1,000**	-,071	1,000**	1,000**	,178
	Sig. (2-tailed)	,324	,689	,680	,822	,822		,000	,000	,520	,000	,000	,109
	N	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	82
Radon Soluma Hızı (Bq/m ² .saat)	Pearson Correlation	-,108	-,046	,047	,027	,027	1,000**	1	1,000**	-,068	1,000**	1,000**	,187
	Sig. (2-tailed)	,325	,678	,670	,805	,804	,000		,000	,538	,000	,000	,093
	N	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	82
Radyum Aktivitesi (Bq/m ³)	Pearson Correlation	-,106	-,048	,049	,027	,028	1,000**	1,000**	1	-,070	1,000**	1,000**	,185
	Sig. (2-tailed)	,333	,662	,655	,804	,802	,000	,000		,523	,000	,000	,096
	N	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	82
Radon için yıllık efektif doz (μSv)	Pearson Correlation	-,109	-,043	,044	,025	,025	1,000**	1,000**	1,000**	-,069	1	1,000**	,178
	Sig. (2-tailed)	,322	,698	,689	,823	,824	,000	,000	,000	,530		,000	,109
	N	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	82
Radyum için yıllık efektif doz (μSv)	Pearson Correlation	-,106	-,048	,049	,027	,028	1,000**	1,000**	1,000**	-,070	1,000**	1	,185
	Sig. (2-tailed)	,333	,662	,655	,804	,802	,000	,000	,000	,523	,000		,096
	N	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	82
Kollektör Radyum (Bq/L)	Pearson Correlation	-,105	,205	-,194	-,150	-,168	-,071	-,068	-,070	1	-,069	-,070	-,066
	Sig. (2-tailed)	,340	,060	,075	,172	,125	,520	,538	,523		,530	,523	,554
	N	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	82
Doz hızı (μR/saat)	Pearson Correlation	-,255*	-,288**	,286**	-,107	-,013	,178	,187	,185	-,066	,178	,185	1
	Sig. (2-tailed)	,021	,009	,009	,341	,906	,109	,093	,096	,554	,109	,096	
	N	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

Çizelge 5.27. Aynı noktadan alınan su ve toprak örneklerinin ölçüm sonuçları kullanılarak yapılan korelasyon çizelgesi.

		Radon kon. (su) (Bq/kg)	Radon Soluma Hızı (su)	Efektif Radyum (su)	Kollektor Radyum (su)	pH (toprak)	mV (toprak)	İletkenlik (toprak)	Tuzluluk (toprak)	Radon kon. (toprak)	Radon Soluma Hızı (toprak)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)
Alkalite	Pearson Correlation	-,086	-,089	-,085	,102	,185	-,159	,172	,166	,048	,044	-,024	-,176	-,292
	Sig. (2-tailed)	,587	,576	,591	,521	,242	,315	,277	,294	,764	,784	,879	,266	,060
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
pH (su)	Pearson Correlation	-,025	-,027	-,030	,232	,311*	-,207	-,019	-,002	-,092	-,094	-,115	-,044	-,375*
	Sig. (2-tailed)	,875	,864	,851	,138	,045	,188	,907	,990	,564	,554	,468	,780	,014
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
mV (su)	Pearson Correlation	,022	,024	,027	-,218	-,311*	,208	,024	,004	,075	,077	,120	,047	,372*
	Sig. (2-tailed)	,888	,879	,865	,166	,045	,186	,878	,979	,638	,629	,448	,766	,015
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
İletkenlik (su)	Pearson Correlation	,010	,008	,012	,067	,145	-,144	,185	,177	,064	,060	,014	-,072	-,208
	Sig. (2-tailed)	,949	,958	,942	,672	,359	,364	,241	,263	,688	,707	,931	,653	,186
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Tuzluluk (su)	Pearson Correlation	-,023	-,024	-,021	,083	,039	-,051	,212	,193	,058	,054	,045	-,012	-,131
	Sig. (2-tailed)	,887	,879	,896	,603	,807	,751	,179	,220	,713	,734	,779	,940	,408
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Radon kon. (su) (Bq/kg)	Pearson Correlation	1,000**	1,000**	1,000**	-,039	,091	-,181	-,101	-,115	,053	,053	-,027	,220	,186
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,806	,568	,252	,525	,467	,741	,739	,864	,161	,240
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Radon Soluma Hızı (su)	Pearson Correlation	1,000**	1	1,000**	-,037	,090	-,183	-,097	-,112	,042	,042	-,029	,228	,188
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,818	,569	,247	,540	,481	,793	,791	,855	,147	,234
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42

** Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

* Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

Çizelge 5.27.'nin devamı.

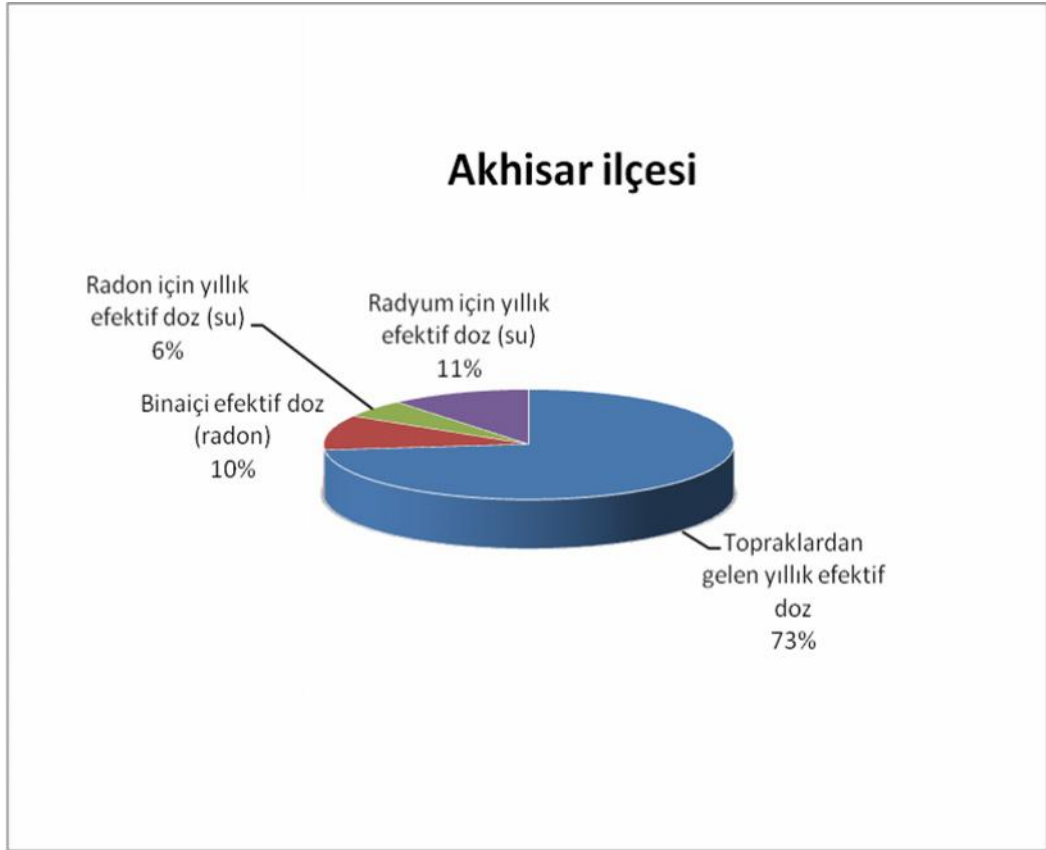
		Radon kon. (su) (Bq/kg)	Radon Soluma Hızı (su)	Efektif Radyum (su)	Kollektor Radyum (su)	pH (toprak)	mV (toprak)	İletkenlik (toprak)	Tuzluluk (toprak)	Radon kon. (toprak)	Radon Soluma Hızı (toprak)	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)
Efektif Radyum (su)	Pearson Correlation	1,000**	1,000**	1	-,040	,092	-,182	-,099	-,114	,044	,044	-,029	,225	,187
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,802	,564	,248	,535	,474	,782	,780	,854	,152	,237
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Kollektor Radyum (su)	Pearson Correlation	-,039	-,037	-,040	1	,052	-,054	-,119	-,146	-,126	-,124	-,010	,246	,083
	Sig.(2-tailed)	,806	,818	,802		,744	,736	,453	,358	,425	,434	,951	,117	,601
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
pH (toprak)	Pearson Correlation	,091	,090	,092	,052	1	-,816**	,020	,035	-,403**	-,400**	-,280	-,336*	-,566**
	Sig. (2-tailed)	,568	,569	,564	,744		,000	,900	,826	,008	,009	,073	,029	,000
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
K-40 (Bq/kg)	Pearson Correlation	-,027	-,029	-,029	-,010	-,280	,129	,084	,105	,301	,302	1	,282	,539**
	Sig. (2-tailed)	,864	,855	,854	,951	,073	,415	,598	,508	,053	,052	,000	,070	,000
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
U-238 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,220	,228	,225	,246	-,336*	,242	-,116	-,150	-,116	-,114	,282	1	,324*
	Sig. (2-tailed)	,161	,147	,152	,117	,029	,123	,465	,343	,465	,471	,070		,036
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Th-232 (Bq/kg)	Pearson Correlation	,186	,188	,187	,083	-,566**	,374*	-,010	-,016	,338*	,342*	,539**	,324*	1
	Sig. (2-tailed)	,240	,234	,237	,601	,000	,015	,950	,920	,028	,027	,000	,036	
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Doz hızı µR/saat	Pearson Correlation	,251	,259	,257	,014	-,268	,194	,060	,053	,019	,020	,607**	,630**	,567**
	Sig.(2-tailed)	,109	,097	,101	,929	,087	,219	,705	,737	,905	,901	,000	,000	,000
	N	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42

** . Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı.

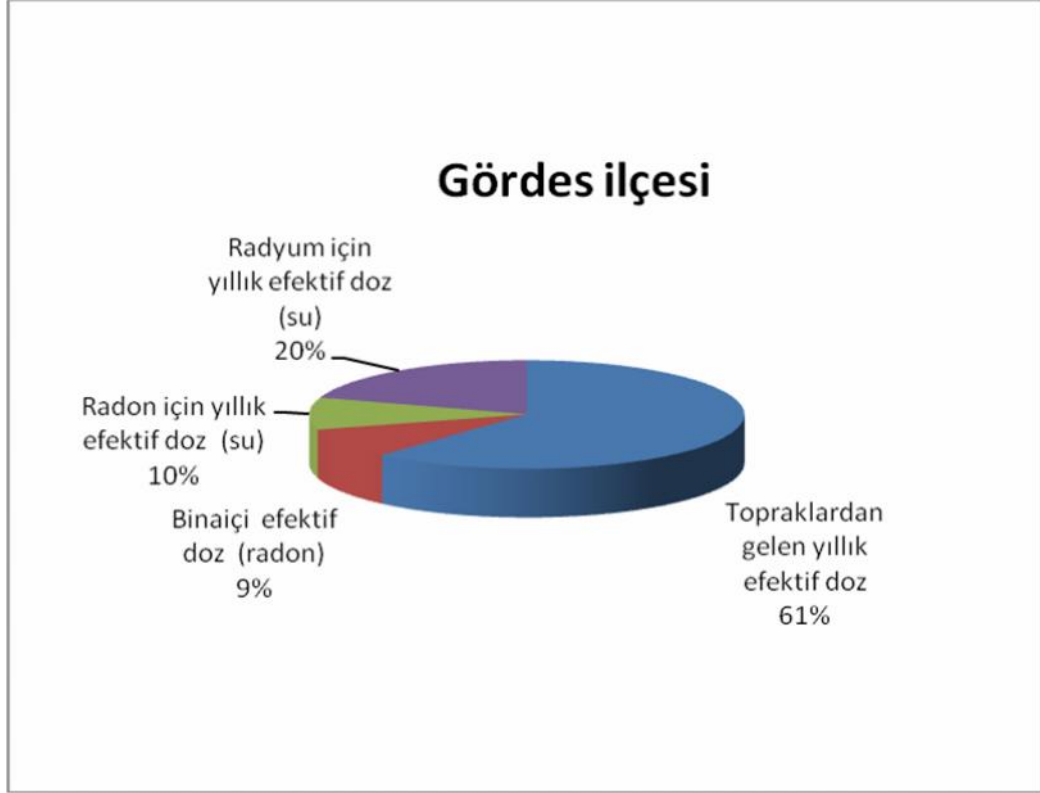
* . Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı.

5.8. BÖLGESEL TOPRAK, SU VE BİNAİÇİ RADYASYONDAN KAYNAKLANAN YILLIK EFEKTİF DOZ DAĞILIM SONUÇLARI

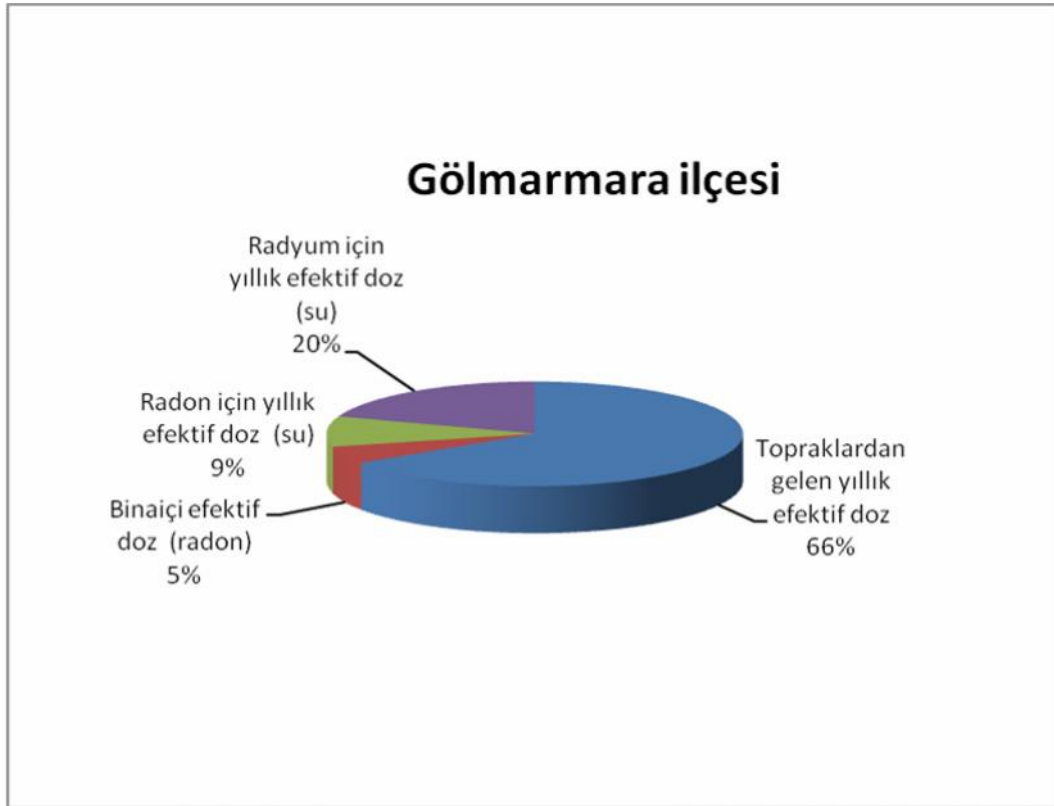
Akhisar, Gördes, Gölarmara, Sındırgı ve Köprübaşı ilçe sınırlarından alınan toprak ve su örneklerinde yapılan radyoaktif ölçüm sonuçlarından ve ilçe merkezindeki evlerde yapılan binaıçi ölçüm sonuçlarından elde edilen toplam yıllık dozun her bir için yüzdesel dağılımları sırasıyla Şekil 5.66, 5.67, 5.68, 5.69 ve 5.70'de verilmektedir.



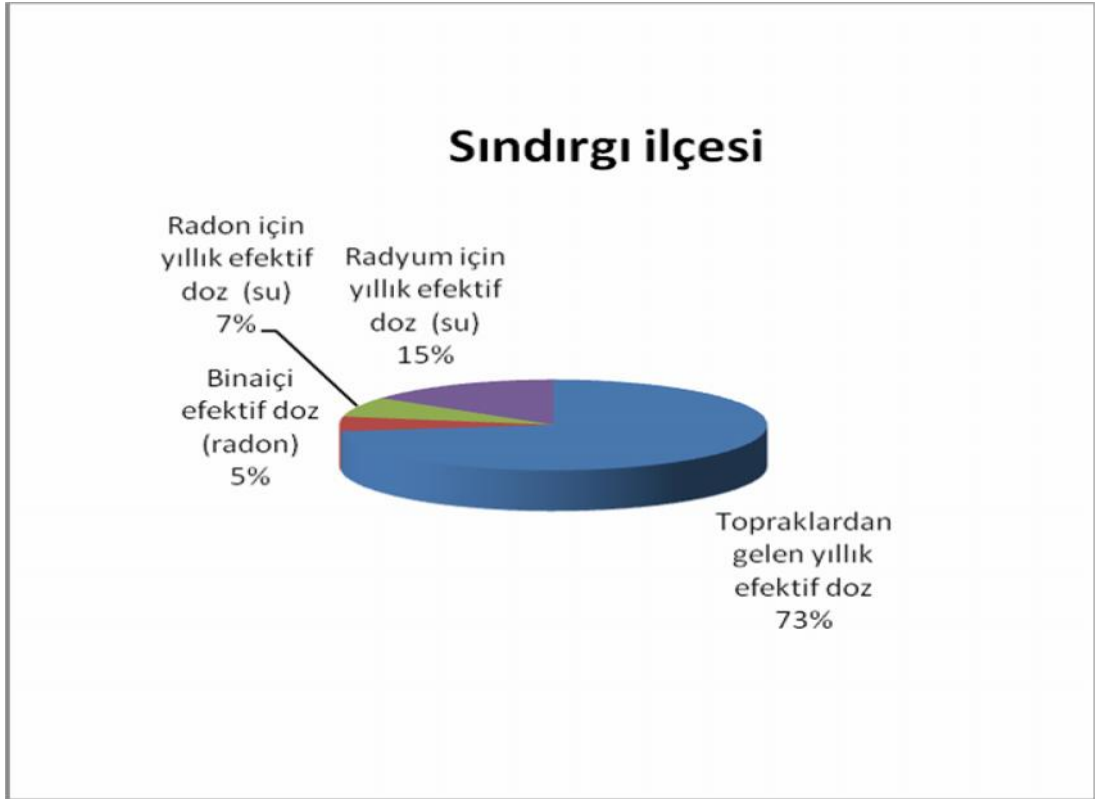
Şekil 5.66.Akhisar ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı.



Şekil 5.67. Gördes ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı.



Şekil 5.68. Gölmarmara ilçesi için hesaplanan toplam doz dağılımı.



Şekil 5.69. Sındırgı ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı..



Şekil 5.70. Köprübaşı ilçesi için hesaplanan toplam yıllık efektif doz dağılımı.

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinde 1 metre yükseklikteki gama doz hızları, toprak, su ve sediment örneklerinde doğal radyoaktivite düzeyleri ve inceleme bölgesi içerisinde yer alan Akhisar, Gördes, Gölmarmara, Köprübaşı ve Sındırgı ilçelerinde binaici radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bölüm 5’de verilen bulgular bu bölümde dünyada yapılan diğer çalışmalar ve dünya ortalaması ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

6.1. YÜZEY GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez çalışmasında, Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı bölgesinde örneklerin alındığı noktalarda yerden 1 metre yükseklikte TAEK Dose Rate Meter-NEB.211 Geiger Müller dedektörü ile ölçülen yüzey gama doz hızları 9.39-28.06 $\mu\text{R/saat}$ aralığında ortalama 15.79 $\mu\text{R/saat}$ olarak bulundu. Bu değerlerden hesaplanan doz hızı değerleri minimum 81.69 maksimum 244.12 nGy/saat aralığında ve ortalama 137.40 nGy/saat olarak bulundu (Çizelge 5.1). En yüksek gama doz hızı Sındırgı ilçe sınırında yer alan Yaylabayır göleti ile Beğenler köyü arasında 85 numaralı toprak örneğinin alındığı 147. örnekleme noktasında ölçülmüştür. En düşük gama doz hızı Akhisar ilçe sınırında yer alan Başlamış köyü yakınında 44 numaralı toprak örneğinin alındığı 74. örnekleme noktasında ölçülmüştür. Gördes ilçesinin girişinden 17 numaralı toprak örneğinin alındığı 32. örnekleme noktasında, Gördes’in batı kısmında bulunan Gördes volkanitlerinin yer aldığı 114 nolu toprak örneğinin alındığı 190. örnekleme noktasında, Gördes ilçesinde Pınarbaşı civarından 127 numaralı toprak örneğinin alındığı 205. örnekleme noktasında, Sındırgı ilçe sınırında 86 numaralı toprak örneğinin alındığı 149. örnekleme noktasında, Köprübaşı ilçesinin Kasar köyünden 122 numaralı toprak örneğinin alındığı 198. örnekleme noktasında 200 nGy/saat’ı aşan yüksek gama doz hızları ölçülmüştür.

Şekil 5.1’de, yerden 1 metre yükseklikteki yüzey gama doz hızlarının 35S ve UTM koordinat sistemine göre çizilen bölgesel dağılım grafiğinde gama doz hızları

özellikle Köprübaşı ilçesi, Köprübaşının kuzeydoğusu (Demirci yolu kesimi), Gördes ilçesi ve çevresinde, Sındırgı'nın doğu kesiminde (Demirci yolu ve Gördes yolu) 100 nGy/saat değerinden daha yüksekken Akhisar, Gölarmara ve Salihli çevresindeki yüzey gama doz hızları 100 nGy/saat değerinden düşüktür.

Çevresel doğal gama radyasyonlarının ana kaynakları kara ve uzay kökenli olmaları nedeniyle topraktaki radyonüklid konsantrasyonu ve bölgenin denizden olan yüksekliği gama radyasyon miktarını etkilemektedir. Bu çalışmada incelenen bölge için küçükten büyüğe doğru denizden olan yükseklik 83 m (Gölarmara), 106 m (Akhisar), 125 m (Salihli), 250 m (Köprübaşı, Sındırgı) ve 680 m (Gördes) şeklinde değişmektedir. Dolayısıyla Şekil 5.1'de verilen grafikte yüksek rakımlı olan Köprübaşı, Sındırgı ve Gördes çevresinde yüzey gama doz hızları yüksek, Akhisar, Gölarmara ve Salihli çevresinde düşük değerler ölçülmüştür. Bölgenin jeolojik yapısına bakıldığında Gördes ve civarında temelde Menderes Masifine ait metamorfik kayalar (Gnays, migmatit, mikaşist, kuvarsit) yüzeylenmektedir. Köprübaşı çevresinde metamorfik kayalardan biyotit gnays ile bunların içerdikleri pegmatit ve kuvarsit damarları bulunmaktadır. Sındırgı civarında andezit-spilit yapı, çakıltası, kumtaşı, siltaşı, marnlı (tortul kayaç) ve mafik volkanik (dasit ve tüfler) bulunmaktadır. Volkanitler bölgede, asidik bileşimli kayalarla, bunların tüfleri şeklinde yüzlekler vermektedir. Tüfler ve riyolit, liparit, trakit, dasit, andezit, diayabaz, bazalt, pikrit magmatik kökenli kayaç türleridir ve bunlar içerisinde yer kabuğunda kendiliğinden var olan uranyum, toryum ve potasyum bulunmaktadır. Bu tip kayalardan granit ve kuvars içinde bol miktarda toryum ölçüldüğü belirtilmektedir (Günoğlu, 2008).

Dünya'da ve Türkiye'de yapılan yüzey gama doz hızı çalışmaları ile ilgili sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmektedir. Dünya'da yapılan çalışmalarla bu tez çalışmasındaki sonuçlar karşılaştırıldığında 1 metre yükseklikte ölçülen yüzey gama doz hızları Malezya ve Ürdün dışındaki diğer ülkelerde (İspanya, Kostarika ve Yunanistan) ve Türkiye'nin farklı illerinde yapılan çalışmalardan yüksek değerler göstermektedir. Ereeş ve diğ. 2006 yılında Manisa-Merkezde yaptıkları çalışmada yerden 1 metre yükseklikteki yüzey gama doz hızını bu çalışmada kullanılan dedektör ile 9 µR/saat (hesaplanan 78.30 nGy/saat) ile 15.6 µR/saat (hesaplanan 135.72 nGy/saat) olarak bulmuştur. Bu tez çalışmasının doz hızı sonuçları, Ereeş ve diğerlerinin Manisa merkez'de elde ettikleri sonuçlardan yüksektir. UNSCEAR

2000-2006'da 1 metre yükseklikte ölçülen yüzey gama doz hızı aralığı 24-160 nGy/saat ve ortalama 59 nGy/saat olarak verilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçların değişim aralığı UNSCEAR 2000-2006'da verilen değerlerden daha yüksektir. Bu çalışmada bulunan ortalama değer (137.40 nGy/saat) UNSCEAR raporunda verilen 59 nGy/saat olarak verilen ortalamanın iki katıdır.

Çizelge 6.1. Dünya'da ve Türkiye'de 1 metre yükseklikte ölçülen gama doz hızları.

Yer	Yüzey gama doz hızı		Referans
	(μ R/saat)	(nGy/saat)	
İspanya		12.1-179.5	Quindos Poncela ve diğ., 2004
Kostarika		29.52	Mora ve diğ., 2007
İspanya		75-242.3	Quindos ve diğ., 2008
Malezya		39-1039 (222)	Lee ve diğ., 2009
Ürdün		10-2740	AL-amairyeen, H., 2010
Yunanistan		79.3-104 (90)	Papachristodoulou ve diğ., 2010
Türkiye-Gediz	11		Bakaç, 1998
Türkiye- Kezban baraj gölü	2-3		Külahcı, 2005
Türkiye- Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hattı		87.8	Baykara, 2005
Türkiye-Tekirdağ		30.3-54.3	Yarar ve Kam, 2005
Türkiye-Manisa	9-15.6	78.30-135.72	Erees ve diğ., 2006
Türkiye-Kastamonu		36.1-84.6 (48.03)	Kam ve Bozkurt, 2007
Türkiye-Şanlıurfa		60.9	Bozkurt ve diğ., 2007
Türkiye-Adana		65.6	Değerlier, 2007
Dünya ortalaması		24-160 (59)	UNSCEAR, 2000-2006
Türkiye-Akhisar- Görmes-Gölmarmara- Sındırgı	9.39-28.06 (15.79)	81.69-244.122 (137.40)	Bu çalışmada

6.2. BİNAİÇİ RADON KONSANTRASYONU SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Köprübaşı ve Sındırgı ilçelerinde CR-39 Nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak binaïçi radon konsantrasyonları belirlenmiştir.

Akhisar ilçesinin merkezindeki binalara dağıtılan 30 tane CR-39 nükleer iz kazıma dedektöründen 1 ay sonra 27 tanesine ulaşılabilmektedir. 27 tane CR-39 film kullanılarak Akhisar ilçesi için binaïçi radon konsantrasyonu 83–290 Bq/m³ aralığında ortalama 162.5 Bq/m³ olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.2). Akhisar ilçesi için radon konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğeri 4.15-14.50 mSv/yıl aralığında değişmekte ve ortalama 8.13 mSv/yıl olarak bulunmuştur. Akhisar ilçesinin binaïçi radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğine bakarsak, dağıtılan 27 filmde %81.5’indeki radon konsantrasyonu 75 ile 200 Bq/m³ aralığında değişmektedir. %18.5’inde radon konsantrasyonu 200 Bq/m³’den büyüktür (Şekil 5.2).

Gördes ilçe merkezine binaïçi radon konsantrasyonlarını ölçmek için 40 tane CR-39 film bırakılmıştır. 1 ay sonunda 30 tanesine ulaşılabilmektedir. Bu filmler sayılarak Gördes için binaïçi radon konsantrasyonu 63-405 Bq/m³ aralığında ortalama 161.5 Bq/m³ olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.3). Yıllık efektif doz eşdeğeri minimum 3.13 mSv/yıl maksimum 20.24 mSv/yıl ve ortalama 8.08 mSv/yıl olarak hesaplanmıştır. Binaïçi radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğinde radon konsantrasyonları değerlerinin %73.3’ünün 100-200 Bq/m³ arasında %13.3’ünün 200-350 Bq/m³ ve %3.3’ünün 400-450 Bq/m³ arasında değer aldığı görülmektedir (Şekil 5.3).

Sındırgı ilçe merkezine binaïçi radon konsantrasyonlarını ölçmek için 30 tane CR-39 film bırakılmıştır. 1 ay sonunda 24 tanesine ulaşılmıştır. Bu filmler sayılarak Sındırgı ilçesi için binaïçi radon konsantrasyonu 102-285 Bq/m³ aralığında ortalama 165.3 Bq/m³ olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.4). Yıllık efektif doz eşdeğeri minimum 5.11 mSv/yıl maksimum 14.24 mSv/yıl ve ortalama 8.27 mSv/yıl olarak hesaplanmıştır. Binaïçi radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğinden verilen filmlerin %83.3’ünde radon konsantrasyonu değerlerinin 100-200 Bq/m³ aralığında

olduğu %16.6'sının 200-300 Bq/m³ aralığında değerler aldığı görülmektedir (Şekil 5.4).

Köprübaşı ilçe merkezine dağıtılan 30tane CR-39 filmden 1 ay sonra 29 tanesine geri ulaşılmıştır. Bu filmlerde yapılan ölçümler sonucunda Köprübaşı için binaïçi radon konsantrasyonu 87-272 Bq/m³ aralığında ortalama 156.45 Bq/m³ olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.5). Yıllık efektif doz eşdeğeri minimum 4.36 mSv/yıl, maksimum 13.59 mSv/yıl ve ortalama 7.82 mSv/yıl olarak hesaplanmıştır. Binaïçi radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğinden filmlerin %86.2'sinde değerlerin 100-200 Bq/m³ aralığında olduğu %10.3'ünde değerlerin 200-275 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 5.5)

Gölmarmara ilçe merkezine dağıtılan 30 tane CR-39 filmden 1 ay sonra 27 tanesine ulaşılabilmıştır. Bu filmler sayılarak Gölmarmara için binaïçi radon konsantrasyonu 101-442 Bq/m³ aralığında olduğu görülmektedir (Çizelge 5.6). 442 Bq/m³ lük değer diğer değerlere göre yüksek bir değer olduğu için ortalama hesabına katılmamıştır. Bu durumda Gölmarmara ilçesi için radon konsantrasyonu ortalama 174.9 Bq/kg olarak bulunmuştur. Radon konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğeri minimum 5.03 mSv/yıl, maksimum 22.08 mSv/yıl ve ortalama 8.75 mSv/yıl (174.9 Bq/m³ lük radon konsantrasyonu için) olarak bulunmuştur. Binaïçi radon konsantrasyonları dağılım grafiğinde dağıtılan filmlerin %70.3'ünde radon konsantrasyonu değerlerinin 100-170 Bq/m³ aralığında, %25.9'unda 200-300 Bq/m³ aralığında ve bir filmde 442 Bq/m³ olduğu görülmektedir (Şekil 5.6). Çizelge 2.22'de görüldüğü gibi Türkiye için binaïçi radon konsantrasyonu sınır değeri 400 Bq/m³'dür. Gölmarmara'da bir ölçüm sonucunun bu değeri aştığı görülmektedir.

Akhisar (ortalama 162.5 Bq/m³), Gördes (ortalama 161.5 Bq/m³), Sındırgı (ortalama 165.3 Bq/m³), Köprübaşı (ortalama 156.5 Bq/m³) ve Gölmarmara (ortalama 174.9 Bq/m³) ilçelerinde ortalama binaïçi radon konsantrasyonu sonuçlarına baktığımızda ortalama sonuçların birbirine yakın olduğunu en yüksek ortalamanın Sındırgı ilçesinde en düşük değerinde Köprübaşı ilçesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca Akhisar (ortalama 8.13 mSv/yıl), Gördes (ortalama 8.08 mSv/yıl), Sındırgı (ortalama 8.27 mSv/yıl), Köprübaşı (ortalama 7.82 mSv/yıl) ve Gölmarmara (ortalama 8.23 mSv/yıl) ilçelerinde ortalama radon konsantrasyonu değeri kullanılarak hesaplanan ortalama yıllık efektif doz eşdeğerlerin yaklaşık 8

mSv/yıl değerinde olduğu görülmektedir. Çizelge 6.2’de Dünya’da ve Türkiye’de yapılmış binaıçi radon konsantrasyonları verilmektedir.

Çizelge 6.2. Dünya’da ve Türkiye’de yapılmış binaıçi radon konsantrasyonu ve efektif doz eşdeğerleri.

Yer	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Efektif Doz Eşdeğeri (mSv/yıl)	Referans
Çin	18-960		Diyun, 2005
Pakistan	66-83	0.46-0.85	Rahman, 2007
Suudi Arabistan	2-69 (18.4)	0.46	Al-Saleh, 2007
Pakistan	11-78		Rahman, 2008
Ürdün	7-230 (44)		Abumurad ve Al-Omari, 2008
Meksika	13-196	0.13-0.37	Espinosa, 2009
Yunanistan	52	1.3	Manousakas, 2010
Türkiye-Manisa	47-146	2.35-7.3	Ereeş ve diğ., 2006
Türkiye-Adana	46		Değerlier, 2007
Türkiye-Kastamonu	29-177 (98.4)	0.73-4.46 (2.48)	Kam ve Bozkurt, 2007
Türkiye-Giresun	52-360 (130)		elik ve diğ., 2008
Türkiye-Sivas	98 (yaz) 89 (kış)		Mihci ve diğ., 2010
Türkiye-Trabzon	8-583		Kurnaz ve diğ., 2011
ICRP	100	1.72	Chen, 2005
UNSCEAR	100	2.5	UNSCEAR, 2000
Türkiye-Akhisar	162.5	8.13* 4.10**	Bu alışma
Türkiye-Gördes	161.5	8.08* 4.07**	Bu alışma
Türkiye-Sındırgı	165.3	8.27* 4.17**	Bu alışma
Türkiye-Köprübaşı	156.5	7.28* 3.94**	Bu alışma
Türkiye-Gölmarmara	164.6	8.23* 4.15**	Bu alışma

(*) 1Bq/m³ = 0.05mSv/yıl dönüşüm faktörü kullanılarak hesaplanan doz (Ereeş ve diğ., 2006; Green ve diğ., 1992)

(**) UNSCEAR 2000 raporundaki dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanan doz.

Çizelge 6.2’de binaıçi radon konsantrasyonlarından gidilerek hesap edilen yıllık efektif doz eşdeğeri hesaplanırken farklı dönüşüm katsayıları kullanılmıştır. Tez çalışmasında yıllık efektif doz eşdeğeri hesabı için

$$1\text{Bq/m}^3 = 0.05 \text{ mSv/yıl} \quad (4.2)$$

çevrim faktörü kullanılmıştır (Ereeş ve diğ., 2006; Gren ve diğ., 1992). Bu sonuçlar Çizelge 6.2’de (*) sembolü ile verilmektedir. Tez çalışmasında UNSCEAR 2000 raporunda verilen ortalama Rn-222 aktivite konsantrasyondan gidilerek binaıçi maruziyeti için yıllık ortalama efektif dozu hesaplamak için 9 nSv/Bqsaatm^3 dönüşüm faktörü, 0.4’lük denge faktörü ve 0.8’lik occupancy (binaıçinde bulunma) faktörü kullanılarak ortalama yıllık efektif doz eşdeğeri de hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 6.2’de (**) sembolü ile gösterilmektedir.

Çizelge 6.2’e bakıldığında bu çalışmada elde edilen sonuçlar Dünya’da yapılan çalışmalarda Çin dışında diğer ülkelerde (Pakistan, Suudi Arabistan, Ürdün, Meksika ve Yunanistan) yapılan çalışmalardaki sonuçlardan yüksektir. Türkiye’de yapılan çalışmalarla kıyaslandığında elde edilen sonuçların Trabzon dışında diğer illerdeki (Manisa, Adana, Giresun ve Sivas) sonuçlardan ortalama değer gözönüne alındığında yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca Ereeş ve diğerlerinin Manisa’da yaptığı çalışmada binaıçi radon konsantrasyonu $47-146 \text{ Bq/m}^3$ ve efektif doz eşdeğeri $2.35-7.3 \text{ mSv/yıl}$ olarak bulunmuştur (Ereeş ve diğ., 2006). Bu tez çalışmasında Manisa’nın ilçelerinde elde edilen sonuçlar Ereeş (2006)’da verilen sonuçlardan yüksektir. Bunun nedenini jeolojik yapıya bağlayabiliriz.

6.3. TOPRAK ÖRNEKLERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma alanından alınan 137 toprak örneğinin Bölüm 5.3’de verilen sonuçlarının literatürle karşılaştırılarak değerlendirilmesi aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

6.3.1. pH, mV, İletkenlik ve Tuzluluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı alanı boyunca toplanan 137 toprak örneğinin sonuçları şu şekildedir:

pH değerleri 4.13-8.61 aralığında ortalama 7.38 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.7). Akhisar ilçesinin Yeğenoba köyü ile Fundacık köyü arasından alınan 14 numaralı toprak örneği (pH 8.28) ile Gölmarmara ilçesinin Karapınar köyü regülatöründen alınan 31 numaralı toprak örneğinde (pH 8.61) yüksek pH değerleri ölçülmüştür (Şekil 5.7). Toprak örneklerinin pH frekans dağılım grafiğinden bu toprakların (pH 8-9) kuvvetli bir şekilde bazik karakterli olduğu görülmektedir (Şekil 5.8). Gördes’in Tüpüler köyü civarından alınan 112 numaralı toprak örneği (pH 4.13)

ile Sındırgı Gölet mevki ile Beğenler köyü arasından alınan 84 ve 85 numaralı toprak örneklerinde (pH 5.20 ve pH 4.81) düşük pH değerleri bulunmuştur (Şekil 5.7). Bu toprakların (pH 4.0-5.5) (tüm toprak örneklerinin %2.1'lik kısmı) kuvvetli asidik karakter gösterdiği görülmektedir. Toprak örneklerinin %86'lık kısmının (pH 7-8) zayıf bir şekilde bazik karakterli olduğu, %10.2'lik kısmının (pH 6-7) zayıf bir şekilde asidik karakterli olduğu görülmektedir (Şekil 5.8).

İletkenlik değerleri 24-5910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında ortalama 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 5.7). Ortalama hesabına Gördes ilçesinin Malkoca köyünden alınan 108 numaralı toprak örneğinin 5910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik iletkenlik değeri katılmamıştır. En düşük iletkenlik değeri (24 $\mu\text{S}/\text{cm}$) Akhisar-Sındırgı yolu üzerinde Akhisar çıkışından alınan 42 numaralı toprak örneğinde ölçüldü. 1515 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik iletkenlik değerine sahip olan 30 numaralı toprak örneği Salihli ilçesi çökelek köyü civarından alınmıştır (Şekil 5.9). Toprak örneklerinin %92.7'lik kısmının iletkenlik değeri 0-335 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değişirken %4.4'ü 335-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında %2.2'lik kısmında 1000-1660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değerler almaktadır. Bir tane örnekte 5910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik iletkenliğe sahiptir (Şekil 5.10).

Toprakların mV değerleri -93 ile +165 aralığında ortalama -24 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7, Şekil 5.11). Toprak örneklerinin mV değerlerinin %79.6'lık kısmı -50 ile 0 arasında değişirken, %10.2'lik kısmı da 0 ile +50 değerleri arasında değişmektedir. %7.3'lük kısmı -100 ile -50 değerleri arasında, %2.9'u +50'den yüksek değerler almaktadır (Şekil 5.12).

Toprak örneklerinin beş tanesinde (28, 30, 96, 108 ve 112 numaralı örnekler) tuzluluk tespit edilmiştir. Tuzluluk, Salihli çıkışından alınan 28 numaralı toprak örneği ile Gördes'in Tüpüler köyü civarından alınan 112 numaralı toprak örneğinde 0.1 olarak, Gölarmara ilçesinin Beyler köyü civarından alınan 96 numaralı örnekte 0.5 olarak, Salihli ilçesinin Çökelek köyü civarından alınan 30 numaralı toprak örneğinde 0.6 ve Gördes ilçesinin Malkoca köyünden alınan 108 numaralı toprak örneğinde tuzluluk 3.2 olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.7).

6.3.2. Toprak Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Aktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanından toplanan 137 toprak örneğinde CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak hesaplanan radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi sırasıyla 38.68-1263.89 Bq/m³ aralığında ortalama 180.04 Bq/m³, 0.05-1.62 Bq/m²saat ve ortalama 0.23 Bq/m²saat, 0.16–5.10 Bq/m³ ve ortalama 0.73 Bq/m³ olarak bulundu (Çizelge 5.8). En küçük radon konsantrasyonu Gördes ilçesinin Pınarbaşı köyü civarından alınan 127 numaralı toprak örneğinde, en yüksek radon konsantrasyonu Akhisar ilçesinin Dağdere köyü civarından alınan 12 numaralı toprak örneğinde tespit edilmiştir (Şekil 5.13).

Toprak örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılım grafiğine bakıldığında toprak örneklerinin %89'unun yaklaşık 0.1- 0.3 Bq/m²saat aralığında değerler aldığı ve %8.7'sinin 0.3 ile 0.6 Bq/m²saat aralığında değerler aldığı 1 Bq/m²saat değerini aşan iki örneğin olduğunu (12 ve 85 numaralı toprak örnekleri) görmekteyiz (Şekil 5.14).

Şekil 5.15'de toprak örneklerinin hesaplanan efektif radyum aktivitesi frekans dağılım grafiği verilmektedir. Toprak örneklerinin %81.7'sinin 0.1-1 Bq/m³ aralığında %16'sının 1-3 Bq/m³ aralığında ve 3 Bq/m³'den büyük iki değer olduğu görülmektedir. Bu örneklerin 12 ve 85 numaralı toprak örnekleri olduğu görülmektedir.

Şekil 5.16'da verilen kontur grafiğinde CR-39 iz kazıma dedektörleri kullanılarak bulunan efektif radyum aktivitesinin yüksek ve düşük olduğu bölgeler net bir şekilde görülmektedir. Şekil 5.16'da efektif radyum aktivitesi değerlerinin Gölarmara'nın doğusu, Salihli'nin üst kısmı (Poyrazdamları civarı) ve Gördes'in doğusunda daha düşük değerlerde (0.1-0.5 Bq/m³) olduğu, Gördes ilçesinin Pınarbaşı köyü civarı ve Akhisar ilçesinin Dağdere köyü dışında diğer yerlerde 0.4-2.1 Bq/m³ aralığında değişmektedir. Akhisar ilçesinin Dağdere köyü civarından alınan örnekte 5 Bq/m³'ü aşan efektif radyum aktivitesi hesaplanmıştır.

Bölgenin jeolojik yapısına baktığımızda Salihlinin üst kısmı poyrazdamları civarının ve Gördes'in doğu kısmının gnays, mikaşist, amfibolit yapıya sahip olduğu Bölüm 3'de belirtilmektedir. Akhisar-Gördes ilçeleri arasında kalan Çıtak, Hamit,

Dağdere ve Yayakırıldık köyleri ile sınırlanan alan içinde kömür yatakları bulunmaktadır. Yeraltı kömür madenlerinde radon gazının kaynağı jeolojik yapıyı oluşturan kayalar ve kömürün bünyesindeki uranyum, toryum veya radyumdur (Fişne ve diğ., 2004). Bu çalışmada, 12 numaralı toprak örneğinin alındığı yerde Linyit Kömür işletmesi bulunmaktadır. Bu noktadan alınan örnekte ölçüm sonuçlarının yüksek çıkmasına neden olarak alınan toprak örneğinin içerisinde kömür kalıntılarının bulunduğu düşünülebilir.

Türkiye ve Dünya’da nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak toprak örneklerinde radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı hesaplamalarının yapıldığı görülmektedir (Çizelge 6.3). Bu çalışmadaki radon soluma hızı sonuçları, literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3. Çeşitli çalışmalarda nükleer iz kazıma dedektörleri ile toprak örneklerinde bulunan radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı sonuçları.

Yer	Radon Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Radon Soluma Hızı (mBq/m ² saat)	Referans
Hindistan	1197–5349	246.63-1100	Singh ve diğ., 2005
Pakistan	62-125	171-344	Rafique ve diğ., 2011
Mısır	1.54-5.37 Bq/kg	338.81-1426.47 Bq/m ² gün	Sroor ve diğ., 2001
Türkiye		13.3- 400.7	Baykara, 2005
Hindistan		502.12 - 1162.64	Sharma ve diğ., 2003
Türkiye	38.68 - 1263.89	50-1620	Bu çalışma

6.3.3. Toprak Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanından toplanan 137 toprak örneğinde gama spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümlerde;

K-40 aktivite konsantrasyonu 23 toprak örneğinde dedekte edilememiştir (Çizelge 5.9). 116 toprak örneğinde K-40 aktivite konsantrasyonu 2.80-2347.77 Bq/kg aralığında ortalama 384.80 Bq/kg olarak bulunmuştur (Çizelge 5.9). En yüksek K-40 konsantrasyonu Akhisar-Gördes yolunda Kıranköy sapağı öncesi Gördes ilçesine 5 km uzaklıkta alınan 17 numaralı toprak örneğinde ölçülmüştür

(Şekil 5.17). K-40 aktivite konsantrasyonu frekans dağılım grafiğine bakıldığında örneklerin %73.7'sinin 2.8-500 Bq/kg aralığında K-40 aktivitesine sahip olduğu %22.8'sinin 500-1000 Bq/kg aralığında olduğu ve 1000 Bq/kg değerini aşan dört toprak örneği olduğu görülmektedir (Şekil 5.18). Dünya ortalaması K-40 için 400 Bq/kg olarak kabul edilmiştir (UNSCEAR 2000). Çalışmadaki toprak sonuçlarının %24.6'sı dünya ortalamasından daha yüksek K-40 aktivitesine sahiptir.

Şekil 5.19'da toprak örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonlarının kontur grafiği görülmektedir. K-40 aktivite konsantrasyonlarının Akhisar'ın doğusu, Akhisar-Gölmarmara arasında, Gölmarmara'nın doğusunda Gölmarmara-Salihli-Köprübaşı arasında, Gördes'in kuzeydoğusu ve güneyinde düşük değerler aldığı, Sındırgının doğusu, Köprübaşının doğu ve güney kısmında ve Gördes'in kuzeybatı ve güneybatı kesiminde değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bölüm 3'de bölgenin jeolojik yapısında Gördes civarının gnays ve mikaşist, yapıya sahip olduğu belirtilmektedir. Gnays ve mikaşistler potasyumlu bir yapıya sahip olduğu için bu yerlerde hesaplanan K-40 aktiviteleri yüksek değerdedir. Ayrıca Gördes ilçesi Türkiye'nin önemli zeolit yataklarından biridir. Zeolitler, volkanik küllerin su ortamında değişime uğraması sonucunda oluşurlar. Yapısında Na, K, Ca, Mg gibi elementleri içeren kristal formda, üç boyutlu, sonsuz bir yapıya sahip alüminyum silikat olarak tanımlanmaktadır (Ayan, 2001).

U-238 aktivite konsantrasyonu 9.90-256.19 Bq/kg aralığında ortalama 65.51 Bq/kg olarak bulunmuştur (Çizelge 5.9). En düşük U-238 aktivite konsantrasyonu Akhisar ilçesinin Fundacık köyünden önce alınan 9 numaralı örnekte, en yüksek değerde Sındırgı ilçesinin Emendere çıkışından alınan 78 numaralı toprak örneğinde tespit edilmiştir (Şekil 5.20). Toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonun frekans dağılım grafiğine bakıldığında toprak örneklerinin %84.7'sinin 33-100 Bq/kg aralığında, %7.3'ünün 100-150 Bq/kg aralığında ve bir tane toprak örneğinin 250 Bq/kg'ı aşan aktiviteye sahip olduğunu görmekteyiz (Şekil 5.21). U-238 aktivitesi için dünya ortalaması 35 Bq/kg olarak verilmiştir (UNSCEAR 2000). Çalışmada elde edilen U-238 sonuçlarının %89.8'i dünya ortalamasından daha yüksek değerdedir.

Şekil 5.22'de toprak örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonlarının kontur grafiği görülmektedir. U-238 aktivite konsantrasyonlarının Akhisar, Gölmarmara, Salihli, Gördes'in batısı ve Akhisar-Sındırgı yolunda düşük değerler (10-90 Bq/kg)

aldığı, Sındırgı, Sındırgının doğusu, Gördes'in kuzeyinde Köprübaşı'nın güneyinde değerlerin daha yüksek (100 Bq/kg) olduğu görülmektedir. U-238'in yüksek olduğu kesimlerde özellikle Sındırgı bölgesinin jeolojik yapısında magmatik kökenli andezit bulunduğu Gördes civarında volkanik fasiyeslerin, Borlu-Demirci arasında andezit, spilit, porfirit yapının olduğu jeolojik yapıda belirtilmiştir.

Th-232 aktivite konsantrasyonu 9.66-106.53 Bq/kg aralığında ortalama 49.29 Bq/kg olarak bulunmuştur (Çizelge 5.9). En düşük Th-232 aktivite konsantrasyonu Gördes ilçesinin HacıHıdır yolu üzerinden alınann 106 numaralı örnekte, en yüksek değerde Sındırgı ilçesinin Yaylabayır göleti ile Beğenler köyü arasındaki park alanına yakın noktadan alınan 85 numaralı örnekte belirlenmiştir (Şekil 5.23). Toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonunun frekans dağılım grafiğine bakıldığında örneklerin %89.1'inin yaklaşık 20-80 Bq/kg aralığında ve %6.6'sının 80-100 Bq/kg aralığında değerler aldığı görülmektedir (Şekil 5.24). Th-232 aktivitesi için dünya ortalaması 30 Bq/kg olarak verilmiştir (UNSCEAR 2000). Çalışmada elde edilen Th-232 sonuçlarının %88.3'ü dünya ortalamasından yüksek değerdedir.

Şekil 5.25'de toprak örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonlarının kontur grafiği görülmektedir. U-238 aktivite konsantrasyonlarının Akhisar, Gölarmara, Salihli, Gördes'in batısı ve Akhisar-Sındırgı yolunda düşük değerler (10-60 Bq/kg) aldığı, Sındırgı, Sındırgının doğusu, Gördes'in kuzeyi, Köprübaşının güneyinde değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Th-232'in yüksek olduğu kesimlerde özellikle Sındırgı bölgesinin jeolojik yapısında magmatik kökenli andezit bulunduğu Gördes civarında volkanik fasiyeslerin, Borlu Demirci arasında andezit, spilit, porfirit yapının olduğu jeolojik yapıda belirtilmiştir. Andezit, magmatik kökenli bir kayadır ve magmatik kayalar, dünya oluşumunda var olan uranyum, toryum ve potasyum içerir.

Çizelge 6.4'de Dünya'da ve Türkiye'de yapılan çalışmalarda topraktaki doğal radyonüklid konsantrasyonları verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar dünya'da yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, Çin dışındaki diğer çalışmalardan daha yüksek değerlere sahiptir. UNSCEAR 2000 raporunda verilen ortalama değerler ile karşılaştırıldığında, çalışmamızdaki ortalama U-238 ve Th-232'nin kabul edilen değerleri aştığı görülmektedir. En yüksek K-40 değeri de dünya ortalamasının yaklaşık 6 katıdır. En yüksek K-40 aktivitesi 17 numaralı toprak örneğine aittir ve Gördes ilçesi sınırları içerisindedir. Gördes ve çevresinde Gnays,

migmatit, mikaşist, kuvarsit bir yapı görülmektedir. Gördes'te pegmatitik oluşumlara bağlı olarak büyük ve küçük çapta mika yatakları bulunmaktadır. Mika başlıca granit bileşimli mağmatik kayalarda, şist ve gnays gibi metamorfik kayalarda bulunan bir mineraldir. Granit bileşimli pegmatitik kayalar, levha mikanın ana kaynağını oluştururlar (Madencilik ÖİK raporu, 2001). Mikalar, doğada ince levha ve pulcuklar şeklinde bulunur. Mikalar görünüşlerine göre muskovit (beyaz mika), biyotit (siyah mika) ve lepidolit (pembe mika) olarak üçe ayrılmasına rağmen yapılarında potasyum bulundurulur. (Vardar, 2009). Gördes ilçesinden alınan örnekte K-40 ölçümünün yüksek olması buradaki mika yataklarından kaynaklanabilir.

Çizelge 6.4. Farklı ülkelerdeki toprak örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları.

Ülke	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Th-232 (Bq/kg)	Referans
Sırp Cumhuriyeti	60-821	6.5-228	6.8-72	Jankovic ve diğ., 2008
Ürdün	291.1	49.9	26.7	Al-Hamarneh ve Awadallah, 2009
Tayland	393-478	55.3-65.2	60.7-69.1	Santawamaitre ve diğ., in pres.
Yugoslavya	554	51	53	Bikit ve diğ., 2005
Çin	441.8-913 (672)	40.2-442 (112)	32.6-88.1 (71.5)	Yang ve diğ., 2005
Mısır	433	13	6	Sroor ve diğ., 2001
Botsvana	33.5-1085.7 (432.7)		7.4-110 (41.8)	Murty ve Karunakara, 2008
Hindistan	363.4-1002.2		61.2-140.3	Singh ve diğ., 2009
Yemen	822.7	58.2	44.4	Abd El-mageed ve diğ., 2011
Türkiye-Gediz	240.40-403.09		7.40-38.53	Bolca ve diğ., 2007
Türkiye-Kırklareli	667	28	40	Taşkın ve diğ., 2009
Türkiye-İstanbul	322	27	35	Karahan ve Bayülken, 2000
Dünya ortalaması	400	35	30	UNSCEAR, 2000
Türkiye	2.80-2347.77 (384.80)	9.9-256.19 (65.51)	9.66-106.53 (49.29)	Bu çalışma

Şekil 5.26'da toprak örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan yerden 1 metre yükseklikteki doz hızı kontur grafiği görülmektedir. Doz hızı dağılımlarının Sındırgı, Sındırgının doğusu,

Gördes, Gördes'in kuzeyi ve kuzey doğusunda, Köprübaşı-Köprübaşının doğu kısmında ve Köprübaşı-Demirci arasında yüksek olduğu görülmektedir. Bu grafik Şekil 5.1'de verilen örneklerin alındığı noktalarda yüzey gama ölçüm cihazı ile ölçülen yüzey gama doz kontur grafiği ile uyumludur.

Toprak örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan eşdeğer radyum aktiviteleri 53.28-373.21 Bq/kg aralığında ortalama 160.15 Bq/kg olarak hesaplanmıştır. En düşük eşdeğer radyum aktivitesi, Gördes ilçesi sınırlarından alınan 16 numaralı toprak örneğinde en yüksek eşdeğer radyum aktivitesinde Sındırgı ilçesinin Demirci çıkışından alınan 78 numaralı toprak örneğinde hesaplanmıştır (Şekil 5.27). Eşdeğer radyum aktivitesinin frekans dağılım grafiğine bakıldığında toprak örneklerin %71.5'inin 80-200 Bq/kg aralığında %19.7'sinin 200-300 Bq/kg aralığında değerler almaktadır. 300 Bq/kg değerini geçen üç örnek bulunmaktadır (Şekil 5.28). Dünya'da izin verilen limit değer 370 Bq/kg'dır (Junior ve diğ.,2010; Lu ve Zhang, 2008). Bu değeri aşan bir toprak örneği vardır. Junior ve ekibinin 2010 yılında yaptıkları çalışmada toprak için radyum eşdeğerinin global ortalaması 128.7 Bq/kg olarak verilmiştir. Bu çalışmadaki toprak örneklerinin eşdeğer radyum sonuçlarının %65.69'u global ortalama eşdeğer radyum aktivitesinden daha yüksektir.

Şekil 5.29'de toprak örneklerinin eşdeğer radyum aktivite konsantrasyonlarının kontur grafiği görülmektedir. Eşdeğer radyum aktivitesini Akhisar, Göl marmara, Salihli, Gördes'in batısı ve Akhisar-Sındırgı yolunda düşük değerler (40-160 Bq/kg) aldığı, Sındırgı, Sındırgının doğusu, Gördes'in kuzeyi, Köprübaşının güneyinde değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da, uranyum ve toryum aktivite konsantrasyonu dağılım grafikleri ile uyum göstermektedir

6.4. U-238, Th-232 ve K-40 AKTİVİTESİNDEN HESAPLANAN BÖLGESEL EFEKTİF DOZ EŞDEĞERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, toprak örneklerinin gama spektrometresi ile U-238, Th-232 ve K-40 konsantrasyonları ölçüldükten sonra bu değerler kullanılarak hesaplanan bina dışı havada soğurulan gama radyasyon dozu 22.90-174.69 nGy/saat aralığında ve ortalama 76.09 nGy/saat ve insanların gün boyunca maruz kaldıkları ortalama yıllık efektif doz 0.028-0.214 mSv/yıl ve ortalama 0.093 mSv/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.10). Toprak örneklerinin gama ölçüm sonuçları kullanılarak hesap edilen

ev dışı havada soğurulan ortalama gama radyasyon dozu ve ortalama yıllık efektif dozun bölgesel sonuçları ile Dünya’da ve Türkiye’de bu konuda yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 6.5’de verilmektedir.

Çizelge 6.5. Dünya’da ve Türkiye’de yapılan çalışmalarda toprak örneklerinin aktivite konsantrasyonundan hesaplanan yüzey gama doz hızları ve yıllık efektif doz eşdeğerleri.

Yer	Yüzey gama doz hızı (nGy/saat)	Yıllık efektif doz eşdeğeri (mSv/yıl)	Referans
Hindistan	74.3	0.46	Selvasekarapandian ve diğ., 2000
Hindistan	18-144		Sadasivan ve diğ., 2003
İspanya	47.3		Quindos ve diğ., 2004
Brezilya	62-126	0.08-0.15	Alencar ve Freitas, 2005
Çin	124	0.15	Yang ve diğ., 2005
Hindistan	83.28	0.07-0.13	Rani ve Singh, 2005
Sırp Cumhuriyeti	69	0.08	Jankovic ve diğ., 2008
Botsvana Cumhuriyeti	8.7-156.7 (59.4)	0.01-0.19 (0.07)	Murty, Karunakara, 2008
Ürdün	51.5	0.063	Hamameh ve Awadallah, 2009
Sırbistan	73.4	0.09	Dugalic ve diğ., 2010
Yemen	89.45		Abd El-mageed ve diğ., 2011
Tayland	81.6-90.4	0.1-0.11	Santawamaitre ve diğ., in Pres
Türkiye-İstanbul	65	0.08	Karahan ve Bayulgen, 2000
Türkiye-Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay hattı	100-107.7		Baykara ve Doğru, 2009
Türkiye-Eskişehir	87.14-531.81		Örgün ve diğ., 2005
Türkiye-Rize	19.1-149.6		Kurnaz ve diğ., 2007
Türkiye-Kırklareli	118		Taşkın, 2009
Türkiye-Isparta	26.67-86.97	0.13-0.42	Mavi ve Akkurt, 2010
Dünya ortalaması	59	0.07	UNSCEAR 2000
Türkiye-Akhisar	55.11	0.068	Bu çalışma
Türkiye-Gördes	85.42	0.104	Bu çalışma
Türkiye-Gölmarmara	55.11	0.068	Bu çalışma
Türkiye-Köprübaşı	88.59	0.109	Bu çalışma
Türkiye-Sındırgı	100.9	0.124	Bu çalışma
Gölmarmara-Salihli-Köprübaşı arası	65.1	0.080	Bu çalışma
Köprübaşı-Demirci arası	108.16	0.133	Bu çalışma
Tüm Alan	22.90-174.69 (76.09)	0.028-0.214 (0.093)	Bu çalışma

Bu çalışmada tüm alan için bulunan ortalama yüzey gama doz hızı sonucu ve yıllık efektif doz, Çizelge 6.5’de Dünya’da yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile karşılaştırıldığında, Hindistan, İspanya, Sırp Cumhuriyeti, Sırbistan, Ürdün ve Botsvana Cumhuriyeti’ndeki sonuçlardan daha yüksektir. 1 metre yükseklikteki ortalama yüzey gama doz hızı sonucu, Türkiye’de diğer illerde yapılan çalışmaların sonuçları ile kıyaslandığında İstanbul dışında diğer sonuçlardan düşük değer almaktadır. Bu çalışmada tüm alan için elde edilen ortalama yüzey gama doz hızı sonucu, UNSCEAR 2000’de verilen ortalama ev dışı havada soğurulan gama radyasyon değeri 59 nGy/saat değerinden yüksek çıkmıştır. Bölgesel bakıldığında Akhisar ilçesi (55.11 nGy/saat), Gölarmara ilçesi (55.11 nGy/saat) ve Gölarmara-Salihli-Köprübaşı arası (65.1 nGy/saat) dışında Gördes ilçesi (85.42 nGy/saat), Köprübaşı ilçesi (88.59 nGy/saat), Sındırgı ilçesi (100.9 nGy/saat) ve Köprübaşı-Demirci arasındaki (108.16 nGy/saat) alanda dünya ortalamasını geçen değerler ölçülmüştür.

Bu çalışmada bulunan yıllık efektif doz eşdeğerleri Akhisar ve Gölarmara ilçeleri dışındaki Gördes (0.104 mSv/yıl), Köprübaşı (0.109 mSv/yıl) ve Sındırgı (0.124 mSv/yıl) ilçelerinde UNSCEAR 2000 raporunda verilen dünya ortalama yıllık efektif doz eşdeğeri 0.07 mSv/yıl değerinden yüksektir. Tüm alan için bulunan 0.093 mSv/yıl’lık efektif doz da 0.07 mSv/yıl’lık dünya ortalamasından yüksek değerdedir.

Toprak örneklerindeki K-40, U-238 ve Th-232 aktivitelerinden gidilerek hesaplanan dışsal ve içsel tehlike indeksleri her bir ilçe için Çizelge 5.11’de verilmektedir. Dışsal tehlike indeksleri Akhisar ilçesi için 0.14-0.51 aralığında ortalama 0.33, Gördes ilçesi için 0.10-0.96 aralığında ortalama 0.46, Gölarmara ilçesi için 0.20-0.53 aralığında ortalama 0.33, Köprübaşı ilçesi için 0.32-0.70 aralığında ortalama 0.52, Sındırgı ilçesi için 0.31-1.01 aralığında ortalama 0.60, Gölarmara-Salihli-Köprübaşı arasında 0.26-0.55 aralığında ortalama 0.39, Köprübaşı- Demirci arasında 0.43-0.70 aralığında ortalama 0.62 olarak bulunmuştur. Tüm alan için dışsal tehlike indeksi 0.10-1.01 aralığında ortalama 0.43 olarak tespit edilmiştir.

İçsel tehlike indeksleri Akhisar ilçesi için 0.17-0.77 aralığında ortalama 0.47, Gördes ilçesi için 0.14-1.20 aralığında ortalama 0.68, Gölarmara ilçesi için 0.32-0.70 aralığında ortalama 0.47, Köprübaşı ilçesi için 0.44-1.06 aralığında ortalama 0.71, Sındırgı ilçesi için 0.48-1.70 aralığında ortalama 0.86, Gölarmara-Salihli-

Köprübaşı arasında 0.33-0.74 aralığında ortalama 0.55, Köprübaşı- Demirci arasında 0.59-0.91 aralığında ortalama 0.80 olarak bulunmuştur. Tüm alan için içsel tehlike indeksi 0.14-1.70 aralığında ortalama 0.61 olarak tespit edilmiştir.

Dışsal ($H_{dış}$) ve içsel ($H_{iç}$) tehlike indeks değerleri ihmal edilebilir radyasyon tehlikesi için 1'den daha küçük olmalıdır (Diab, 2008). Bu çalışmada $H_{dış}$ indeks değerleri genelde 1'den küçük olduğu görülmektedir. Dışsal tehlike indeksinin sadece Sındırgı ilçesinde 1 değerini aştığı görülmektedir. $H_{iç}$, içsel tehlike indeksi de Gördes, Köprübaşı ve Sındırgı ilçelerinde 1 değerini aşmaktadır. Bu bölgede insan sağlığı üzerine yapılacak olan çalışmalara önem verilmesi, sağlık ocakları ile ortak çalışma yapılarak sağlık taramaları yapıp bu sonuçlarla karşılaştırılması gerekmektedir.

6.5. SEDİMENT ÖRNEKLERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma alanından alınan 38 sediment örneğinin Bölüm 5.5'de verilen sonuçlarının literatürle karşılaştırılarak değerlendirilmesi aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

6.5.1. pH, mV, İletkenlik ve Tuzluluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı alanı boyunca toplanan 38 sediment örneğinin sonuçları şu şekildedir:

pH değerleri 6.99-8.73 aralığında ortalama 7.59 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.12). Köprübaşı ilçesinin girişinden alınan 7 numaralı sediment örneğinde en düşük pH (6.99) ölçülürken Gölmarmara ilçesinin Karapınar köyü regülatöründen alınan 11 numaralı sediment örneğinde en yüksek pH değeri ölçülmüştür (Şekil 5.30). Sediment örneklerinin pH frekans dağılım grafiğine bakıldığında örneklerin %89.5 'inin zayıf bir şekilde bazik özellik gösterdiği, %2.6'sının orta bazik, %5.3'ünün kuvvetli bazik ve %2.6'sının zayıf bir şekilde asidik karakterli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.31).

İletkenlik değerleri 25-562 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında ve ortalama 157 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.12). Ortalama hesabı yapılırken Marmara gölünden alınan 36 numaralı sediment örneği (1140 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ihmal edilmiştir. En düşük iletkenlik değeri Gölmarmara ilçesinin Dalkara köyü civarından alınan 38 numaralı sediment örneğinde bulunmuştur (Şekil 5.32). Sediment örneklerinin frekans dağılım

grafliğinden örneklerin %68.4 'ünün 0-200 $\mu\text{S/cm}$, %23.7'sinin 200-400 $\mu\text{S/cm}$, %5.3'ünün 400-600 $\mu\text{S/cm}$ ve %2.6 sının 1000-1200 $\mu\text{S/cm}$ lik iletkenliğe sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.33).

mV değerleri -99 ile -3 aralığında ortalama -36 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.12). Yine pH sonuçları ile uyumlu olacak şekilde en düşük mV değeri Gölarmara ilçesinin Karapınar köyü regülatöründen alınan 11 numaralı sediment örneğinde en düşük mV değeri Köprübaşı ilçesinin girişinden alınan 7 numaralı sediment örneğinde tespit edilmiştir(Şekil 5.34). Sediment örneklerinin mV frekans dağılım grafiğine göre sediment örneklerinin %89'luk kısmının -50 ile 0 aralığında, %5.3'lük kısmının -70 ile -50 aralığında ve %5.3 lük kısmının -100 ile -90 aralığında mV değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.35).

Sediment örneklerinin bir tanesinde tuzluluk tespit edilmiştir. Marmara gölünden alınan 36 numaralı sediment örneğinde 0.4 değerinde tuzluluk ölçülmüştür (Çizelge 5.12).

6.5.2. Sediment Örneklerinin CR-39 İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Konsantrasyonu, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Aktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanından toplanan 38 sediment örneğinde CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak hesaplanan radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi sırasıyla 38.33 - 330.90 Bq/m^3 aralığında ortalama 158.31 Bq/m^3 , 0.05-0.43 $\text{Bq/m}^2\text{saat}$ ve ortalama 0.20 $\text{Bq/m}^2\text{saat}$, 0.15 – 1.34 Bq/m^3 ve ortalama 0.64 Bq/m^3 olarak bulundu (Çizelge 5.13). En düşük radon konsantrasyonu Gölarmara gölünden alınan 35 numaralı sediment örneğinde, en yüksek radon konsantrasyonu Gölarmara ilçesi Beyler yolu civarından alınan 31 numaralı sediment örneğinde bulunmuştur (Şekil 5.36).

Sediment örneklerinin radon soluma hızı frekans dağılım grafiğine bakıldığında sediment örneklerinin %84'ünün 0.1-0.3 $\text{Bq/m}^2\text{saat}$ aralığında, %10.5'inin 0.3 ile 0.5 $\text{Bq/m}^2\text{saat}$ aralığında ve %7.9'unun 0.1'den daha düşük değerler aldığı görülmektedir (Şekil 5.37).

Şekil 5.38'de sediment örneklerinin hesaplanan efektif radyum aktivitesi frekans dağılım grafiği verilmektedir. Sediment örneklerinin çoğunlukla 0.5-1 Bq/m^3

aralığında efektif radyum aktivitesine sahip olduğu görülmektedir. 1 Bq/m³'ü aşan 3 sediment örneği (5, 25 ve 31 numaralı) vardır. 5 numaralı sediment örneği Gördes ilçe sınırında yer alan Yeşilyurt civarından, 25 numaralı sediment örneği Sındırgı ilçe sınırında bulunan Kertil civarından ve 31 numaralı sediment örneği Gölarmara ilçesi Beyler yolu civarından alınmıştır.

6.5.3. Sediment Örneklerinin Gama Spektrometre Sistemi Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanından toplanan 38 sediment örneğinde gama spektrometresi kullanılarak yapılan ölçümlerde;

36 sediment örneğinde K-40 aktivite konsantrasyonu 41.45-478.17 Bq/kg aralığında ortalama 274.13 Bq/kg olarak bulunmuştur (Çizelge 5.14). En yüksek K-40 aktivitesi Marmara gölünden alınan 33 numaralı sediment örneğinde tespit edilmiştir (Şekil 5.39). K-40 aktivite konsantrasyonu iki sediment örneğinde dedekte edilememiştir. Sediment örneklerinin K-40 aktivite konsantrasyonu frekans dağılım grafiğine baktığımızda örneklerin %58.3'ünün 200-350 Bq/kg aralığında, %22.2'sinin 40-200 Bq/kg aralığında ve %19.4'ünün 350-500 Bq/kg aralığında aktiviteye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.40). UNSCEAR 2000'de K-40 için dünya ortalaması 400 Bq/kg olarak verilmiştir. Bu çalışmadaki sediment örneklerin beş tanesinde (7, 23, 32, 33 ve 38 numaralı) dünya ortalamasından yüksek değerler ölçülmüştür. 7 numaralı sediment örneği Köprübaşı ilçesinin girişinden, 23 numaralı sediment örneği Akhisar ilçe sınırında bulunan Esece deresinin kenarından, 32 ve 33 numaralı sediment örnekleri Gölarmara ilçe sınırında bulunan Marmara gölünden ve 38 numaralı sediment örneği Gördes ilçe sınırında bulunan Dalkara köyü civarından alınmıştır.

U-238 aktivite konsantrasyonu 21-104.57 Bq/kg aralığında ortalama 61.54 Bq/kg olarak (Çizelge 5.14). En düşük U-238 aktivitesi Gördes ilçesi Yeşilyurt civarından alınan 5 numaralı sediment örneğinde, en yüksek aktivitede Salihli-Gölarmara yolu Salihliye 4 km uzaklıktaki dereden alınan 10 numaralı sediment örneğinde bulunmuştur (Şekil 5.41). Sediment örneklerinin U-238 aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılımı grafiğine baktığımızda örneklerin %89.5'inin 20-90 Bq/kg aralığında ve %10.5'inin 90-110 Bq/kg aralığında aktiviteye sahip olduğunu görmekteyiz (Şekil 5.42). UNSCEAR 2000'de U-238 aktivitesi için dünya

ortalaması 35 Bq/kg olarak verilmiştir. Çalışmada elde edilen U-238 sonuçlarına bakıldığında %86.8'i dünya ortalamasından daha yüksek değerdedir.

Th-232 aktivite konsantrasyonu 1.80-56.41 Bq/kg aralığında ortalama 37.11 Bq/kg olarak bulunmuştur (Çizelge 5.14). En düşük Th-232 aktivitesi Gördes çayından alınan 3 numaralı sediment örneğinde en yüksek Th-232 aktivitesi Salihli Kurşunlu deresinden alınan 26 numaralı sediment örneğinde tespit edilmiştir (Şekil 5.43). Sediment örneklerinin Th-232 aktivite konsantrasyonlarının frekans dağılım grafiğine bakıldığında örneklerin %71'inin 30-60 Bq/kg aralığında ve %28.9'unun 2-30 Bq/kg aralığında aktiviteye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.44). Th-232 aktivitesi için dünya ortalaması 30 Bq/kg olarak verilmiştir (UNSCEAR 2000). Çalışmada elde edilen Th-232 sonuçlarının %71'i dünya ortalamasından daha yüksek değerdedir.

Sediment örneklerinin uranyum, toryum ve potasyum sonuçları toprak örneklerinde bulunan sonuçlardan daha düşüktür. Derelerde suyun akmasıyla topraklarda bulunan uranyum, toryum ve potasyumun suyla taşınması ve uranyumun bozunum ürünü olan radyumun suda çözünmesinden dolayı sonuçlar toprak sonuçlarından daha düşük çıkmıştır. Ancak yine de sediment sonuçlarının dünya ortalamasından daha yüksek olduğu görülmektedir.

Sediment örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan eşdeğer radyum aktiviteleri 76.02-192.98 Bq/kg aralığında ortalama 135.15 Bq/kg olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.14). En düşük eşdeğer radyum aktivitesi Gölarmara ilçesinde bulunan Çömlekçi köyü yakınlarından alınan 13 numaralı sediment örneğinde en yüksek eşdeğer radyum aktiviteside Gördes ilçe sınırında bulunan Dalkara köyü civarından alınan 38 numaralı sediment örneğinde hesaplanmıştır (Şekil 5.45). Eşdeğer radyum aktivitesinin frekans dağılım grafiğine bakıldığında sediment örneklerin %52.63'ünün 110-160 Bq/kg aralığında ve %26.3'ünün 160 Bq/kg değerini geçtiği görülmektedir (Şekil 5.46). Dünya'da izin verilen limit değer 370 Bq/kg'dır (Junior ve diğ.,2010; Lu ve Zhang, 2008). Bu çalışmadaki sediment sonuçları limit değerinin altındadır.

6.6. SU ÖRNEKLERİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma alanından alınan 85 su örneğinin Bölüm 5.6'da verilen sonuçlarının literatürle karşılaştırılarak değerlendirilmesi aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

6.6.1. Alkalite, pH, mV, İletkenlik ve Tuzluluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Sındırgı alanı boyunca toplanan 85 su örneğinin sonuçları şu şekildedir:

Su örneklerinde toplam alkalite 50-910 ppm aralığında ortalama 361 ppm olarak bulunmuştur (Çizelge 5.15). Ortalama alkalite hesaplanırken en yüksek değer olan Köprübaşı'nın saraycık kaplıcasından alınan 45 numaralı su örneği (alkalitesi 2044 ppm) hesaba katılmamıştır. 50 ppm olarak ölçülen en düşük alkalite Sındırgı ilçesinin Yaylabayır göleti ile Beğenler köyü arasında bulunan park alından alınan 63 numaralı su örneğinde bulunmuştur (Şekil 5.47). Su örneklerinin alkalite frekans dağılım grafiğinden örneklerin %85'inin 0-500 ppm aralığında değişen alkaliteye, %12.9'unun 500 ile 1000 ppm arasında alkalite değerine ve 1 örneğinde 1000 ppm'i aşan bir değere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.48).

Su örneklerinin pH değerleri 5.38-8.32 aralığında ortalama 7.17 olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.15). Ölçülen en düşük pH değeri 5.38 olan örnek Sındırgı ilçesinin Yaylabayır göleti ile Beğenler köyü arasında bulunan park alından alınan 63 numaralı su örneğidir. Ölçülen en yüksek pH değeri 8.32 olan örnek Köprübaşı ilçesinin girişinden alınan 19 numaralı su örneğidir (Şekil 5.49). Su örneklerinin pH frekans dağılım grafiğinden su örneklerinin %68.2 sinin 7-8 aralığında değişen değerler aldığı ve bunların zayıf bir şekilde bazik olduğu, %2.4'ünün 8-8.4 aralığında değerler aldığı ve orta bazik özellikte olduğu, %22.4'ünün pH'nın 6-7 aralığında değiştiği ve nötral olduğu görülmektedir. Sadece 1 örnekte (63 numaralı su örneği) pH'nın 5.5'den küçük olduğu için zayıf asidik özellikte olduğu görülmektedir (Şekil 5.50).

Su örneklerinin iletkenlik değerleri 69-1464 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında ve ortalama 684 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 5.15). Ortalama iletkenlik değeri hesaplanırken Köprübaşı ilçesinin Saraycık kaplıcasından alınan 45 numaralı (4410 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve Gördes ilçesinin Tüpüler köyü civarından alınan 76 numaralı (3240 $\mu\text{S}/\text{cm}$) su örneklerinin değerleri çok yüksek olduğu için ortalama değere

katılmamıştır. En düşük iletkenlik değeri Sındırgı ilçesinin Yaylabayır göleti ile Beğenler köyü arasındaki park alanından alınan 63 numaralı (69 $\mu\text{S}/\text{cm}$) su örneğine aittir. Ortalama iletkenlik hesaplanırken alınan en yüksek değer Gördes ilçesinin Malkoca köyünden alınan 73 numaralı (1464 $\mu\text{S}/\text{cm}$) su örneğine aittir (Şekil 5.51). Su örneklerinin iletkenlik frekans dağılım grafiğinden örneklerin %90.6'sının 0-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında, %7.1'inin 1000-1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında ve %2.3'ünün 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinden yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.52).

Su örneklerinin mV değerleri -79 ile +91 aralığında ortalama -13 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.15). mV değerleri yine pH değerleri ile ters orantılı olduğu için en düşük değer Köprübaşı ilçesinin girişinden alınan 19 numaralı su örneği, en yüksek değer de Sındırgı ilçesinin Yaylabayır göleti ile Beğenler köyü arasında bulunan park alından alınan 63 numaralı su örneğine aittir (Şekil 5.53). Su örneklerinin frekans dağılım grafiğinden örneklerin %63.5'inin -30 ile 0 aralığında, %17.6'sının 0 ile +30 aralığında, %15.2'sinin -60 ile -30 aralığında değerler aldığı görülmektedir. En yüksek (+90 ile +100) ve en düşük (-70 ile -80) mV değerlerinin bulunduğu aralıkta birer tane su örneğinin olduğu grafikte görülmektedir (Şekil 5.54).

85 su örneklerinin 32 tanesinde tuzluluk tespit edilmemiştir (Çizelge 5.15; Şekil 5.55). Tuzluluk tespit edilen 53 su örneğinin %92.5'i 0.1 - 0.5 arasında değişen tuzluluk değerine sahip olduğu 0.5 - 0.6 aralığında iki su örneğinin (Akhisar ilçesinin Başlamış köyünden sonra alınan 25 numaralı su örneği ve Gördes ilçesinin Malkoca köyünden alınan 73 numaralı su örneği), 1.6 değerinde Gördes ilçesinin Tüpüler köyü civarından alınan 76 numaralı su örneğinin ve 2.3 değerinde Köprübaşı ilçesinin saraycık kaplıcasından alınan 45 numaralı su örneğinin olduğu su örneklerinin tuzluluk frekans grafiğinden görülmektedir (Şekil 5.56).

6.6.2. Su Örneklerinin Kollektör Yöntemi ile Radyum Aktivitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kollektör yöntemi kullanılarak inceleme alanından alınan 85 su örneğindeki radyum aktivitesi 0.03 Bq/L (0.89 pCi/L) ile 0.80 Bq/L (21.58 pCi/L), aralığında ve ortalama 0.28 Bq/L (7.59 pCi/L) olarak bulunmuştur (Çizelge 5.16). En düşük radyum aktivitesi Köprübaşı Kavakyeri köyü civarından alınan 77 numaralı su

örneğinde bulunurken en yüksek radyum aktivitesi Akhisar Muştular köyü civarından alınan 22 numaralı su örneğinde tespit edilmiştir (Şekil 5.57).

ABD’de Çevre Koruma Ajansının (EPA) kabul ettiği suda radyum için limit değer 5 pCi/L’dir. Bu çalışmada kollektör yöntemiyle sularda tayin edilen radyum aktivitesi sonuçlarının %40’ı 0.185 Bq/L (5 pCi/L) değerinden küçüktür, %34.1’i 0.185-0.37 Bq/L (5-10 pCi/L) arasında, %15.3’ü 0.37-0.555 Bq/L (10-15 pCi/L) arasında, %7.1’i 0.555-0.74 Bq/L (15-20 pCi/L) arasında ve %3.5’i 0.74-0.925 Bq/L (20-25 pCi/L) arasında değişmektedir (Şekil 5.58). EPA’nın verdiği Radyumun Maksimum Kirlilik düzeyine göre (5 pCi/L), su örneklerinin %60’ı bu düzeyden daha fazla radyum içeriğine sahiptir. Dünya sağlık örgütüne (WHO) göre içme suyunda Ra-226 için limit değer 1 Bq/L olarak verilmiştir ve bu çalışmadaki sonuçların bu limit değeri geçmediği görülmektedir (WHO, 2006).

Şekil 5.59’da Su örneklerinin radyum aktivite kontur grafiği görülmektedir. Gölarmara ilçesi, Akhisar’ın kuzeyi, Akhisar-Sındırgı yolu boyunca (Kurtulmuş sapağı ile İsaca arasındaki bölge hariç), Sındırgı’nın doğusu, Sındırgı-Gördes arası, Gördes’in doğusu ve Köprübaşı ilçesinden alınan su örneklerinde radyum aktivitesinin sınır değer olan 5 pCi/L (0.185 Bq/L)’yi geçtiği görülmektedir. Salihli ve Salihlinin kuzey kısmından alınan su örneklerinde 5 pCi/L değerinden daha düşük radyum aktivitesi tespit edilmiştir.

6.6.3. Su Örneklerinin CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri ile Radon Aktivitesi, Radon Soluma Hızı ve Efektif Radyum Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İnceleme alanından toplanmış 85 tane su örneğinde CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak yapılan ölçümlerde radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum içeriği sırasıyla 731-4245 Bq/m³ aralığında ortalama 1859 Bq/m³, 0.02-0.11 Bq/m².saat aralığında ortalama 0.05 Bq/m².saat ve 32.71-192.02 Bq/m³ aralığında ortalama 83.55 Bq/m³ olarak bulundu (Çizelge 5.17). En düşük radon konsantrasyonu Akhisar ilçesi Sarnıç köyünden alınan 4 numaralı su örneğinde en yüksek radon konsantrasyonu da Köprübaşı ilçesinin Kasar köyü civarından alınan 78 numaralı su örneğinde tespit edilmiştir. 78 numaralı su örneğinin alındığı yer eski uranyum madenine yakın bir noktadır (Şekil 5.60).

Su örneklerinin Şekil 5.61’de verilen radon konsantrasyonu frekans dağılım grafiğine bakıldığında örneklerin %62.4’ünün 1000-2000 Bq/m³ aralığında, %24.7’inin 2000-3000 Bq/m³ aralığında ve %4.7’sinin 3000-4000 Bq/m³ aralığında ve iki su örneğinde ölçülen radon konsantrasyonunun 4000 Bq/m³ lük aktiviteden büyük bir değere sahip olduğu görülmektedir.

Su örneklerinin Şekil 5.62’de verilen radon soluma hızı frekans dağılım grafiğine bakıldığında örneklerin %77.6’sının 0.02-0.06 Bq/m²saat aralığında %18.8’inin 0.06-0.96 Bq/m²saat aralığında ve 2 örneğin 0.1 Bq/m²saat lik değeri aşan radon soluma hızına sahip olduğu görülmektedir.

Su örneklerinin efektif radyum aktivitesi frekans dağılım grafiğine bakıldığında örneklerin %87.1’inin 40-120 Bq/m³ aralığında, %9.4’ünün 120-160 Bq/m³ aralığında ve iki örneğin 180-200 Bq/m³ aralığında aktiviteye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.63).

Türkiye’de 2006 yılında Doğu Anadolu Fay hattından aldığı su örneklerinde CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri ile yapılan bir çalışmada radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum içeriği sırasıyla 132.5-3319 Bq/m³, 0.02-0.470 Bq/m².saat ve 11.3-270.5 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Baykara ve diğ., 2005). Bizim çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar Baykara’nın çalışması ile uyumlu olurken elde edilen maksimum değerler Baykara’nın maksimum sonuçlarından daha düşüktür.

2006 yılında Florida’da yapılan çalışmada kuyu sularının radyum konsantrasyonu 43.2-49.7 Bq/m³ olarak bulunmuştur (Smoak, 2006). Tez çalışmasında elde edilen efektif radyum içeriği Joseph’in bulduğu maksimum sonuçtan daha yüksektir.

Su örneklerinde bulunan radon konsantrasyonu ve efektif radyum aktivitesinden gidilerek hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerleri Rn-222 için 0.00439-0.0256 mSv aralığında ortalama 0.0112 mSv/yıl, Ra-226 için 0.0092-0.054 mSv/yıl aralığında ortalama 0.0234 mSv/yıl olarak bulunmuştur (Çizelge 5.18). Ra-226’dan kaynaklanan yıllık efektif doz eşdeğerlerinin Rn-222 için hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğerlerinden daha yüksektir. Hem Rn-222 hemde Ra-226 için hesaplanan dozun maksimum değerlerini göz önüne aldığımızda (Rn için 0.0256 mSv/yıl; Ra-226 için 0.054 mSv/yıl) değerlerin, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)

tarafından halk için önerilen 0.1 mSv/yıl'lık efektif dozdan daha düşük olduğu görülmektedir (WHO, 2004; Baykara ve Doğru, 2006).

Bölgesel olarak radon ve efektif radyum için hesaplanan yıllık efektif doz eşdeğeri kontur grafikleri sırasıyla Şekil 5.64 ve 5.65'de verilmektedir. Her iki grafikte de doz dağılımlarının Sındırgı, Akhisar-Sındırgı arası, Gölarmara-Salihli-Köprübaşı arası, Köprübaşı ilçesi, Köprübaşının kuzeydoğusunda ve Akhisar-Gördes arasında yüksek değerler görülmektedir. Akhisar-Gördes arasında kömür işletmelerinin olması ve Gördes'in güneybatı kısmında Bölüm 3'de belirtildiği gibi Gördes volkanitlerinin yer alması buradaki doz değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni olarak gösterilebilir. Köprübaşı ilçesinin güneybatı kısmında eski uranyum madenin bulunması yine doz değerlerini bu bölgede yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca Gölarmara-Salihli-Köprübaşı arasındaki kesimde doz değerleri güneybatı doğrultusunda yüksek değerler göstermektedir. Bunu suyun akışıyla birlikte suda çözünen radyumun taşınması ile açıklamak mümkün olabilir.

6.7. İSTATİSTİKSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma bölgemize ait toprak, su, sediment örneklerinin sonuçları ve bina içi radon konsantrasyonları sonuçlarının Bölüm 5.7'de verilen istatistiksel sonuçlarının değerlendirilmesi aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

6.7.1. Toprak Sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 5.19'da verilen toprak sonuçlarının korelasyon çizelgesinde şu sonuçlar bulunmuştur.

Toprak pH'ı ile

- ✓ toprağın U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, radon konsantrasyonu, cihazla $\mu\text{R/saat}$ olarak ölçülen doz hızı ve hesaplanan yıllık efektif doz arasında negatif bir korelasyon bulunmuştur. pH ile U-238 aktivitesi ve radon konsantrasyonu arasında 0.05 düzeyinde negatif bir korelasyon bulunurken pH ile Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi ve doz hızları arasında 0.01 düzeyinde daha anlamlı negatif bir korelasyon vardır. Toprak sonuçlarının pH değerleri ile K-40 konsantrasyonu ve radon soluma hızı arasında herhangi bir anlamlı korelasyon olmadığı görülmektedir.

Toprak mV'ı ile

- ✓ toprağın U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, radon konsantrasyonu, cihazla $\mu\text{R/saat}$ olarak ölçülen doz hızı ve hesaplanan yıllık efektif doz arasında pozitif bir korelasyon bulunmuştur. mV ile U-238 aktivitesi ve radon konsantrasyonu arasında 0.05 düzeyinde pozitif bir korelasyon bulunurken pH ile Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi ve doz hızları arasında 0.01 düzeyinde daha anlamlı pozitif bir korelasyon vardır. Toprak sonuçlarının pH değerleri ile K-40 konsantrasyonu ve radon soluma hızı arasında herhangi bir anlamlı korelasyon olmadığı görülmektedir.

Toprak iletkenliği ve tuzluluğu ile

- ✓ toprağın K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, radon konsantrasyonu, radon soluma hızı, cihazla $\mu\text{R/saat}$ olarak ölçülen doz hızı ve hesaplanan yıllık efektif doz arasında herhangi bir anlamlı korelasyon olmadığı görülmektedir.

Toprağın K-40 aktivitesi ile

- ✓ U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, cihazla ölçülen doz hızı ve hesapla bulunan doz hızı arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon olduğu radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve toprağın fiziksel özellikleri arasında herhangi bir korelasyon olmadığı görülmektedir.

Toprağın U-238 aktivitesi ile

- ✓ K-40 aktivitesi, Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, cihazla ölçülen doz hızı ve hesapla bulunan yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon olduğu radon konsantrasyonu, radon soluma hızı, iletkenlik ve tuzluluk arasında herhangi bir korelasyon olmadığı görülmektedir. U-238 aktivitesi ile mV arasında 0.05 düzeyinde pozitif bir korelasyon varken pH ile arasında 0.05 düzeyinde negatif bir korelasyon vardır.

Toprağın Th-232 aktivitesi ile

- ✓ mV, K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, radon konsantrasyonu, radon soluma hızı, cihazla ölçülen doz hızı ve hesapla bulunan yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon varken Th-232 ile pH arasında 0.01 düzeyinde negatif bir korelasyon vardır.

Toprağın eşdeğer radyum aktivitesi ile

- ✓ mV, K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi, radon konsantrasyonu, radon soluma hızı, cihazla ölçülen doz hızı ve hesapla bulunan yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon olduğu görülmektedir. pH ile 0.01 düzeyinde negatif bir korelasyon vardır.

Toprağın radon konsantrasyonu ile

- ✓ Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, radon soluma hızı, hesapla bulunan yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon varken mV ile 0.05 düzeyinde pozitif bir korelasyon olduğu görülmektedir. Toprağın radon konsantrasyonu ile pH arasında 0.05 düzeyinde negatif bir korelasyon vardır.

Toprağın radon soluma hızı ile

- ✓ Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, radon konsantrasyonu ve hesapla bulunan yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon bulunmaktadır. Radon soluma hızı ile K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi ve toprağın fiziksel özellikleri arasında herhangi bir korelasyon görülmemektedir.

Cihazla $\mu\text{R/saat}$ olarak ölçülen doz hızı ile

- ✓ K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi ve hesapla bulunan yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon bulunmaktadır. Yüzey gama doz hızı ile K-40, U-238 ve Th-232 aktivitelerinin birebir ilişkili olduğu görülmektedir

Hesaplanan yıllık efektif doz ile

- ✓ K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi, eşdeğer radyum aktivitesi, radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve cihazla ölçülen doz hızı arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon bulunmaktadır.

Bu sonuçlara göre, toprakta ölçülen radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı değerleri sadece topraktaki Th-232 ve eşdeğer radyum ile ilişki göstermektedir. Bu durumda CR-39 nükleer iz kazıma tekniği kullanılarak ölçülen radon konsantrasyonunun Th-232 radyoaktif serisinin bir üyesi olan Rn-220 (toron gazı)'e ait olduğunu düşünebiliriz. Buradaki eşdeğer radyum içeriğinin de Ra-224 olduğunu

düşünebiliriz. Ayrıca K-40 aktivitesi ile U-238 ve Th-232 aktivitesi arasında pozitif bir korelasyon görülmektedir. İncelenen bölge içerisinde granit kökenli mikalı yapılar (biyotit, muskovit gibi) bulunmaktadır. Hem muskovit hem biyotit mikalarını içeren granit ikili yada iki mikalı granit olarak tanımlanır. İki mikalı granitler yüksek miktarda potasyum içerir (Url-11). Uranyum granit yapıda üç şekilde bulunmaktadır. Birincisi, zirkon, apatit gibi ikinci minerallerde; ikincisi taneler arası olarak adlandırılan özellikle biyotit gibi kristal sınırları boyunca, temelde kuartz, feldispat gibi uranyumun background olduğu yapılarda (Ames ve diğ., 1983). Ayrıca dünya kabuğunda toryum ve uranyumun çoğunluğu biyotitin pulcukları içinde gömülmüş olan zirkonlarda bulunmaktadır (Url-12). Dolayısı ile K-40 ile U-238 ve Th-232 aktivitesi arasında pozitif bir korelasyon görülmesi mümkündür.

6.7.1.1. Akhisar İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 5.20’de verilen Akhisar ilçesi sınırından alınan 36 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile Akhisar ilçe merkezinde yapılan binaîçi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon çizelgesine baktığımızda şu sonuçlar çıkmaktadır.

- ✓ Toprak örneklerinin K-40 aktivitesi ile diğer ölçüm sonuçları arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.
- ✓ U-238 aktivitesi ile eşdeğer radyum aktivitesi ve yıllık efektif doz hızı arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon görülmüştür.
- ✓ Th-232 aktivitesi ile radon konsantrasyonu, radon soluma hızı, binaîçi radon konsantrasyonu, eşdeğer radyum aktivitesi ve yıllık efektif doz hızı arasında 0.01 düzeyinde anlamlı bir ilişki bulunmuştur.
- ✓ Topraktaki radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı ile Th-232 arasında 0.01 düzeyinde eşdeğer radyum aktivitesi ile 0.05 düzeyinde pozitif bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca topraktaki radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı ile binaîçi radon konsantrasyonları arasında birebir bir ilişki bulunmuştur. Buradan binaîçi radon konsantrasyonunu oluşturan radon gazının Th-232 radyoaktif serisinin bir üyesi olan Rn-220 yani toron olduğunu söyleyebiliriz. Binaîçi radon konsantrasyonu ile toprağın U-238 aktivitesi arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

- ✓ Akhisar ilçesi için hesaplanan yıllık efektif dozun U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi ve eşdeğer radyum aktivitesi ile birebir ilişkili olduğunu söyleyebiliriz.

6.7.1.2. Gördes İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 5.21’de verilen Gördes ilçesi sınırından alınan 30 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile ilçe merkezinde yapılan binaïçi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon çizelgesine baktığımızda şu sonuçlar çıkmaktadır.

- ✓ K-40 aktivitesi ile radon konsantrasyonu, radon soluma hızı, binaïçi radon konsantrasyonu, eşdeğer radyum aktivitesi ve yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde bir ilişki görülmektedir.
- ✓ Toprağın U-238 aktivitesi ile Th-232 aktivitesi arasında 0.05 düzeyinde pozitif bir korelasyon olduğu ayrıca U-238 aktivitesi ile eşdeğer radyum, yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.
- ✓ Toprağın Th-232 aktivitesi ile radon konsantrasyonu, radon soluma hızı, binaïçi radon konsantrasyonu, eşdeğer radyum aktivitesi ve yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon bulunmaktadır.
- ✓ Binaïçi radon konsantrasyonu ile radon konsantrasyonu ve radon soluması arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon vardır.
- ✓ Gördes bölgesi için hesaplanan yıllık efektif dozun da K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi ve Th-232 aktivitesi ile 0.01 düzeyinde ilişkili olduğu görülmektedir. Gördes bölgesinde yıllık efektif doza en fazla katkının topraktaki Th-232 konsantrasyonu ve K-40 konsantrasyonu yapmaktadır.

6.7.1.3. Gölarmara İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 5.22’de verilen Gölarmara ilçesi sınırından alınan 15 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile ilçe merkezinde yapılan binaïçi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon çizelgesine baktığımızda şu sonuçlar çıkmaktadır.

- ✓ K-40 aktivitesi ile Th-232 aktivitesi arasında 0.05 düzeyinde pozitif bir ilişki varken K-40 ile eşdeğer radyum aktivitesi ve yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde bir ilişki görülmektedir.

- ✓ Toprağın U-238 aktivitesi ile radon konsantrasyonu ve radon soluması arasında 0.05 negatif bir korelasyon olduğu görülmektedir. U-238 ile K-40 aktivitesi arasında herhangi bir ilişki görülmemesine rağmen Th-232 ile K-40 arasında bir ilişki görülmektedir.
- ✓ Binaıçi radon konsantrasyonu diğer ölçüm sonuçlarıyla bir ilişki göstermemektedir.
- ✓ Eşdeğer radyum aktivitesi de sadece K-40 aktivitesi, Th-232 aktivitesi ve yıllık efektif doz ile 0.01 düzeyinde bir ilişki göstermektedir.
- ✓ Gölarmara bölgesinde hesaplanan yıllık efektif dozun buradaki toprağın K-40 aktivitesi, Th-232 aktivitesi ve eşdeğer radyum aktivitesi ile bir ilişki gösterdiği görülmektedir.

6.7.1.4. Sındırgı İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 5.23’de verilen Sındırgı ilçesi sınırından alınan 11 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile ilçe merkezinde yapılan binaıçi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon çizelgesine baktığımızda şu sonuçlar çıkmaktadır.

- ✓ U-238 aktivitesi ile eşdeğer radyum ve yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir ilişki varken Th-232 ile radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı arasında 0.01 düzeyinde bir ilişki görülmektedir.
- ✓ Ayrıca Th-232 ile eşdeğer radyum ve yıllık efektif doz arasında 0.05 düzeyinde bir ilişki görülmektedir.
- ✓ Binaıçi radon konsantrasyonu diğer ölçüm sonuçlarıyla bir ilişki göstermemektedir.
- ✓ Eşdeğer radyum aktivitesi de sadece U-238aktivitesi ve yıllık efektif doz ile 0.01 düzeyinde bir ilişki göstermektedir. Eşdeğer radyum ile Th-232 aktivitesi arasında 0.05 düzeyinde bir ilişki görülmektedir.
- ✓ Sındırgı bölgesinde hesaplanan yıllık efektif dozun buradaki toprağın U-238 aktivitesi, Th-232 aktivitesi ve eşdeğer radyum aktivitesi ile bir ilişki gösterdiği görülmektedir.

6.7.1.5. Köprübaşı İlçesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 5.24'de verilen Köprübaşı ilçesi sınırından alınan 19 toprak örneğinin radyoaktivite ölçüm sonuçları ile ilçe merkezinde yapılan bina içi radon konsantrasyonu sonuçları arasındaki korelasyon çizelgesine baktığımızda şu sonuçlar çıkmaktadır.

- ✓ K-40 ile Th-232 arasında 0.05 düzeyinde ilişki bulunurken K-40 ve Th-232 aktivitesi ile eşdeğer radyum ve yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir ilişki bulunmuştur.
- ✓ U-238 ile eşdeğer radyum arasında 0.01 düzeyinde, yıllık efektif doz ile 0.05 düzeyinde bir ilişki görülmektedir.
- ✓ Radon konsantrasyonu ve radon solunması ile bina içi radon konsantrasyonu arasında 0.05 düzeyinde bir ilişki bulunmaktadır.
- ✓ Köprübaşı ilçesi için hesaplanan yıllık efektif dozun toprağın K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi ve Th-232 aktivitesi ile 0.01 düzeyinde pozitif bir ilişkiye sahip olduğunu söyleyebiliriz.

6.7.2. Sediment Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 5.25'de verilen sediment sonuçlarının korelasyon çizelgesinde şu sonuçlar bulunmuştur.

- ✓ Sediment örneklerinde gama spektrometresi ile ölçülen K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi ve Th-232 aktivitesi ile eşdeğer radyum ve yıllık efektif doz arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon bulunmaktadır.
- ✓ Sediment örneklerinde bulunan radon konsantrasyonu ile diğer ölçüm sonuçları arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

6.7.3. Su Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Su örneklerinde elde edilen ölçüm sonuçlarına göre yapılan istatistik Çizelge 5.26'da verilmektedir. Bu tabloya göre şu sonuçlara ulaşabiliriz:

- ✓ Su örneklerinde ölçülen alkalite ile radon konsantrasyonu, radon solunma hızı, efektif radyum ve kollektör yöntemi ile ölçülen radyum arasında herhangi bir korelasyon görülmemiştir.

- ✓ Su örneklerinin pH değeri ile doz hızı sonuçları arasında negatif 0.01 düzeyinde kuvvetli bir ilişki vardır. pH değeri ile radon konsantrasyonu, radon soluma hızı, efektif radyum ve kollektör yöntemi ile ölçülen radyum aktivitesi arasında herhangi bir korelasyon bulunamamıştır.
- ✓ Su örneklerinde CR-39 film yöntemi ile ölçülen radon konsantrasyonu ve buna bağlı olarak hesaplanan radon soluma hızı ve efektif radyum değerleri ile suyun fiziksel özellikleri arasında herhangi bir korelasyon bulunamamıştır.
- ✓ Su örneklerinde Kollektör metodu kullanılarak ölçülen radyum konsantrasyonunun diğer sonuçlarla herhangi bir ilişkiye sahip olmadığı yine tabloda görülmektedir. İki farklı yöntem ile ölçülen radyum değerleri arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır.

Aynı noktadan alınan su ve toprak örneklerinin ölçüm sonuçlarına göre yapılan korelasyon durumu Çizelge 5.26'da verilmiştir. Buna göre:

- ✓ Su örneklerinde ölçülen pH ile toprak örneklerindeki pH arasında 0.05 düzeyinde pozitif bir korelasyon varken su örneklerinin pH'ı ile toprak örneklerinin Th-232 aktivitesi arasında 0.05 düzeyinde negatif bir korelasyon vardır.
- ✓ Su örneklerinin mV değeri ile toprağın pH'ı arasında negatif 0.05 düzeyinde, Th-232 konsantrasyonu arasında 0.05 düzeyinde pozitif bir korelasyon vardır.
- ✓ Toprağın K-40 aktivitesi ile Th-232 aktivitesi arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon bulunurken U-238 aktivitesi ile Th-232 aktivitesi arasında 0.05 düzeyinde bir korelasyon görülmüştür.
- ✓ Th-232 aktivitesi ile radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve toprağın mV'u arasında 0.05 düzeyinde pozitif bir korelasyon görülmüştür. Th-232 aktivitesi ile toprağın pH'ı arasında 0.01 düzeyinde negatif bir korelasyon görülmektedir.
- ✓ Aynı noktadan alınan su ve toprak örneklerinin alındıkları yerde cihazla ölçülen doz hızı ile toprağın K-40 aktivitesi, U-238 aktivitesi ve Th-232 aktivitesi arasında 0.01 düzeyinde pozitif bir korelasyon bulunmuştur.

- ✓ Aynı noktadan alınan su ve toprak örneklerinin diğer ölçüm sonuçları arasında herhangi bir korelasyon görülmemiştir. Ancak toprak örneklerinin sonuçları arasında yapılan korelasyon tablosunda pH ile Th-232 konsantrasyonu arasında 0.01 düzeyinde negatif bir korelasyon olduğunu bulunmuştu. Aynı korelasyonun yine su örneklerinin pH değeri ile toprak örneklerinin Th-232 konsantrasyonu arasında 0.05 düzeyinde negatif bir korelasyon olması incelenen bölgede pH ile Th-232 konsantrasyonu arasında negatif bir ilişkinin olduğunu desteklemektedir. Toryum, çözünmez ThO₂ nin yüksek kararlılığı ve monazit, zirkon gibi taşıyıcı minerallerin güçlü dirençliliği nedeniyle tüm çevresel şartlar altında düşük hareketliliğe sahiptir. Toryumun çözülebilir türü Th(SO₄)⁺², pH 3'ün altında ve oksitlenme şartları sağlandığında (asit madeni suyunda) oluşabilir (Url-13).

6.8. BÖLGESEL TOPRAK, SU VE BİNAİÇİ RADYASYONDAN KAYNAKLANAN DOZ HIZI DAĞILIM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Akhisar, Gördes, Gölarmara, Sındırgı ve Köprübaşı ilçe sınırlarından alınan toprak ve su örneklerinde yapılan radyoaktif ölçüm sonuçlarından ve ilçe merkezindeki evlerde yapılan binaîçi ölçüm sonuçlarından elde edilen toplam doz hızlarının yüzdesel dağılım grafiklerini her bir ilçe için inceleyecek olursak:

Şekil 5.66'da Akhisar ilçesi toplam doz dağılım grafiği verilmektedir. Bu grafikte Akhisar ilçesi için toplam dozun %73'ü topraklardan gelen doz oluşturmaktadır. Toplam doza binaîçi radyasyonundan gelen doz %10'dur. Kullanılan sudan gelen doz toplam %17'dir. Bunun %11'i sudaki radyumdan ve %6'ı de radondan kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.67'de Gördes ilçesi toplam doz dağılım grafiği verilmektedir. Bu grafikte Gördes ilçesi için toplam dozun %61'ini topraklardan gelen doz oluşturmaktadır. Toplam doza binaîçi radyasyonundan gelen doz %9'dur. Kullanılan sudan gelen doz toplam %30'dur. Bunun %20'si sudaki radyumdan ve %10'u da radondan kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.68'da Gölarmara ilçesi toplam doz dağılım grafiği verilmektedir. Bu grafikte Gölarmara ilçesi için topraklardan gelen doz %66'dır. Toplam doza binaiçi radyasyonundan gelen doz %5'dir. Kullanılan sudan gelen doz toplam %29 dur. Bunun %20'si sudaki radyumdan ve %9'u da radondan kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.69'da Sındırđı ilçesi toplam doz dağılım grafiği verilmektedir. Bu grafikte Sındırđı ilçesi için toplam dozun %73'ü topraklardan gelen dozdan oluşmaktadır. Toplam doza binaiçi radyasyonundan gelen doz %5'dir. Kullanılan sudan gelen doz toplam %22'dir. Bunun %15'i sudaki radyumdan ve %7'si de radondan kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.70'de Köprübaşı ilçesi toplam doz dağılım grafiği verilmektedir. Bu grafikte Köprübaşı ilçesi için topraklardan gelen doz %65'dir. Toplam doza binaiçi radyasyonundan gelen doz %10'dur. Kullanılan sudan gelen doz toplam %25'dir. Bunun %17'si sudaki radyumdan ve %8'ide radondan kaynaklanmaktadır.

Sonuçlara bakıldığında Akhisar ve Sındırđı ilçesinin toplam dozunun neredeyse %70'i, Gördes, Gölarmara ve Köprübaşı ilçeleri için toplam dozun %60'ı topraklardan gelen dozdan oluşmaktadır. Binaiçi radyasyonundan gelen dozun en fazla olduğu ilçeler Akhisar ve Sındırđı (%10) dır. Diğer ilçelerde %5'lik binaiçi radyasyon katkısının olduğu görölmektedir. Gördes ilçesi ve Gölarmara ilçesinde kullanılan sudan alınan doz değeri yaklaşık %30'dur. Bunun %20'si radyumdan %10'uda radondan kaynaklanmaktadır. Tüm ilçe sonuçlarında sudan gelen dozun daha fazla radyumdan alınan dozdan kaynaklandığı görölmektedir.

7. SONUÇ

Doğal radyasyon bölgeden bölgeye farklılıklar gösterir. Bölgenin denizden olan yüksekliği, jeolojik ve coğrafi yapısı radyasyon doz değerini etkileyebilir. Yer kabuğunda var olan doğal radyasyon kaynaklarından uranyum, toryum ve potasyum magmatik kayalar içerisinde yer almaktadır. Magmatik kayalar türleri granit, siyenit, diorit, gabro, bazalt, andezit, tuf, riyolittir (Günoğlu, 2008). Gnayslar metamorfik kayalar türüdür ve gnaysların başlangıç kayacını granit, şeyl, diyorit, riyolit, mikaşist oluşturur ve başlıca mineralleri feldispat, kuvars, mika, amfibol, granattır. Magmatik kütlelerde bulunan kuvars, feldispat, feldispatoid, piroksen, diyalaj, amfibol, mika (biyotit, muskovit) ve perido esas minerallerdir (Vardar, 2009). Magmatik kayalardan, granit ve kuvars içerisinde çok bol miktarda toryum ölçümlendiği belirtilmektedir. Bu nedenle, diğer kayalar türlerine oranla magmatik kayalardaki uranyum, toryum dağılımı daha yüksek olmaktadır (Günoğlu, 2008).

İnceleme alanında örnekleme noktalarında yüzey gama ölçüm cihazıyla ölçülen doz değerleri ve toprak örneklerindeki U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonlarının tespitiyle hesaplanan doz değerleri için çizilen grafiklerde sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.26). Her iki grafikte de Köprübaşı, Sındırgı ve Gördes çevresinde yüzey gama doz hızları yüksek, Akhisar, Gölarmara ve Salihli çevresinde düşük değerler ölçülmüştür. Sındırgı, Gördes ve Köprübaşında değerlerin yüksek çıkmasını iki nedene bağlayabiliriz. Birincisi denizden olan yükseklikleri diğer ilçelere göre daha yüksek olmasına ve diğer bir neden de Sındırgı, Gördes ve Köprübaşı çevresinin jeolojik yapısına. Gördes ve civarında metamorfik kayalar olan gnays, migmatit, mikaşist, kuvarsit, Köprübaşı çevresinde biyotit gnays ile bunların içerdikleri pegmatit ve kuvarsit damarları, Sındırgı ve Borlu Demirci arasında magmatik kayalar olan andezit, spilit, porfirrit yapı bulunmaktadır.

Akhisar ve Gördes arasında kömür yatakları bulunur. Kömür içerisinde uranyum oluşumları 3 farklı yolla oluşabilmektedir. Birincisi uranyum kömürleşme

ortamında biriken organik materyalle birlikte çökelmiştir, İkincisi uranyum, kömürü meydana getiren bitkilerin bünyesinde, bitkilerin hayatta olduğu sırada konsantre olmuştur. Üçüncüsü, uranyum kömürleşme olayından çok daha sonra, yeraltı ve yerüstü sularıyla bir kaynak kayaktan yıkanarak kömürlü formasyonlara taşınmış ve çökelmiştir (Nakoman, 1978). Toprak örneklerinde CR-39 iz kazıma dedektörleri ile yapılan ölçüm sonuçlarında Akhisar-Gördes arasında yüksek radon konsantrasyonu tespit edilmiştir. Uranyum radonun ana nüklidi olmasından dolayı bu bölgedeki radon konsantrasyonları değerlerini etkilemiştir.

Gördes ilçesinde bol miktarda feldispat, zeolit ve mika yatakları bulunmaktadır. Feldispat, zeolit ve mikanın doğal yapısında potasyum olmasından dolayı bölgede K-40 aktivitesi yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Ayrıca toprak örneklerinde K-40 aktivitesi ile U-238 ve Th-232 aktivitesi arasında kuvvetli bir ilişki bulunmuştur. İnceleme alanında bulunan mika ve zeolitler yapılarında potasyum bulundukları ve yüksek absorblama özelliklerine sahip oldukları için zamanla bünyelerinde uranyum ve toryumu biriktirebilirler. Türkiye’de Karabükte yapılan çalışmada da toprak örneklerinde ölçülen K-40 aktivitesi ile U-238 aktivitesi ve Th-232 aktivitesi arasında sırasıyla 0.58 ve 0.54’lük bir ilişki bulunmuştur (Baldık, 2011). Yapılan istatistikte, toprağın pH ile Th-232 ve Ra-226 aktivite konsantrasyonu arasında kuvvetli negatif bir ilişki bulunmuştur. Toprağın pH’ının düştüğü yerlerde toryumun bulunma olasılığının artacağını ifade etmektedir. Toprakta radon konsantrasyonu ile Th-232 aktivitesi arasında kuvvetli bir ilişki bulunmuştur. Toprakta ölçülen radonun uranyum radyoaktif serisindeki Rn-222 değil de toryum serisinin ürünü olan Rn-220 olduğu düşünülerek bu durum açıklanabilir.

İnsanlar hayatlarının %80’ini kapalı mekanlarda geçirdikleri için bina içi radon konsantrasyonu tayinleri insan sağlığı açısından önem arz etmektedir. Bilindiği üzere radon, uranyum ve toryum radyoaktif bozunum serilerinin radyoaktif bir gazıdır. Kapalı mekanlarda birikebilen ve solunum yoluyla insan vücuduna girip kansere sebebiyet verebilen bir radyonüklid olduğu için sağlık açısından dikkat edilmesi gerekir. İnceleme alanı içinde yer alan Akhisar, Gördes, Gölarmara, Sındırgı ve Köprübaşı ilçelerinde bina içi radon konsantrasyonu ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarında Gördes ve Gölarmara ilçelerinde Türkiye için TAEK tarafından kabul edilen bina içi radon konsantrasyonu limit değeri 400 Bq/m³’ü aşan değerler tespit edilmiştir. Evlerde sigara içilmesi değerin yüksek çıkmasına neden

olabilir. Çünkü sigarada bulunan polonyumun sigaranın yanma sıcaklığında uçucu hale gelerek ortamda bulunan aerosollere yapışarak binaıçi havada bulunabilir ve polonyum alfa bozunumu yaptığından CR-39 film üzerinde iz bırakabilir (Karalı, 1994). Ancak her bir ilçe için radon konsantrasyonu sonuçlarından hesaplanan efektif doz eşdeğerleri ICRP ve UNSCEAR tarafından verilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Binaıçi radon konsantrasyonunun insan sağlığını etkileyen olumsuz etkilerinin olmasından dolayı radon konsantrasyonu yüksek çıkan evlerde evlerin düzenli havalandırılması konusunda insanların bilgilendirilmesi gerekmektedir.

İnceleme alanı içinden toplanan su örneklerinde kollektör yöntemi kullanılarak bulunan radyum aktivitesinin EPA'nın verdiği Radyumun Maksimum Kirlilik düzeyi olan 5 pCi/L'yi aştığı ve su örneklerinin %60'ının bu düzeyden daha fazla radyum aktivitesine sahip olduğu bulunmuştur. Örnekleme noktalarında yüzey gama ölçüm cihazıyla ölçülen doz değerleri ve toprak örneklerindeki U-238, Th-232 ve K-40 aktivite konsantrasyonlarının tespitiyle hesaplanan doz değerleri yüksek çıkan bölgelerden (Sındırgı, Gördes, Köprübaşı) alınan su örneklerinde radyum değeri de yüksek çıkmıştır. Bu değerlerin yüksek çıkmasına jeolojik yapıda bulunan magmatik kökenli kayaçların (andezit ve granit gibi) bu bölgede bulunması ve kayaçların yapısında bulunan uranyum ve radyumun suya geçmesi neden olarak gösterilebilir.

Çalışmada incelenen sediment örneklerinin radyoaktivite ölçüm sonuçları toprak örneklerinin sonuçlarından daha düşük çıkmıştır. Ancak sediment örneklerindeki uranyum, toryum ve potasyum aktivite konsantrasyonu sonuçlarının uranyum, toryum ve potasyum için verilen dünya ortalamasından (sırasıyla 30 Bq/kg, 35 Bq/kg ve 400 Bq/kg) daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu, sediment örneğinde bulunan radyonüklidlerin suyun etkisiyle taşınması ve bir miktarının su da çözünmesinden kaynaklanabilir.

Ayrıca toprak örneklerindeki potasyum, uranyum ve toryum aktivitelerinden gidilerek hesaplanan dışsal tehlike indeksi Sındırgı ilçesinde ve içsel tehlike indeksi Gördes, Sındırgı ve Köprübaşı ilçesinde ihmal edilebilir radyasyon tehlikesi için sınır olan 1'i geçmektedir. Toprak ve suda yapılan ölçümler ve binaıçi radon ölçümleri göz önüne alınarak çizilen toplam doz hızı dağılım grafiklerinden incelenen bölge için dozun büyük bir kısmının topraktan kaynaklandığı görülmektedir. Bu da bu indekslerdeki sonuçları desteklemektedir.

Görüldüğü gibi tez çalışmasının yapıldığı alanda elde edilen veriler ışığında bu bölgenin jeolojik yapısının doğal radyasyonu etkilediği gerek binaıçi radon konsantrasyonundan gerekse toprak örneklerinden hesaplanan doz değerlerinin limit değerlerle kıyaslandığında yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu alanda yapılacak olan sağlık taraması ile bölgede yaşayan insanlarda yüksek radyasyon seviyesine bağlı rahatsızlıkların tespit edilmesi ve eğer varsa bunların önlenmesine yönelik çalışmaların yapılması önemlidir. Ayrıca inceleme alanında yüksek değerlerin elde edildiği Köprübaşı, Demirci ve Sındırgı alanında yıllık çalışmaların yapılması burada yaşayanların aldıkları dozun tespit edilmesi açısından önem arz etmektedir. Doğal radyasyondan kaçmak mümkün değildir. Ancak bunların bize olan etkisini azaltmak mümkündür. Bu konuda yerel yönetimlere çok iş düşmektedir. Öncelikli olarak insanların yerleşecekleri yerleşim alanında zemin etüdü çalışmalarının yanında radyoaktif ölçüm çalışmalarının yapılması, insanlar tarafından tüketilecek olan su kaynaklarında kimyasal ölçümlerin yanında radyoaktivite ölçümlerinin yapılmasına önem verilmesi gerekmektedir.

8. KAYNAKLAR

- Abalı, Y., Aslan, A., Kula, İ., Zeybek, S., Süner, Ü.,** 2002. Endüstriyel Kimya-I Laboratuvarı, Celal Bayar Üniversitesi Yüksek Öğrenim Vakfı Sayı: 18, Manisa-2002, Sayfa: 51-52.
- Abd El-mageed, A.I., El-Kamel, A.H., Abbady, A., Harb, S., Youssef, A.M.M., Saleh, I.I.,** 2011. Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environments of Juban town in Yemen. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 80, pp. 710–715
- Abumurad, K.M., Al-Omari, R.A.,** 2008. Indoor radon levels in irbid and health risk from internal doses. *Radiation Measurements*, Vol.43, pp.389–391.
- Ahmad, N., Matiullah., Hussein, A.J.A.,** 1997. Natural radioactivity in Jordanian soil and building materials and the associated radiation hazards. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.39, pp. 9-22.
- Ajayi, O.S.,** 2000. Distribution of natural radioactivity in rocks from ikogosi-ekiti, southwestern nigeri and its radiological implications. *Health Physics.*, Vol.79, pp. 192-195.
- Akdeniz, N.,** 1985, Akhisar-Gördes-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı Arasının Jeolojisi, *Doktora tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akdeniz, N., Ercan, T.,** 1988, Akhisar (Manisa) bölgesi Liyas volkanitleri ve erken Mezozoik volkanizmasının Ege Denizi çevresindeki yayılımı, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C.31, pp. 33-46.
- Aksoy, N., Demirkıran, Z., Şimşek, C.,** 2009. Sındırgı – Hisaralan (Balıkesir) jeotermal sahasının jeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi Bildirileri*, sayfa:61.
- Akyıldırım, H.,** 2005. Isparta İli'nde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Al-amairyeeen, H.**, 2010. Radiation doses due to natural radioactivity in Wadi Bin Hammad, Al-Karak and Jordan. *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 5(9), pp. 1486-1488.
- Al-Bataina, B.A., İsmail, A.M., Kullab, M.K., Abumurad, K.M., Mustafa, H.**, 1997. Radon measurements in different types of natural waters in Jordan. *Radiation Measurements*, Vol.28, pp. 591-594.
- Al-Hamarneh, I.F., Awadallah, M.I.**, 2009. Soil radioactivity levels and radiation hazard assessment in the highlands of northern Jordan. *Radiation Measurements*, Vol. 44, pp.102–110.
- Alencar, A.S., Freitas,A.C.**, 2005. Reference levels of natural radioactivityfor the beach sands in a Brazilian southeastern coastal region. *Radiation Measurements* Vol.40, pp. 76 – 83.
- Al-Saleh, F.S.**, 2007. Measurements of indoor gamma radiation and radon concentrations in dwellings of Riyadh city, Saudi Arabia. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.65, pp. 843–848.
- Al-Shereideh, S.A., Bataina, B.A., Ershaidat, N.M.**, 2006. Seasonal variations and depth dependence of soil radon concentration levels in different geological formations in DeirAbu-Said District, Irbid-Jordan. *Radiation Measurements*, Vol. 41, pp.703 – 707.
- Ames, L.L., Mcgarrah, J.E., Walker, B.A.**, 1983. Sorption Of Uranium and Radium By Biotite, Muscovite, And Phlogopite, *Clays and Clay,Mlinerals*. Vol. 31, 343-351.
- Arıkan, İ.H.**, 2007. Çevresel Radyasyonun canlılığın sürdürülebilirliğine etkileri, *Doktora Tezi*. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ayan, S.**, 2001. Bitki Yetiştirme Ortamı Olarak Zeolitin Kullanılabilirliği. *Doğu Akdeniz Ormançılık Araştırma Müdürlüğü DOA Dergisi (Journal Of DOA)*, Sayı : 7 pp. 97 – 111.
- Aygün, Ö.**, 2008. Kızıltepe (Sındırgı-Balıkesir) Altın Sahasının Jeolojisi Ve Dere Sedimanı Örneklemesinde Tane Boyutunun Altın Analiz Değerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Bakaç M.**, 1998. Gediz nehri ve çevresinin radyoaktif, major ve iz element seviyelerinin belirlenerek faktör analizi yöntemi ile incelenmesi. *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimler Enstitüsü, İzmir.

- Baldık, R., Aytakin, H., Erer, M.,** 2011. Radioactivity measurements and radiation dose assessments due to natural radiation in Karabük (Turkey). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.*, Vol: 289, pp. 297-302.
- Baltaş, H.,** 2006. YBaCuO ve BiPbSrCaCuO Süper iletkenlerinin soğurma katsayılarının incelenmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Barış, C.,** 2006. İzmir-Çeşme Yeraltı-Termal Suları Ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları. *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Baykara, O.,** 2005. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hatlarının kesişim Bölgesindeki Doğal Radyoaktivite Tayini. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Baykara, O., Doğru, M., İnce, M., Aksoy, E.,** 2005. Measurements of radon emanation from soil samples in triple-junction of North and East Anatolian active faults systems in Turkey. *Radiation Measurements*, Vol.39, pp. 209 – 212.
- Baykara, O., Doğru, M.,** 2006. Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Faults Systems (Turkey). *Radiation Measurements*, Vol.41, pp. 362-367.
- Baykara, O., Doğru, M.,** 2009. Determination of terrestrial gamma, ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K in soil along fracture zones. *Radiation Measurements*, Vol. 44, pp.116–121.
- Bikit, I., Slivka, J., Conkic', L., Krmar, M., Veskovic, M., Zikic-Todorovic, N., Varga, E., Curcic, S., Mrdja, D.,** 2005. Radioactivity of the soil in Vojvodina (northern province of Serbia and Montenegro). *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol.78, pp. 11–19.
- Bolca, M., Saç, M.M., Çokuysal, B., Karalı, T. Ekdal, E.,** 2007. Radioactivity in soils and various foodstuffs from the Gediz River Basin of Turkey. *Radiation Measurements*, Vol.42, pp. 263 – 270.
- Borrelli, R.A.,** 1999. Characterization of radioactivity in the environment. *Degree of Master Science*, Worcester Polytechnic Institute, Environmental Engineering, Worcester.

- Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G., Osmanlioğlu, A. E., 2007.** Assessment of environmental radioactivity for Sanliurfa region of southeastern Turkey. *Radiation Measurements*, Vol.42, pp. 1387 – 1391.
- Brodsky, 1997.** Handbook of Radiation Measurement and Protection, A. CRC Press and Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources, Eisenbud, M and Gesell T. Academic Press, Inc.
- Brown S.H., 2011.** Uranium” Fact Sheet. Health Physics Society (HPS).
- Burke, O., Murphy, P., 2011.** Regional variation of seasonal correction factors for indoor radon levels. *Radiation Measurements*, (In press)
- Canbaz, B., 2007.** Ezine/Çanakkale Granit Alanının Radyolojik Risk Açısından Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Chen, J., 2005.** A Review of radon doses. *Radiation Protection Management*, Vol. 22(4), pp. 27-31.
- Cothorn, C.R., Simith, J.E., 1987.** Environmental Radon, U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. Plenum Pres, New York)
- Çakır, A., 2007.** Danaçayır (Sındırgı, Balıkesir) Bölgesindeki Kaolen Yatağının Jeolojisi ve Minerolojik İncelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çam, S., 2004.** Saruhanlı ve Çevre Yerleşim Alanlarından Alınan Topraklardaki Doğal Radyoaktivite Tayini. *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Çam S., Barış C., Özsoylu F.B., Ereeş F.S., 2004.** Radon, Doğal Gaz, Biyogaz ve Çöplük Gazı. *Biyoenerji 2004 Sempozyumu*, İzmir, 20-22 Ekim.
- Çam, S., Ereeş F.S., Hiçsönmez, Ü., 2007.** Uranyumun Kimyasal Zehirliliği. TSK *Koruyucu Hekimlik Bülteni*, Vol.6, no 3, pp. 215-220.
- Çelik, N., Çevik, U., Çelik, A., Küçükömeroğlu, B., 2008.** Determination of indoor radon and soil radioactivity levels in Giresun, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 99(8), pp. 1349-1354.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Manisa Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Manisa İl Çevre Durum Raporu 2008.**
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008.** Basın ve halkla ilişkiler müşavirliği- bilgi edinme birimi, Sayı: B.18.0.BHİ.0.00.00/610.01-598.

- Davutoğlu, H.**, 2008. Radon Gazını Ölçme Metotları. *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Değerlier, M.**, 2007. Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Degerlier, M., Karahan, G., Ozger, G.**, 2008. Radioactivity concentrations and dose assessment for soil samples around Adana, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.99, pp. 1018-1025.
- Diab, H.M., Nouh, S.A., Hamdy, A., EL-Fiki, S.A.**, 2008. Evaluation of natural radioactivity in a cultivated area around a fertilizer factory. *Journal of Nuclear and Radiation Physics*, Vol. 3 (1), pp. 53-62.
- Diyun,C., Xingbao, Y., Ruiying, H.**, 2005. Indoor radon surveyin indoor environments in Zhuhai city, China. *Radiation Measurements*, Vol.39, pp.205 - 207.
- Dugalic, G., Krstic, D., Jelic, M., Nikezic, D., Milenkovic, B., Pucarevic, M., Zeremski-Skoric, T.**, 2010. Heavy metals, organics and radioactivity in soil of western Serbia. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 177, pp. 697–702.
- Dunai, T. J.**, 2010. *Cosmogenic Nuclides Principles, Concepts and Applications in the Earth Surface Sciences*, University of Edinburgh, Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York,
- El-Daly, T.A.**, 2008. Natural Radioactivity Levels in Environmental Samples in North Western Desert of Egypt. *Proceedings of the 3rd Environmental Physics Conference*, 19-23 Feb. Aswan, Egypt.
- EPA.**, U.S. Environmental Protection Agency, 1987. Radon Reference Manual. EPA 520/1-87-20.
- EPA.**, U.S. Environmental Protection Agency, 1990. Toxicological Profile For Radium. Agency For Toxic Substances And Disease Registry, U.S. Public Health Service.
- EPA.**, U.S. Environmental Protection Agency, 2007, Ionizing Radiation Fact book, EPA-402-F-06-061.
- EPA.**, U.S. States Environmental Protection Agency, 2007, Radiation risks and realities, EPA-402-K-07-006.

- Ercan, T.**, 1979. Batı Anadolu, Trakya ve Ege Adalarındaki Senozoyik Volkanizması, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Ankara.
- Ercan, T.**, 1983, Gördes volkanitlerinin (Manisa) petrolojisi ve kökensel yorumu, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 26, pp.41 – 48.
- Ereeş, F.S., Yener, G.**, 1994. Havadaki aerosol artışının radyoaktif radon ürünlerinin akciğerlere alınmasına etkisi. Ege Üniversitesi, *Fen Fakültesi dergisi*, Seri B, Ek 16/1.
- Ereeş, F.S., Karalı, T., Saç, M., Yener, G.** 2005. The measurements of soil gas radon concentration using activated Carbon and Track detectors in Kurşunlu Geothermal Area in Salihli-Manisa-Turkey. Ü. Erdem (Ed.), *EURECO'05, X. European Ecological Congress*, Kuşadası, Turkey. November 8-13. Proceedings, part one, pp.255-258.
- Ereeş, F.S., Aközcan, S., Parlak, Y., Çam, S.**, 2006. Assessment of dose rates around Manisa (Turkey). *Radiation Measurements*, Vol.41, pp. 598 – 601.
- Erees, F.S., Yener, G., Salk, M., Özbal, Ö.**, 2006. Measurements of radon content in soil gas and in the thermal waters in Western Turkey. *Radiation Measurements*, Vol.4, pp. 354–361.
- Espinosa, G., Golarri, J.I., Angeles, A., Griffith, R.V.**, 2009. Nationwide survey of radon levels in indoor workplaces in Mexico using Nuclear Track Methodology. *Radiation Measurements*, Vol.44, pp. 1051–1054.
- Evren, İ.**, 1992. Cr-39 Dedektörleri ile İz Kazıma Çözeltilerinin ve Parametrelerin İncelenmesi ve Bina İçi Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir
- E.V.S.**, Environmental Science Division, 2005. Radium. Human Health Fact Sheet, Argonne National Laboratory, <http://www.evs.anl.gov/pub/doc/Radium.pdf>
- E.V.S.**, Environmental Science Division, 2005. Radium. Human Health Fact Sheet, Argonne National Laboratory, <http://www.evs.anl.gov/pub/doc/Uranium.pdf>
- E.V.S.**, Environmental Science Division, 2005. Radium. Human Health Fact Sheet, Argonne National Laboratory, <http://www.evs.anl.gov/pub/doc/Thorium.pdf>
- E.V.S.**, Environmental Science Division, 2005. Radium. Human Health Fact Sheet, Argonne National Laboratory, <http://www.evs.anl.gov/pub/doc/potassium.pdf>

- Faheem, M., Matiullah.,** 2008. Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials. *Radiation Measurements*, Vol.43, pp. 1458-1462.
- Fajardo, Y., Gomez, E., Garcias, F., Cerda, V., Casas, M.,** 2007. Development of an MSFIA-MPFS pre-treatment method for radium determination in water samples. *Talanta*, Vol.71, pp.1172–1179
- Farid, S.M.,** 1997. Indoor and soil radon measurements in Swaziland by track detectors. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.34, pp. 29-36.
- Ferreira, A.O., Bastos, R.O., Appoloni, C.R.,** 2010. Some geological characteristics in a regolith-limey shale rock profile through natural radionuclides distribution. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.68, pp. 1774–1779.
- Fişne, A., Ökten, G., Çelebi, N.,** 2004. Türkiye taşkömürü kurumu (ttk) yeraltı maden ocaklarında radon gazı yayılımının incelenmesi. *Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, 02-04 Haziran.
- Gök, C.,** 2010. Uranyum ve Toryumun Adsorpsiyonu İçin Aljinat Biyopolimerlerinin Hazırlanması ve Çeşitli Uygulama Alanlarının İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Göksu, E.,** 1958. Uranyum Nedir ve Nasıl Aranır. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, No:101: 7.
- Green, B.M.R., Hughes, J.S., Lomas, P.R., Janssens, A.,** 1992. Natural radiation Atlas od Europe. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 45, pp. 491-493.
- Groves-Kirkby C.J., Denman, A.R., Philips, P.S.,** 2009. Lorenz Curve and Gini Coefficient: Novel tools for analysing seasonal variation of environmental radon gas, *Journal of Environmental Management* Vol.90, pp.2480–2487.
- Gusain, G.S, Prasad, G., Prasad, Y., Ramola, R.C.,** 2009, Comparison of indoor radon level with radon exhalation rate from soil in Garhwal Himalaya. *Radiation Measurements*, Vol.44, pp.1032–1035.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z.,** 1997. Radon Kirliliği. T.C. Sağlık Bakanlığı, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44.
- Günoğlu, K.,** 2008, Afyonkarahisar Yöresi Mermerlerinde Doğal Radyoaktivite Tayini. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Gür, F.**, 1999, Doğal Dış Radyasyonun İzmir İlinde Yaşayanların Aldıkları Toplam Doza Katkısının Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen-Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- IAEA.**, International Atomic Energy Agency, 1996, “Radiation Safety”, Iaea Division of Public Information, 96-00725 Iaea/P1/A47e,
- Işık, Y.**, 2002. Küçük Menderes Havzasında Doğal Radyonüklid Konsantrasyonlarının Belirlenmesi ve Doz Dağılımının Hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Jankovic, M., Todorovic, D., Savanovic, M.**, 2008. Radioactivity measurements in soil samples collected in the Republic of Srpska. *Radiation Measurements*, Vol.43, pp. 1448 – 1452.
- Jlab.**, Jefferson Lab. Exploring of Nature of Matter, U.S. Department of Energy http://www.jlab.org/div_dept/train/rad_guide/sources.html#natural.02.05.2010.
- Junior, J.A.S., Amaral, R.S., Silva, C.M., Menezes, R.S.C.**, 2010. Radium equivalent and annual effective dose from geological samples from Pedra-Pernambuco- Brazil. *Radiation Measurements*, Vol.45, pp. 861-864.
- Kam, E., Bozkurt, A.**, 2007. Environmental radioactivity measurements in Kastamonu region of northern Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 65, pp. 440–444.
- Kaplan, H.**, 1978. Nükleer Enerji Hammaddelerinin Aranması ve Arama Yöntemleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği. Ankara.
- Karalı, T.**, 1994. Türkiye’de Tüketilen Yerli ve Yabancı Sigaralardaki Radyoaktif Polonyum Düzeyinin Elektrodepozisyon ve Alfa Spektroskopisi ile Ölçülmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Karahan, G., Bayulken, A.**, 2000. Assessment of gamma dose rates around İstanbul (Turkey). *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.47, pp. 213-221.
- Kathren, R.**, 1984, Radioactivity in the environment, sources, distribution and surveillance harwood academic publishers, OPA, Amsterdam,
- Kobeissi, M.A., El Samad, O., Zahraman, K., Milky, S., Bahsoun, F., Abumurad K.M.**, 2008. Natural radioactivity measurements in building materials in

- Southern Lebanon. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 99, pp.1279–1288.
- Kullab, M.K., Al-Bataina, B.A. , Ismail, A. M., Abumurad, K.M.,** 2001. Seasonal variation of radon-222 concentrations in specific locations in Jordan. *Radiation Measurements*, Vol.34, pp. 361-364.
- Kullab, M.,** 2005. Assessment of ^{222}Rn concentrations in buildings, building materials, water and soil in Jordan. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.62, pp. 765-773.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumuşoğlu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G., Çevik, U.,** 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.65, pp. 1281–1289.
- Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Çevik, U., Çelebi, N.,** 2011. Radon level and indoor gamma doses in dwellings of Trabzon, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.69, pp. 1554–1559.
- Küçükönder, E.,** 2009. Kahramanmaraş Yöresinde Doğal Radyoaktivitenin Tayini. *Doktora Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Külahcı, F.,** 2005. Keban Baraj Gölü Uluova Kesiminin Doğal Radyoaktivitesinin Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Laubenstein, M., Magaldi, D.,** 2008. Natural radioactivity of some red Mediterranean soils. *Catena*, Vol.76, pp. 22–26.
- Lawrie, W.C., Desmond, J.A., Spence, D., Anderson, S., Edmondson, C.,** 2000. Determination of radium-226 in environmental and personal monitoring samples. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.53, pp. 133-137.
- Lee, S.K., Wagiran,H., Ramli, A.T., Apriantoro, N.H., Wood, A.K.,** 2009. Radiological monitoring: terrestrial natural radionuclides in Kinta District, Perak, Malaysia. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.100, pp. 368–374.
- Lu, X., Zhang, X.,** 2008. ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{340}K activities in soils of Cuihua Mountain National Geological Park, China. *Environ Geol.* Vol. 56, pp. 353-357.

- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu (ÖİK) raporu**, 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri II (Mika-Zeolit-Lületaşı) Çalışma Grubu Raporu. Ankara.
- Maged, A.F., Borham, E.**, 1997. A study of the radon emitted from various building materials using alpha track dedectors. *Radiation Measurements*. Vol.28, pp. 613-617.
- Manisa Tarım İl Müdürlüğü**, 2011. Akhisar Yeşil Zeytin Başkenti. Tarım ve Gıda Dergisi, No:1. Sayfa 45.
- Manousakas, M., Fouskas, A., Papaefthymiou, H., Koukouliou, V., Siavalas, G., Kritidis, P.**, 2010. Indoor radon measurements in a Greek city located in the vicinity of lignite-fired power plants. *Radiation Measurements*, Vol.45, pp. 1060-1067.
- Mavi, B., Akkurt, I.**, 2010, Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta,Turkey. *Radiation Physics and Chemistry*, Vol.79, no 9, pp. 933-937.
- Mazur, D., Janik, M., LOskiewicz, J., Olko, P., Swakon, J.**, 1999. Measurements of radon concentration in soil gas by CR-39 detectors. *Radiation Measurements*, Vol.31, pp. 295-300.
- Mihci, M., Buyuksarac, A., Aydemir, A., Celebi, N.**, 2010. Indoor and outdoor radon concentration measurements in Sivas, Turkey, in comparison with geological setting. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 101, pp. 952-957.
- Monnin, M.**, 1987. Tarrk Formation Principles and Applications, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Mora, P., Picado, E., Minato, S.**, 2007. Natural radiation doses for cosmic and terrestrial components in Costa Rica. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.65, pp. 79–84.
- Murty,V.R.K., Karunakara, N.**, 2008. Natural radioactivity in the soil samples of Botswana.*Radiation Measurements*, Vol.43, pp.1541–1545.
- Nakoman, E.**, 1978. Uranyum Yataklarının Oluşum Süreçleri ve Denetleyici Etkenler. *Jeoloji Mühendisliği Odası*, Haziran.pp 5-16.

- Nakoman, E.**, 1979. Radyoaktif Hammaddeler Jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayınlarından Eğitim serisi*, No:20.
- NRC.**, 2010. United States Nuclear Regulatory Commission, Technical Training Center. Natural and Man-Made Radiation Sources, 6-1,0703.
<http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/teachers/06.pdf.22.07.2010>
- Nuccetelli, C., Risica, S.**, 2008. Thorium series radionuclides in the environment: Measurement, dose assessment and regulation. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.66, pp. 1657– 1660.
- Oliver, M.A., Khayrat, A.L.**, 2001, A geostatistical investigation of the spatial variation of radon in soil. *Computers & Geosciences*, Vol.27, pp. 939–957.
- Ortabük, F.**, 2007. Bakırçay nehrinin ağır metal ve radyoaktif element konsantrasyonları belirlenerek nedenlerinin faktör analiz yöntemleriyle irdelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Otton, J.K., Gunderson, L.C.S., Schumann, R.R.**, 1992. The Geology of Radon. U.S. Department of the Interior / U.S. Geological Survey.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, N., Karahan, G., Çelebi, N.**, 2005. Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in Southeast part of Eskisehir, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*. Vol.63, pp. 267–275.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Güngör, Y., Gültekin, A.H., Karahan, G., Karacık, Z.**, 2007. Natural and anthropogenic radionuclides in rocks and beach sands from Ezine region (Çaanakkale), Western Anatolia, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.65, pp. 739–747
- Özdemir, F.B.**, 2006. Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Özel, N., Akbin, N.A., Altun, N., Öner, H.H., Akbin, G.**, 2006. Ege Bölgesi alanlarında bitki toplulukları ile yetişme ortamları arasındaki ilişkiler, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No:31, Bakanlık Yayın No:262, Müdürlük Yayın No:40, ISSN 1300-9508.

- Papachristodoulou, C.A., Patiris, D.L., Ioannides, K.G.,** 2010. Exposure to indoor radon and natural gamma radiation in public workplaces in north-western Greece. *Radiation Measurements*, Vol.45, pp. 865-871.
- Paschoa, A.S., Godoy, J.M.,** 2002. The Areas of High Natural Radioactivity And TENORM Wastes. *International Congress Series*, Vol.1225, pp.3– 8.
- Quindos, L.S., Fernandez, P.L., Rodenas, C., Gomez-Arozamena, J., Arteche, J.,** 2004. Conversion factors for external gamma dose derived from natural radionuclides in soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.71, pp. 139-145.
- Quindos, L.S., Fernandez, P.L., Sainz, C., Fuente, I., Nicolas, J., Quindos, L., Arteche, J.,** 2008. Indoor radon in a Spanish region with different gamma exposure levels. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 99, pp. 1544-1547.
- Quindos Poncela, L.S., Fernandez Navarro, P.L., Gomez Arozamena, J., Rodenas Palomino, C., Sainz, C., Martin Matarranz, J.L. Arteche, J.,** 2004. Population dose in the vicinity of old Spanish uranium mines. *Science of the Total Environment*, Vol. 329, pp.283–288.
- Rafique, M., Rahman,S.U., Mahmood, T., Rahman,S., Matiullah, Rehman,S.U.,** 2011. Radon exhalation rate from soil, sand, bricks, and sedimentary samples collected from Azad Kashmir, Pakistan. *Russian Geology and Geophysics*, Vol.52,pp. 450–457.
- Rahman, S., Mati, N., Matiullah, Ghauri, B.M.** 2007. Seasonal indoor radon concentration in the NorthWest Frontier Province and federally administered tribal areas-Pakistan. *Radiation Measurements*. Vol.42, pp. 1715 – 1722.
- Rahman, S. U., Anwar, J., Matiullah,** 2008. Measurement of indoor radon concentration levels in Islamabad, Pakistan. *Radiation Measurements*, Vol.43, pp.401–404.
- Rani, A., Singh, S.,** 2005. Natural radioactivity levels in soil samples from some areas of Himachal Pradesh, India using g-ray spectrometry. *Atmospheric Environment*, Vol.39, pp.6306–6314.

- Righi, S., Bruzzi, L.** (2006). Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 88, pp.158-170.
- Saç, M.M.**, 1994. İzmir İli İçme ve Kullanım Sularında Radyoaktivite ve Veriler Arasında Korelasyon Analizleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Sadasivan, S., Shukla, V.K., Chinnaesakki, S., Sartandel, S.J.**, 2003. Natural and fallout radioactivity measurement in India soils. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol.256, pp. 603-607.
- Sahoo, B.K., Nathwani, D., Eappen, K.P., Ramachandran, T.V., Gaware, J.J., Mayya, Y.S.**, 2007. Estimation of radon emanation factor in Indian building materials. *Radiation Measurements*, Vol.42, pp. 1422-1425.
- Santawamaitre, T., Malain, D., Al-Sulaiti, H.A., Matthews, M., Bradley, D. A., Regan, P.H.**, 2011. Study of natural radioactivity in riverbank soils along the Chao Phraya river basin in Thailand. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, (In press).
- Saravanan, S., Jodha, A.S., Gopalani, D., Bhatti, S.S., Kumar, S.**, 2003. Preliminary measurements of natural radioactivity at Madurai district of Tamilnadu, India. *Radiation Measurements*, Vol.36, pp. 397-389.
- Selvasekarapandian, S., Sivakumar, R., Manikandan, N.M., Meenakshisundaram, V., Raghunath, V.M., Gajendran, V.**, 2000. Natural radionuclide distribution in soils of Gudalore, India. *Applied Radiation And Isotopes*, Vol.52, pp. 299-306.
- Sharma, D.K., Kumar, A., Kumar, M., Singh, S.**, 2003. Study of uranium, radium and radon exhalation rate in soil samples from some areas of Kangra district, Himachal Pradesh, India using solid-state nuclear track detectors. *Radiation Measurements* 36, pp.363 – 366.
- Singh, S., Singh, B., Kumar, A.**, 2003. Natural radioactivity measurements in soil samples from Hamirpur district, Himachal Pradesh, India. *Radiation Measurements*, Vol.36, pp. 547-549.

- Singh, S., Kumar, M., Mahajan, R.K.,** 2005, The study of indoor radon in dwellings of Bathinda district, Punjab, India and its correlation with uranium and radon exhalation rate in soil. *Radiation Measurements*. Vol.39, pp. 535-542.
- Singh, J., Singh, H., Singh, S., Bajwa, B.S., Sonkawade, R.G.,** 2009. Comparative study of natural radioactivity levels in soil samples from the Upper Siwaliks and Punjab, India using gamma-ray spectrometry. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 100, pp. 94–98.
- Smoak, J.M., Krest, J.M.,** 2006, Source of radium in a well-water-augmented Florida lake. *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 89, pp. 102-114.
- Sroor, A., El-Bahi, S.M., Ahmed, F., Abdel-Haleem, A.S.,** 2001. Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. *Applied Radiation and Isotopes*. Vol.55, pp. 873–879.
- Sujo, L.C., Cabrera, M.E.M., Villalba, L., Villalobos, M.R., Moye, E.T., Leon, M.G., -Tenorio L.G., Garcia, F.M., Peraza, E.F.H., Aroche, D.S.,** 2004. Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil, radon-222 indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of Aldama, Chihuahua, Mexico. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.77, pp. 205–219.
- Şaşmaz, A.,** 2008, Köprübaşı (Manisa) uranyum yatağı çevresinde toprak, su ve bitki örneklerinde, uranyum düzeyleri ve olası çevresel etkilerinin belirlenmesi. *TUBİTAK*, Proje No: 107Y226.
- Taşkın, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoğlu, A., Hıdıroğlu, S., Karahan, G.,** 2009. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.100, no 1, pp. 49-53.
- Topçu, N.,** 2010. Bina Materyallerinden kaynaklanan Radon Solumasının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- TAEK.,** Türk Atom Enerjisi Kurumu, 2009, Radyasyon, insan ve çevre, ISBN: 978-975-8898-28-2.

Ulusoy, G., Albayrak, M., 2009, Foça (İzmir) - Bigadiç (Balıkesir) ve Gördes (Manisa) yöresi zeolitlerinin mineralojik ve teknolojik özellikleri, *MTA Dergisi*, Vol.139, pp.61-74.

Url-1 < <http://www.boluarastirma.gov.tr/index.php?sayfa=icerik&id=13> > alındığı tarih 4.01.2010 (Batı Karadeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü)

Url-2 < <http://www.manisa.bel.tr/icerik/82/25/cografyasi.aspx> > alındığı tarih 18.08.2011 (Manisa Belediyesi)

Url-3 < [http://tr.wikipedia.org/wiki/Manisa_\(il\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Manisa_(il))> alındığı tarih 18.08.2011 alındığı tarih 18.08.2011 (Vikipedi Özgür Ansiklopedi).

Url-4 < http://akhisarmuftulugu.gov.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=93 > alındığı tarih 18.08.2011 (Akhisar İlçe Müftülüğü).

Url-5 < http://www.gordes.bel.tr/Ozel_Sayfalar.aspx?id=288 > alındığı tarih 18.08.2011 (Gördes Belediyesi).

Url-6 < <http://tr.wikipedia.org/wiki/Golmarmara>> alındığı tarih 18.08.2011 > alındığı tarih 18.08.2011 (Vikipedi Özgür Ansiklopedi).

Url-7 < <http://tr.wikipedia.org/wiki/Koprubasi-Manisa>> alındığı tarih 18.08.2011 alındığı tarih 18.08.2011 (Vikipedi Özgür Ansiklopedi).

Url-8 < http://www.mta.gov.tr/v1.0/turkiye_maden/maden_potansiyel_2010/Balikesir_Madenler.pdf > alındığı tarih 19.08.2011 (Maden Tetkik Arama genel Müdürlüğü).

Url-9 < http://www.mta.gov.tr/v1.0/turkiye_maden/maden_potansiyel_2010/manisa_madenler.pdf > alındığı tarih 19.08.2011 (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü).

Url-10 < http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/enerji/index.php?id=radyoaktif_hammadde > alındığı tarih 19.08.2011 (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü).

Url-11 < <http://en.wikipedia.org/wiki/Granite> > alındığı tarih 30.10.2011 (Vikipedi Özgür Ansiklopedi).

Url-12 < <http://www.icr.org/article/nuclear-decay-evidence-for-young-world/> > alındığı tarih 30.10.2011 (Institute for Creation Research).

Url-13 < www.gsf.fi/publ/foregsatlas/text/Th.pdf > alındığı tarih 20.09.2011 (Geological Survey of Finland).

- Url-14** < http://www.mta.gov.tr/mta_web/500.000/image/izmir.asp > alındığı tarih 20.09.2011 (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü).
- Url-15** < <http://maps.google.com/maps> > alındığı tarih 20.09.2011 (Türkiye uydu haritası)
- UNSCEAR**, 1982. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. ANNEX B exposures from natural radiation sources.
- UNSCEAR**, 1993. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. ANNEX A effects and risks of ionizing radiation.
- UNSCEAR**, 2000. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. ANNEX B exposures from natural radiation sources.
- UNSCEAR**, 2008. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. ANNEX B exposures of the public and workers from various sources of radiation.
- Uzbec, S., Çelebi, N.**, 2009, Çorum İlinde Radon Gazı Ölçümü. *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Muğla*, 235-244.
- Varol, S.**, 2011. Yer altı sularında toplam alfa ve beta radyoaktivitesi. *Mühendislik bilimleri ve tasarım dergisi (Journal of Engineering Science and design)*, Vol.1, no 3, pp. 101-106.
- Vardar, M., Şans, G., Angı, O.S., Bozkurtoğlu, E.**, 2009. İnşaat Jeolojisi. Ders Notu.
- Wahl, L. E.**, 2010. Environmental Radiation. Fact Sheet. Health Physics Society (HPS). Lawrence Berkeley National Laboratory.
- WHO**, (World Health Organization) 2004. Guidelines for Third Edition Recommendations, Drinking-water quality, Geneva. Vol. 1, pp.205-206.
- WHO**, (World Health Organization). (2006).Guidelines for Drinking Water Quality. Incorporating First And Second Agenda to Third Edition. Vol. 1, pp. 203-218. Recommendations.
- Yağmurlu, F.**, 1982. Çıtak (Akhisar) kömür yataklarının jeoloji ve kömür potansiyeli, Türkiye 3. *Kömür Kong. Bült.*, Maden Müh. Odası Yayını, 39-61.

- Yağmurlu, F., Karayiğit A.İ.,** 1984. Çıtak (Akhisar) linyitlerinin petrografik özellikleri, Türkiye 4. *Kömür Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 111-122.
- Yang, Y., Wub, X., Jiang, Z., Wang, W., Lu, J., Lina, J., Wang, L., Hsia, Y.,** 2005. Radioactivity concentrations in soils of the Xiazhuang granite area, China. *Applied Radiation and Isotopes*, Vol.63, pp. 255–259.
- Yarar, Y., Kam, E.,** 2005. Environmental radioactivity concentrations of Tekirdag. *International Congress Series*, Vol.1276, pp. 387– 389.
- Yılmaz, H.,** 1982, Köprübaşı uranyum yataklarındaki doğal radyoaktif dengesizlik hakkında, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 25, pp. 91-94.
- Yeboah, J., Boadu, M., Darko, E.O.,** 2001. Natural radioactivity in soils and rocks within the greater accra region of Ghana. *Journal of Radioanalytical And Nuclear Chemistry*, Vol. 249, pp. 629-632.
- Yülek, G.G.,** 1992, Radyasyon fiziği ve radyasyondan korunma, Bölüm 3, Sy 38. Sek Yayınları, Ankara
- Zararsız, S.,** 2005. Uranyum. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Teknoloji Dairesi.

ÖZGEÇMİŞ

I.LADI SOYADI: Sermin ÇAM

II.DOĞUM TARİHİ: 20.04.1979

III.ÜNVANI: Fizikçi

IV.ÖĞRENİM DURUMU:

Derece	Alan	Okul	Yıl
Lise	Öğretmen Lisesi	Manisa Anadolu Öğretmen Lisesi	1992-1996
Lisans	Fizik	Celal Bayar	1997-2001
Yüksek Lisans	Nükleer Fizik	Celal Bayar	2001-2004
Doktora	Nükleer Fizik	Celal Bayar	2007-2011

V. AKADEMİK ÜNVANLAR

Arş.Gör.: 2001-2004 Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Nükleer Fizik Bilim Dalı

Arş.Gör.: 2004-..... Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Anabilim Dalı, Nükleer Fizik Bilim Dalı

VI. YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saruhanlı ve Çevre Yerleşim Alanlarından Alınan Topraklardaki Doğal Radyoaktivite Tayini, 2002-2004

VII. PROJELER

1-Soma Kömür ve Küllerinin Manyetik Süseptibilite ve Radyoaktivite Ölçümlerinin Değerlendirilmesi, Proje No:2003/8

Proje Yürütücüsü: Nurdoğan Can,

Diğer Araştırmacılar: F.Serap Ereeş, İsrail Şabikoğlu, Sermin Çam.

C.B.Ü. Araştırma Projeleri, 2002-2004

2- Akhisar-Gölmarmara-Gördes-Sındırgı Bölgesi Doğal Radyoaktivitesinin Jeolojik Yapı ile İlişkisinin İncelenmesi, Proje No: 2010/10

Proje Yürütücüsü: F.Serap EREEŞ

Diğer Araştırmacılar: Sermin Çam

C.B.Ü. BAP Projesi, 2010-.....

VIII. ULUSLARARASI DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER

1- F.S.Ereeş, S.Aközcan, Y.Parlak, **S.Çam**, Assessment of Dose Rates Around Manisa (Turkey). Radiation Measurements, 41 (2006) 598-601.

2- F.S.Ereeş, Ş.A.Dayanıklı, **S.Çam**, Natural Radionuclides in the Building Materials Used in the Manisa City, Turkey. Indoor and Built Environment, 2006, 15,5: 495-498.

3- A.Baba, F.S. Ereeş, Ü. Hiçsönmez, **S.Çam**, H.G.Özdilek, An assessment of the quality of various bottled mineral water marketed in Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, Vol.139: 277-285, 2008, Springer

4- **Sermin ÇAM**, F.Serap EREEŞ, Ümran HİÇSÖNMEZ, Uranyumun Kimyasal Zehirliliği.

TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni (ISSN 1303-734X), (Turkish Armed Forces Preventive Medicine Bulletin. 2007: 6(3), sayfa: 215-220.(Uluslararası hakemli bir dergidir)

Yer aldığı indeksler:

TÜBİTAK Türk Tıp Dizini

CAB Abstracts

Global Health Database

DOAJ

Index Copernicus

Turk Medline (Pleksus)

Google Scholar

5- **Sermin ÇAM**, F.Serap EREEŞ, Ümran HİÇSÖNMEZ, Nükleer Tehlikelerde Radyoaktif İyot ve Korunma. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni (ISSN 1303-734X) (Turkish Armed Forces Preventive Medicine Bulletin).(Uluslararası hakemli bir dergidir), TAF Prev Med Bull. 2008, 7(5): 449-454.

6- Özdemir, C. Ereeş F.S. and **Çam S.** Cytogenetic Effects of Uranium on Root Tip Cells of *Vicia faba* L.. *Botanica Lithuanica*, 2008, 14(3): 155-158.

7- Ü.Hiçsönmez, F.S.Ereeş, Canan Özdemir, Ali Özdemir, **Sermin Çam**, Determination of various elements in the *Malva Sylvestris* L. From Manisa Region in Turkey by using ICP-OES. *Biological Trace Elements Research*, 2009, 128: 248-257.

8- N. Topçu, D. Bıçak, **S. Çam**, F.S. Ereeş, Radon Exhalation Rate from Building Materials using CR-39 Nuclear Track Detector. *Indoor and Built Environment*, (**In Press**).

IX. ULUSAL DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER:

X. ULUSLARARASI KONGRELER

1- Baba, A., Ereeş, F.S., Başarı, A., Hiçsönmez, Ü., **Çam, S.** Natural Radioactivity and Metals Concentrations in Soil Samples Along The İzmir-Ankara – 023 Highway, Turkey. International Symposium Insinume 2004, In Situ Nuclear Metrology As a Tool of Radioecology Radioprotection of the Environment, Albena-Bulgaria, 27-30 September, 2004. Abstract Book, pp.51

2- Ü. Hiçsönmez, F.S.Ereeş, C. Özdemir, A. Özdemir, **S. Çam**, Determination of Various Elements in the *Malva Sylvestris* L from Manisa Regio in Turkey by Using ICP-OES. INSINUME'2006 International Symposium, 'In-Situ Nuclear Metrology as a tool for Radioecology', 06-08 Eylül 2006, Kuşadası-Turkey, Özet kitabı S: 69.

3- F.S.Ereeş, D.Akman, **S.Çam**, C. Özdemir, A.Özdêmir, M.Tutam, An Ecological Study on the Vine (*Vitis Vinifera* L.) in West Anatolia. Blacksea International Environmental Symposium, August 25-29, 2008-Giresun/Turkey, Özet Kitabı sayfa:100.

4- S.A.Saadetoğlu, Y.Parlak, **S.Çam**, F.S.Ereeş, Determination of Radon Concentration Levels in soil and indoor by using CR-39 track etch detectors in Demirhan, Lefke and Lefkosa (CYPRUS). 25th International Physical Congress 25-29 August 2008, Bodrum-TURKEY, Özet kitabı sayfa: 545.

5- Nurcan TOPÇU, Damla BIÇAK, **Sermin ÇAM**, Yasemin PARLAK, F.Serap EREEŞ. Mermer, Tuğla, Beton ve Taştaki Radon Soluması. 2. Uluslararası Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi 2-4 Şubat 2010, İzmir, Bildiri Özleri sayfa 28.

6- D. Biçak, N. Topçu, **S. Çam**, Y. Parlak, F. S.Ereeş, Çeşitli Sebzeler -Meyvelerde Ve Bazı Saçak Köklü Bitkilerin Köklerinde CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri İle Ölçülen Alfa Aktivitesinin Araştırılması, 27th International Physical Congress 14-17 September 2010, İstanbul-Turkey,Bildiri Özleri Sayfa 733.

7- N.Topçu, D. Biçak, **S.Çam**, Y.Parlak, F.S.Ereeş, Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Granitlerde Radon Soluma Hızının Araştırılması, 27th International Physical Congress 14-17 September 2010, İstanbul-Turkey Bildiri Özleri Sayfa 734.

8- U. Hicsonmez , **S. Cam**, F.S. Erees, C. Ozdemir, A. Ozdemir, Determination of Zr, Ti, La and Some Heavy Metals in West Anatolia Soils (TURKEY). INSINUME'2010 International Symposium, "In-Situ Nuclear Metrology as a tool for Radioecology", 20-24 Ekim 2010, Dubna-Rusya, Özet kitabı Sayfa 48.

XI.ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILAR VE BİLDİRİ KİTABINDA BASILAN BİLDİRİLER (TAM MAKALE)

1- C.Özdemir, A.Özdemir, P.Baran, **S.Çam**, F.S.Ereeş. Determination of Various Elements of Quercus Cerris L.Var. Cerris (Fagaceae) Distributed in Manisa by Using ICP-OES. EURECO'05 , X. EUROPEAN ECOLOGICAL CONGRESS, November 08-13, 2005. Kuşadası, İzmir-Turkey. Proceedings, part one, pp. 125-130, 2005.

2- F.S.Ereeş, D.Akman, **S.Çam**, C. Özdemir, A.Özdêmir, M.Tutam, An Ecological Study on the Vine (Vitis Vinifera L.) in West Anatolia. Blacksea International Environmental Symposium, August 25-29, 2008-Giresun/Turkey, Proceeding Book, Volume II. pp:56-65,2008

XII. YAZILAN ULUSLARARASI KİTAPLAR VEYA KİTAPLARDA BÖLÜMLER:

1- Alper Baba, F. Serap Erees, Asiye Bassari, Ümran Hiçsönmez, **Sermin Çam**, Hasan G. Özdilek, Natural radioactivity and heavy metal concentrations in soil along the Izmir-Ankara roadway, Turkey. *Science,Technology and Sustainability in the Middle East and North Africa (GTSD - MENA) Vol. 6, No. 1, 2007, Section VI, pp.335-346.*,GLOBALISATION, TECHNOLOGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT (GTSD) BOOK SERIES, *Editor, Allam Ahmed, SPRU-Sciences and Technology Policy Research, University of Sussex, UK. Published and typeset in the UK by Inderscience Enterprises Limited.*

ISSN (Print): 0-907776-30-2ISSN (Online): 0-907776-32-9

XIII. ULUSAL KONGRELERDE SUNULAN VE BİLDİRİ KİTABINDA VEYA CD'DE BASILAN TAM MAKALELER

1. **S. Çam**, F.S.Ereeş, Radon, Deprem ve Çevre. V. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Doğa ve Çevre 2004, BOLU, S: 637-646.

2. **S. Çam**, C. Barış, B. Özsoylu, F.S. Ereeş, Radon , Doğal Gaz, Biyogaz ve Çöplük Gazı. Biyoenerji 2004, Biyolojik Olarak Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 20-22 Ekim, 2004 Ege Üniversitesi, İzmir, Bildiriler Kitabı, sayfa:294-301. Editör:Doç.Dr.Nuri Azbar

3- **S. Çam**, F.S. Ereeş, Ü. Hiçsönmez, Çimento Fabrikaları Arıtma Çamurlarında Radyoaktivite. I.Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, sayfa: 565-570, AÇS-2005, 23-25 Mart 2005, Dokuz Eylül Üniveritesi, Alsancak-İzmir, Bildiriler Kitabı: sayfa : 565-570

Editörler: Ayşe Filibeli, Nurdan Büyükkamacı,Azize Ayol, Aylper Elçi, Orhan Gündüz, Akın Alten, Gülbin Erden Kaynak, Nazlı Baldan Pakdil

4. **S. Çam**, F.S.Ereeş, M.Durukan, Sanayileşmeden Kaynaklanan Radyoaktif Doz Artışları. Ulusal Çevre Sempozyumu 2007, 18-21 Nisan 2007, Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy Kampüsü, Konre Cd'si. (Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsünden Arş.Gör. Filiz Gür tarafından kongreye kayıt yaptırılmış ve poster olarak sunulmuştur.)

5. M.Durukan, **S. Çam**, F.S.Ereeş, Deniz Ürünlerinde Radyoaktif Polonyum Ve Kurşun.Ulusal Çevre Sempozyumu 2007, 18-21 Nisan 2007, Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy Kampüsü, Kongre Cd'si. (Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsünden Arş.Gör. Filiz Gür tarafından kongreye kayıt yaptırılmış ve poster olarak sunulmuştur.)

XIV. ULUSAL KONGRELER (ABSTRACT)

1- D.Akman, F.S.Ereeş, S.Aközcan, **S.Çam**, Asma Yapraklarında ICP-AES ile Element Analizi. Türk Fizik Derneği , 21. Fizik Kongresi, 11-14 Eylül 2002, Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA , Özet Kitabı. S: 18.

2- **S.Çam**, İ.Şabikoğlu, Y.Gültekin, F.S.Ereeş, N.Can, Çeşitli Sigara Külü Örneklerinde Toplam Radyoaktivite İçerikleri İle Magnetik Süseptibilite Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Türk Fizik Derneği , 21. Fizik Kongresi, 11-14 Eylül 2002, Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA , Özet Kitabı. S: 171.

3- F.S.Ereeş, Ü.Hiçsönmez, T.Babacan, **S.Çam**, Y.Gültekin, G.Horasan, Diyaliz Hastalarının Kanındaki Potasyum-40 Miktarının Belirlenmesi. Türk Fizik Derneği ,

21. Fizik Kongresi, 11-14 Eylül 2002, Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA ,
Özet Kitabı. S: 214.

4- S.Çam, F.S.Ereeş, Manisa-Saruhanlı Yerleşim Alanında Doğal Radyonüklid Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, KAYSERİ, Bildiri Özetleri,S:163

5- Y.Gültekin, S.Çam, F.S.Ereeş, Manisa İli Binaıçi Radon Konsantrasyonu Tayinleri. VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, KAYSERİ, Bildiri Özetleri,S:166

6- D. Akman. S.Çam, F.S. Ereeş. Manisa-Yağcılar Beldesi Bağ Topraklarında ICP-AES İle Element Analizleri. XVII. Ulusal Kimya Kongresi, 8-11 Eylül 2003, İstanbul Üniversitesi, İSTANBUL, Kimya 2003 Bildiri Özetleri, S:382

7- S.Çam, F.S.Ereeş, D.Akman, S.Aközcan, Manisa-Yağcılar Beldesinde Yaşayan İnsanların Aldığı Yıllık Ortalama Etkin Doz Eşdeğerlerinin Araştırılması, IX: Ulusal Medikal Fizik Kongresi, 4-6 Eylül 2003, Trakya Üniversitesi, EDİRNE, Program ve Bildiri Özet Kitapçığı, S:110

8- S.Çam, F.S.Ereeş, İshakçelebi, Hacırhmanlı, Nuriye-Saruhanlı-Manisa Yerleşim Alanlarında Doğal Radyonüklid Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. V. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 5-8 Ekim 2004, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, BOLU Bildiri Özet Kitabı, S: 163

9- A. Ş. Dayanıklı, S.Çam, F.S.Ereeş, Manisa'da Kullanılan Bina Materyallerinde U-238, Th-232 ve K-40 Aktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, V. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 5-8 Ekim 2004, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, BOLU, Bildiri Özet Kitabı, S: 164

10- S.Çam, F.S.Ereeş, Radon, Deprem Ve Çevre.V. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 5-8 Ekim 2004, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, BOLU, Bildiri Özet Kitabı, S: 165

11- S.Çam, C. Barış, F.B. Özsoylu, F.S.Ereeş, Radon, Doğal Gaz, Biyogaz ve Çöplük Gazı Biyoenerji 2004 Sempozyumu, 20-22 Ekim 2004, Ege Üniversitesi, İZMİR, Bildiri Özet Kitabı, S:37

12- S. Çam, F.S. Ereeş, Ü. Hiçsönmez, Çimento Fabrikaları Arıtma Çamurlarında Radyoaktivite.I.Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, AÇS-2005, 23-25 Mart 2005, Dokuz Eylül Üniveristesi, Alsancak-İzmir, Bildiriler Kitabı, S:565-570 (Tam makale basıldı).

- 13-** F.S. Ereeş, Ü. Hiçsönmez, **S. Çam**, C. Özdemir, A. Özdemir, Toprak Örneklerinde Farklı İki Metotla Tayin edilen Ti, La, Zr ve bazı Ağır Metallerin Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi. VIII. Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi-İzmir, 14-16 Eylül 2005, Ege Üniversitesi, Konak-İzmir, Bildiri Özetleri Kitabı, S: 146
- 14-** İ.Şabikoğlu, **S.Çam**, F.S.Ereeş, N.Can, Soma Kömür ve Küllerinin Manyetik Süseptibilite ve Doğal Radyoaktivite Değerlerinin İncelenmesi. VIII. Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi-İzmir, 14-16 Eylül 2005, Ege Üniversitesi, Konak-İzmir, Bildiri Özetleri Kitabı, S: 237
- 15-** C.Özdemir, F.S.Ereeş, **S.Çam**, Uranyumun Vicia L. Kökucu Hücreleri Üzerine Sitogenetik Etkileri. VIII. Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi- 14-16 Eylül 2005, Ege Üniversitesi, Konak-İzmir, Bildiri Özetleri Kitabı, S: 192
- 16-** F.S. Ereeş, **S. Çam**, C. Özdemir, A. Özdemir, Türkiyede Besin Maddesi Olarak Tüketilen Bazı Bitki Tohumlarında U-238, Th-232, K-40 Konsantrasyonları ve Major-Minör Element Analizleri, VIII. Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi- 14-16 Eylül 2005, Ege Üniversitesi, Konak-İzmir, Bildiri Özetleri Kitabı, S: 227
- 17-** **S. Çam**, F.S. Ereeş, Radyoaktif Kurşun ve Polonyumun (Pb-210, Po-210) Sağlımızdaki Önemi. II. Ulusal Çevre Hekimliği Kongresi, 18-21 Ocak 2006, Çankaya Belediyesi Çağdaş Sanatlar Merkezi-ANKARA, Bildiri Kitabı, S: 435-442
- 18-** **S. Çam**, F.S.Ereeş, M.Durukan, Sanayileşmeden Kaynaklanan Radyoaktif Doz Artışları
Ulusal Çevre Sempozyumu 2007, 18-21 Nisan 2007, Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy Kampüsü, Bildiri Özetleri, Sayfa 215. (Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsünden Arş.Gör. Filiz Gür tarafından kongreye kayıt yaptırılmış ve poster olarak sunulmuştur.)
- 19-** M.Durukan, **S. Çam**, F.S.Ereeş, Deniz Ürünlerinde Radyoaktif Polonyum Ve Kurşun
Ulusal Çevre Sempozyumu 2007, 18-21 Nisan 2007, Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy Kampüsü, Bildiri Özetleri, Sayfa 214 (Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsünden Arş.Gör. Filiz Gür tarafından kongreye kayıt yaptırılmış ve poster olarak sunulmuştur.)
- 20-** F.S.Ereeş Ü.Hiçsönmez, C.Özdemir,A.Özdemir, **S.Çam**, Manisa'da Yetiştirilen Ispanak (Spinacia Oleracea L.) Bitkisinin Toprak Üstü ve Toprak Altı Element

Konsantrasyonlarının Anova Testi İle İstatistiksel Krşlaştırılması. X. Ulusal Spektroskopi Kongresi, 04-07 Temmuz 2007, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi-Kimya Bölümü, Urla-İZMİR Bildiri Özetleri, Sayfa 90.

21- F.Serap Ereeş, F.Başak Özsoylu, Cahide Barış, **Sermin Çam**, Sularda ICP-OES ile Uranyum Tayini. 21.Ulusal Kimya Kongresi, 23-27 Ağustos, 2007 . İnönü Üniversitesi, Malatya.

22- F.S. Ereeş, C. Barış, F.B. Özsoylu, **S. Çam**, CR-39 Nükleer İz kazıma Dedektörleri ile Sulardaki Alfa İz Miktarının Tayini. Lüminesans-III Lüminesans Dozimetri Kongresi, 28-30 Eylül 2009, Bodrum-MUĞLA, Bildiri Özetleri, Sayfa 43.

23- Canan Özdemir, Ferah Serap Ereeş, Hakan Sepet, Bahittin Bozdağ, Uğur Şen, **Sermin Çam**, *Cicer arietinum* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Vigna anguiculata* L., *Phaseolus coccineus* L. (FABACEAE) Türlerinin Kök Ucu Hücrelerinde Uranyumun Sitogenetik Etkileri. X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 6-9 Ekim 2009, Muğla Üniversitesi, Atatürk Kültür Merkezi, Muğla. Bildiri Metinleri, Sayfa 255.

24- Damla Bıçak, Nurcan Topçu, **Sermin Çam**, Yasemin Parlak, F.Serap Ereeş, CR-39 Nükleer İz Kazıma Dedektörleri İle asma Yapraklarında Alfa Aktivitesinin Araştırılması. 20.Ulusal Biyoloji Kongresi, 21-25 Haziran 2010, Pamukkale Üniversitesi, Kongre Kültür Merkezi, Denizli. Bildiriler Kitabı, Sayfa 589.

25- Nurcan TOPÇU, Damla BIÇAK, **Sermin ÇAM**, Yasemin Parlak, F.Serap EREEŞ, C.B.Ü. Muradiye Kampus Alanında Bina Materyallerinde Radon Soluma Hızının Araştırılması. Lüminesans-IV Lüminesans Dozimetri Kongresi, 20-22 Eylül 2010, Gaziantep, Bildiri Özetleri, Sayfa 44.

26- Yaşar TEMİZ, **Sermin ÇAM**, Fatih YEŞİL, Yasemin PARLAK, F.Serap EREEŞ, Çavuşçugöl (Konya) Kasabası Radon Ölçümleri. Lüminesans-IV Lüminesans Dozimetri Kongresi, 20-22 Eylül 2010, Gaziantep, Bildiri Özetleri, Sayfa 43

27- Erkan GERMİŞ, Yasemin PARLAK, **Sermin ÇAM**, F.Serap EREEŞ. İzmir-Çiçekli Köyü Radon Ölçümleri. Lüminesans-IV Lüminesans Dozimetri Kongresi, 20-22 Eylül 2010, Gaziantep, Bildiri Özetleri, Sayfa 45.

28- A.Betül TUNÇKIN, **Sermin ÇAM KAYNAR**, Ümit KAYNAR, F.Serap EREEŞ, Demirci-Manisa Yüzey Gama Doz Haritası Çalışmaları. Lüminesans-V Ulusal Lüminesans ve Dozimetri Kongresi, 8-9 Eylül 2011, Mersin, Bildiri Özetleri, Sayfa 44.

29- **Sermin ÇAM KAYNAR**, F. Serap EREEŞ, Balıkesir-Sındırgı İlçe Merkezindeki Binalarda Bina içi Radon Konsantrasyonu Ölçümü. X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 4-7 Ekim 2011, Çanakkale, Bildiri Özetleri, Sayfa 163.

30- **Sermin ÇAM KAYNAR**, F. Serap EREEŞ, Manisa-Gördes Çevresinde Doğal Radyoaktivite Tayini ve Doz Hesabı. X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 4-7 Ekim 2011, Çanakkale, Bildiri Özetleri, Sayfa 164.

31- Önder AKAR, **Sermin ÇAM KAYNAR**, F. Serap EREEŞ, Uşak İli Bina içi Radon Konsantrasyonu Tayinleri ve Radondan Kaynaklanan Yıllık Etkif Doz Eşdeğerinin Hesaplanması. X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 4-7 Ekim 2011, Çanakkale, Bildiri Özetleri, Sayfa 192.

32- Önder AKAR, **Sermin ÇAM KAYNAR**, F. Serap EREEŞ, Uşak İli Bina Materyallerindeki K-40, Th-232 ve U-238 Aktivite Konsantrasyonlarının ve Bina Materyallerinden Kaynaklanan Radon Solunma Hızının Tayini. X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 4-7 Ekim 2011, Çanakkale, Bildiri Özetleri, Sayfa 193.

33- A.Betül TUNÇKIN, **Sermin ÇAM KAYNAR**, Nurcan TOPÇU, F. Serap EREEŞ, Bina içi Radon Konsantrasyonu ve Sağlık Riskinin Araştırılması. X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 4-7 Ekim 2011, Çanakkale, Bildiri Özetleri, Sayfa 303.

XV.ULUSAL BİLİMSEL TOPLANTILAR

1- **Sermin Çam**, Sintilasyon Sayaçları. Ulusal Bilimsel Toplantı Lümidoz2, 21-23 Ağustos 2008, Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi-Fizik Bölümü, Manisa-Türkiye.

XVI. KATILDIĞI KURSLAR

- 1.** *3. Balkan Uluslararası Nükleer Fizik Okulu*, 17-24 Eylül 2002, Selanik-Yunanistan
- 2.** *Radyoterapi Cihazlarında Kalite Kontrol Kursu*, 24-26 Ekim 2002, Akdeniz Üniversitesi, Antalya. (Simülatör Cihazları,Co-60 Cihazları,Radyasyon Güvenliği ve Koruma,Lineer Hızlandırıcı Cihazı,Brakiterapi Cihazları)

3. *Laboratuvar Güvenliği Eğitim Kursu*. 29-30 Mayıs 2003, Ege Üniversitesi, EBİLTEM, İzmir
4. *Arkeometri ve Radyasyon Fiziği Yaz Okulu*, 20-24 Eylül 2004, Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
5. *Serbest Radikaller, DNA Hasarı, DNA Onarımı ve Hastalıklarla İlişkisi*, Teorik Kurs, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 24-28 Ocak 2005, İzmir.
6. *5th International Balkan School in Nuclear Physics*, 7-14 Eylül 2006, Brasov-Romanya
7. *Turkish Physical Society 2nd Summer School on Particle Accelerators and Detectors*, 18-24 Eylül 2006, Bodrum-Türkiye.
8. *Fotonik Malzemeler ve Aygıtlar Lisansüstü Yazokulu*, 19-23 Mayıs 2008, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas-Türkiye.
9. *1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, 30 Ekim-1 Kasım 2009, Jeoloji Mühendisleri Odası& Ürgüp Belediyesi, Ürgüp-Nevşehir.

XVII. TEŞVİK ÖDÜLÜ

1- Bilimsel Yayınları Teşvik Programı. Sayı:

B.O2..TBT.5.04.78.00/UBYT/163.Tübitak Ulakbim. 24.01.2007.