



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA'NIN İÇME SUYUNUN SAĞLANDIĞI BAZI KUYU SULARINDA ^{222}Rn KONSANTRASYONU DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Serkan DEMİREL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK Anabilim Dalını

Haziran-2013
KONYA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA'NIN İÇME SUYUNUN SAĞLANDIĞI BAZI KUYU SULARINDA ^{222}Rn KONSANTRASYONU DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Serkan DEMİREL

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nuretdin EREN

2013, 83 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Kaan MANİSA
Yrd. Doç. Dr. Nuretdin EREN
Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

Radon, günlük hayatta sürekli maruz kaldığımız doğal radyasyonun yaklaşık %50'sini oluşturan ve kayaçlar ile topraktaki uranyumun bozunma zincirinin bir halkası olan renksiz, kokusuz ve duyu organlarıyla algılanamayan radyoaktif bir gazdır. Sudaki radon konsantrasyonu, halk sağlığında tehlike yarattığı için özellikle sulardaki ölçüm çalışmaları güncelliğini koruyan bir araştırma konusudur.

Radon (^{222}Rn) ölçümleri Konya şehrinin merkezinde bulunan farklı derinlikte ve farklı akifer özelliği gösteren 16 kuyu suyundan örnek alınarak yapılmıştır. 2012 yılının ilkbahar ve yaz mevsimlerinde kuyu sularından alınan örneklerin radon aktivite konsantrasyonları radon gaz analizatörü (Alpha GUARD PQ 2000PRO) kullanılarak ölçülmüştür.

16 kuyu suyu örneğinin 11 tanesinde Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) 'nın güvenlik limiti olarak önerdiği 11.11Bq 1^{-1} radon konsantrasyon seviyesinin üstündedir. Bununla birlikten ölçülen tüm radon konsatrasyon seviyeleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından açıklanan güvenlik limiti olan 100Bq 1^{-1} ' nin oldukça altındadır. İlkbahar mevsiminde radon konsantrasyon seviyesi 2.29 ± 0.17 Bq 1^{-1} ile 27.25 ± 1,07 Bq 1^{-1} iken, yaz mevsiminde 1,44 ± 0,18 Bq 1^{-1} ile 27,45 ± 1,25 Bq 1^{-1} arasında değişmektir. Elde edilen sonuçlar, radon konsantrasyon seviyelerinin mevsimsel değişimlere, küçük bir oranda ise derinliğe bağlı olduğu görülmüştür. Bu suların tüketimlerinden kaynaklanan etkin doz değerleri hesaplanmıştır. Ölçülen minimum etkin doz 0.29 μSv y^{-1} iken maksimum doz 5.49 μSv y^{-1} bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alpha GUARD; Etkin doz; Radon-222; Kuyu suyu; Sağlık

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTİGATİON OF THE ^{222}Rn CONCENTRATİON CHANGES İN SOME WELL WATERS SUPPLYİNG DRİNKİNG WATER TO KONYA

Serkan DEMİREL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE PYHSİC

Advisor: Yrd. Doç. Dr. Nuretdin EREN

2013, 83 Pages

Jury

Doç. Dr. Kaan MANİSA

Yrd. Doç. Dr. Nuretdin EREN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

Radon which is responsible approximately %50 of radiation from natural sources that we are exposed in daily life and in the decay chain of uranium available in rocks and soil, is a colourless, odourless and a radioactive gas that can not be observed by human sense. Especially, the radon in natural water sources is a major public health concern and still an active research area.

Radon (^{222}Rn) measurements were undertaken in 16 samples of well water representing different depths and different types of aquifers found at the city centre of Konya. The radon activity concentrations of the well water samples collected in the spring and summer seasons of 2012 were measured by using the radon gas analyser (AlphaGUARD PQ 2000PRO).

The radon concentrations for spring and summer seasons are 2.29 ± 0.17 Bq 1^{-1} to 27.25 ± 1.07 Bq 1^{-1} and 1.44±0.18 Bq 1^{-1} to 27.45 ± 1.25 Bq 1^{-1} , respectively. The results at hand revealed that the radon concentration levels of the waters strictly depend on the seasons and are slightly variable with depth. Eleven of the 16 well water samples had radon concentration levels below the safe limit of 11.11 Bq 1^{-1} recommended by the United States Environmental Protection Agency (USEPA) However, all measured radon concentration levels are well below the 100 Bq 1^{-1} safe limit declared by the World Health Organisation. The doses resulting from the consumption of these waters were calculated. The calculated minimum and maximum effective doses are 0.29 μSv a^{-1} and 5.49 μSv a^{-1}, respectively.

Keywords: Alpha GUARD; Effective Doses; Radon-222; Well Water; Health

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek gerek konunun seçiminde gerekse çalışmaların planlanıp değerlendirilmesinde yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen danışman hocam Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Nuretdin EREN ’e sabırlarından, desteklerinden, bilgi ve deneyimleri doğrultusunda bana yaptıkları büyük katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN ‘ a ve eğitim sürecinde bilgi ve deneyimlerini aktaran tüm öğretim elemanlarına anlayış, destek ve görüşleri için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında kuyular hakkında detaylı bilgi veren Konya Büyükşehir Belediyesi KOSKİ Genel müdürlüğüne çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Ayşe DEMİREL ‘ e ve canım oğlum Erkan Bora DEMİREL ‘ e sonsuz teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, hayatımın her anında sabır ve cesaretin yıkamayacağı hiçbir gücün olmadığını, özgür, saygılı ve dik durmamı öğütleyen, destekleyen ve gösteren canım annem ve babam Gülbaden, Erkan DEMİREL’e ve tüm aile fertlerime çok teşekkür ederim.

Serkan DEMİREL

KONYA–2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER vii
KISALTMALAR viii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
ÇİZELGELER DİZİNİ x
1. GİRİŞ 1
2.RADYOAKTİVİTE 4
2.1. Radyoaktivite Nedir 4
2.1.1. Radyoaktivitenin Keşfi ve Kısa Tarihçesi 4
2.1.2. Radyoaktivite birimleri 5
2.1.3. Radyoaktif bozunma ve bozunum türleri 6
2.1.3.1. Alfa bozunumu 6
2.1.3.2. Negatron bozunumu (β^- bozunumu) 6
2.1.3.3. Pozitron bozunumu (β^+ bozunumu) 7
2.1.3.4. Elektron Yakalama Olayı 8
2.1.3.5. İç dönüşüm (IC) 9
2.1.3.6. Gama ışını yayınlanması (γ-yayma) 10
2.1.3.7. İzomerik geçiş 10
2.1.3.8. Nötron yayınlanması (n-yayma) 11
2.2. Radyoaktif Seriler 11
2.2.1. Doğal seriler 11
2.2.1.1. Uranyum serisi 11
2.2.1.2. Toryum serisi 13
2.2.1.3. Aktinyum serisi 14
2.2.2. Yapay Seriler 16
2.2.2.1. Neptinyum serisi 16
2.3 Radyasyon 15

2.3.1. iyonlaştırıcı radyasyon 17
2.3.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon 18
2.3.3. Radyasyon kaynakları 19
2.3.3.1. Doğal radyasyon kaynakları.....19
2.3.3.2. Yapay radyasyon kaynakları 20
2.3.4. Radyasyon Ölçümünde Kullanılan Birimler 22
2.3.4.1. Işınlama birimi 22
2.3.4.2. Soğurulma doz birimi.....22
2.3.4.3. Eşdeğer doz birimi 22
2.3.4.4. Aktivite birimi.....22
2.4. Radon.....23
2.4.1. Radonun bulunduğu yerler 25
2.4.1.1. Toprakta radon 25
2.4.1.2. Sularda radon 26
2.4.2. Radon ve sağlık 26
2.4.3. Radon Ölçüm Metotlar.....28
2.4.3.1. İyonizasyon odası.....28
2.4.3.2. Kollektör yöntemi 28
2.4.3.3. Lucas hücresi.....29
1.4.3.4. İz kazıma yöntemi.....29
2.4.3.5. Elektrostatik toplama yöntemi 30
2.4.3.6. Filtre yöntemi.....30
3.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....31
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....34
4.1. Materyal.....34
4.1.1.Alpha GUARD Radon Cihazı 34
4.1.1.1. Detektörün dış yapısı 36
4.1.1.2. Detektörün içyapısı 39
4.2.Yöntem 42
4.2.1. Numune Alımı.....42
4.2.2. Su Numunelerinin Analizi İçin Ölçüm Düzeneğinin Hazırlanması.....42
4.2.3. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile Sudaki Radon Ölçümü.....43

4.3. Sudaki Radon Hesaplamaları 45
4.3.1. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları 46
4.3.2. Standart hata 46
5.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 47
5.1. Araştırma Sonuçları 47
5.2. Tartışma 73
6.SONUÇ VE ÖNERİLER 77
6.1. Sonuç 77
6.2. Öneriler 77
KAYNAKLAR 78
ÖZGEÇMİŞ 83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Bq	Becquerel
C	Konsantrasyon değeri
Ci	Curie
L	Litre
m	Metre
mL	Mililitre
mSv	Milisievert
n	Nötron
Rn	Radon
V	Hacim
ºC	Santigrad derece
ºK	Kelvin derece
α	Alfa
β^-	Beta-negatif
β^+	Beta-pozitif
γ	Gama
e^-	Elektron
ν	Nötrino
ν^-	Anti nötrino

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ADC	Analog-Digital Converter
DC	Direct Current
DSP	Digital Signal Processing
IAEA	International Atomic Energy Agency
IC	Internal Conversion
ICRP	International Commission on Radiological Protection
MeV	Mega elektron volt
NRPB	National Radiological Protection Board
rH	Relative Humidity
SI	System International
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee On The Effects Of Atomic Radiation
USEPA	U. S. Environmental Protection Agency
WHO	World Health Organization

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. α (alfa) bozunumu (Davutoğlu 2008) 6
Şekil 2.2. β^-(negatron) bozunumu (Davutoğlu 2008) 7
Şekil 2.3. β^+(pozitron) bozunumu (Davutoğlu 2008) 8
Şekil 2.4. Elektron yakalama olayı (Davutoğlu 2008) 9
Şekil 2.5. Gama ışını yayınlanması (Davutoğlu 2008) 10
Şekil 2.6. Farklı radyasyon türleri için giricilik mesafesi (Büyükuslu,2007) 17
Şekil 2.7. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA 1996) 19
Şekil 2.8. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA 1996) 20
Şekil 2.9. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA 1996) 21
Şekil 2.10. Radon elementinin resmi (Davutoğlu 2008) 23
Şekil 2.11. Radon elementinin periyodik tablodaki yeri 23
Şekil 2.12. Doğada en çok bulunan iki radon izotopunun bozunma zincirleri (Özdemir 2006) 25
Şekil 4.1. AlphaGUARD PQ 2000PRO dedektörü 34
Şekil 4.2. AlphaGUARD ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümü 35
Şekil 4.3. AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları 37
Şekil 4.4. AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları 37
Şekil 4.5. AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları 38
Şekil 4.6. AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları 38
Şekil 4.7. AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları 39
Şekil 4.8. AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi 40
Şekil 4.9. AlphaGUARD'ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı 41
Şekil 4.10. Sudaki radon ölçüm düzeneği 43
Şekil 4.11. Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği 46
Şekil 5.1. Örnekleme alanı 47
Şekil 5.2. Kuyuların derinliği ile radon konsantrasyonları arasında ilişki 74
Şekil 5.3. Konya'nın içme suyunu sağlayan bazı kuyu sularında ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonu değerlerinin (Bq / L) karşılaştırması 75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya 1989) 12
Çizelge 2.2. Uranyumun doğal izotopları 13
Çizelge 2.3. Toryum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya 1989) 14
Çizelge 2.4. Aktinyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya 1989) 15
Çizelge 2.5. Neptinyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya 1989) 16
Çizelge 2.6. İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri (Baldık. 2005) 21
Çizelge 2.7. Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m3) (TAEK) 27
Çizelge 5.1. M1 (Hoca Cihan Sadıklar) kuyu bilgileri 49
Çizelge 5.2. .M1 (Hoca Cihan Sadıklar) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 49
Çizelge 5.3. M1 (Hoca Cihan Sadıklar) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerler 50
Çizelge 5.4. M2 (Yeşildere) kuyu bilgileri 50
Çizelge 5.5. M2 (Yeşildere) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 51
Çizelge 5.6. M2 (Yeşildere) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 51
Çizelge 5.7. M3 (Hacışaban) kuyu bilgileri 52
Çizelge 5.8. M3 (Hacışaban) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 52
Çizelge 5.9. M3 (Hacışaban) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 53
Çizelge 5.10. M4 (Havzan 2) kuyu bilgileri 53
Çizelge 4.11. M4 (Havzan 2) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 54
Çizelge 5.12. M4 (Havzan 2) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 54
Çizelge 5.13. M5 (Harmancık 3) kuyu bilgileri 55
Çizelge 5.14. M5 (Harmancık 3) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 55
Çizelge 5.15. M5 (Harmancık 3) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 56
Çizelge 5.16. M6 (Hadimi 1) kuyu bilgileri 56
Çizelge 5.17. M6 (Hadimi 1) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 57
Çizelge 5.18. M6 (Hadimi 1) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 57
Çizelge 5.19. M7 (Beybes) kuyu bilgileri 58
Çizelge 5.20. M7 (Beybes) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 58
Çizelge 5.21. M7 (Beybes)) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 59
Çizelge 5.22. M8 (Hasanköy 4) kuyu bilgileri 59
Çizelge 5.23. M8 (Hasanköy 4) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 60
Çizelge 5.24. M8 (Hasanköy 4)) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 60
Çizelge 5.25. M9 (Alakova 8) kuyu bilgileri 61
Çizelge 5.26. M9 (Alakova 8) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 61
Çizelge 5.27. M9 (Alakova 8)) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 62

Çizelge 5.28. S1 (Şadiye 1) kuyu bilgileri 62
Çizelge 5.29. S1(Şadiye 1) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 63
Çizelge 5.30. S1 (Şadiye 1) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 63
Çizelge 5.31. S2 (Barsana 1) kuyu bilgileri 64
Çizelge 5.32. S2(Barsana1) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 64
Çizelge 5.33. S2 (Barsana 1) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 65
Çizelge 5.33. S3 (Esentepe 3) kuyu bilgileri 65
Çizelge 5.35. S3(Esentepe 3) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 66
Çizelge 5.36. S3(Esentepe 3)) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 66
Çizelge 5.37. S4(Karpuzlu) kuyu bilgileri 67
Çizelge 5.38. S4(Karpuzlu) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 67
Çizelge 5.39.S4(Karpuzlu)) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 68
Çizelge 5.40. S5(Organize 4) kuyu bilgileri 68
Çizelge 5.41. S5(Organize 4) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 69
Çizelge 5.42. S5(Organize 4) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 69
Çizelge 5.43. K1(Musalla 2) kuyu bilgileri 70
Çizelge 5.44. K1 Musalla 2) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 70
Çizelge 5.45. K1(Musalla 2) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 71
Çizelge 5.46. K2(Fatih Gülbaba) kuyu bilgileri 71
Çizelge 5.47. K2 (Fatih Gülbaba) nolu kuyuya ait ilkbahar ölçüm verilerinin ortalama değerleri 72
Çizelge 5.48. K2(Fatih Gülbaba) nolu kuyuya ait yaz ölçüm verilerinin ortalama değerleri 72
Çizelge 5.49. Konya şehrindeki kuyu suyu örneklerinin radon aktivite konsantrasyonu 73

1. GİRİŞ

İçinde yaşadığımız dünya oluşumundan beri radyoaktiftir. Bu nedenle insanoğlu varoluşundan bu yana doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale dönerken yaydıkları enerji olarak tanımlanan radyasyonla ilgili çalışmalar 1896 yılında Antoine Henri Becquerel tarafından başlatılmıştır. Doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılan radyasyon, yaptığı etki bakımından da iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır (Akkurt, 2006). Genelde doğal kaynaklardan ortaya çıkan iyonlaştırıcı radyasyonun hücrelere nüfuz etme özelliği, atomlar arasında enerjinin gelişigüzel birikimini sağladığı için biyolojik harabiyete neden olan değişikliklere yol açabilmektedir (Özger, 2005).

Tüm canlılar radyasyonla birlikte yaşamakta, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan doz %50 gibi bir paya sahip olup, yaklaşık yıllık doz 1,3 mSv'dir. İnsanlar yaşam standartlarına, yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine ve coğrafi şartlara bağlı olarak ortalama toplam 2,4 mSv yıllık doğal radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar.

Radon renksiz, kokusuz, tatsız, havadan yaklaşık sekiz kat daha ağırdır ve toprakta, havada ve su türlerinde bulunur. Radon gazının kaynağı dünya olduğu için radon suyla temas eden toprak ve kayaların çözünmesinden dolayı yer altı sularında bulunur. Ayrıca kayalardan ve topraktan kuyu sularına geçen bu gaz difüzyonu su seviyesine havalandırmaya ve diğer fiziksel faktörlere bağlıdır. (Yalım, 2007) Doğal radyasyon, uzaydan gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan ^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{40}K gibi radyoaktif elementlerden kaynaklanmaktadır ve doğal radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozunun yaklaşık %50'sini radon ve onun kısa ömürlü ürünleri teşkil etmektedir (UNSCEAR 1993, IAEA, 1996). Radon 1900 senesinde Friedrich Ernst Dorn tarafından keşfedilmiştir ve ^{238}U'in radyoaktif bozunmasından oluşan, 1600 yıl

yarı ömre sahip ^{226}Ra'nın alfa yayınlaması sonucu oluşur. Birçok izotopu vardır fakat bunlardan sadece iki tanesi çevredeki radyasyon miktarına artırıcı etki yapmaktadır. Radonun bilinen izotopları toron (^{220}Rn) ve aktinon (^{219}Rn)'un yarı ömürleri çok kısa olup sırasıyla 55.1 s ve 3.96 s'dir. Bu nedenle radon elementi 3.82 günlük yarı ömre sahip ^{222}Rn tarafından domine edilmektedir (Özdemir, 2006)

Radon salınımı bölgeye, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağlıdır. Atmosfer basıncının düşük olması durumunda, toprak havasında da basınç düşüşü gerçekleşeceğinden radon göçü artar. Sıcaklık yükselmesi toprağın kurumasına ve gözeneklerin çoğalmasına neden olduğundan, radonun topraktan kaçması kolaylaşmaktadır. Yağışlı havalarda ise yüzeydeki topraklar nemlendiğinden toprak gözenekleri kapanır. Radonun yukarı doğru difüzyon yoluyla geçmesi zorlaşır ve toprak yüzeyindeki radon yoğunluğu azalır (Akkurt 2006). Radon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi deniz seviyesinden yüksekliğe göre de farklılıklar göstermektedir. Radonun kaynağının toprak olmasından ve çok kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı radon konsantrasyonu yükseklikle sabit bir şekilde azalma gösterir (Özdemir, 2006).

Bu gaz coğrafi bölgenin, jeolojik yapısıyla da yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Granit ve volkanik topraklar, tortul şistler önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Sedimanter topraklarda ise radon konsantrasyonu düşüktür. Bazı tebeşir çökelti bölgelerinde de az miktarda olsa da radona rastlanmaktadır. Ayrıca yeraltı suları, doğal gazlar, kömür ve okyanuslar da sınırlı da olsa radon salınımı yapabilmektedir (Davutoğlu, 2008).

Radon suda çözülebilir ve çözünebilirliği düşen sıcaklık seviyesinde yükselir .sudaki radon konsantrasyonu tuzluluğa da bağlıdır fakat etkisi çoğunlukla göz ardı edilir.(Schubert, 2012) böylelikle toplum sağlığına verebileceği zarardan dolayı suda çözünmemiş radon konsantrasyonuna daha çok önem verilir çünkü sudaki radon içme suyunun sindirilmesi ve su kullanıldığı havaya yayılan radonun solunum yoluyla maruz kalmalara yol açabilir (UNSCEAR, 2000). Örneğin yıkama ve pişirme için kullanılan evlerdeki radon zengini su havalandırma olmamasından

dolayı içerde biriken radon aktivite konsantrasyonun yükselmesine sebep olabilir (Calmet, 2011).

Su, canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri için gerekli olan en önemli elemanlardan birisidir. Bu sebepten canlılar tarafından kullanılan su, sağlık riski oluşturmamalıdır. Doğal su kaynakları, radyasyon açısından sağlığa zararlı doğal radyoaktif elementler içerir, dolayısıyla da bu durum, halk sağlığı bakımından oldukça önemli ve dikkat edilmesi gereken bir husustur (Horvath 2000). Bu doğal radyoaktif çekirdeklerden ^{222}Rn, insanların içme sularını ağız yolu ile vücutlarına almalarına bağlı olarak maruz kaldıkları radyasyon dozunun en büyük sebebidir (Oliveira, 2001). ^{222}Rn ve onun kısa yarı ömürlü ürünlerinden kaynaklanan radyasyon maruziyetinin kanser riskini artırdığı düşünülmektedir. (Bonavigo, 2008)

Bu tez çalışması Konya şehri içinde ve çevresinde 2012 yılının ilkbahar ve yaz mevsimleri boyunca toplanan kuyu su örneklerinin radon konsantrasyonu sonuçlarını göstermektedir. Ve Konya da yaşayan insanların tarafından tüketilen kuyu sularının radon aktivite konsantrasyonunun genel bir resmini çizmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar uluslararası Radiation Proctection Dosimetry dergisinde yayınlanmıştır (Erdoğan M. ve ark. 2013).

2.RADYOAKTİVİTE

2.1. Radyoaktivite Nedir

Radyoaktivite, bir çekirdeğin bir ışın ya da parçacık yayınlayarak başka bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır ve radyoaktif ışın yayan maddelere de radyoaktif maddeler denir.

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Doğal veya yapay her radyoaktif çekirdeğin kendine özgü bir bozulma ve parçalanma şekli vardır.Bu olaylar, çekirdeğin parçalanma hızı, çekirdeğin yaydığı radyasyon cinsine, enerjisine bağlı olarak değişir.

2.1.1. Radyoaktivitenin Keşfi ve Kısa Tarihçesi

Radyoaktivite, 24 Şubat 1896'da Antoine Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel belirli floresan tuzlarının güneş ışınlarıyla aktiflendikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışıyorken tesadüfen siyah bir kâğıda sarılmış uranyum ve potasyum sülfattan ibaret numuneyi karanlık bir odada fotoğraf levhalarının yanında bırakmıştır (Enge, 1966). Bu fotoğraf levhalarının banyo edildiklerinde ışığa karşı tamamen korunmuş oldukları halde ışıkta kalmış gibi sonuç verdiklerini görmüştür. Bu deneyi tekrarlayan Becquerel fotoğraf levhalarının etkilenmesinin floresans veya X-ışınları ile ilgisi olmadığını, sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu göstermiştir. Fotoğraf levhalarını etkileyen bazı tür radyasyonların uranyum tuzundan yayınlandıkları neticesine varmıştır.

Becquerel'in keşfinden sonra radyasyonun özelliklerinin çalışılmasına yönelik büyük çabalar sarf edilmiştir. İlk araştırmaların birçoğu Curie'ler, William Crokes, Ernest Rutherford ve Rutherford' un Cambridge'deki arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Doğal radyoaktif maddelerin radyasyonları, girme güçlerine bağlı olarak üç ayrı grupta sınıflandırılmışlardır. Birinci grup, girici güçleri çok zayıf olanları ihtiva etmektedir. Bunlar herhangi bir kağıt parçası tarafından bile durdurulabilmekte, fakat havada yoğun iyonlaşmalara sebep olmaktadırlar. Bu radyasyonlar alfa parçacıkları (α - parçacıkları) olarak adlandırılır. İkinci grubu teşkil edenlerin iyonlaştırma güçleri daha azdır ancak ÖT-parçacıklarından daha büyük girici-güce sahiptirler ve birkaç mm kalınlığındaki metal levhalardan kolayca

geçebilmektedirler. Bunlara da beta parçacıkları (β^- parçacıkları) adı verilir. Üçüncü gruptakiler de az iyonlaşmaya sebep olurlar fakat farklı maddelerin santimetrelerce kalınlığından geçebilmektedirler. Bunlar da gama ışınları (γ ışınları) adını alır. Gama ışınları çok yüksek enerjili, elektromanyetik dalgalardır ve ışık hızıyla hareket ederler. Alfa ve beta parçacıklarından daha fazla giricidirler (Arya, 1989).

Dışarıdan herhangi bir etki olmadan bozunan elementlere doğal radyoaktif elementler; bu olaya da doğal radyoaktivite denir. Yani bozunuma uğrayan radyoizotop doğada mevcuttur veya doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunması sonucu ortaya çıkar (Akyıldırım, 2005).

1898 yılında Marie Curie ve eşi Pierre Curie, uranyumun radyoaktif bozunmasından ortaya çıkan polonyum (Po) ve radyum (Ra) radyoaktif elementlerini keşfetmişlerdir (Arya 1989). Pierre ve Marie Curie, Becquerel ile birlikte radyum elementinin doğal radyoaktifliği üzerine yaptıkları çalışma ile 1903 yılında Nobel Fizik Ödülü kazanmışlardır.

Doğal radyoaktifliğin yanı sıra laboratuarlarda nükleer reaksiyonlarla radyoaktif çekirdekler üretilmektedir. Bu olaya da yapay radyoaktivite denir. Bu ilk kez alüminyumun, 1934'te Irene Curie ve Pierre Joilot tarafından polonyumun doğal radyoaktif bozunmasından çıkan α parçacıkları ile bombardıman edilmesi sonucunda ^{30}P izotopunun elde edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu izotop 2,5 dakika yarı ömürle pozitron yayınlayarak bozunur (Krane, 2001).

2.1.2. Radyoaktivite birimleri

Radyoaktivite'ni birimi genelde birim zamandaki parçalanma sayısı olarak tanımlanır.

Curie (ci) : Bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır.

Becquerel (Bq) : Bir saniyede bir bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır.

Rutherford (Rd) : Bir saniyede 10^6 bozunma gerçekleştiren radyoaktif cismin aktivitesi olarak tanımlanır (Arya, 1985).

$1Bq = 2,703 \times 10^{11}$ Ci = 1 parçalanma / saniye

$1Ci = 3.7 \times 10^{10}$Bq

$1Rd = 10^6$ parçalanma/ saniye

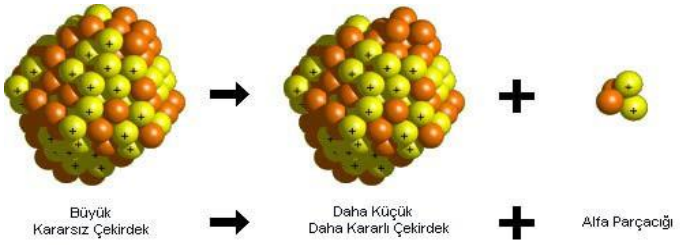
2.1.3. Radyoaktif bozunma ve bozunum türleri

Radyoaktif bozunma, kararsız atomların fazla enerjilerini vererek daha kararlı bir atom haline dönüşmek için kendilerini yeniden düzenlemelerine denir (TAEK). Kararsız atom bozunurken belirli birkaç yol takip eder, bazen kararsız atomların bozunması iki veya daha fazla yolla gerçekleşebilir. Bilinen radyoaktif bozunma şekilleri şunlardır:

2.1.3.1. Alfa bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayınlayarak bozunur.

(2.1) denkleminde verilen α bozunumu sürecinde bozunan çekirdeğin atom numarası 2, kütle numarası ise 4 azalır. Alfa parçacığı aslında helyum atomunun iki kere iyonlaşmış halidir. Alfa bozunumunun şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. α (alfa) bozunumu (Davutoğlu 2008).

$$ {}^{Z}_{A}X_{N} \rightarrow {}^{A-4}_{N-2}X_{N-2} + {}^{4}_{2}He \qquad (2.1) $$

Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını, momentumun korunumu gereğince alfa parçacığı alır. Alfa bozunumu genellikle kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklerde daha sık görülür

2.1.3.2.Negatron bozunumu (β^- bozunumu)

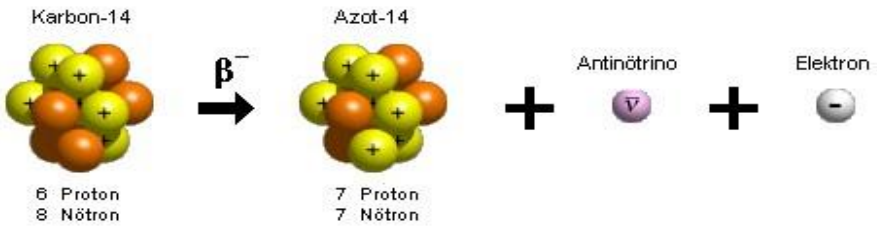
Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından meydana geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için (2.2) denkleminde görüldüğü gibi nötronlardan birini protona dönüştürür ve elektronlarla

aynı olan negatif beta parçacığı ile antinötrino ($\bar{\nu}$) adı verilen başka bir parçacık yayınlanır. Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atom çekirdeğinden fırlatılır.

$$n \rightarrow p + \beta^{-} + \bar{\nu} \qquad (2.2)$$

Bu yüksek hızlı elektrona (negatif beta parçacığı) negatron adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin (2.3) denkleminde görüldüğü gibi atom numarası da bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunuma da kütle sayısı değişmediği için izobarik bozunma adı verilmiştir. β^{-} bozunumunun şematik gösterimi Şekil 2.2'de verilmiştir.

$$^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X_{N-1} + \beta^{-} + \bar{\nu} \qquad (2.3)$$



Şekil 2.2. β^{-} (negatron) bozunumu (Davutoğlu 2008).

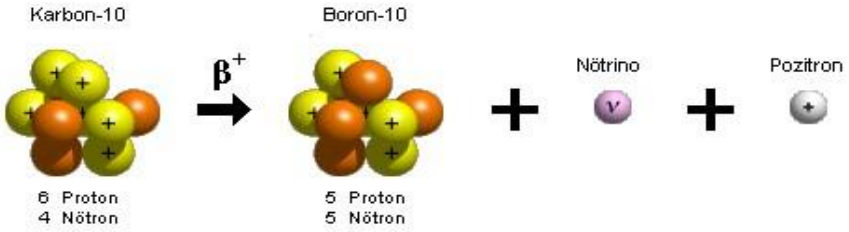
2.1.3.3. Pozitron bozunumu (β^{+} bozunumu)

Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa denklem (2.4)'te görüldüğü gibi protonlardan biri nötrona dönüşür ve pozitif yüklü elektron (pozitron) ile küçük nötron anlamına gelen nötrino olarak adlandırılmış bir parçacık yayınlanır.

$$p \rightarrow n + \beta^{-} + v \qquad (2.4)$$

Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayınlayan radyonüklidin kütle numarası değişmezken proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunma (2.5) denklemi ile temsil edilir ve bozunumun şematik gösterimi Şekil 2.3'te verilmiştir.

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X_{N+1} + \beta^{-} + v \qquad (2.5) $$



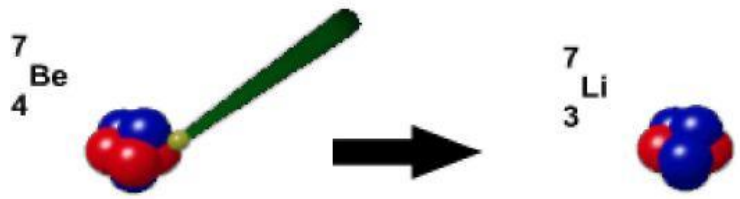
Şekil 2.3. β^{+}(pozitron) bozunumu (Davutoğlu 2008).

2.1.3.4. Elektron Yakalama Olayı

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerinden elektron yakalanır. Elektron çekirdekteki bir protonla birleşerek nötrona dönüşür ve nötrino yayınlanır (Denklem (2.6). Şematik gösterimi Şekil 2.4'te verilen bu bozunumda çekirdekten parçacık salınımı olmaz fakat proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise denklem (2.7)'de görüldüğü gibi aynı kalır. Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçerek boşalan yörüngeyi doldurur (Davutoğlu, 2008).

$$ p + e^{-} \rightarrow n + v \qquad (2.6) $$

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} + e^{-} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X_{N-1} + v \qquad (2.7) $$



Şekil 2.4. Elektron yakalama olayı (Davutoğlu 2008).

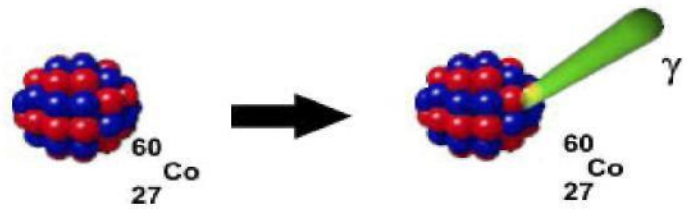
2.1.3.5. İç dönüşüm (IC)

Çekirdek, fazla enerjisini doğrudan yörüngedeki bir elektrona iletir ve bu elektronu yörüngeden fırlatır. Bu olayda elektron tarafından taşınan enerji, çekirdek tarafından salınan enerjiden daha küçüktür, çünkü enerjinin bir kısmı elektronu bulunduğu yörüngeden koparabilmek için harcanmıştır. Bu sebeple, elektron tarafından taşınan enerji, çekirdek tarafından salınan enerjiden, elektronun bağlanma enerjisinin çıkarılmasına eşittir. İç dönüşüm olayı genellikle K yörüngesi elektronları ile olursa da bazen diğer yörünge elektronları da bu olaya karışabilir. Bu olayda foton yoktur yani çekirdeğin enerjisi doğrudan atomun elektronlarına iletilir. Bu iletişim doğrudan sağlanır ve elektron yörüngeden fırlatılır. Dönüşüm sonunda yörüngede bir elektron boşluğu olur, bu boşluğu diğer yörüngelerden bir elektron gelerek doldurur ve bir X-ışını yayınlanır. Bu X-ışını, belirli atom ve yapıya bağlı olarak o elemente ait karakteristik ışındır. Yayınlanan karakteristik X-ışınları elektron yakalanmasında birinci ürünün karakteristiğidir. İç dönüşümde nükleer yükte bir değişim yoktur ve yayınlanan karakteristik radyasyon orijinal atoma aittir. İç dönüşümde yayınlanan elektron belli bir elementten aynı enerji ile salınır ve buna beta ışını çizgi spektrumu denir.

Belli bir β^- yayınlayan radyoaktif madde incelendiğinde, β^- parçacıklarının devamlı bir spektrumu olduğu ve bu belli spektrum üzerinde bir çizgi spektrumu varsa bunun da bir iç dönüşüm nedeniyle meydana gelen beta ışını çizgi spektrumu olduğu söylenir.

2.1.3.6. Gama ışını yayınlanması (γ-yayma)

Çekirdekteki enerji fazlalığı nedeniyle veya çekirdek bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra hemen kararlı (temel enerji seviyesi) duruma geçemez, bozunmada oluşan çekirdek hala yarı kararlı durumdadır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini hemen elektromanyetik özellikte olan bir gama radyasyonu şeklinde yayınlar. Bu şekilde bozunan yarı kararlı çekirdeğin atom ve kütle numaralarında bir değişme olmaz, bu nedenle izomerik bozunma adı verilmiştir. Şekil 2.5'te gama ışını yayınlanmasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.5. Gama ışını yayınlanması (Davutoğlu, 2008).

Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle 10^{-9} saniyeden daha küçüktür ama saat ve gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanması da vardır. γ-ışınlarının enerjileri 0,1 MeV ile 3 MeV arasında değişir (Davutoğlu, 2008).

2.1.3.7. İzomerik geçiş

Bazı radyoaktif atomlar bozunmalardan sonra, uyarılmış durumda (yarı kararlı durum) kalırlar ve kararlı duruma geçmek için γ ışını yayarlar. Bu olaya izomerik geçiş adı verilir ve izomerik geçişe uğrayan bir atomun A (kütle numarası) ve Z (atom numarası)'si değişmez. İzomerik geçişlerde, uyarılmış atomun enerjisinin gama ışını halinde yayınlanması oldukça uzun bir zaman alır. Bu nedenle uyarılmış atom genellikle başka bir radyoaktif element olarak kabul edilir ve o şekilde muamele görür (Özdemir, 2006).

2.1.3.8. Nötron yayınlanması (n-yayma)

Radyoaktif atomların bozunma olaylarında, sadece birkaç tanesi nötron yayınlar. En iyi bilinen örnek izotopudur. Bu örnek bozunma (2.8) denklemi ile ifade edilmiştir (Özdemir 2006).

$$^{87}_{35}Br \rightarrow {}^{87}_{36}Kr + \beta^{-} \rightarrow {}^{86}_{36}Kr + {}^{1}_{0}n \qquad (2.8)$$

2.2. Radyoaktif Seriler

Doğada 3'ü doğal ve 1'i yapay olmak üzere dört radyoaktif seri vardır. Z=81 ile Z=92 arasında olan radyoaktif izotoplar A kütle numaralarına bağlı olarak bu dört radyoaktif seriden birine dâhildirler (Arya, 1989).

2.2.1. Doğal seriler

Uranyum, toryum ve aktinyum serileri doğal radyoaktif serilerdir. Bu serilerin hepsi Pb'nin bir izotopu ile son bulurlar. Uzun ömürlü bir element ile başlarlar. Radon gazının bir izotopunu içerirler ve her üç serinin bazı elemanları hem α hemde β^{-} çıkararak bozunurlar.

2.2.1.1.Uranyum serisi

Uranyum serisi ^{238}U ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlayarak RaG denilen ve kurşunun bir izotopu olan ^{206}Pb kararlı atomuna dönüşür. Bu serinin kütle numaraları (4n+2) şeklindedir (n bir tamsayıdır) (Davutoğlu, 2008). Çizelge 2.1'de uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya, 1989).

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{238}U	$4.5 \cdot 10^{9}$ yıl	α	^{234}Th
^{234}Th	24.1 gün	β^-	^{234}Pa
^{234}Pa	6.7 saat	β^-	^{234}U
^{234}U	$2.67 \cdot 10^{5}$ yıl	α	^{230}Th
^{230}Th	$8 \cdot 10^{4}$ yıl	α	^{226}Ra
^{226}Ra	1620 yıl	α	^{222}Rn
^{222}Rn	3.82 gün	α	^{218}Po
^{218}Po	3.05 dakika	α β^-	^{214}Pb ^{218}At
^{218}At	1.5-2.0 saniye	α β^-	^{214}Bi ^{218}Rn
^{218}Rn	0.019 saniye	α	^{214}Po
^{214}Pb	26.8 dakika	β^-	^{214}Bi
^{214}Bi	19.7 dakika	β^- α	^{214}Po ^{210}Tl
^{214}Po	$15 \cdot 10^{-4}$ saniye	α	^{210}Pb
^{210}Tl	1.32 dakika	β^-	^{210}Pb
^{210}Pb	22 yıl	β^-	^{210}Bi
^{210}Bi	5 gün	β^- α	^{210}Po ^{206}Tl
^{210}Po	138.40 gün	α	^{206}Pb
^{206}Tl	4.2 dakika	β^-	^{206}Pb
^{206}Pb	kararlı	-	–

Doğal elementlerin en ağırı olan uranyum 238,03 atom ağırlığına sahiptir. Atomun çekirdeğinde 92 proton, 146 nötron ve 7 katlı yörüngesinde 92 elektron bulunup atom yarıçapı 1.43 Å'dur. Ağır bir metal olan uranyumun ğunluğu, 19.1 g/cm^3'tür. Uranyum, 1132 ^{0}C'de erir ve 3818 ^{o}C'de kaynar. Uranyum değişik sıcaklıklarda farklı özellikler gösterir. Bu farklılık kristal yapısındaki değişmeden ileri gelir, yani allotropik (aynı elementin uzayda farklı şekilde dizilerek farklı geometrik şeklindeki Kristaller) bir metaldir. Doğada bulunan radyonüklidlerin çoğunluğu ^{238}U 'in bozunma zincirinde yer alır. Doğal uranyumun %99.28'lik bölümünü ^{238}U oluşturur. Uranyumun doğal izotoplarının yarılanma ömürleri Çizelge 2.2 'deki gibidir.(Değerlier, 2007).

Çizelge 2.2. Uranyumun doğal izotopları

İzotop	Doğal çokluk (%)	Yarı ömrü (yıl)
$^{238}_{92}U$	99.28	4.5×10^9
$^{235}_{92}U$	0.72	0.7×10^9
$^{234}_{92}U$	0.005	2.4×10^5

2.2.1.2. Toryum serisi

Toryum serisi ^{232}Th ile başlar. Çizelge 1.3'den de görüldüğü gibi alfa ve beta parçacıkları yayınlayarak ThD denilen ve kurşunun bir izotopu olan ^{208}Pb 'a dönüşür. Bu serinin kütle numaraları (4n) şeklindedir.

Çizelge 2.3 Toryum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya, 1989).

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{232}Th	1.39 10^{10} yıl	α	^{228}Ra
^{228}Ra	6.7 yıl	β^-	^{228}Ac
^{228}Ac	6.13 saat	β^-	^{228}Th
^{228}Th	1.910 yıl	α	^{224}Ra
^{224}Ra	3.64 gün	α	^{220}Rn
^{220}Rn	5.15 saniye	α	^{216}Po
^{216}Po	0.16 saniye	α	^{212}Pb
^{212}Pb	10.6 saat	β^-	^{212}Bi
^{212}Bi	60.5 dakika	β^- α	^{212}Po ^{208}Tl
^{212}Po	3.0·10-^{7} saniye	α	^{208}Pb
^{208}Tl	3.10 dakika	β^-	^{208}Pb
^{208}Pb	kararlı	-	-

2.2.1.3. Aktinyum serisi

Aktinyum serisi ^{235}U ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlayarak AcD denilen ve kurşunun bir izotopu olan ^{207}Pb'a dönüşür. Bu serinin kütle numaraları

(4n+3) şeklindedir. Aktinyum radyoaktif serisi ürünleri, bu ürünlerin yarı ömürleri ve yayınladıkları parçacık türleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Aktinyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya 1989).

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{235}U	$7.15\ 10^{8}$ yıl	α	^{231}Th
^{231}Th	25.64 saat	β^-	^{231}Pa
^{231}Pa	$3.43 \cdot 10^{4}$ yıl	α	^{227}Ac
^{227}Ac	21.8 yıl	α β^-	^{227}Th ^{223}Fr
^{227}Th	18.4 gün	α	^{223}Ra
^{223}Fr	21 dakika	β^- α	^{223}Ra ^{219}At
^{223}Ra	11.68 gün	α	^{219}Rn
^{219}At	0.9 dakika	α β^-	^{215}Bi ^{219}Rn
^{219}Rn	3.92 saniye	α	^{215}Po
^{215}Bi	8 dakika	β^-	^{215}At
^{215}Po	$1.83.10^{-2}$ sn	α β^-	^{211}Pb ^{215}At
^{215}At	10^{-4} saniye	α	^{211}Bi
^{211}Pb	36.1 dakika	β^-	^{211}Bi
^{211}Bi	2.16 dakika	β^- α	^{207}Tl ^{211}Po
^{211}Po	0.52 saniye	α	^{207}Pb
^{207}Tl	4.78 dakika	β^-	^{207}Pb
^{207}Pb	kararlı	-	-

2.2.2. Yapay Seriler

2.2.2.1. Neptinyum serisi

Neptinyum *serisi* yapay bir seridir. Doğal serilerde olduğu gibi neptinyum serisinin bir asal gazı yoktur. Kütle numaraları (4n+1) şeklindedir. Çizelge 2.5'ten de görülebileceği gibi bu seri ^{237}Np ile başlar ve serinin kararlı olan son elementi ^{209}Bi 'dur.

Çizelge 2.5. Neptinyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri (Arya, 1989).

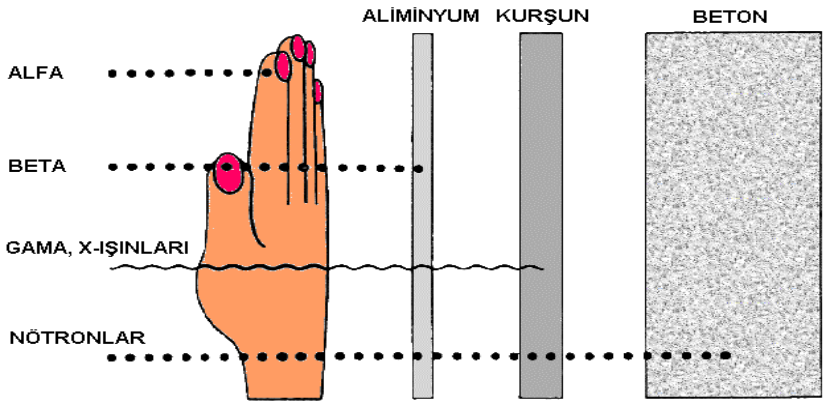
Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{237}Np	$2.2 \cdot 10^{6}$ yıl	*a*	^{233}Pa
^{233}Pa	27.4 gün	β^-	^{233}U
^{233}U	$1.62 \cdot 10^{5}$ yıl	*a*	^{229}Th
^{229}Th	7340 yıl	*a*	^{225}Ra
^{225}Ra	14.8 gün	β^-	^{225}Ac
^{225}Ac	10 gün	*a*	^{221}Fr
^{221}Fr	4.8 ay	*a*	^{217}At
^{217}At	0.0185 saniye	*a*	^{213}Bi
^{213}Bi	47 ay	*a*	^{209}Tl
^{209}Tl	2.2 dakika	β^-	^{209}Pb
^{209}Pb	3.3 saat	β^-	^{209}Bi
^{209}Bi	1.910^{19} yıl	*a*	^{205}Tl
^{205}Tl	kararlı	-	-

2.3. Radyasyon

Enerjinin dalga veya tanecik halindeki durumu veya bu şekilde yayılan enerji türüne radyasyon denir. Elektromanyetik radyasyonlar artan frekans sırasına göre; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, X-ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlardır. Kaynakları farklı olan bu ışınların ortak yönü; maddeye ve insan vücuduna nüfuz edebilmeleridir. Farklı radyasyonların

giricilikleri de farklıdır. Düşük enerjili ışınlar mesela görünür ışık girici değildir. Fakat X-ışınları ve gama ışınları, özelliklerinin görünür ışıkla tamamen aynı olmasına rağmen, giricilik yönüyle ondan ayrılırlar; çünkü enerjileri yüksek, dalga boyları kısadır.

Bahsi geçen bu radyasyonların küçük frekanslıları daha çok dalga karakteri taşırlar. Morötesi veya daha yüksek frekanslı radyasyonların tanecik olarak izahları daha faydalı olmaktadır. Tanecik karakterli radyasyonun en yaygın şekilleri radyoaktif bozunmada meydana gelen alfa ve beta radyasyonlarıdır (Özdemir, 2006).



Şekil 2.6. Farklı radyasyon türleri için giricilik mesafesi (Büyükuslu, 2007)

Radyasyon, etkileştiği ortamdaki atom ve molekülleri iyonize edebilme özelliği olup olmadığına göre iyonlaştırıcı radyasyon (X- ışınları, gama ışınları, alfa radyasyonları, beta radyasyonları, kozmik ışınlar, nötronlar) ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar) şeklinde iki ana kategoride sınıflandırılır.

2.3.1. iyonlaştırıcı radyasyon

İyonizasyon, nötr haldeki bir atomun veya bir molekülün elektrik yükünün değiştirilerek iyon haline getirilmesi işlemidir. Bu işlem temelde, sisteme bir elektron eklenerek veya sistemden bir elektron çıkarılarak yapılabilir. Radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucu iyonizasyon olayının gerçekleşebilmesi için radyasyonun enerjisi, etkileştiği spesifik madde atomuna ait iyonizasyon potansiyelinden daha yüksek

olmalıdır. Bu yüzden radyasyon bir ortam için iyonlaştırıcı iken başka bir ortamda bu özelliğe sahip olmayabilir.

İyonlaştırıcı radyasyon, doğrudan iyonlaştırıcı veya dolaylı yoldan iyonlaştırıcı şekilde ortaya çıkabilir. Doğrudan iyonlaştırıcı radyasyon pozitronlar, negatronlar, protonlar ve diğer ağır iyonlar gibi yüklü parçacıklardır. Bu tür radyasyon ortamı anında iyonlaştırabilir. Dolaylı yoldan iyonlaştırma işleminde ise fotonlar (X-ışını, gama ışını vb.) ve nötronlar gibi yüksüz radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucu oluşan ikincil radyasyon sayesinde ortamın iyonlaştırılması söz konusudur. En bilinen iyonlaştırıcı radyasyon türleri; X-ışınları, gama ışınları, beta parçacıkları (negatron ve pozitronlar), protonlar, alfa parçacıkları ve nötronlardır. Alfa parçacığı(α-parçacığı) + yüklü parçacıklardan oluşur. Işınlar bir kâğıt parçası veya cildimiz tarafından durdurulabilir. Beta ışınları (-) yüklerden meydana gelmiştir. İnce kalınlıktaki bir su demeti ya da metal levha bu elektronları durdurmak için yeterlidir. Serbest nötronlar, radyasyonla oluşan yüksüz parçacıklardır. Bu nedenle her maddeye kolayca girebilirler. Gama ışınları radyoaktif bozunmalar ya da nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan çekirdekten yayınlanan yüksek enerjili elektromagnetik ışınlardır. X-ışınları ise, hızlandırılmış elektronların hedef seçilen bir atomun üzerine gönderildiğinde hedef atomundaki elektronlarla etkileşerek oluşan frenlemeler sonucunda meydana geldiğinden (yani atomdan yayınlandığından) daha düşük enerjili (tipik olarak keV mertebesinde) fotonlardır. Yüksüz olan bu fotonlar magnetik alanda sapmazlar.

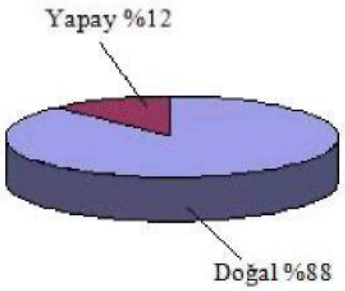
2.3.2.İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

Ultraviyole ışınları, mikro dalgalar, kızılötesi ve radyo dalgaları gibi dalga tipli olan bu radyasyon, madde ile etkileştiğinde herhangi bir iyonizasyona neden olmaz. Ultraviyole ışınların ana kaynağı güneştir. Güneşten dünyaya ulaşan ışık miktarı, koruyucu ozon tabakasına, bulut durumuna, mevsime, enleme ve deniz seviyesinden yükseklik gibi durumlara bağlıdır. Bu ışınların maddelerden geçebilmesi oldukça zordur, kolaylıkla engellenebilirler. Infrared radyasyon, yüksek sıcaklığa sahip olan cisimlerden düşük sıcaklıktaki cisimlere aktarılan enerjiye denir. Mikro dalgalar, frekansı 1-300 GHz arasında olan dalgalardır. Bu dalgalar, radar,

uydu veya uzak telefon haberleşmeleri, telgraf, televizyon yayınları gibi yerlerde kullanılırlar (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

2.3.3.Radyasyon kaynakları

Çevremizdeki başlıca radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Dünya genelinde bu radyasyon kaynaklarından dolayı maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996).

2.3.3.1. Doğal radyasyon kaynakları.

Bütün canlılar radyasyonla birlikte yaşamakta, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışınlanmaktadır. İnsanlar yaşam standartlarına, yaşadıkları ortamın fiziksel özelliklerine ve coğrafi şartlara bağlı olarak ortalama toplam 2.4 mSv yıllık doğal radyasyon dozuna maruz kalmaktadırlar.

Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarı ömürlü bozunma ürünleridir. Radon gazından dolayı maruz kalınan doz %50 gibi bir paya sahip olup, yaklaşık yıllık doz 1.3 mSv'dir. Doğal radyasyon kaynaklarının başlıcaları şunlardır (UNSCEAR ,1993):

a) Kozmik radyasyon

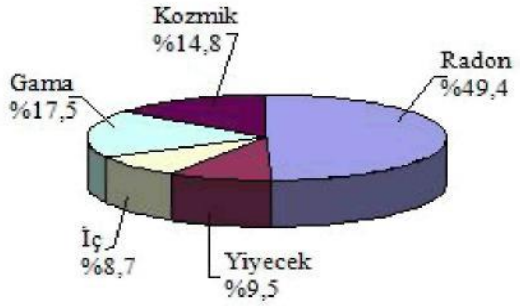
b) Gama radyasyonu

c) Vücut içi ışınlanma

d) Radon

e) Yiyecekler

Dünya genelinde bu doğal radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996)

2.3.3.2. Yapay radyasyon kaynakları

Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının sürdürülebilmesi için doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynaklarının yapay yollarla üretilmesi ve kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Bu kaynaklar, birçok işin yapılma süresini kısaltmış, maliyetini de azaltmıştır. Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi canlıların bu radyasyon kaynaklarından belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, ihtiyaca bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir (Akkurt 2006). Bilinen başlıca yapay radyasyon kaynakları aşağıda liste halinde verilmiş ve bu kaynaklardan maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

a) Tıbbi uygulamalar

b) Tanısal radyoloji

c) Nükleer tıp

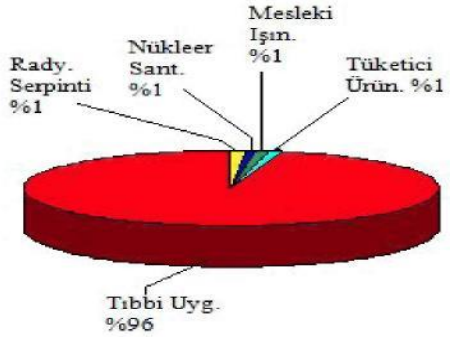
d) Radyoterapi

e) Endüstriyel uygulamalar

f) Nükleer serpinti

g) Nükleer güç santralleri

h) Tüketici ürünleri.



Şekil 2.9. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996).

2.3.4. Radyasyon Ölçümünde Kullanılan Birimler

Radyasyon birimlerini iki gruba ayırmamız mümkündür. Radyoaktif bir kaynakta üretilen radyasyon miktarını belirleyen aktivite birimleri ve radyasyonun maddeler üzerindeki etkisi belirleyen soğurulan radyasyon birimleridir. Bu konuda ilk çalışanların ortaya çıkardığı birimler zamanla uluslararası kabul görülen SI sistemindeki birimlere dönüştürülmüştür. Fakat, eski birimler de hala kullanıldığı için Çizelge 2.6'da hem SI hem de eski birimleri tanıtılmıştır.

Çizelge 2.6. İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri (Baldık, 2005)

Büyüklük	SI Birimi ve Sembolü	Eski Birimler	Dönüşüm Faktörleri
Işınlanma	Röntgen (C/kg)	Röntgen (R)	0.00869 J/kg(havada) = 1R
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	1 Gy = 100 rad
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (Rem)	1 Sv = 100 Rem
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	$1Bq = 2.7x10^{-11}$ Ci

2.3.4.1.Işınlama birimi

Işınlanma birimi için kullanılan özel birim Röntgen (R) olup SI sistemindeki karşılığı Coulomb/kg (C/kg) dır. Röntgen, normal hava şartlarında havanın 1 kilogramında $2.58x10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır (1 R = $2.58x10^{-4}$ C/kg ve 1 C/kg = $3.88x10^{3}$ R dir).

2.3.4.2.Soğurulma doz birimi

Soğurulma doz birimi olarak bilinen rad için SI birim sisteminde Gray (Gy) kullanılmaktadır. Rad, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-2} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir. Gray: Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır (1 Gy = 1 J/kg olup 1 Rad = 10^{-2} J/kg'dır).

2.3.4.3.Eşdeğer doz birimi

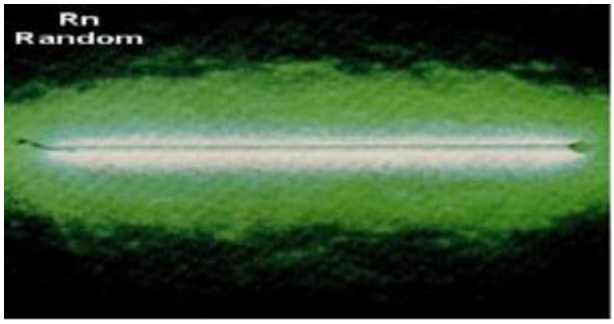
Eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) olup kilogram başına soğurulan enerji olup soğurulan doz olarak tanımlanır. Eski birim sistemindeki rad kullanılırsa eşdeğer doz birimi rem (röntgen equivalent man) cinsinden ölçülür. Daha önce 1 Gy = 100 rad verildiğinde 1 Sv=1 J/kg, olarak alınır.

2.3.4.4.Aktivite birimi

Aktivite için kullanılan özel birim Curie (Ci) olup, SI sistemindeki karşılığı Becquerel (Bq) dir. Curie, saniyede $3.7x\ 10^{10}$ parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir. Bequerel, saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir, 1 Ci = $3.7x10^{10}$ Bq'dir.

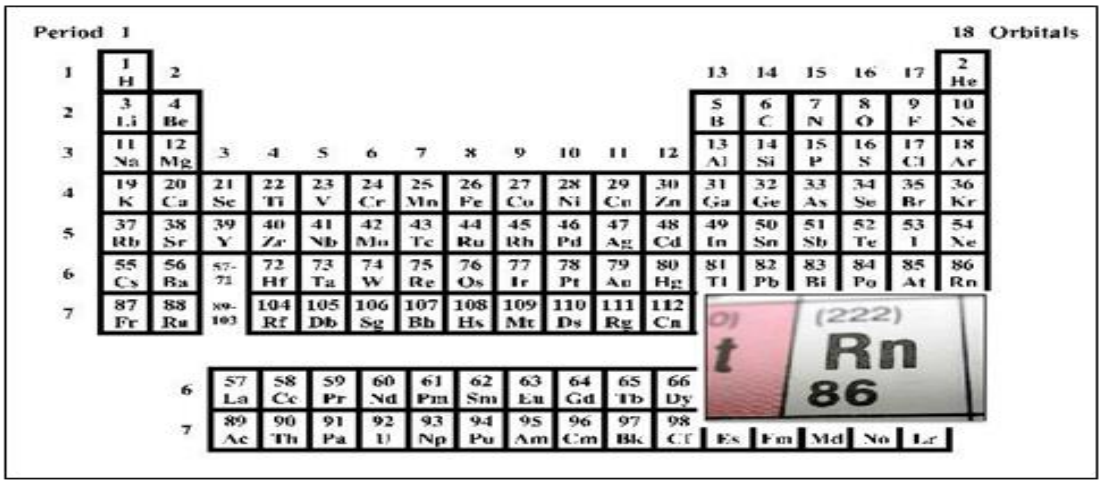
2.4. Radon

1900 yılında Alman kimyacı Friedrich Ernst Dorn tarafından ilk kez bulunduğu kabul edilen radon aslında ilk kez 1898 yılında ünlü fizikçi Ernest Rutherford tarafından keşfedilmiştir. Friedrich Ernst Dorn bugünkü adıyla radona parıldayan manasına gelen niton adını vermiştir. 1923 yılına kadar bu adla anılan elemente radyumdan sonra keşfedildiği için radon denilmiştir.



Şekil 2.10. Radon elementinin resmi (Davutoğlu 2008).

Radon şekil 2,11'de gösterildiği gibi Elementlerin Periyodik Tablosunda Asal Gazlar grubu denilen 8A grubunda, 6. periyotta bulunmaktadır ve son keşfedilen asal gazdır. Normal sıcaklık ve atmosfer basıncında gözle görülemeyen, renksiz, tatsız ve kokusuz bir gazdır (Akkurt, 2006).



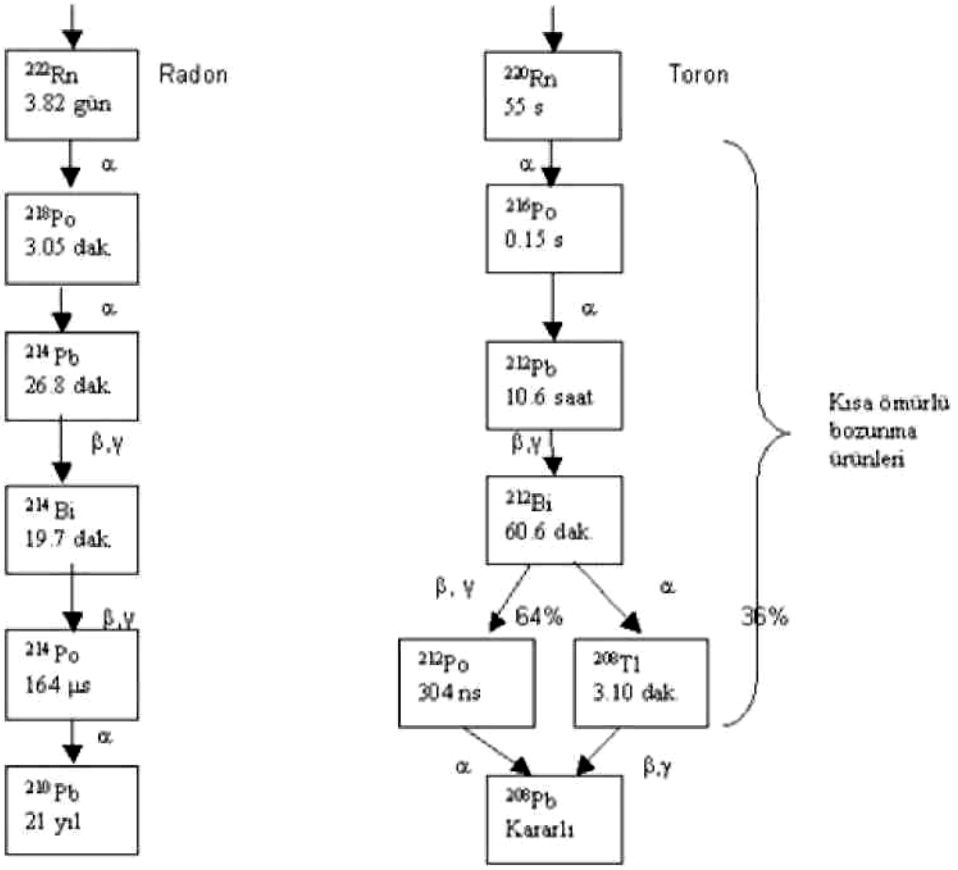
Şekil 2.11. Radon elementinin periyodik tablodaki yeri

Havadan 7.5 kez, hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır ve tek atomlu şekilde bulunur. Bu yüzden kağıt, deri, plastik, boya ve yapı malzemeleri gibi materyallere kolayca nüfuz eder. Elektron ilgisinin düşük ve iyonlaşma enerjisinin yüksek olması

nedeniyle ^{222}Rn diğer elementlerle kolayca bağ yapamaz. Ancak elektron ilgisi yüksek olan bazı atomlarla etkileşip kararlı bileşikler yapabilir. Suda ve organik çözücülerde iyi çözünür, çözünürlüğü artan sıcaklıkla azalır; sudaki çözünürlüğü 0 °C, 25 °C ve 50 °C'de sırasıyla 510, 220 ve 130 $cm^3 \cdot L^{-1}$'dir (UNSCEAR, 1993).

Uranyum radyoaktif serisi içinde yer alan radonun yeraltından havaya geçişi, toprak ile kayalardaki çatlaklardan ve yeryüzüne çıkan sular ile sağlanmaktadır (Villalba ve ark. 2005).

Serinin bu kısmında ^{238}U, beş radyoaktif çekirdekle ^{222}Rn'ye ulaşır. ^{222}Rn'den hemen önce gelen ^{226}Ra, 1600 yıllık yarı ömürle 3.82 günlük yarı ömre sahip olan ^{222}Rn için sabit hızlı bir üreteç görevi yapmaktadır. ^{222}Rn, ^{238}U bozunma zincirinden gelirken, ^{220}Rn yine bir uranyum izotopu olan ^{232}Th'den türer. Bu iki önemli radon izotopu da radyoaktiftir ve bir seri bozunmaya uğrarlar. Aslında bu seri uranyum serisi adı verilen doğal radyoaktif serinin devamını meydana getirir. Doğada en çok bulunan izotop ^{222}Rn arka arkaya iki kez alfa bozunumuyla önce ^{218}Po ve ^{214}Pb'e dönüşür. Sonra iki kez beta ve gama bozunmalarıyla sırasıyla ^{214}Bi ve ^{214}Po'ü oluşturur. Zincirin en sonunda bir alfa bozunumuyla ^{210}Pb meydana gelir. Bu zincirde en kararlı iki çekirdek ^{210}Pb ve ^{220}Rn'dir. ^{210}Pb'un yarı ömrü 21 yıldır. Arada kalan dört izotop ise oldukça kısa yarı ömürlere sahip olduklarından aktiviteye katkıları çok azdır. Diğer radon izotopu ^{220}Rn bozunma zincirinde ilk iki element ^{216}Po ve ^{212}Pb, alfa salınmasıyla oluşur. Sonra beta ve gama salınarak ^{212}Bi türer. Buradan sonra bu izotopun iki türlü bozunmaya uğrama ihtimali vardır. Ya alfa ve beta vererek ^{212}Po'ye bozunur (%64); ya da alfa vererek ^{218}Tl'e bozunur (%36). Her iki durumda da son ürün kararlı bir element olan ^{208}Pb'dir. Radon izotoplarının bozunma zinciri ve izotopların yarı ömürleri Şekil 2.12'de verilmiştir (Akkurt, 2006).



Şekil 2.12. Doğada en çok bulunan iki radon izotopunun bozunma zincirleri (Özdemir, 2006).

2.4.1. Radonun bulunduğu yerler

Radonun ana kaynağı yer küredir ve dünya yüzeyinde yaklaşık 100 ton radon bulunduğu tahmin edilmektedir (Saç ve Camgöz, 2005). Biyosfer tabakasında serbest halde gezen radon difüzyon ve çözünme yoluyla atmosfere kolaylıkla taşınır. Bu taşınma sürecinde radon kaynaklandığı uranyum konsantrasyonuna bağlı olarak toprakta, sularda, bina içi ve dışındaki atmosferde ve ayrıca binalarda kullanılan yapı malzemelerinde değişik yoğunluklarda bulunabilir.

2.4.1.1. Toprakta radon

Radon, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde gömülü olan uranyumun bozunması ile yeryüzünde bir yoğunluk oluşturur. Uranyum içeren pek çok farklı türden kayalar mevcuttur, fakat bunun önemli bir radon kaynağı sayılabilmesi için uranyum konsantrasyonunun 50 ppm değerinden yüksek olması gerekir (Durrani and

Ilic, 1997). ^{222}Rn atomları toprak gazının oluştuğu yerde toprak parçacıkları ya da mineralleri arasında difüzyonla serbest kalırlar (Blaauboer, 1989). Doğal bozunma sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkan radon gazı, bulunduğu bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılmaktadır. Toprakta bulunan ve havaya sızan radon miktarı, toprak karakteristiklerine ve basınca bağlıdır (Akyıldırım, 2005; Kulalı, 2009). Kayalar ve topraklar arasından atmosfere yayılan radon gazının atmosferdeki yoğunluğunun 0.1 pCi/l'lik bir ortalamaya sahip olduğu bildirilmektedir (Kulalı, 2009). Toprak gazında ve atmosferde yapılacak radon ölçümleri ölçüm yapılan bölgenin toprağındaki uranyum ve toryum varlığı hakkında fikir verici olabilir.

2.4.1.2. Sularda radon

Radon, özellikle yeraltı suyu olmak üzere suda çözünebilir. Yeraltı uranyum yataklarının keşfi için yapılan çalışmalar genellikle kuyu, kaynak ve jeotermal sularında radon konsantrasyonu ölçülerek gerçekleştirilir. Bunun sebebi bu suların kaynağının, yeraltı, akarsular sistemi olması ve bu akarsu sisteminin de kollarının uranyum yataklarından geçme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Eğer suların bir kolu uranyum yatağından geçiyorsa yatağı yıkayan sularda uranyum ile radyum çözünür ve radon bu sular ile içindeki taneciklere absorbe olur. Bu yüzden termal suların çıkış noktalarında radon gazı yoğunluğu artar. Termal suların sıcak olmaları, geçtikleri yerlerde daha fazla minerali, dolayısıyla uranyum tuzunu çözebilmeleri ve yerin daha derin noktalarından yeryüzüne çıkmalarından dolayı termal sularda radon miktarının daha fazla olması beklenmektedir.

Evlerde kullanılan musluk suları da tüm arındırma işlemlerine rağmen belirli bir miktar radon içermektedir. Bu miktar ev suyunun alındığı kaynağa ve ne kadar arıtıldığına bağlıdır. Ayrıca ev içinde kullanılan bu suların püskürtülmesi ve çalkalanması da radon salınımına neden olur (Akkurt, 2006).

2.4.2. Radon ve sağlık

Topraktan havaya sızan radon önemli bir kapalı ortam kirletici faktörü olarak belirmektedir. Radonun radyoaktivitesi zayıftır. Bu nedenle teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki

çözünürlüğü çok düşüktür; insan akciğerinde yarı ömrünü tamamlamadan geri atılır. Fakat radon bozunumuyla ortaya çıkan Po, Bi ve Pb elementlerinin radyoizotopları olan bozunum ürünleri radon gibi gaz halinde olmadıklarından, toz ya da havadaki diğer parçacıklara çok çabuk yapışırlar ve solunum yoluyla insan vücuduna alınırlar. Bu parçacıklar bozunmalarını kararlı hale gelinceye dek sürdürürler ve yerleştikleri bölgelerde alfa, beta veya gama ışıması yaparak ayrılırlar. Vücut içerisindeki bu ışımalardan en önemlisi alfa ışımasıdır. Akciğer üzerinde beta parçacıkları ile gama ışınlarının etkileri, alfa parçacıklarının etkilerine göre ihmal edilebilir düzeydedir. Bozunma sürecinin her aşamasında salınan radyasyon, öncelikle akciğer dokusunda hasara, zamanla da akciğer kanserine neden olabilir (UNSCEAR 2000, Özdemir 2006). Bu nedenle radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunma ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41000 akciğer kanserinden en az 2500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5000, sigara içenlerden ise 15000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP, 1994) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu radona bağlamaktadırlar. Ancak bu durum yüksek dozda radona maruz kalmış herkesin akciğer kanserine yakalanacağı anlamına gelmemekte ve maruz kalınma ile hastalığın oluşması arasında geçen zaman yıllarca sürebilmektedir.

Çizelge 2.7'de, çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından benimsenen kapalı ortamlar için müsaade edilebilir radon konsantrasyonları verilmektedir.

Çizelge 2.7. Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m^3) (TAEK).

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

*Avrupa Birliği

**Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi

***Dünya Sağlık Örgütü

Radonun akciğer kanserine etkisi doğrudan radonun kendisine değil bozunum ürünlerine bağlıdır.

2.4.3. Radon Ölçüm Metotlar

Radon konsantrasyonunun ölçümüyle ilgili birçok araç, gereç ve yöntem vardır. Bunların büyük çoğunluğunda radon ve ürünlerinin ölçümünde genellikle alfa sayımı tercih edilmektedir. Alfa sayımının kullanıldığı teknikler arasında iyonizasyon odası, kollektör yöntemi, Lucas hücresi, iz kazıma yöntemi, elektrostatik toplama yöntemi ve filtre yöntemi sayılabilir.

2.4.3.1.İyonizasyon odası

İyonizasyon odası paslanmaz çelikten silindir şeklinde yapılmaktadır. Merkez ekseninde silindir şeklinde yapılmış bir elektrot bulunur. Radon konsantrasyonu belirlenmek üzere örneklenen hava iyonizasyon odasına aktarılarak, odanın duvarları (metal iç yüzeyleri) ile elektrot arasında bir potansiyel farkı uygulanır. Oluşan iyonizasyon akımı çok duyarlı elektrometre ile ölçülür.

2.4.3.2.Kollektör yöntemi

Bu yöntemin temel prensibi, bir kap içerisinde bulunan örnekteki radonun bozunumu ile oluşan radon ürünlerinin kollektör ve kap arasına uygulanan potansiyel yardımıyla kollektör yüzeyinde toplanması ve biriken ürünlerin toplam alfa aktivitesinin sayımıdır.

Kollektör yöntemi ölçüm sistemi 3 bölümden oluşur:

Köpürtme şişesi: İçinden basınçlı hava geçirilebilecek şekilde dizayn edilmiş 100 mL köpürtme şişesi ve en az 1 ay bekletilmiş basınçlı hava tüpünden oluşmaktadır. Burada havanın 1ay bekletilmesinin sebebi havadaki radonun

bozunmasını sağlamaktır. Köpürtme şişesinin içinde havanın dağılımını süngere benzeyen pümis taşı sağlar.

Gaz toplama odacığı: 2.8L hacimli çelik kap ve vakum edilerek kapatılabilecek şekilde dizayn edilmiş çelik kapaktan oluşur. Çelik kapak içine 3 cm çapında bakır disk kollektör olarak asılmıştır. Kapağa biri giriş diğeri çıkış olmak üzere 2 vana bağlanmıştır. Gaz toplama odası vakum edilerek vanalar kapanır ve işleme hazır duruma getirilir.

Sayım sistemi: Yüksek güç kaynağı ile alfa radyasyon sayım cihazından oluşur. Kollektör yönteminde, suyun çıktığı ana kaynaktan şişelere 100 mL örnekler alınır, şişelere doldurulan su köpürtülerek radon gazı ve ürünleri, içinde bakır disk bulunan kollektör odasına aktarılır, 600 voltluk potansiyel uygulanarak radon ve ürünleri arasındaki dengenin sağlanması için 4 saat bekletilir. Bu süre sonunda bakır disk üzerine biriken radon ve ürünleri dedektörde sayılır (Barış, 2006).

2.4.3.3.Lucas hücresi

Lucas hücresi bir ucu düz ve açık, diğer ucu yarım küre olarak metal veya camdan yapılmış bir silindir biçimindedir. İç yüzeyinin duvarları sintilatör olarak gümüşle aktive edilmiş, çinko sülfürle kaplıdır. Lucas hücresi kullanılarak yapılacak radon ölçümlerinde, alfa aktivitesi ölçülecek havanın filtre edilerek hücreye alınması gerekir. Havadaki bütün radon ürünleri filtrede tutulur. Sistemden hücreye radyoaktif madde olarak yalnızca radon gazı girer. Radon gazı Lucas hücresi içinde bozunarak kısa zamanda ürünleriyle dengeye ulaşır. Radonun ve ürünlerinin yayınladıkları alfa radyasyonu hücrenin duvarlarına çarparak sintilasyon oluşturur. Bu olayda çıkan fotonlar fotoçoğaltıcı ve elektronik sistem kullanılarak sayılır.

2.4.3.4. İz kazıma yöntemi

Radyonüklidlerin yayınladıkları alfa parçacıkları bazı maddeler ve özellikle plastik filmler üzerinde etkilidirler. Alfa iz kazıma filmleri genel olarak dielektrik veya organik maddelerden yapılır. Alfa parçacığı bu filmlere çarptığı zaman onun yapısında bir hasar oluşturur. Bu hasar film üzerinde normal mikroskop altında görülemeyecek kadar küçük çukurlar şeklindedir. Bu olaya maruz kalmış bir film laboratuarda belirli şartlar altında kimyasal işleme tabi tutulursa alfa parçacığının

oluşturduğu izler normal mikroskop altında görülebilir hale gelir. Bu işlemlerden dolayı bu ölçüm sistemine iz kazıma tekniği adı verilmiştir. İz kazıma filmleri genelde üzerine gelen alfa parçacığının sayısını verir ve bu olay alfa parçacığının kendine özel bir durumudur. Çünkü filmler diğer radyasyon türlerine karşı duyarlı değildirler. Böylece uygun kalibrasyon ve hesaplama tekniği ile iz sayısından ortam radon konsantrasyonunu bulmak mümkün olmaktadır.

2.4.3.5.Elektrostatik toplama yöntemi

Bu yöntemde pozitif yüklü radon ürünleri, bir odacık içinde uygun voltaj altında hızlandırılarak yüzey engelli alfa dedektörü üzerine toplanır ve spektroskopik olarak ürün aktiviteleri ölçülür. Benzer bir yöntem olan kollektör yönteminde de su veya toprak gibi örneklerdeki radona ait ürünler vakum edilmiş bir kap içindeki kollektöre yüksek voltaj uygulanarak toplanır.

2.4.3.6.Filtre yöntemi

Bu yöntem, havadaki radon ürünleri konsantrasyonunu ölçen tek filtre yöntemi ile havadaki radon ve ürünlerini ayırarak radon bozunma oranını ölçen çift filtre yönteminden oluşur.

Tek filtre yönteminde havadaki radon ve ürünleri arasında radyoaktif dengenin olduğu kabul edilerek ölçümler alınır.

Çift filtre yönteminde ise havadaki radon ve ürünleri arasında radyoaktif dengeye bağlı olmaksızın ölçümler alınır (Barış, 2006).

3.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yeryüzünde bulunan sulardaki radyoaktif kirliliğin başlıca nedeni radon olarak bilinir. Radon konsantrasyonunun belirlenmesine yönelik olarak yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir.,

İstanbul'da Karahan ve arkadaşlarının içme suları ve yüzey suları için yaptıkları çalışmada radon konsantrasyon değerleri 0.019 $Bq \cdot L^{-1}$ ile 0.048 $Bq \cdot L^{-1}$ arasında değişim göstermiştir (Karahan ve ark. 2000).

Çevik ve arkadaşları Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 11 farklı yerleşim yerinden alınan su örneklerinin ^{222}Rn aktiflik konsantrasyonlarını tespit etmiş ve ortalama aktiflik konsantrasyonunu 10.82 Bq/L olarak bulmuşlardır (Çevik ve ark. 2006).

Denizli'de Erees ve arkadaşlarının depremler ile fay hattı üzerindeki termal suların radon konsantrasyonundaki değişimler arasında bağlantı kurmak amacıyla yaptıkları çalışmada konsantrasyon değerlerinin 0.67 $kBq \cdot m^{-3}$ ile 25.90 $kBq \cdot m^{-3}$ arasında değiştiği tespit edilmiştir (Erees ve ark. 2006).

Yalım ve arkadaşları 2007 yılında yaptıkları bir çalışmada Afyonkarahisar ili ve çevresindeki fay hattı boyunca bazı kuyu sularındaki radon konsantrasyonunu ölçmüşler ve değerlerin 0.7 Bq/L ile 31.7 Bq/L arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir (Yalım ve ark. 2007).

Tarım ve arkadaşları Bursa'daki kuyu suları ve çeşme sularındaki radon konsantrasyonlarının değişimlerini çalışmıştır. Radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları, kuyu suları için 1.46-53.64 Bq/L, çeşme suları için 0.91-12.58 Bq/L aralığındadır (Tarim ve ark. 2011).

Yalçın ve arkadaşları Kastomunudaki doğal kaynak suları ve çeşme sularındaki radon konsantrasyonlarının ilkbahar ve yaz mevsimlerindeki değişimlerini çalışmıştır. Radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları, doğal kaynak suları için ilkbahar mevsiminde 0.39-12.73 Bq/L, yaz mevsiminde 0.50-19.21 Bq/L aralığındadır. Çeşme suları için ilkbahar mevsiminde 0.36-9.29 Bq/L, yaz mevsiminde 0.31-13.14 Bq/L aralığındadır (Yalçın ve ark. 2011).

Amerika'da Gosink ve arkadaşlarının içme ve kullanım suyunun karşılandığı birçok sondaj kuyusunda yapmış olduğu çalışmalarda ^{222}Rn konsantrasyonları ortalama olarak 39.96 Bq/L ölçülmüştür (Gosink ve ark. 1990).

Brezilya'da Lima ve Bonotto 1996 yılında yer altı sularında radon konsantrasyonunu ölçmüş ve 25.47 Bq/L ile 784.11 Bq/L arasında değişen konsantrasyon değerleri elde etmişlerdir (Lima ve Bonotto ,1996).

İngiltere'de Al-Masri ve Blackburn, akarsulardan alınan su örneklerinde radon ölçümleri yapmış ve bu ölçümlerin sonuçlarının 0.080 Bq/L ile 1.171 Bq/L aralığında değişen değerler olduğunu tespit etmişlerdir(Al-MasriveBlackburn 1999).

Suudi Arabistan'da şebeke sularında yapılan radon ölçümleri 0.15 Bq/L ile 5.71 Bq/L arasında değişim gösterirken, yeraltı sularında bu değerler 0.89 Bq/L ile 35.44 Bq/L arasında gözlemlenmiştir (Alabdua'aly, 1999).

Venezuella'da Horvath ve arkadaşlarının kaynak sularında yaptıkları çalışmada 0.1 Bq/L ile 576 Bq/L, musluk sularında yaptıkları çalışmada ise 0 Bq/L ile 2 Bq/L arasında değişen radon konsantrasyonu değerleri elde edilmiştir (Horvath ve ark. 2000).

Polonya'da Kochowska ve arkadaşları 45 farklı kuyudan aldıkları su örneklerini incelemiş ve konsantrasyon değerlerinin hepsinin 12 Bq/L'nin altında olduğunu tespit etmişlerdir (Kochowska ve ark. 2004).

Marques ve arkadaşları Brezilya'da yeraltı suları, deniz suyu, musluk suları ve akarsularda radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Yeraltı sularında 0.95 Bq/L ile 36 Bq/L, deniz suyunda 0.3 Bq/L ile 0.54 Bq/L, musluk sularında 0.39 Bq/L ile 0.47Bq/L ve akarsularda 0.43Bq/L ile 2.40 Bq/L değerleri arasında sonuçlar elde etmişlerdir (Marques ve ark. 2004).

Romanya'da Comsa ve arkadaşları yüzey suları, kuyu suları ve kaynak sularında radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Yüzey sularında 0.5 kBq/m^3 ile 10 kBq/m^3, kuyu sularında 0.6 kBq/m^3 ile 112.6 kBq/m^3 ve kaynak sularında 2 kBq/m^3 ile 129.3 kBq/m^3 değerleri arasında sonuçlar elde etmişlerdir (Comsa ve ark. 2008).

Radon konsantrasyonunun günlük ve mevsimsel değişimleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. ABD'de radonun mevsimsel değişimi 4 yıllık periyotta yapılan bir çalışmayla araştırılmış ve Mart ayında maksimum, Ağustos ve Ekim aylarında ise minimum gözlenmiştir (UNSCEAR, 1982). Radon konsantrasyonunun deniz seviyesinden yüksekliğe göre de mevsimsel değişikliğe bağlı olarak farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Dağlık bölgelerde radon konsantrasyonu sıcaklık ve rüzgar etkisiyle dalgalanmalar göstermektedir. Yamanishi'nin (1991) yılında yaptığı bir çalışmada, dağlık bölgelerdeki radon konsantrasyonunun deniz kıyısındakinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Fransa'da yapılan çalışmalarda, radon konsantrasyonunun artan yüksekliğe bağlı olarak azaldığı gösterilmiştir (UNSCEAR, 1988).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1.Materyal

4.1.1. AlphaGUARD Radon Cihazı

Bu tez kapsamında radon ölçümleri için kullanılan, AlphaGUARD PQ 2000PRO, ^{222}Rn kaynaklı alfa radyasyonunu ölçmekte kullanılan taşınabilir nitelikte bir radyasyon dedektörüdür. Alfa radyasyonu maddeyi iyonize edici özelliğe sahip olduğundan dedektör buna uygun bir iyonizasyon odalı cihazdır. İyonizasyon odası paslanmaz çelikten, silindir şeklinde yapılmıştır ve dedektör besleme gerilimi (anot ve katot arası gerilim farkı) DC 750 volttur (Akyıldırım, 2005).

Dedektör toplam hacmi 0.62 litredir, ancak bunun 0.56 litrelik kısmı etkin dedektör olarak kullanılmaktadır.

AlphaGUARD ile uzun süreli ölçümler yapılabilmekte ve ölçümler esnasında doğrudan bir güç kaynağına bağlanabildiği gibi yüksek kapasiteli pilleri sayesinde, seçilen ölçüm moduna göre 10 güne kadar sürekli ölçüm alınabilmektedir. Şekil 4.1'de AlphaGUARD dedektörü görülmektedir.

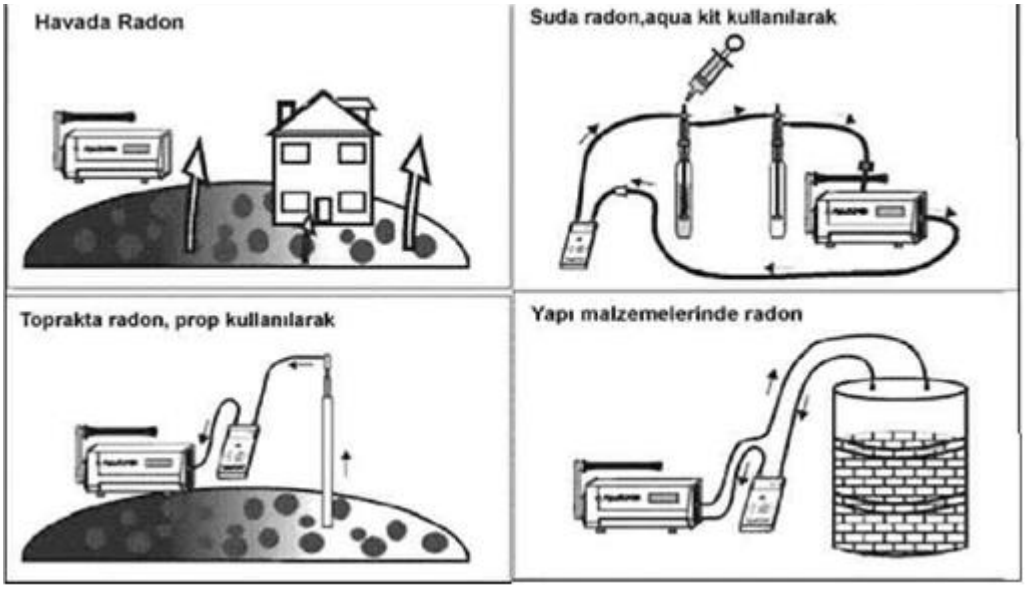


Şekil 4.1. AlphaGUARD PQ 2000PRO dedektörü.

Radon konsantrasyonu ölçümü bu dedektör ile 2 - $2 \cdot 10^6$ Bq/m^3 aralığında yapılabilmektedir. Bu geniş aralığa rağmen sistemin kendisinden gelen %3 gibi bir doğrusallık hata payı bulunmaktadır.

Cihaz amaca ve zaman seçimine bağlı olarak ölçümleri difüzyon modu ve akış modu olmak üzere iki şekilde yapabilmektedir. Uzun süreli ve devamlı ölçümlerde difüzyon modu kullanılır. Bu modda cihaz dedektörü 10 dakikalık veya 1 saatlik döngülerle veri kaydeder. Akış modunda ise veri alma aralıkları 1 dakika veya 10 dakika olarak ayarlanabilir. Bu mod daha çok kısa süreli ölçümlerde çok sayıda veri elde etmek için seçilir.

AlphaGUARD ile havadaki, sudaki, topraktaki ve yapı malzemelerindeki radon ölçülebilmektedir. Havada yapılacak ölçümler için ayrıca bir aparat kullanmak gerekmezken su, toprak ve yapı malzemeleri için yapılacak ölçümlerde AlphaGUARD cihazı ile birlikte Şekil 4.2'te görülen ekipman ve düzenekler kullanılmaktadır. Ayrıca AlphaGUARD radon konsantrasyonu ile eşzamanlı olarak sıcaklık (-15 - +60 °C aralığında), atmosfer basıncı (800 – 1050 mbar aralığında) ve nem oranı (% 0-% 99 rH aralığında) gibi üç farklı iklimsel parametreyi de ölçebilmektedir.



Şekil 4.2. AlphaGUARD ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümü.

AlphaGUARD, çeşitli lokasyonlarda veri toplanması için taşınabilir bir veri toplama sistemi ve aynı zamanda toplanan verilerin saklanabilmesi için bir veri depolama sistemidir. Depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için veri analiz yazılımı ile birlikte çalışır.

Ayrıca yerinde aktif ölçümler yapılmasında kullanılan AlphaGUARD cihazı bilgisayara bağlanarak ölçüm sırasındaki değişimler gözlenebilmektedir.

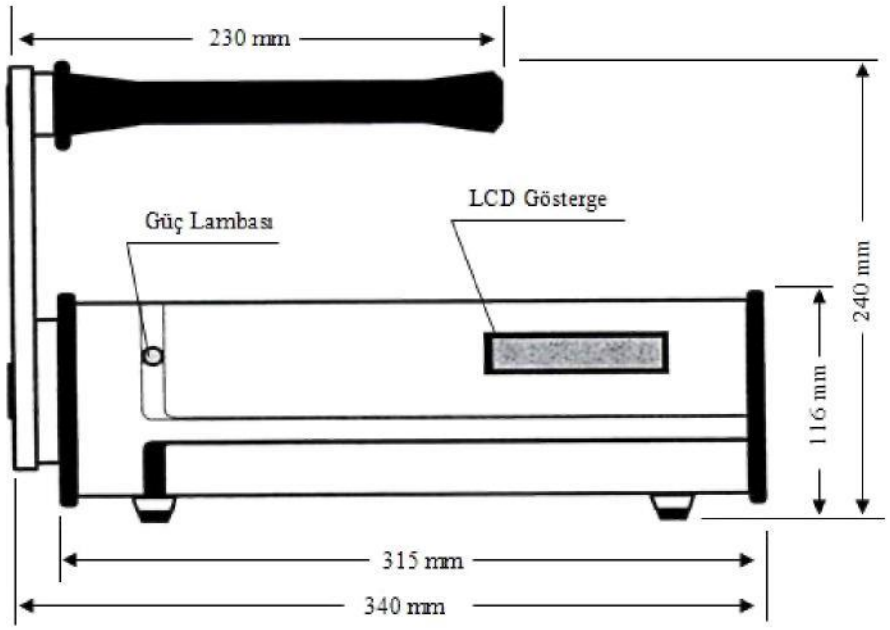
AlphaGUARD radon dedektörü ölçüm ünitesine tümleşik olan bir emme pompası yardımı ile havayı dedektör iyonlaşma odasına çeker. Emme sonucunda iyonlaşma odasına giren radon (^{222}Rn) bozunarak oda içerisinde iyonizasyona sebep olarak elektrik sinyalleri meydana getirir. Bu sürekli emme esnasında radon yan ürünleri bir plaka şeklindeki filtre tarafından tutulur ve filtre plakası üzerinde biriken radon yavru ürünlerinin alfa aktivitesi ise filtre plakasının diğer yüzüne yerleştirilmiş hassas bir sayısal işlemcili modülü olan, alfa duyarlı TN-WL-02 mikroçip modülü vasıtasıyla ölçülür (Akyıldırım 2005). Yapılan tüm ölçümlerden elde edilen elektrik sinyalleri, AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun Counter-Module sayıcı birimine TTL sinyali olarak gönderilir ve dedektörün kalibrasyon bilgileri de kullanılarak yazılım tarafından anlamlı verilere dönüştürülür.

AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörünün yapısı iki temel kısma ayrılarak incelenebilir:

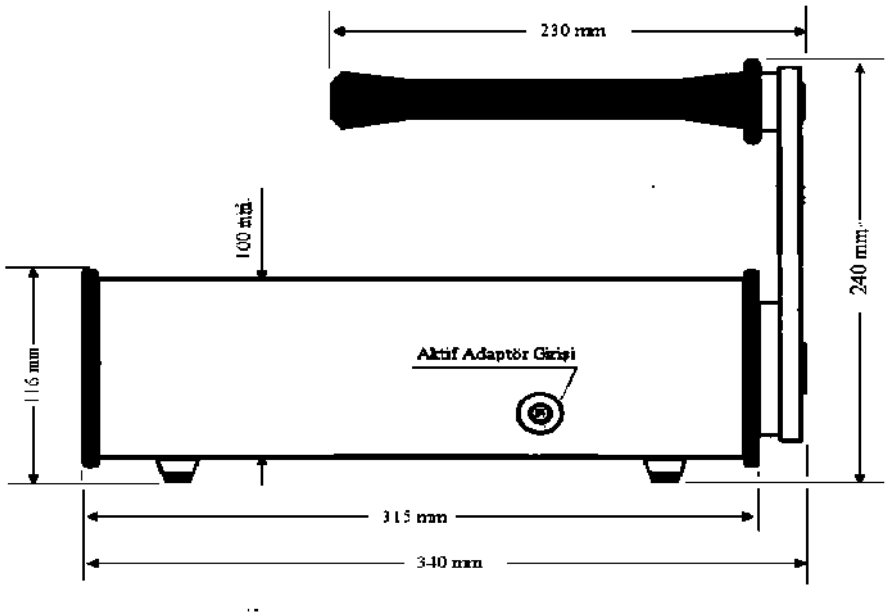
4.1.1.1. Detektörün dış yapısı

AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detektörünün ölçüm yapmasını sağlayan ölçüm ve elektronik aksam bileşenleri dayanıklı bir alüminyum gövde içine yerleştirilmiştir. Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de AlphaGUARD cihazının farklı görünüşleri ile bazı ebatları verilmiştir.

Cihazın ön kısmında, ölçüm sırasında radon konsantrasyonundaki ve iklimsel parametrelerdeki değişimleri ayrı iki satırda gösteren LCD gösterge ve güç lambası bulunmaktadır (Şekil 4.3).

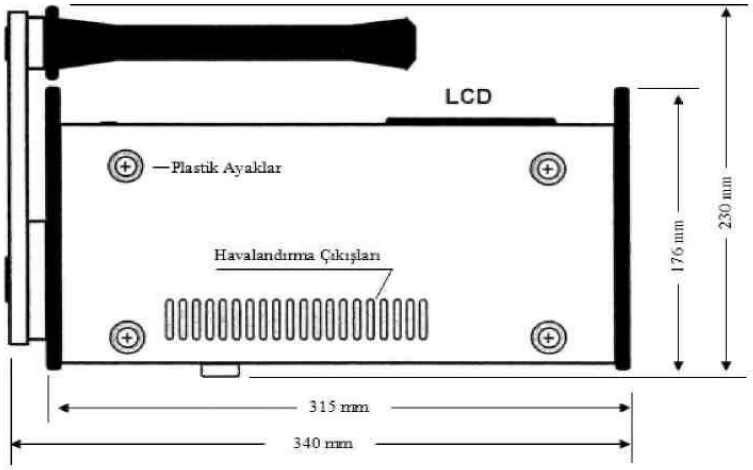


Şekil 4.3 AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları



Şekil 4.4 AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları.

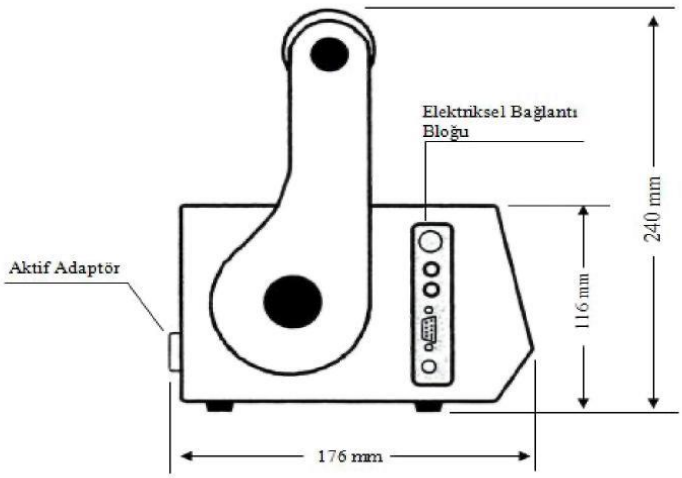
Cihazın arka kısmındaki vida yuvası plastik bir kapakla kapatılmıştır. AlphaGUARD PQ 2000PRO'da bu kapağın arkasında bulunan yuva cihazın iyonizasyon odasıyla buraya bağlanan etkin hava pompası arasındaki bağlantıyı sağlar. Yani buradan dedektör içine hava girişi sağlanmaktadır (Şekil 4.4)



Şekil 4.5. AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları

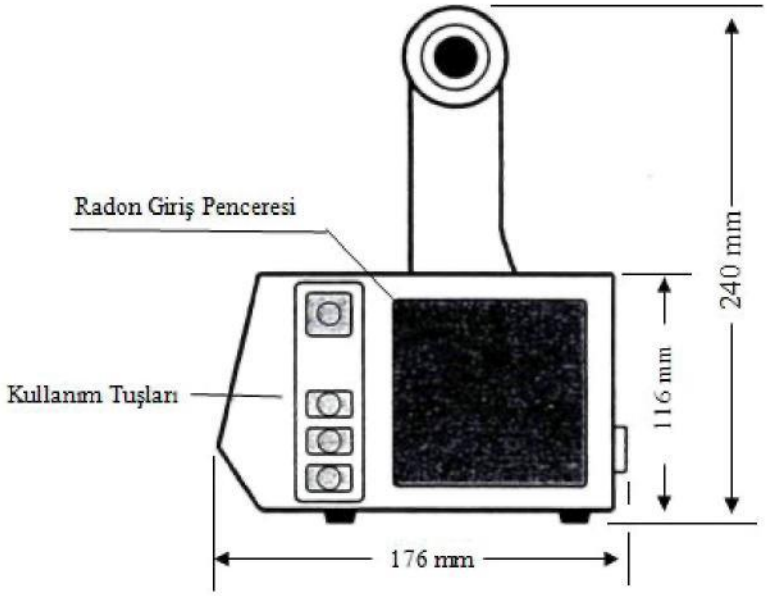
Alt kısımda alüminyum gövdenin yerle temasını kesen plastik ayaklar ve havalandırma çıkışları bulunmaktadır. İç kısımda bulunan bir fan sayesinde, özellikle uzun süreli kullanımlarda cihazın soğutulmasını sağlamak için sıcak hava buralardan dışarıya atılmaktadır (Akyıldırım 2005).

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun taşıma kolunun bağlı olduğu sol kısımda elektrik bağlantı girişleri bulunmaktadır. Burada harici sensor girişi için bir adet MINI-DIN-8S soketi, 2 adet 4mm'lik soket, PC ile bağlantıyı sağlamak için 1 adet RS-232 girişi ve 12 V DC adaptör girişi bulunmaktadır (Şekil 4.6)



Şekil 4.6. Alpha GUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları.

Cihazın sağ tarafında korumayla kapatılmış radon gazı giriş paneli ve AlphaGUARD menü kontrolünü sağlayan tuş takımı bulunmaktadır (Şekil 4.7)



Şekil 4.7. AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları.

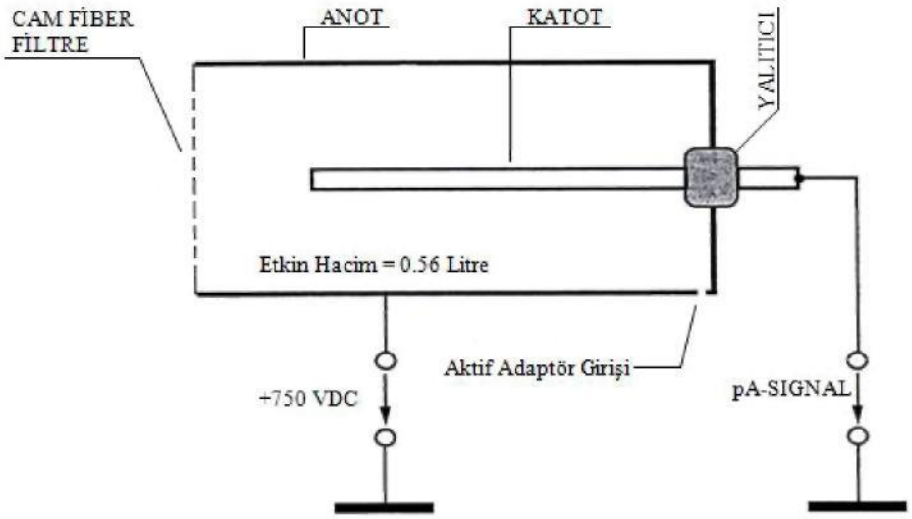
4.1.1.2. Detektörün içyapısı

Cihazın alüminyum korumasının altında ölçüm yapılmasını sağlayan dedektör (iyonizasyon çemberi) ve detektörden gelen sinyalleri işleyip sayısal verilere dönüştüren sinyal işleme birimi DSP (Digital Signal Processing-Sayısal Sinyal İşleme) bulunmaktadır.

AlphaGUARD detektörü, silindirik atma iyonizasyon çemberine sahiptir. Düzenli işletimde radon içeren hava iyonizasyon çemberi içerisine geniş yüzeyli bir cam fiber filtreden geçerek girmektedir. Burada radon bozunum ürünlerinin iyonizasyon odasına girmesi engellenerek sadece gaz halindeki ^{222}Rn'nin geçmesine izin verilmektedir. Aynı zamanda filtre, çemberin iç kısmını toz parçacıklarının birikmesiyle oluşacak kirlenmeden korumaktadır.

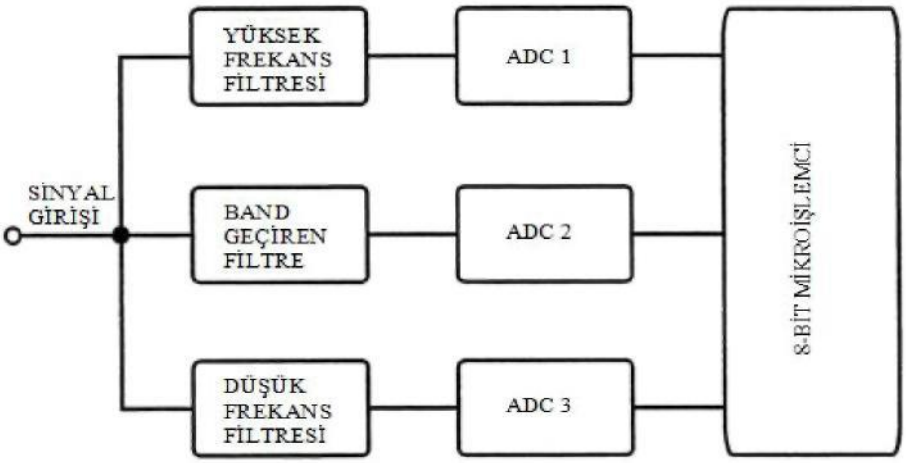
AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun silindirik atma iyonizasyon çemberi 0.56 litrelik bir etkin hacime sahiptir. Cihaza güç verilmesiyle beraber iyonizasyon çemberinin metal iç yüzeyleri 750 voltluk bir iç gerilimle yüklenerek detektörün

anodu (+ kutup) haline gelir. Buna karşılık detektörün yatay ekseni denebilecek eksen boyunca yatay olarak uzanan paslanmaz çelikten yapılmış elektrot çubuk ise 0 volt seviyesindedir ve katot vazifesini görür. Anot ve katot arasındaki yalıtım elektrot çubuğun iyonizasyon çemberi içerisine girdiği noktada bulunan plastik bir parçayla sağlanır. Anot ve katot arasındaki 750 voltluk gerilim farkı sayesinde dedektör etkin hacmi içerisindeki iyonizasyon sonucu ortaya çıkan iyonlardan katyonlar (- yüklü iyonlar) anoda, anyonlar (+ yüklü iyonlar) ise katoda hareket ederler. Böylece yüklerin hareketi sonucu devrede bir akım meydana gelir. Bu akım da AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun elektronik birimi tarafından işlenerek anlamlı veriler haline getirilir (Akyıldırım, 2005). Şekil 3.8'de AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun atma iyonizasyon çemberinin şematik çizimi görülmektedir.



Şekil 4.8. AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi.

AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun elektronik birimi dedektör tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülen radon verilerini alıp işlemekle sorumlu birimdir. Sayısal sinyal işleme birimi DSP, birbirinden bağımsız üç sinyal işleme kanalına sahiptir. Her bir kanalın kendine ait analog-dijital çevirici devresi vardır. Böylece devreye detektörden gelen her ön yükseltici sinyali üç farklı özelliğine göre aynı anda analiz edilebilmektedir. DSP birimine ait blok diyagram Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. AlphaGUARD'ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı.

Birinci kanal (ADC 1) AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun spektroskopi kanalı olarak adlandırılır. Burada sinyaller sadece atma derinliklerine göre değil, aynı zamanda atma şekillerine göre de sınıflandırılmaktadır. DSP teknolojisine sahip olmayan iyonizasyon odalı detektörlerde yüksek seviyedeki radon konsantrasyonlarında meydana gelen α olayları multipletlere (üçlülere) ayrılma eğilimindedirler ve bu sinyalleri daha karmaşık hale getirmektedir. Ancak AlphaGUARD PQ 2000PRO'da da dedektör sisteminde kullanılan DSP teknolojisi bu durumu daha karmaşık bir matematiksel algoritma, çapraz korelasyon (cross-correlation) algoritması kullanarak meydana gelen gürültüyü seçerek radon sinyalinden ayırt edebilmektedir. Elde edilen sinyal (primer sinyal) kısa zaman aralıklarında örneklenir ve orijinal sinyalin sayısal değerler halinde örnekleri çıkarılarak AlphaGUARD elektronik devresinin son kısmı olan kontrol birimi (hızlı mikro kontrolör) tarafından işlenir.

ADC 1 yani spektroskopik kanalda örneklendirilen veriler mikro kontrol birim tarafından her α pikinden elde edilen atma genliği (= klasik alfa spektrumu) ve atmanın şekli için de tanımlama bilgileri şekline dönüştürülür. Dedektör tarafından toplanan bu bilgiler x ekseni α piki genliğini (= alfa enerjisini), y ekseni zaman birimi başına meydana gelen α bozunumu ve z ekseni de atma şekli olmak üzere üç eksenli bir spektrum halinde sunulabilir. ADC 2 yani ikinci kanal sadece yüksek radon seviyelerinde devreye girmektedir. Kanalın girişindeki bant geçiren filtre

devresi doğru Boyutlandırıldığında gürültünün genliği çemberin toplam iyonizasyon akımının kareköküyle doğru orantılı olarak değişmekte ve bu bağıntı kullanılarak piko amper seviyesindeki iyonizasyon akımı kesin olarak ölçülebilmektedir. ADC 3 yani üçüncü kanal ise klasik bir DC integratörlü akım ölçümü gerçekleştiren devredir (AK Yıldırım 2005).

Bu üç sinyal karakteristiğinin temelinde altı değişik matematiksel algoritma yatmaktadır. Tüm işlemler sonucunda optimize edilmiş konsantrasyon prosedürü vasıtasıyla gerçek radon konsantrasyonu belirlenmektedir. Her bir radon değeri yaklaşık olarak 50 milyon matematiksel işlemin sonucunda elde edilir.(Akar 2010)

4.2.Yöntem

4.2.1. Numune Alımı

Çalışma kapsamında, su örneklemelerinde 500 mL'lik plastik şişeler kullanılmıştır. Kaynaklardan örnek almadan önce su yaklaşık 5 dakika dışarı akıtılmaya bırakılarak temiz su örneği elde edilmiştir. Temiz su elde edildikten sonra ağzına kadar boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Su örnekleri ilkbahar da mayıs ayı boyunca ve yaz mevsiminde ağustos ayı boyunca sabah 08:00 ile 10:00 saatleri arasında alınmış ve alınan su örnekleri ortalama 2 saatlik bir sürede Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik laboratuarına götürülerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Bu su örnekleri alındığında hava sıcaklığı Mayıs ayında 6.8^0C ile 25.9 ^{0}C iken ağustos ayında 13.1^0C ile 35 ^{0}C arasında değişmektedir.

4.2.2. Su Numunelerinin Analizi İçin Ölçüm Düzeneğinin Hazırlanması

Sudaki radon konsantrasyonu ölçümü için, ek bir donanım olan AquaKIT, pompa (AlphaPUMP) ve AlphaGUARD PQ 2000PRO'dan oluşan Şekil 3.10'da şematik olarak gösterilen düzenek aşağıdaki bağlantılar gerçekleştirilerek kurulur.

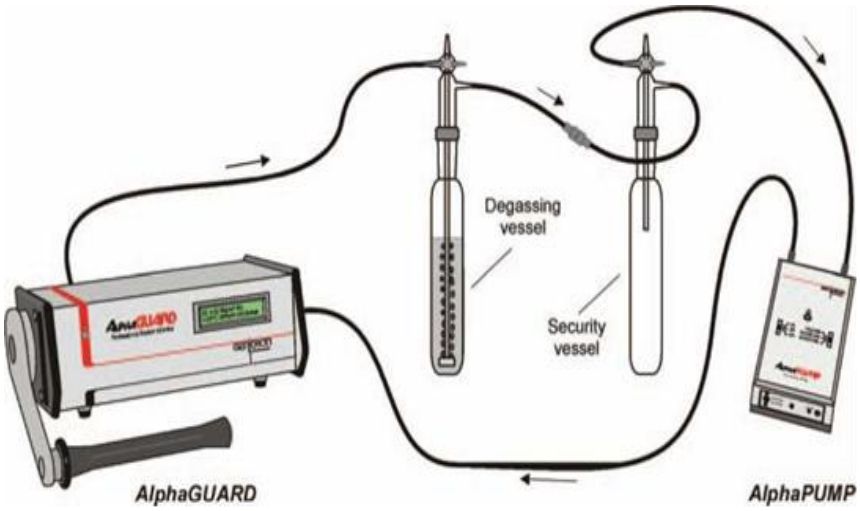
1) Arıtma şişesinin (degassing vessel) alt yan başlığı güvenlik şişesinin (security vessel) alt yan başlığına 150 ml'lik iki tane kilitli tüp ile bağlanır.

2) Güvenlik şişesinin üst yan başlığı pompanın ‘IN’ başlığına 400 mm uzunluğundaki tüp ile bağlanır.

3) Pompanın ‘OUT’ başlığı 500 mm uzunluğundaki tüp ile AlphaGUARD’ın arka kısmında bulunan ‘Aktive Adaptör (aktif adaptör)’ girişine bağlanır.

4) AlphaGUARD’ın sağ tarafındaki ‘Flow Adapter (akış adaptörü)’ girişi 600 ml’lik tüp ile arıtma şişesinin üst yan başlığına bağlanır.

Yukarıda ifade edilen tüm bağlantılar gerçekleştirildiğinde su numunelerinde radon konsantrasyonu ölçümü için kullanılan 1098 ml dâhili hacimli ölçüm düzeneği hazırlanmış olur (Akar, 2010).



Şekil 4.10. Sudaki radon ölçüm düzeneği.

4.2.3. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile Sudaki Radon Ölçümü

1) Şekil 3.10’de verilen ölçüm düzeneği kurulur.

2) AlphaGUARD sayacı açılır ve ölçüm modu ‘1 min FLOW’ olarak seçilir (bu ayarlama AlphaGUARD menüsünden veya AlphaEXPERT yazılımı ile yapılabilir).

3) Arıtma şişesini örnekle doldurmadan önce 10 dakika süreyle ölçüm yapılır. Bu ölçüm değeri doğal fon değeri olarak kaydedilir (bu değer (4.1) eşitliğindeki C_0 değeridir).

4) Arıtma ve güvenlik şişelerinin başlıkları saat 3 konumuna getirilir.

5) Plastik enjektör, ölçümü yapılacak su örneği ile doldurulur.

6) Enjektör arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığına takılır ve 100 ml'lik numune yavaşça arıtma şişesi içine boşaltılır.

7) Arıtma ve güvenlik şişelerinin saat 3 konumundaki başlıkları hızlı şekilde saat 6 konumuna getirilir. Böylece kapalı gaz çevrimi elde edilmiş olur.

8) Plastik enjektör, arıtma şişesinin düşey bağlantı başlığından çıkarılır.

9) Pompanın (AlphaPUMP) performans seviyesi '0.3 L/min' hava akış oranına ayarlanır ve pompa açılır. Böylece ölçüm başlar.

10) 10 dakikalık döngü işleminden sonra pompa kapatılır, fakat AlphaGUARD cihazı radon ölçümünün devam etmesi için 20 dakika daha açık bırakılır.

11) Ölçümü yapılan su örneği arıtma şişesi içinden boşaltılır ve düzenek tekrar kurulur. AlphaGUARD'ın arka kısmında bulunan aktif adaptörün tüp bağlantısı kesilir.

12) Pompanın performans seviyesi '1 L/min' hava akış oranına ayarlanır ve açılır (ölçüm düzeneği ortam havası ile temizlenir).

13) Ölçüm düzeneğinin temizlenme işlemi radon değeri ortam konsantrasyonuna erişinceye kadar devam eder. Bu aşamadan sonra başka bir örnek için ölçüm prosedürü başlatılabilir.

14) Ölçüm boyunca depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için AlphaGUARD bilgisayara bağlanır ve veri analiz yazılımı (AlphaEXPERT) ile birlikte çalışır. (Akar, 2010)

4.3 Sudaki Radon Hesaplamaları

Su örneklerindeki radon konsantrasyonu hesabı radon cihazında belirtilen radon konsantrasyonu üzerine kurulur. Yani ölçüm değeri, örneğin gerçek radon konsantrasyonu değildir. Çünkü su içindeki radon, dedektör içine düzenek içindeki hava ile sürüklenmektedir ve havanın da bu değere katkısı gerçekleşmektedir. Bu nedenle numunenin içindeki radon konsantrasyonu hesabı aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılır.

$$C_{water} = \frac{C_{air}\left(\frac{V_{system} - V_{sample}}{V_{sample}} + k\right) - C_0}{1000} \qquad (4.1)$$

Burada,

C_{water} – su örneğinin radon konsantrasyonu (Bq/L);

C_{air} – ölçüm sonucunda cihazda belirtilen konsantrasyon değeri (Bq/m^3);

C_0 – arka plan (doğal fon) konsantrasyonu (Bq/m^3);

V_{system} – ölçüm düzeneğinin dahili hacmi (mL);

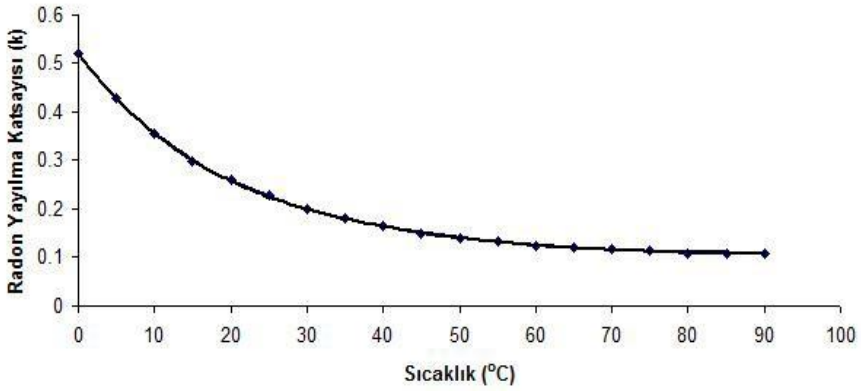
V_{sample} – su örneğinin hacmi (mL);

k - radon yayılma katsayısı'dır.

Radon yayılma katsayısı (k), sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermekte ve artan sıcaklık değerlerine karşılık azalmaktadır (Şekil 4.12). Bunun nedeni sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı fazdan gaz faza geçişinin hız kazanmasıdır. Burada k,

$$\mathrm{k} = \frac{\text{Sıvı fazdaki konsantrasyon değeri}}{\text{Gaz fazdaki konsantrasyon değeri}}$$

olarak tanımlanır.



Şekil 4.11 Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği.

4.3.1. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları

Belirli zaman aralıklarında her kaynak için 3 numune alındı. Bu numuneler için ortalama radon konsantrasyonu değerleri (4.2) denklemiyle hesaplandı.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{N} \frac{X_i}{N} \tag{4.2}$$

4.3.2. Standart hata

Hesaplanan ortalama değerlerin standart hata hesabını bulmak amacıyla standart sapma hesaplamaları ;

$$\boldsymbol{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{N}(X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \tag{4.3}$$

denklemi kullanılarak yapıldı.

Standart sapma hesaplandıktan sonra, ortalama değerlerin standart hata hesabı ;

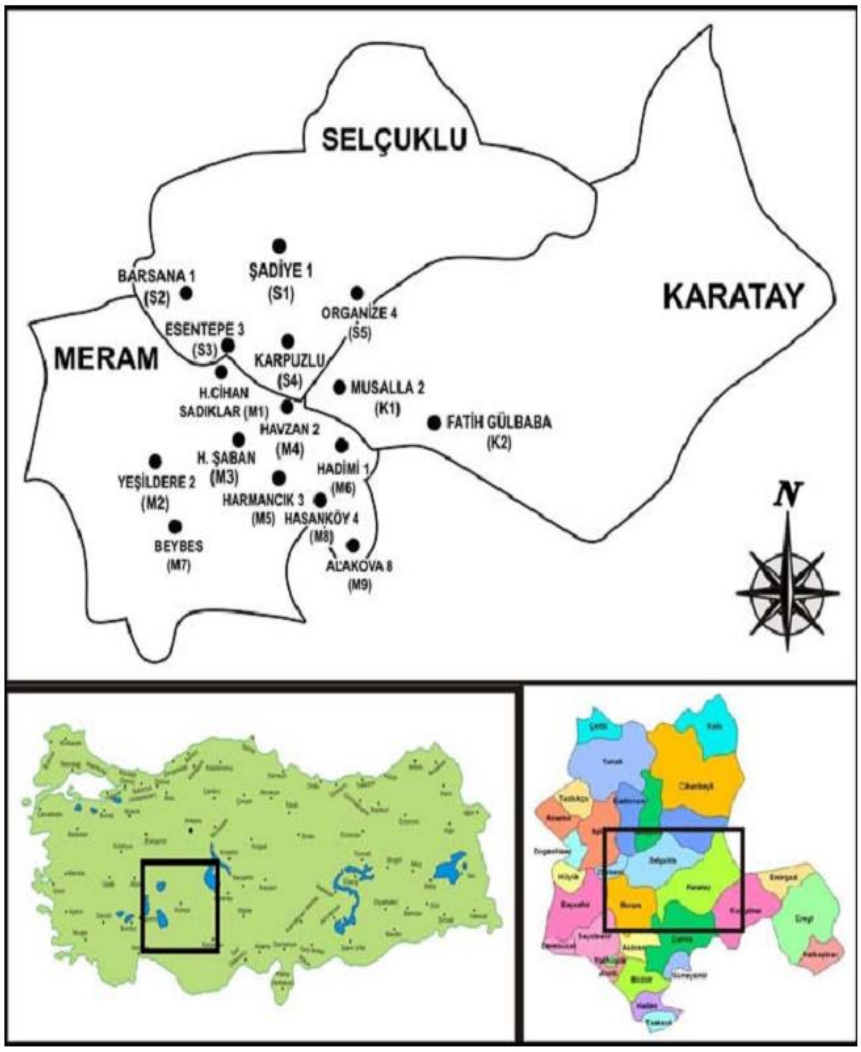
$$\text{S.H} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \tag{4.4}$$

denklemi kullanılarak yapıldı (Akar, 2010).

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1 Araştırma Sonuçları

Konya'nın merkez ilçeleri Meram, Selçuklu ve Karatay 'ın içme suyunun büyük bir kısmı kuyu sularından sağlanmaktadır. Konya'nın merkez ilçelerinde 250 civarı içme kuyusu bulunup bu kuyular su ihtiyacına göre aktif hale getirilmektedir. Ölçüm yaptığımız ilkbahar (Mayıs 2012) ve yaz (Ağustos 2012) mevsimlerinde 60 civarı kuyu aktif halde olup bu sayı su ihtiyacına göre değişmektedir. . Bu kuyulardan 9 tane Meram, 5 tane Selçuklu 2 tane Karatay bölgesinden olmak üzere yaklaşık homojen olarak seçilen 16 içme kuyu suyundaki radon konsantrasyonunu incelendi.



Şekil 5.1. Örnekleme alanı

Konya Büyükşehir Belediyesi Koski Genel Müdürlüğünden kuyuların; jeolojik yapıları, derinlikleri ve koordinatları içeren veriler alınarak kuyulara ait çizelgeler oluşturuldu.

Seçilen 16 kuyudan ilkbahar ve yaz mevsimlerinde Her bir kaynaktan 500 mL'lik su numuneleri alınarak Selçuk Üniversitesi Fizik Bölümü nükleer fizik laboratuarında ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır

Kuyu su numuneleri için, AlphaGUARD PQ 2000PRO radon dedektörü kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlere ait verilerin ortalama değerleri ;

1.Her ölçümden önce 10 dakikalık süre ile doğal fon (C_0) ölçümleri yapılmış ve 10 dakikalık ortalama değerler kaydedildi

2. Ölçüm sonucunda cihazda belirtilen radon konsantrasyon değeri (C_{air}) kaydedildi

3, Ortalama sıcaklık değeri(T) kaydedildi

4. Denklem (4.1) kulanılarak su örneğinin radon konsantrasyonu (C_{water}) hesaplandı ve kaydedildi.

5. Üç ölçüm için ayrı ayrı hesaplann C_{water}' ların aritmetik ortalaması alınarak denklem (4. 2) ortalama radon konsantrasyon değeri (C_{mean}) hesaplandı ve kaydedildi.

6. Denklem (4.3) ve (4.4) kullanılarak ortalama standart hata (S.H.) hesaplandı ve kaydedildi.

Yukardaki gibi kaydedilen veriler kullanılarak her bir kuyu için ilkbahar ve yaz dönemlerine ait çizelgeler oluşturuldu.

M1 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.1. M1 **(Hoca Cihan Sadıklar)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-2 m arası	**Nebati toprak**	294 m	451637 E-4195889 N Rakım :1068 m
2-28 m arası	**Kumlu çakıl**		
110-140 m arası	**Killi ince kum**		
140-150 m arası	**Kil**		
150-160 m arası	**İnce çakıl kum**		
160-200m arası	**Çakıllı kil andezit kökenli**		

Çizelge 5.2. M1 (Hoca Cihan Sadıklar) nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	18	34	70
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	2865	2801	2365
T (^{0} K)	21.3	21.1	20.9
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	29,4029	28,336	23,6175
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**27,2513 ± 1,0666**		

Çizelge 5.3. M1 **(Hoca Cihan Sadıklar)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	96	28	27
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	2487	2469	1990
T (^0K)	26.4	26.2	27
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	25,3650	25,2514	20,3558
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**23,6574 ± 1,6511**		

M2 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.4. M2 **(Yeşildere)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-2 m arası	**Nebati toprak**	110 m	4446109 E-4191897 N Rakım :1083 m
2-13 m arası	**Az çakıllı kumlu silt**		
13-29 m arası	**Killi çakıl**		
29-110 m arası	**Konglomera**		

Çizelge 5.5. M2 **(Yeşildere)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	11	19	48
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1009	921	961
T (^0K)	22,3	22,1	22
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	10,3436	9,4337	9,8159
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**9,8644 ± 0,2637**		

Çizelge 5.6. M2 **(Yeşildere)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	44	50	40
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	512	584	506
T (^0K)	26,7	26,6	26,4
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	5,1968	5,9281	5,1402
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**5,4217 ± 0,2537**		

M3 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.7. M3 **(Hacışaban)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-12 m arası	**Siltli kum**		
12-36 m arası	**Killi kumlu çakıl**		450213 E-4191926 N
36-41 m arası	**Çakıl**	147 m	
41-60 m arası	**Killi çakıl**		Rakım :1043 m
60-82 m arası	**Çakıl**		
82-89 m arası	**Killi kumlu çakıl**		
89-111 m arası	**Kumlu çakıl**		
111-127 m arası	**Çakıllı kumlu kil**		
127-131 m arası	**Kil**		
131-147 m arası	**Az çakıllı kil**		

Çizelge 5.8. M3 **(Hacışaban)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	35	33	37
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1040	922	940
T (^{0} K)	22,7	22,6	22,5
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	10,6350	9,4269	9,6082
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**9,8900 ± 0,3761**		

Çizelge 5.9. M3 **(Hacışaban)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
C_0 ($Bq.L^{-1}$)	30	37	67
C_{air} ($Bq.m^{-3}$)	889	900	768
T (^{0} K)	26,5	26,3	26,1
$C_{water.}$ ($Bq.L^{-1}$)	9,0708	9,1773	7,7967
C_{mean}±S.H ($Bq.L^{-1}$)	**8,6802 ± 0,4427**		

M4 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.10. M4 **(Havzan 2)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-4 m arası	**Nebati toprak**		
4-10 m arası	**Kumlu kil**		453661 E-4192644 N
20-32 m arası	**Az killi kum**	120m	
32-41 m arası	**Çakıl**		Rakım :1025 m
41-51 m arası	**Çakıllı kil**		
51-72 m arası	**Kil**		
72-82 m arası	**Çakıllı kumlu kil**		
82-90 m arası	**Az çakıllı az kımlu kil**		
90-110 m arası	**Kil**		
110-116 m arası	**Kumlu çakıllı kil**		
116-120m arası	**Kil**		

Çizelge 5.11. M4 **(Havzan 2)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	22	26	40
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1119	1051	1122
T (^{0} K)	22,9	22,8	22,8
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	11,4570	10,7561	11,4705
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**11,4705 ± 0,2359**		

Çizelge 5.12. M4 **(Havzan 2)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	37	29	42
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1003	960	953
T (^{0} K)	26,2	26,5	26,7
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	10,2330	9,7986	9,7129
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**9,9148 ± 0,1609**		

M5 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.13. M5 **(Harmancık 3)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-7 m arası	**Nebati toprak**	160 m	452399 E-4189260 N Rakım :1030,4 m
7-16 m arası	**Siltli kum**		
16-66 m arası	**Killi çakıl**		
66-87 m arası	**Çakıl**		
87-122 m arası	**Killi çakıl**		
122-146 m arası	**Konglamera**		
146-160 m arası	**Kil**		

Çizelge 5.14. M5 **(Harmancık 3)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	26	31	21
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1178	1040	1164
T (^0K)	23,1	22,1	21,7
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	12,0568	10,6431	11,5435
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**11,5435 ± 0,4517**		

Çizelge 5.15. M5 **(Harmancık 3)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	5	52	32
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1176	1370	1206
T (^0K)	27,9	28	28,1
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	12,0253	13,9622	12,3040
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**12,7638 ± 0,6045**		

M6 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.16. M6 **(Hadimi 1)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-4 m arası	**Nebati toprak**	96 m	4550136E-4189314 N Rakım :1021 m
4-12 m arası	**Çakıllı kumlu siltli kil**		
12-36 m arası	**Killi çakıl**		
36-40 m arası	**Çakıl**		
40-80 m arası	**Çakıllı kil**		
80-85 m arası	**Killi çakıl**		
85-96 m arası	**Konglomera**		

Çizelge 5.17. M6 **(Hadimi 1)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	90	24	20
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.\ m^{-3}$)	2422	2432	2165
T (^0K)	22.2	22.7	22.8
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	24,7667	24,9274	23,9615
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**23,9615 ± 0,8866**		

Çizelge 5.18. M6 **(Hadimi 1)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	25	61	98
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.\ m^{-3}$)	2589	2214	2190
T (^{0} K)	26.4	26.3	26.1
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	23,4803	22,6063	22,3260
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**23,8042 ± 1,3863**		

M7 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.19. M7 **(Beybes)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-4 m arası	**Nebati toprak**	89 m	4490147 E-4184633N Rakım :1035,7m
4-14 m arası	**Çakıllı kumlu kil**		
14-52 m arası	**Az çakıllı kil**		
52-125 m arası	**Serpantin**		

Çizelge 5.20. M7 **(Beybes)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	35	24	18
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	255	217	205
T (^{0} K)	21,9	22,9	24,3
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	2,5825	2,2020	2,0831
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**2,2892 ± 0,1688**		

Çizelge 5.21. M7 **(Beybes)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	37	77	12
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.\ m^{-3}$)	179	124	131
T (^0K)	26.6	26.4	26.1
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	1,7953	1,1924	1,3293
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**1,439 ± 0.1824**		

M8 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.22 .M8 **(Hasanköy 4)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı	**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-2 m arası **Nebati toprak** 2-86 m arası **Çakıllı kumlu kil ardalanmalı**	86 m	4543517E-4186080 N Rakım :1020 m

Çizelge 5.23. M8 **(Hasanköy 4)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	31	20	22
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1028	961	830
T (^0K)	21,9	22,8	22,9
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	10,6350	9,8388	8,4924
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**9,6175 ± 0,5755**		

Çizelge 5.24. M8 **(Hasanköy 4)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	53	25	71
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1082	1068	920
T (^0K)	28,1	28,2	28,2
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	11,0146	10,8989	9,3391
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**10,4175 ± 0,5402**		

M9 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.25. M9 **(Alakova 8)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-4 m arası	**Nebati toprak**	84 m	456672 E-4182391 N Rakım :1009,4 m
4-8 m arası	**Siltli kumlu kil**		
8-14 m arası	**Çakıllı kil**		
14-20 m arası	**Kil**		
20-28 m arası	**Az killi kum**		
28-42 m arası	**Az killi çakıl**		
42-52 m arası	**Kil**		
52-64 m arası	**Marn**		
64-72 m arası	**Kireç taşı**		
72-84 m arası	**Marn kireç taşı**		

Çizelge 5.26. M9 **(Alakova 8)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	30	34	68
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1649	1396	1408
T (^0K)	22.7	22.8	22.7
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	16,8881	14,2875	14,3775
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**15,1843 ± 0,8522**		

Çizelge 5.27. M9 **(Alakova 8))** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	9	18	50
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1392	1418	1266
T (^0K)	27,6	27,3	27,2
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	14,2330	14,4922	12,9055
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**13,8769 ± 0.4914**		

S1 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.28. S1 **(Şadiye 1)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-1 m arası	**Nebati toprak**		
1-7 m arası	**Siltli kum**		458138 E-4214452 N
7-13 m arası	**Killi çakıl**	150m	
13-30 m arası	**Az çakıllı kil**		Rakım :1145 m
30-44 m arası	**Killi çakıl**		
44-49 m arası	**Az çakıllı kil**		
49-56 m arası	**Kumlu killi çakıl**		
56-67 m arası	**Çakıl**		
70-88 m arası	**Az çakıllı kil**		
88-104 m arası	**Killi çakıl**		
104-110 m arası	**Kil**		
110-150 m arası	**Az çakıllı kil**		

Çizelge 5.29. S1 **(Şadiye 1)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	11	37	24
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	2151	1970	1650
T (^0K)	22,3	21,9	21,8
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	22,0631	20,1849	16,9142
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**19,7207 ± 1,5043**		

Çizelge 5.30. S1 **(Şadiye 1)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	21	23	50
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{3}$)	1593	1626	1247
T (^0K)	26,9	27,2	27
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	16,2833	16,6165	12,7123
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**15,2057± 1,2495**		

S2 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.31. S2 **(Barsana 1)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-4 m arası	**Nebati toprak**	150 m	453634 E-4200402 N Rakım : 1045 m
4-60 m arası	**Az killi çakıl**		
60-84 m arası	**Killi çakıl**		
84-95 m arası	**Az killi çakıl**		
95-119 m arası	**Çakıllı kil**		
119-132 m arası	**Kil**		
132-136 m arası	**Çakıl**		
136-148 m arası	**Konglomera**		

Çizelge 5.32. S2 **(Barsana1)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	2	43	72
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1101	1172	1068
T (^{0} K)	22,1	22,3	22,4
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	11,2982	11,9843	10,8873
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**11,3899 ± 0.3199**		

Çizelge 5.33. S2 **(Barsana 1)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
C_0 ($Bq.L^{-1}$)	0	29	13
C_{air} ($Bq.m^{-3}$)	897	794	793
T (^0K)	26.4	29,9	29,6
$C_{water.}$ ($Bq.L^{-1}$)	9,1831	8,1149	8,0928
C_{mean}±S.H ($Bq.L^{-1}$)	**8,4636 ± 0,3598**		

S3 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.33. S3 **(Esentepe 3)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-4 m arası	**Nebati toprak**		
4-10 m arası	**Kumlu kil**		450213 E-4191926 N
36-41 m arası	**Çakıl**	147 m	
41-60 m arası	**Killi çakıl**		Rakım :1043 m
60-82 m arası	**Çakıl**		
82-89 m arası	**Killi kumlu çakıl**		
89-111 m arası	**Kumlu çakıl**		
111-127 m arası	**Çakıllı kumlu kil**		
127-131 m arası	**Kil**		
131-147 m arası	**Az çakıllı kil**		

Çizelge 5.35. S3 **(Esentepe 3)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	35	33	37
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1040	922	940
T (^{0} K)	22,7	22,6	22,5
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	10,6350	9,4269	9,6082
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**9,8900 ± 0,3761**		

Çizelge 5.36. S3 **(Esentepe 3)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

ölçüm verilerinini ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	30	37	67
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{3}$)	889	900	768
T (^{0} K)	26,5	26,3	26,1
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	9,0708	9,1773	7,7967
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**8,6802 ± 0,4427**		

S4 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.37. S4**(Karpuzlu)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-1 m arası	**Nebati toprak**	300 m	454509 E-4195937N Rakım :1030 m
1-10 m arası	**Kumlu kil**		
10-100 m arası	**Killi çakıl**		
100-300 m arası	**Az killi çakıl**		

Çizelge 5.38. S4 **(Karpuzlu)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	57	16	36
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	2141	2052	1991
T (^{0} K)	19,5	19,4	19,7
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	21,9573	21,0848	20,4329
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**21,1583 ± 0,4415**		

Çizelge 5.39. S4 (Karpuzlu)) nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	78	56	22
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	2824	2796	2440
T (^0K)	26.9	26.8	26.6
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	28,8256	28,5625	24,9552
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**27,4477 ± 1,2485**		

S5 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.40. S5 **(Organize 4)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-2 m arası	**Nebati toprak**	120 m	455772 E-4197405 N Rakım :1015,5 m
2-22 m arası	**Kumlu kil**		
22-115 m arası	**Çakıl**		
115-120 m arası	**Killi çakıl**		

Çizelge 5.41. S5 (Organize 4) nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	35	33	37
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1040	922	940
T (^{0} K)	20.7	21,5	21,7
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	15,3543	12,4037	10,8340
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**120,864 ± 1,3250**		

Çizelge 5.42. S5 **(Organize 4)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	8	36	143
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1165	1222	1279
T (^{0}K)	26.3	26.8	26.9
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	11,9195	12,4718	12,9475
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**12,4452 ± 0,2970**		

K1 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.43. K1 **(Musalla 2)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-4 m arası	**Nebati toprak**	125 m	455798E-4194760 N Rakım :1014 m
4-34 m arası	**Kumlu kil**		
34-45 m arası	**Az kumlu kil**		
45-54 m arası	**Kum**		
54-65 m arası	**Kumlı kil**		
65-80 m arası	**Kil**		
80-92 m arası	**Az killi siltli kum**		
92-96 m arası	**Kum**		
96-100 m arası	**Çakıllı kum**		
100-106 m arası	**Kil**		
106-116 m arası	**Çakıllı kumlu kil**		
116-125 m arası	**Kil**		

Çizelge 5.44. K1 **Musalla 2)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinini ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	10	38	11
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1377	1317	1308
T (^0K)	22,4	22,1	21,9
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	14,1202	13,4791	13,4155
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**13,6716 ± 0,2250**		

Çizelge 5.45. K1 **(Musalla 2)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	43	21	14
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1147	1091	1069
T (^0K)	28	27,4	27,1
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	11,4501	11,1425	10,9261
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**11,1729 ± 0,1520**		

K2 NOLU KUYUYA AİT VERİLER

Çizelge 5.46. K2 **(Fatih Gülbaba)** kuyu bilgileri

Kuyuların jeolojik yapısı		**Kuyunun derinliği**	**Kuyunun koordinatları**
0-4 m arası 4-80 m arası 80-84 m arası	**Nebati toprak** **Killi kumlu çakıl** **Serpantin**	84 m	459784 E-4191592 N Rakım :1007 m

Çizelge 5.47. K2 **(Fatih Gülbaba)** nolu kuyuya ait **ilkbahar** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	35	33	37
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	1040	922	940
T (^0K)	21,8	21,8	21,9
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	8,1453	8,2700	6,3127
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**7,5760 ± 0,6326**		

Çizelge 5.48. K2 (**Fatih Gülbaba)** nolu kuyuya ait **yaz** ölçüm verilerinin ortalama değerleri

Ölçüm verilerinin ortalama değerleri	**1.ölçüm**	**2.ölçüm**	**3.ölçüm**
$\mathbf{C_0}$ ($Bq.L^{-1}$)	43	89	40
$\mathbf{C_{air}}$ ($Bq.m^{-3}$)	783	828	735
T (^{0} K)	28,3	28,2	27,9
$\mathbf{C_{water.}}$ ($Bq.L^{-1}$)	7,9654	8,3800	7,4789
$\mathbf{C_{mean}}$**±S.H** ($Bq.L^{-1}$)	**7,9414 ± 0,4510**		

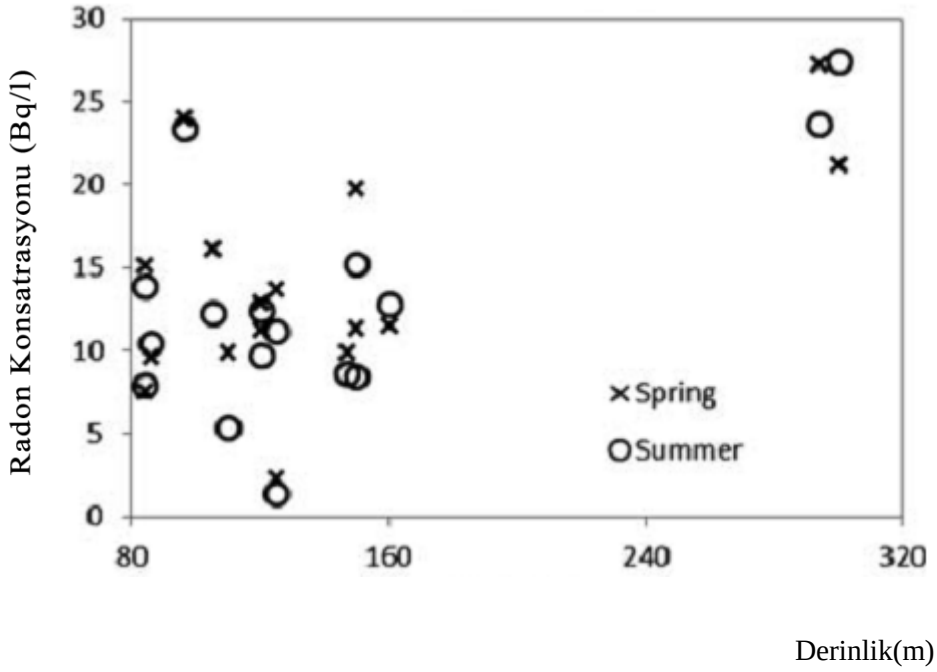
5.2. Tartışma

Kuyu suyu örneklerinin radon içeriği Konya şehrinin merkezinde bulunan çeşitli derinliklerde ve akiferleri temsil eden kuyularda ölçülmüştür. Radon konsantrasyon seviyesi Çizelge 5.49'da verildiği gibi ilkbahar mevsiminde 2,2892±0,1688 $Bq.L^{-1}$ ile 27,2513±1,066 $Bq.L^{-1}$ arasında iken yaz mevsiminde 1,4390±0,1824 $Bq.L^{-1}$ ile 27,4477±1,2485 $Bq.L^{-1}$ arasındadır.

Çizelge 5.49. Konya şehrindeki kuyu suyu örneklerinin radon konsantrasyonu

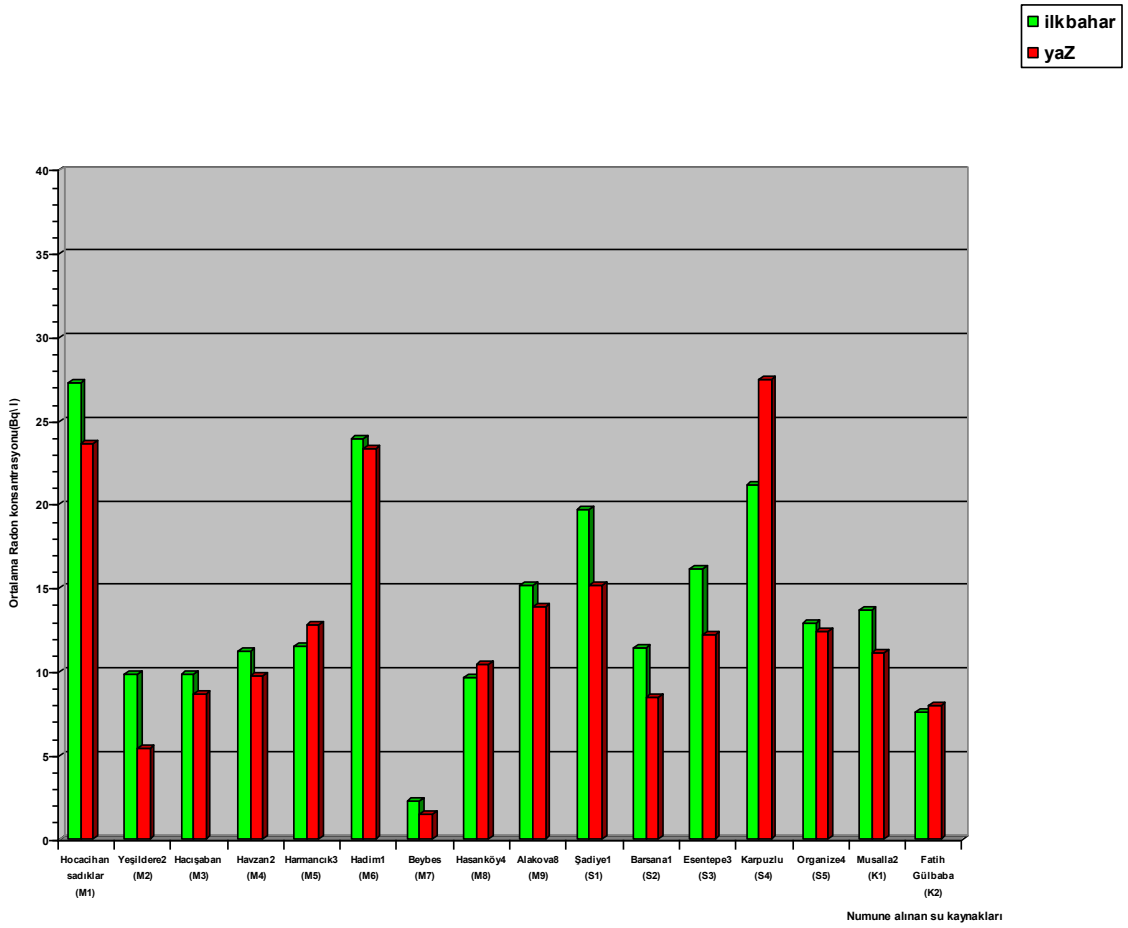
		Radon Konsantrasyonu±Standart Hata(Bq/l)	
Kuyular	Derinlik	İlkbahar	Yaz
Hocacihan sadıklar (M1)	294	27.2513±1.066	23.6574±1.6511
Yeşildere2 (M2)	110	9.8644±0.2637	5.4217±0.2537
Hacışaban (M3)	147	9.8900±0.3761	8.6802±0.4427
Havzan 2 (M4)	120	11.2278±0.2359	9.7159±0.1609
Harmancık 3 (M5)	160	11.5435±0.4517	12.7638±0.6045
Hadimi 1 (M6)	96	23.9615±0.8866	23.3260±1.3863
Beybes (M7)	125	2.2892±0.1688	1.4390±0.1824
Hasanköy 4 (M8)	86	9.6175±0.5755	10.4175±0.5402
Alakova 8 (M9)	84	15.1843±0.8522	13.8769±0.4919
Şadiye 1 (S1)	150	19.7207±1.5043	15.2057±1.2495
Barsana 1 (S2)	150	11.3899±0.3199	8.4636±0.3598
Esentepe 3 (S3)	105	16.1144±0.6885	12.2075±0.0573
Karpuzlu (S4)	300	21.1583±0.4415	27.4477±1.2485
Organize 4 (S5)	120	12.8640±1.3250	12.4452±0.2970
Musalla 2 (K1)	125	13.6716±0.2250	11.1729±0.1520
Fatih Gülbaba (K2)	84	7.5760±0.6326	7.9414±0.4510

Bahar mevsimi için en yüksek radon seviyesi 27.25 $Bq.L^{-1}$iken yaz mevsiminde 27.45 $Bq.L^{-1}$dir. Bu kuyular(M1,S4) çalışma alanındaki en derin kuyulardır. Şekil 5.2'den kuyuların derinliği ile radon konsantrasyonları arasında çok az bir pozitif bağ olduğu görülebilir.



Şekil 5.2. Kuyuların derinliği ile radon konsantrasyonları arasında ilişki

Radon aktivitesindeki mevsimsel değişiklilik çok azdır ve radon gazının düşük hava sıcaklığında çözünebilirliği arttığından dolayı mevsimsel sıcaklık değişimine bağlanabilir. (Schubert, 2012**)** Meteoroloji genel müdürlüğümden alınanan verilere göre 2012 Mayıs ayının ortalama sıcaklığı 16,3 ^{0}C, ağustos ayının ortalama sıcaklığı 23,2^{0}C'dir. Havanın sıcaklığı arttığında radon konsantrasyonu azalacağından yaptığımız ölçümlerde ilkbahar mevsimin ortalama radon konsantrasyonu 13,9578±06258 $Bq.L^{-1}$ yaz mevsiminde ortalama radon konsantrasyonu 12,7614±05955 $Bq.L^{-1}$ ölçülmüştür. Şekil 5,3' te görüldüğü gibi 12 kuyunun ilkbaharda ölçülen radon konsantrasyonu yaz mevsiminde ölçülen radon konsantrasyonundan yüksektir.



Şekil 5.3. Konya'nın içme suyunu sağlayan bazı kuyu sularında ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ölçülen ortalama radon konsantrasyonu değerlerinin ($Bq.L^{-1}$) karşılaştırması

Toprak-gaz radon konsantrasyonuve jeoloji arasındaki bağ bir çok çalışmaya konu olmuştur. Çoğu kaya uranyum taşıyan minerallere sahiptir ve bu uranyum radyoaktif bir şekilde bozunduğunda ortaya çıkan radon akifer oluşumların çatlaklarında ve gözeneklerinde bulunan sulara sızarlar (Montgomery,1992) hem sıkışma hemde yayılma tektonik rejimler radon gazının yer altı sularında açığa çıkmasına sebep olabilir.

Radon konsantrasyonlarını değerlendirmede kayaların belirli bir alanda dağılımı çok önemlidir çünkü litolojik ve minerolojik özellikleri uranyum içeriğine çok yakındır (Choubey, 999). Ayrıca Choubey jeolojik yapıların (faylar,tröstler, şirler) ve kayaların jeokimyasal özellikleri radonun yayılmasında artı bir rol oynamaktadır. Çalışma alanındaki jeolojik durumu göz önünene alarak gözlemlenen

radon anomalileri hem litostatik hemde orada bulunan akifer oluşumların sıkıştırma basıncının sonucu olabilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, Konya ve çevresinde de doğal radyoaktivitenin belirlenmesi gerektiğini göstermektedir. Çünkü elde edilen radon konsantrasyonu değerleri değişkenlik göstermekle birlikte, özellikle bazı kaynaklara ait konsantrasyon değerlerinin USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) tarafından İçme olarak kullanılan sular için izin verilen 11.11 $Bq.L^{-1}$ değerini geçtiği görülmektedir (USEPA, 1991). Bu değer dikkate alındığında ilkbahar mevsiminde sonuçlara göre M1,M4,M5,M6,M9,S1,S2,S3,S4,S5 ve K1 kodlu suların yaz mevsimindeki ölçümlere göre M1,M5,M6,M9,S1,S3,S4,S5 ve K1 kuyularından çıkan suların radon konsantrasyon değeri 11.11 $Bq.L^{-1}$ değerini geçmektedir.

Yıllık etkin doz değerleri Çizelge 5.49 'da gösterildiği üzere her su örneğindeki radon içeriğide hesaplanmıştır. Bu etkin dozları elde etmek için yıllık ölçülen tahmini tüketim oranı ve ilgili radon izotopunun birim başına aldığı 3.5nSv eşit olan doz katsayısı kullanılmıştır. UNSCEAR ın (UNSCEAR, 2000) raporuna göre ceşme suyunun tahmini kullanım oranı 60 $L.y^{-1}$ dir. Dolayısıyla çalışma alanındaki radyoaktiviteden beklenen dozlar 0.29$\mu Sv.y^{-1}$ (minimum) ile 5.49$\mu Sv.y^{-1}$(maksimum) olarak değerlendirilmiştir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1.Sonuç

Konya şehir merkezinden seçilen kuyu sularının radon konsantrasyon seviyesi mevsimsel olarak ölçülmüştür. Bu ölçümler şehir merkezindeki kuyu sularının konutlardaki musluk sularını kaynağı olduğu için son derece önemli sayılır.

Radon gazı suda çözünebilme özelliğine sahiptir ve çözünürlüğü azalan sıcaklıkla hızlı bir şekilde artar. Buna bağlı olarak elde edilen sonuçlarda yaz mevsiminde ölçülen radon konsantrasyonu ilkbahar mevsimine göre daha düşük çıktığı söylenebilir.

Bunun yanı sıra radon seviyeleri ve kuyuların derinlikleri arasında azda olsa pozitif bir bağ görülmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü içme suyundaki radon aktivitesinin güvenlik limitini 100 Bq/L olarak önermiştir (WHO, 1993). Bu çalışmada analiz edilen tüm su örnekleri Dünya Sağlık Örgütünün limitine göre içme ve ev içi kullanımına güvenilir olarak değerlendirilebilir.

6.2 Öneriler

Suyun radyolojik yönden incelenmesi ve doğal radyasyon seviyelerinin belirlenmesi insan sağlığını doğrudan ilgilendirdiği için önemlidir. Bilindiği gibi insanların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık %88'i doğal ortamdan kaynaklanmakta ve bu doğal radyasyona en önemli katkıyı radon gazı yapmaktadır. Lokal bir bölgede yapılan bu çalışmanın sonuçları bu çalışma kapsamında incelenen bölge için aynen geçerli olmamakla birlikte yaklaşık olarak benzerlik göstermesi gerektiği söylenebilir. Bu durum dikkate alındığında, doğal radyasyona en önemli katkıyı yapan radon konsantrasyonunun ve hatta mümkünse bütün radyoaktif madde konsantrasyonlarının her bölgede belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Akar, Ü. 2010. Bursa Çekirge Bölgesinin Termal Sularında Radon Konsantrasyonu Tayini Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa. 90 s.

Akkurt, A. 2006. Afyon Jeotermal Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. 57 s.

Akyıldırım, H. 2005. Isparta İli'nde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta. 99 s.

Alabdula'aly, A.I. 1999. Occurrence Of Radon In The Central Region Groundwater Of Saudi Arabia. Journal Of Environmental Radioactivity 44, 85-95.

Al-masri, m.s. Ve r. Blackburn. 1999. Radon-222 And Related Activities In Surface Waters Of The English Lake District. Applied Radiation and Isotopes 50, 1137-1143.

Arya, A.P. 1989. Çekirdek Fiziğinin Esasları. Aktif Yayıncılık, Erzurum. Çeviren: Yusuf Şahin. 407 s.

Blaauboer RO, Vaas LH., 1989. De Geschatte Stralingsbelasting in Nederland in 1987, Stralingsbelasting 41 Series, in Dutch.VROM ministry, the Hague, The Netherlands, 210.

Baldık, R., 2005. Gökgöl ve Cehennemağzı Mağraları ile Amasra Taşkömürü İşletmesi'nde Radon-222 Ölçümü. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Zonguldak.

Büyükuslu H. 2007. Isparta'nın Yalvaç İlçesi ve Çevresinin Doğal Fon (Background) Radyasyon Düzeylerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s.,Isparta.

Bonavigo, L. & Zucchetti, M. 2008. Dose Calculation due to underground exposure: the Tav tunnel in Valle Di Susa. Fresenius Environmental Bulletin, 17: 1476-1479.

Calmet, D. et al. International standardization work on the measurement of radon in air and water. Radiat. Prot. Dosim. 145, 267-272 (2011).

Choubey, V M., Bist, K. S., Saini, N. K. and Ramola, R. C. Relation between soil-gas radon variation and different lithotectonic units, Garhwal Himalaya, India. Appl. Radiat. Isot. 51, 587-592 (1999).

Comsa, c., m. Moldovan, t. Dicu, t. Kovacs. 2008. Radon In Water From Transylvania (Romania). Radiation Measurements 43, 1423-1428.

Çevik, U., N. Damla, G. Karahan, N. Çelebi, A.i. Kobya. 2006. Natural Radioactivity In Tap Waters of Eastern Black Sea Region of Tukey. Radiation Protection Dosimetry 118, 1, 88-92.

Davutoğlu, H. 2008. Radon Gazını Ölçme Metotları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya. 62 s.

Değerlier, M. 2007. Adana İli Ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması Ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana. 175 s.

Durrani, A.S., Ilic, R., 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation. Earth Sciences and Enviroment, World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd, 387p. England.

Enge, H.A. 1966. Introduction to Nuclear Physics. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA. 582 s.

Erees, F.S., G. Yener, M. Salk, Ö. Özbal. 2006. Measurements of Radon Content in Soil Gas and in the Thermal Waters in Western Turkey. Radiation Measurements 41, 354-36.

Erdoğan, M., Eren, N., Demirel. S., and Zedef. V., Radiation 2013. Determınatıon of Radon Concentration Levels in Well Water in Konya, Turkey. Radiation Protection Dosimetry, doi:10.1093, pp 1-6

Gosink, T.A., M. Baskaran, D.F. Holleman. 1990. Radon in the Human Body From Drinking Water. Health Physics. 59, 6, 919-920.

Horvath, A., L.O. Bohus, F. Urbanı, G. Marx, A. Pıroth, E D. Greaves. 2000. Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela. Journal of Environmental Radioactivity 47, 127-133.

IAEA, International Atomic Energy Agency. 1996. Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.

ICRP, International Commission on Radiological Protection. 1994. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press ICRP Publication 65, 45 pp.

Karahan, G., N. Öztürk, A. Bayülken. 2000. Natural Radioactivity in Various Surface Waters in İstanbul. Water Research 34, 4367-4370.

Krane, S.K. 2001. Nükleer Fizik. 1. Cilt. Palme Yayıncılık, Ankara. No: 173. 404 s.

Kulalı, F., 2009. Toprak gazında Radon Anomalileri ve Depremlerin İlişkilendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Isparta.

Kochowska, E., J. Mazur, K. Kozak, M. Janik. 2004. Radon in Well Waters in the Krakow Area. Isotopes in Environmental and Health Studies 40, 207-212

Lima, J.L.N., D.M. Bonotto. 1996. Etapas analiticas para mensuraao de radonio- 222 e uso na avaliaao da radioatividade das aguas de. Aguas da Prata (sp). Geochim. Brasiliensis 10 (2), 283-295.

Marques, A.L., W.D. Santos, L.P. Geraldo. 2004. Direct Measurements of Radon Activity in Water From Various Natural Sources Using Nuclear Track Detectors. Applied Radiation and Isotopes 60, 801-804

Montgomery, C. W Environmental Geology, third edn. Wm. C. Brown Publisher, 466p. (1992).

Oliveira, J., Mazzilli, B.P., Sampa, M.H.O. and Bambalas, E. 2001. Natural Radionuclides in Drinking Water Supplies of Sao Paulo State, Brazil and Consequent Population Doses. J. Environ. Radioact. 53, 99-109.

Özdemir, F.B. 2006. Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. 112 s.

Özger, A.G. 2005. Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı Bölgelerinin Doğal Radyoaktivite Düzeylerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana. 93 s.

Saç, M. M., Camgöz, B., 2005. İzmir'de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(3), ss 47-54, İzmir

Schubert, M., Paschke, A., Lieberman, E. and Burnett, W C. Air-water partitioning of222Rn and its dependence on water temperature and salinity. Environ. Sci. Technol. 46, 3905-3911 (2012).

Taek, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. http://www.taek.gov.tr.

Tarim, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G. and Gundogdu, O. 2011. Evaluation of Radon Concentration in Well and Top waters in Bursa. Radiation Protection Dosimetry, doi:10.1093, pp 1-6.

The World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking Water Quality. WHO (1993).

Unscear, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York. Annex A.

Unscear, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000. Exposure Due to Natural Radiation Sources. United Nations, New York.

Usepa, U.S. Environmental Protection Agency. 1991. National Primary Drinking Water Regulations for Radionuclides. EPA/570/9-91/700.

Villalba, L., L.C. Sujo, MEM. Cabrera, AC. Jımenez, MR. Villalobos, C.J.D. Mendoza, L.A.J. Tenorio, ID. Rangel, E.F.H. Peraza. 2005. Radon Concentrations in Ground and Drinking Water in the State of Chihuahua, Mexico. Journal of Environmental Radioactivity 80, pp. 139-151

Yalım, H.A., A. Sandıkçıoğlu, R. Ünal, Ö. Orhun. 2007. Measurements of Radon Concentrations in Well Waters Near the Akşehir Fault Zone in Afyonkarahisar, Turkey. Radiation Measurements 42, 505-508

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serkan DEMİREL
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : ARDAHAN-1981
Telefon : 05063374021
Faks :
e-mail : Serkandemirel-1981@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Akçaabat lisesi,Akçaabat,Trabzon	1998
Üniversite	:	Kafkas Üniversitesi , Kars	2003
Yüksek Lisans	:	Osmangazi Üniversitesi,Eskişehir	2004
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005-2009	İstanbul Dershanesi	Öğretmen
2009-	Konya Büyükşehir Belediyesi	Memur

UZMANLIK ALANI

Nükleer Fizik

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Erdoğan, M., Eren, N., Demirel. S., and Zedef. V., Radiation 2013. Determınatıon of Radon Concentration Levels in Well Water in Konya, Turkey. Radiation Protection Dosimetry, doi:10.1093, pp 1-6