



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA'NIN TERMAL SULARINDA ^{222}Rn KONSANTRASYONU DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Fatih ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK Anabilim Dalı

Aralık-2013
KONYA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA'NIN TERMAL SULARINDA ^{222}Rn KONSANTRASYONU DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Fatih ÖZDEMİR

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

2013, 57 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Nuretdin EREN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

Yrd. Doç. Dr. Fatih DURMAZ

Radon (^{222}Rn) insanların maruz kaldığı doğal radyasyon kaynaklarının en önemlisidir. Radon alfa yayan bir soygazdır ve toprakta, havada ve çeşitli sularda farklı konsantrasyonlarda bulunabilir. Bu çalışmada, Türkiye'nin merkezinde yer alan Konya bölgesindeki termal su kaynaklarından alınan su örneklerinin radon konsantrasyon seviyeleri gösterilmiştir. Radon aktivite konsantrasyonları 2012 yılının ilkbahar ve yaz mevsimlerinde AlphaGUARD PQ 2000PRO radon gaz sayıcı kullanılarak 10 termal su örneği için belirlendi. Radon aktivite konsantrasyonları sırasıyla ilkbahar mevsimi için 0.60 ± 0.11 kBq.m^{-3} ile 70.34 ± 3.55 kBq.m^{-3} aralığında, yaz mevsimi için 0.67 ± 0.03 kBq.m^{-3} ile 36.53 ± 4.68 kBq.m^{-3} aralığında bulunmuştur. Ayrıca ilkbahar ve yaz mevsimleri için kaplıcalarda tedavi başına etkin dozlar hesaplanmıştır. Tedavi başına minimum ve maksimum etkin dozlar, ilkbahar mevsimi için 0.09 nSv ile 10.13 nSv aralığında, yaz mevsimi için 0.1 nSv ile 5.26 nSv aralığında bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: AlphaGUARD; Etkin Doz; Radon-222; Termal Sular; Doğal Radyoaktivite.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE ^{222}Rn CONCENTRATION CHANGES IN THERMAL WATERS OF KONYA

Fatih ÖZDEMİR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELCUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE PYHSIC

Advisor: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

2013, 57 Pages

Jury

Yrd. Doç. Dr. Nuretdin EREN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

Yrd. Doç. Dr. Fatih DURMAZ

Radon (^{222}Rn) is one of the most important sources of natural radiation to which people are exposed. It is an alpha-emitting noble gas and it can be found in various concentrations in soil, air and in different kinds of water. In this study, we present the results of radon concentration measurements in thermal waters taken from the sources in the region of Konya located in the central part of Turkey. The radon activity concentrations in 10 thermal water samples were measured by using the AlphaGUARD PQ 2000PRO radon gas analyzer in spring and summer seasons of the year 2012. We found that radon activity concentrations are ranged from 0.60 ± 0.11 to 70.34 ± 3.55 kBq.m^{-3} and from 0.67 ± 0.03 to 36.53 ± 4.68 kBq.m^{-3} in spring and summer seasons, respectively. We also calculated effective doses per treatment in the spas for the spring and summer seasons. It was found that the minimum and maximum effective doses per treatment are in the range of 0.09 nSv to 10.13 nSv in spring and in the range of 0.1 nSv to 5.26 nSv in summer.

.

Keywords: AlphaGUARD; Effective Doses; Radon-222; Thermal Waters; Natural Radioactivity.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleriyle de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi değerli danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN'a çok teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen, hayatımın her anında yanımda olan, Atatürkçü, çağdaş, disiplinli ve başarılı olmamı sağlayarak beni gururlandıran canım aileme çok teşekkür ederim.

Fatih ÖZDEMİR

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 16
2.3.1. İyonlaştırıcı 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.....21
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
2.4.3.4. 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.....33
4.1. Materyal 33
4.1.1.AlphaGUARD radon cihazı 33
4.1.1.1. Detektörün dış yapısı 35
4.1.1.2. Detektörün iç yapısı 38
4.2.Yöntem 41
4.2.1. Numune alımı.....41
4.2.2. Su numunelerinin analizi için ölçüm düzeneğinin hazırlanması.....41
4.2.3. AlphaGUARD PQ 2000PRO ile sudaki radon ölçümü.....42
4.3. Sudaki Radon Hesaplamaları.....44

4.3.1. Ortalama radon konsantrasyonu hesaplamaları 45
4.3.2. Standart hata 45
5. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE JEOLOJİK YAPISI 46
5.1. Çalışma Bölgesi ve Numune Alma İşlemi 46
5.2. Termal Bölgelerin Jeolojik Yapısı.....46
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 48
6.1. Sonuçlar 48
6.2. Tartışma 51
KAYNAKLAR 52
ÖZGEÇMİŞ 56

SİMGELER

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
$\bar{\nu}$	Anti nötrino

KISALTMALAR

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 detektörü 33
Şekil 4.2. AlphaGUARD ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümü 34
Şekil 4.3. AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları 36
Şekil 4.4. AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları 36
Şekil 4.5. AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları 37
Şekil 4.6. AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları 37
Şekil 4.7. AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları 38
Şekil 4.8. AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi 39
Şekil 4.9. AlphaGUARD'ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı 40
Şekil 4.10. Sudaki radon ölçüm düzeneği 42
Şekil 4.11. Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği 45
Şekil 5.1. Örnekleme alanı 47

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/m^3) (TAEK) 27
Çizelge 6.1. Konya bölgesindeki termal su kaynaklarının ilkbahar ve yaz mevsimlerinde soluma için etkin dozları ve ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları 49
Çizelge 6.2. Konya bölgesindeki termal su kaynaklarının elektriksel iletkenliği, pH ve derinliği 49

1. GİRİŞ

Doğal radyasyon başlıca, yeryüzünün kabuğunda bulunan radyoaktif elementler ve bunların ürünlerinin bozunmasıyla ve dış uzaydan gelen kozmik ışınlardan oluşmaktadır. Radon, 3.82 günlük bir yarı-ömre sahip bir soy gazdır ve ^{238}U (Uranyum) bozunma zincirindeki ^{226}Ra'nın (Radyum) radyoaktif dönüşümü sonucunda oluşmaktadır. Renksiz, kokusuz, tatsız ve havadan yaklaşık sekiz kat daha ağır olan radyoaktif radon gazı ve atmosferdeki kısa ömürlü bozunum ürünleri, insanların doğal kaynaklardan maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık %50'sini oluşturur. Radonun radyoaktif ürün izotopları ^{214}Po (Polonyum) ve ^{218}Po sırasıyla 7.69 MeV ve 6 MeV α parçacıkları yayınlayarak bozunurlar. Bu radyoizotoplar ise, insanların radon maruziyetinden dolayı aldıkları radyasyon dozuna %90'ın üzerinde etkide bulunur (Marques AL. et al, 2004; UNSCEAR, 2000).

İyi bilinir ki, radon suda çözünür ve radonun çözünürlüğü azalan sıcaklıkta hızlıca artar. Bu nedenle, radonun halk sağlığı tehlikesi sebebiyle su kaynaklarındaki çözünmüş radon konsantrasyonuna oldukça fazla ilgi gösterilmektedir. Bu sebepten dolayı içme sularında, yer altı sularında ve yüzey sularında radon aktivite seviyelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir ve bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları, içme suları ve yüzey sularında (Yalcin S. ve ark. 2011; Karahan G. ve ark. 2000), kuyu sularında (Yalim HA. ve ark. 2007; Kochowska E. et al, 2004), yer altı sularında (D'Alessandro W. et al, 2003; Savidou A. et al, 2001) ve termal sularda (Gurler O. ve ark. 2010; Soto J. et al, 1995) radon aktivite seviyelerinin belirlenmesi şeklindedir. Yer altı sularındaki ve termal sulardaki radon aktivite seviyeleri genellikle yüzey sularına göre daha yüksek seviyelerdedir. Fay hatlarını içeren jeolojik oluşumlar göz önüne alındığında, fay hatlarının sıvı taşıma için öncelikli yollar olduğu dikkat çekmektedir. Sıvının taşınması sırasında radon gazı, kayalardan ve minerallerden etrafını çevreleyen sıvı faza yani, yeraltı ve termal sulara kaçar. Bu nedenle, aktif volkanik bölgelerde bulunan yeraltı suları özellikle jeotermal sistemler yüksek radon içeriği gösterir. Ayrıca, granit ve volkanik topraklar, tortul şistler önemli radon kaynaklarını oluşturmakta iken tortul topraklar ise düşük radon konsantrasyonuna sahiptir. Ayrıca yeraltı suları, doğal gazlar, kömür ve okyanuslar da sınırlı da olsa radon salınımı

yapabilmektedir (Davutoğlu, 2008). Radon gazı suda çözünebilme özelliğinin yanı sıra, çözünmüş radonun bulunduğu ortama kaçma eğilimi de vardır (UNSCEAR, 2000). Sonuç olarak, yeraltı ve termal sulardaki yüksek radon konsantrasyonları sadece içenlere değil, ayrıca onu havada soluyan insanlar için de büyük bir riske sebep olur.

Radon salınımı bölgeye, zamana, yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağlı olarak değişebilmektedir. Atmosfer basıncının düşük olması durumunda, toprak gazında da basınç düşüşü gerçekleşeceğinden atmosfere doğru radon çıkışı artar. Sıcaklık yükselmesi toprağın kurumasına ve gözeneklerin çoğalmasına neden olduğundan, radonun toprak gazından atmosfere 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 yer küre olmasından ve radonun çok kısa yarı ömre sahip olmasından dolayı radon konsantrasyonu yükseklikle sabit bir şekilde azalma gösterir (Özdemir, 2006).

Radon konsantrasyonlarının değerlendirilmesi sadece halk sağlığı için değil, aynı zamanda diğer birçok uygulama için önemlidir. Örneğin, radon konsantrasyonlarını izleme jeolojik oluşumla oldukça bağlantılı olduğundan deprem tahminlerinde kullanılır (Virk HS. et al, 1993). Radon konsantrasyonu ölçümleri yer altı ve yer üstü su etkileşim süreçlerini araştırmak (Schubert M. et al, 2008) ve yeraltı hareketlerini izlemek ve yeraltı su akış hızlarını tahmin için kullanılmıştır (Hamada H. et al, 2000). Ayrıca yer altı suyu yenilenmesi ve kirliliği ile ilişkili uygulamalarda bir izleme maddesi olarak kullanılmaktadır (Schubert M. et al, 2011).

Bu çalışma, 2012 yılında Konya bölgesindeki termal sularda ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ölçülen radon konsantrasyon seviyelerini ve bu suları kullanarak tedavi gören insanların 30 dakikalık tedavi başına aldıkları etkin dozları göstermektedir. Ayrıca, bu çalışma Konya bölgesindeki termal suların radon aktivite seviyesinin belirlenmesi üzerine ilk çalışma olup, bu sulardaki radona bağlı doğal radyoaktivite hakkında genel bilgi verir. Bir çok insan tedavi amaçlı olarak bu

bölgedeki termal suları kullanmaktadır. Bu nedenle, sonuçları halk sağlığı için çok önemlidir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ‘’International Scientific Conference People Buildings and Enviroment 2012’’ isimli uluslar arası konferansta sözlü sunum olarak sunulmuştur (Erdoğan M. ve ark. 2013). Ayrıca sonuçlar, ‘’Isotopes in Enviromental and Health Studies’’ isimli uluslar arası dergide yayınlanarak bilim dünyası ile paylaşılmıştır (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 α 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

Radyoaktivitenin birimi genelde birim zamandaki parçalanma sayısı olarak tanımlanır.

Curie (ci) : Bir saniyede 3.7×10^{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

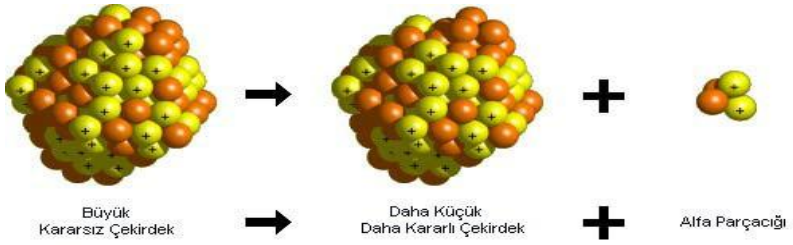
2.1.3. Radyoaktif bozunma ve bozunum türleri

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)

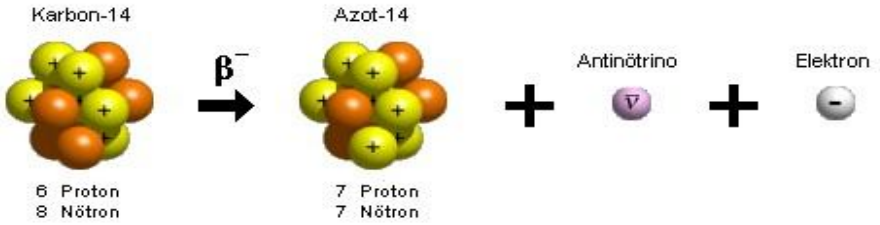
Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından meydana geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için (2.2) denkleminde görüldüğü gibi nötronlardan birini protona dönüştürür ve elektronlarla

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

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

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.

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



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

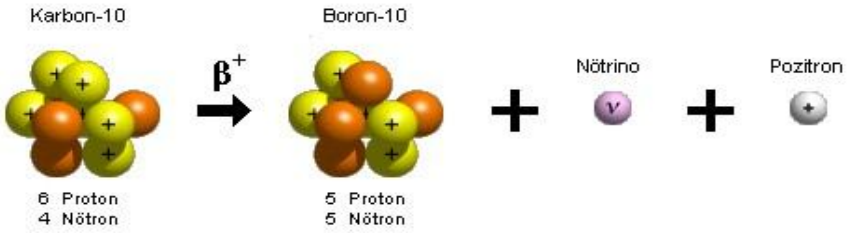
2.1.3.3. Pozitron bozunumu (β^{+} bozunumu)

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.

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



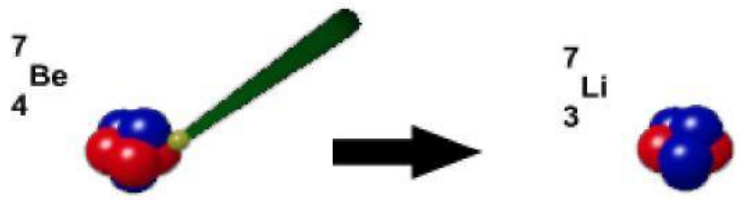
Şekil 2.3. β^{+}(pozitron) bozunumu (Davutoğlu, 2008).

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 (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).

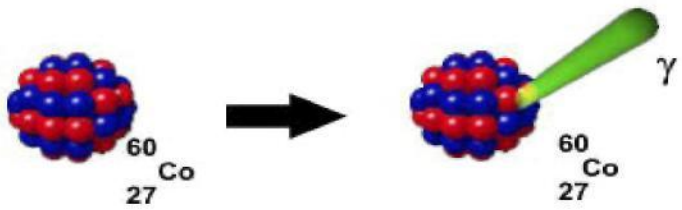
2.1.3.5. İç dönüşüm (IC)

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 işlem 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	A	^{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 yoğunluğu, 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 2.3'ten de görüldüğü gibi alfa ve beta parçacıkları yayınlayarak ThD denilen ve kurşunun bir izotopu olan ^{208}Pb 'ye 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	$1.83.10\text{-}^{2}$ 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 'dir.

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

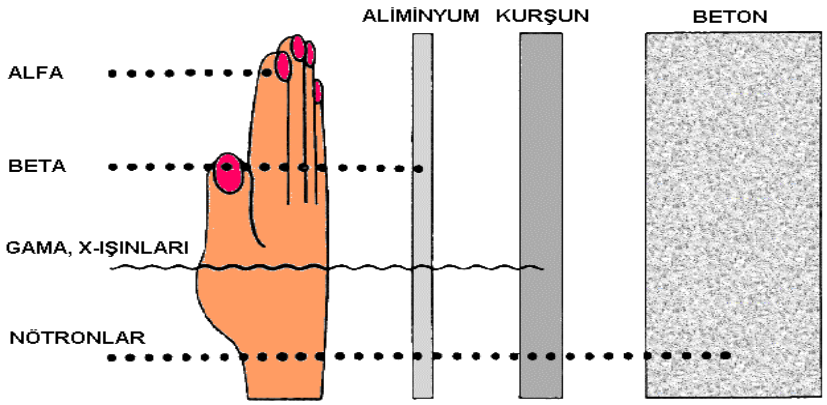
Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{237}Np	$2.2 \cdot 10^6$ yıl	α	^{233}Pa
^{233}Pa	27.4 gün	β^-	^{233}U
^{233}U	$1.62 \cdot 10^5$ yıl	α	^{229}Th
^{229}Th	7340 yıl	α	^{225}Ra
^{225}Ra	14.8 gün	β^-	^{225}Ac
^{225}Ac	10 gün	α	^{221}Fr
^{221}Fr	4.8 ay	α	^{217}At
^{217}At	0.0185 saniye	α	^{213}Bi
^{213}Bi	47 ay	α	^{209}Tl
^{209}Tl	2.2 dakika	β^-	^{209}Pb
^{209}Pb	3.3 saat	β^-	^{209}Bi
^{209}Bi	1.910^{19} yıl	α	^{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. İyonlaştırıcı 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), pozitif yüklü parçacıklardan oluşur. Işınlar bir kâğıt parçası veya cildimiz tarafından durdurulabilir. Beta ışınları negatif 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-Işınları 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.

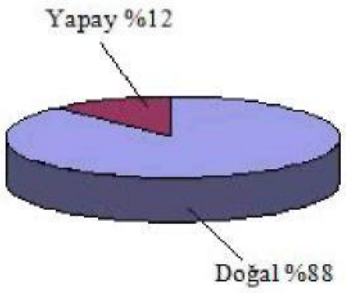
2.3.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

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 ve 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

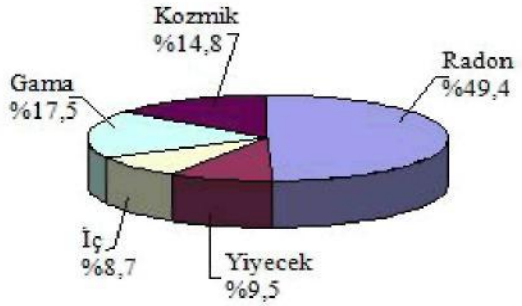
b) Gama radyasyonu

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

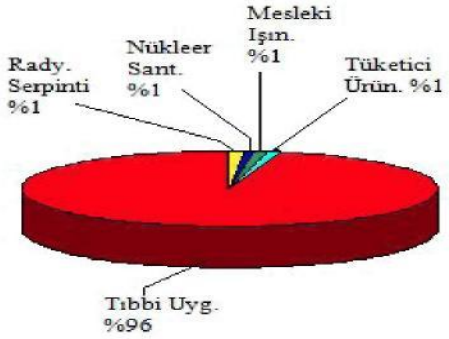
d) Radyoterapi

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. Işınlanma 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'lik 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

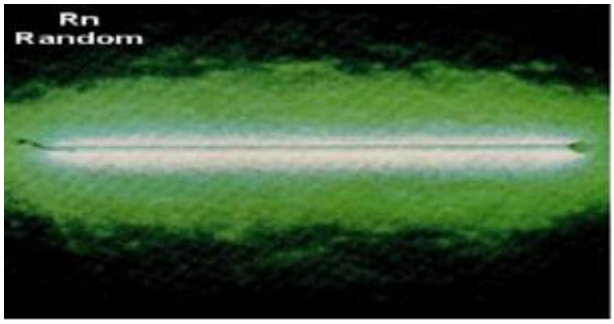
Eşdeğer doz birimi Sievert (Sv) olup kilogram başına soğurulan enerji olup soğurulan doz olarak tanımlanır. Eski birim sistemindeki rad kullanılırsa eşdeğer doz birimi rem (röntgen equivalent man) cinsinden ölçülür. Daha önce 1 Gy = 100 rad verildiğinde 1 Sv=1 J/kg, olarak alınır.

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.

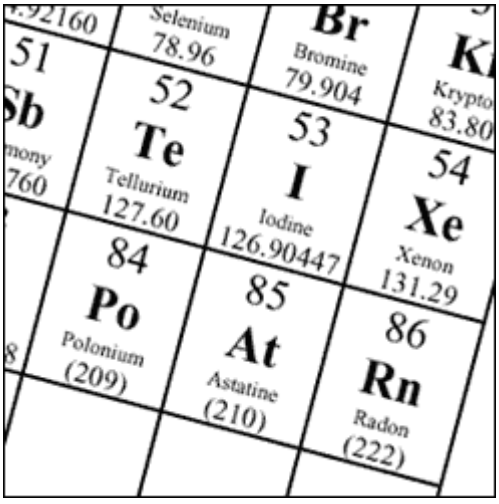
2.4. Radon

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).



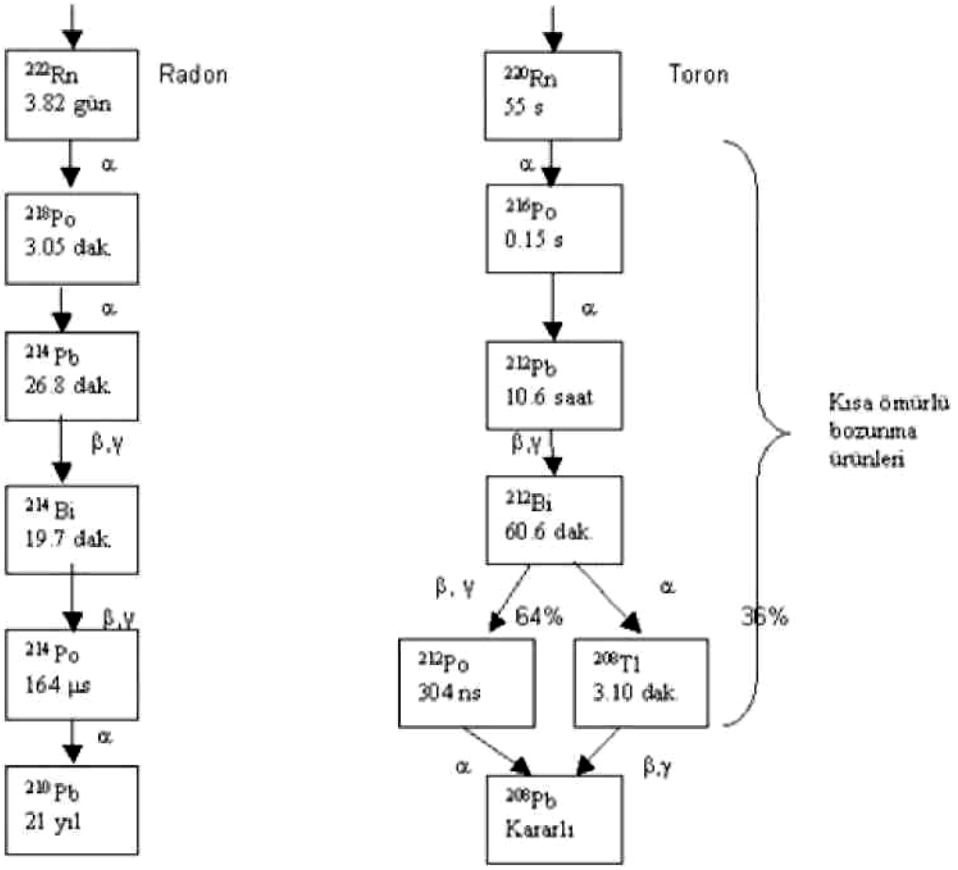
Şekil 2.11. Radon elementinin periyodik tablodaki yeri.

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'ye dönüşür. Sonra iki kez beta ve gama bozunmalarıyla sırasıyla ^{214}Bi ve ^{214}Po'yu 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'nin 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 oluşur. Buradan sonra bu izotopun iki türlü bozunmaya uğrama ihtimali vardır. Ya alfa ve beta vererek ^{212}Po'ya bozunur (%64); ya da alfa vererek ^{218}Tl'ye 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 metodları

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:

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).

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).

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).

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).

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).

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 detektörüdür. Alfa radyasyonu maddeyi iyonize edici özelliğe sahip olduğundan detektör buna uygun bir iyonizasyon odalı cihazdır. İyonizasyon odası paslanmaz çelikten, silindir şeklinde yapılmıştır ve detektör besleme gerilimi (anot ve katot arası gerilim farkı) DC 750 volttur (Akyıldırım, 2005).

Detektör toplam hacmi 0.62 litredir, ancak bunun 0.56 litrelik kısmı etkin detektör 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 detektörü görülmektedir.

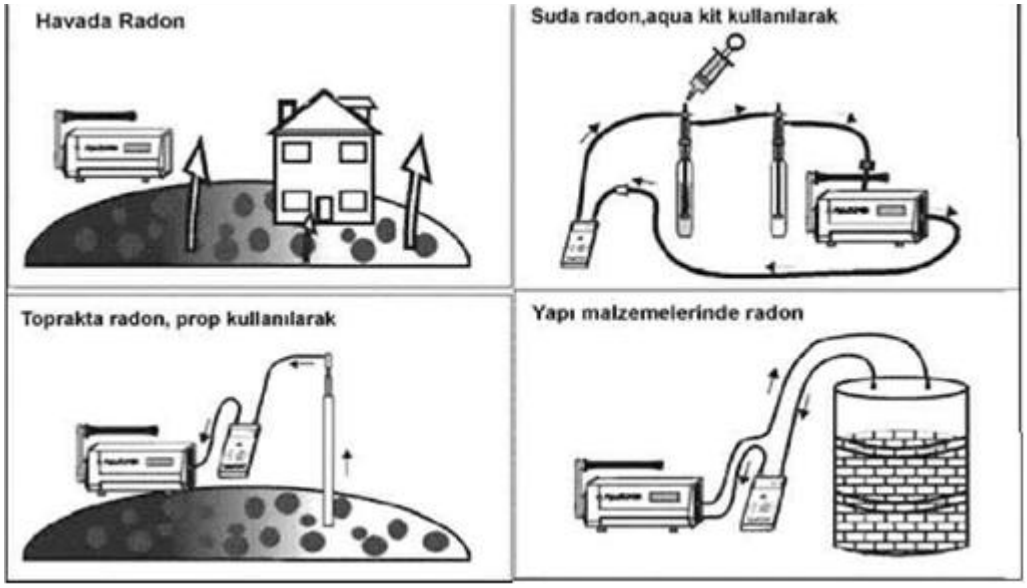


Şekil 4.1. AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü.

Radon konsantrasyonu ölçümü bu detektör 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 detektörü 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'de görülen ekipman ve düzenekler kullanılmaktadır. Ayrıca AlphaGUARD radon konsantrasyonu ile eşzamanlı olarak sıcaklık (-15 ile +60 °C aralığında), atmosfer basıncı (800 – 1050 mbar aralığında) ve nem oranı (% 0 ile % 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.

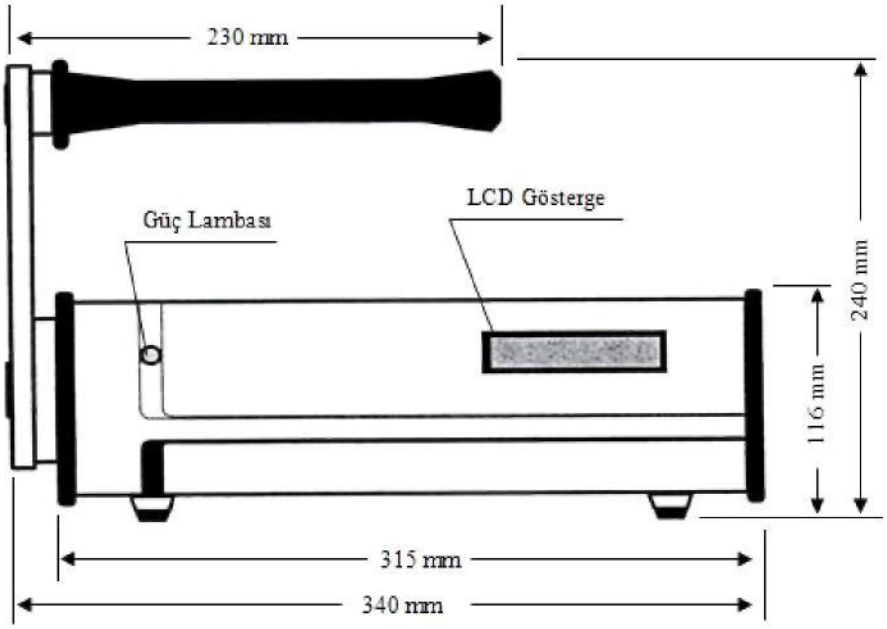
AlphaGUARD radon detektörü ölçüm ünitesine tümleşik olan bir emme pompası yardımı ile havayı detektör iyonlaşma odasına çeker. Emme sonucunda iyonlaşma odasına giren radon (^{222}Rn) bozunarak oda içerisinde iyonizasyona sebep olarak elektrik sinyalleri meydana getirir. Bu sürekli emme esnasında radon 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 detektörün kalibrasyon bilgileri de kullanılarak yazılım tarafından anlamlı verilere dönüştürülür.

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

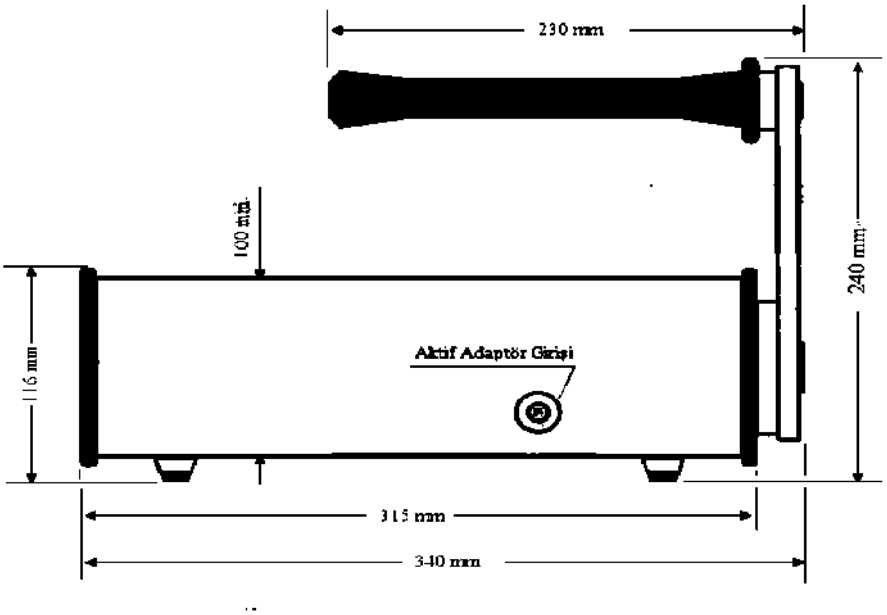
4.1.1.1. Detektörün dış yapısı

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).

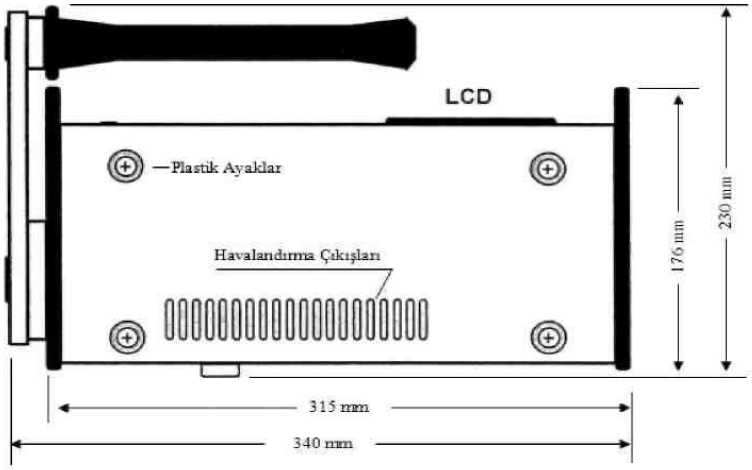


Şekil 4.3 AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları



Şekil 4.4 AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları.

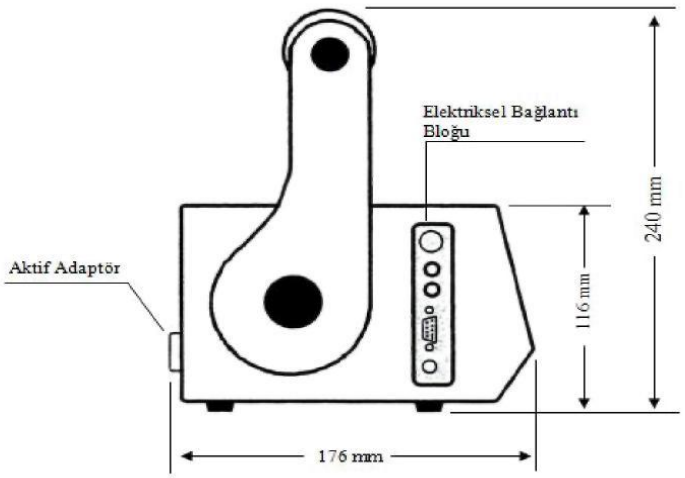
Cihazın arka kısmındaki vida yuvası plastik bir kapakla kapatılmıştır. AlphaGUARD PQ 2000PRO'da bu kapağın arkasında bulunan yuva cihazın iyonizasyon odasıyla buraya bağlanan etkin hava pompası arasındaki bağlantıyı sağlar. Yani buradan detektör içine hava girişi sağlanmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.5. AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları

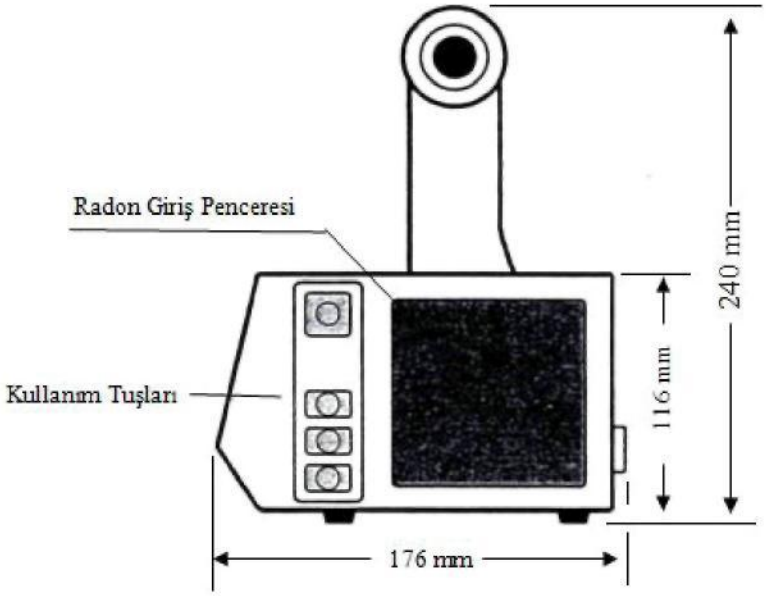
Alt kısımda alüminyum gövdenin yerle temasını kesen plastik ayaklar ve havalandırma çıkışları bulunmaktadır. İç kısımda bulunan bir fan sayesinde, özellikle uzun süreli kullanımlarda cihazın soğutulmasını sağlamak için sıcak hava buralardan dışarıya atılmaktadır (Akyıldırım, 2005).

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. AlphaGUARD 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.

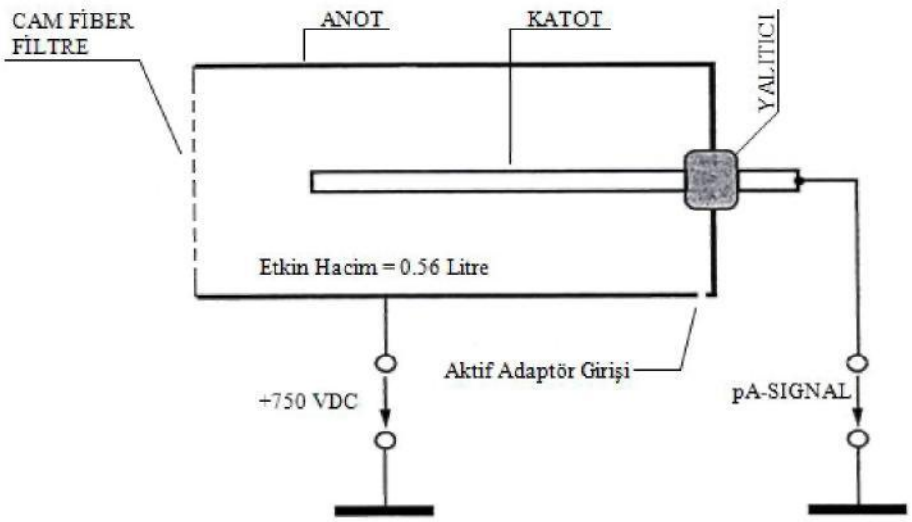
4.1.1.2. Detektörün içyapısı

Cihazın alüminyum korumasının altında ölçüm yapılmasını sağlayan detektör (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.

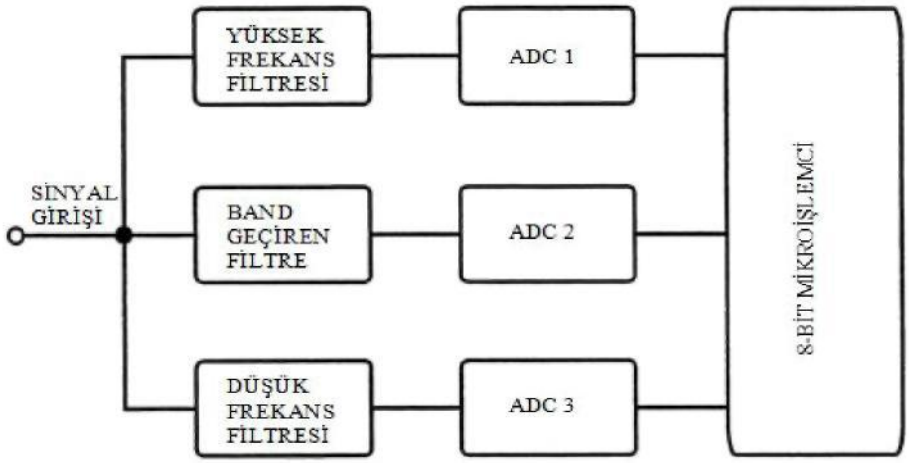
AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun silindirik atma iyonizasyon çemberi 0.56 litrelik bir etkin hacime sahiptir. Cihaza güç verilmesiyle beraber iyonizasyon

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 detektör 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 4.8'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 detektör 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 detektör 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. Detektör 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 (Akyıldırım, 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.

4.2.2. Su numunelerinin analizi için ölçüm düzeneğinin hazırlanması

Sudaki radon konsantrasyonu ölçümü için, ek bir donanım olan AquaKIT, pompa (AlphaPUMP) ve AlphaGUARD PQ 2000PRO'dan oluşan Şekil 4.10'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.

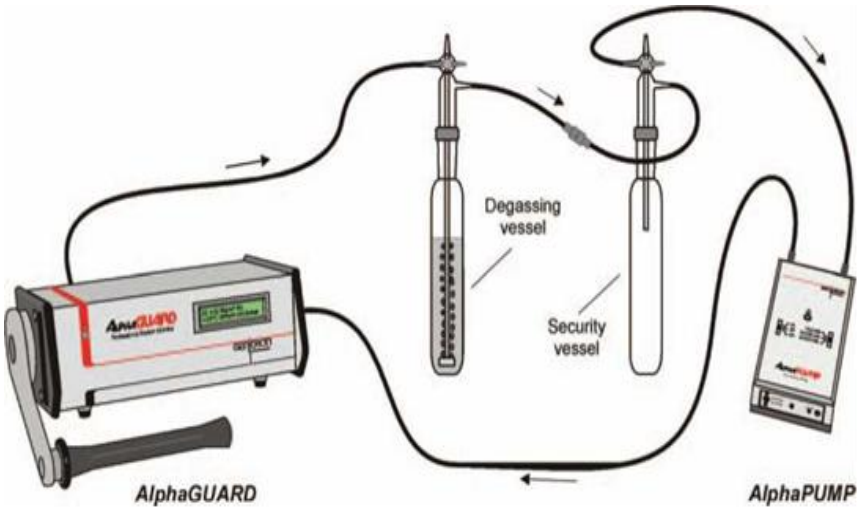
2) Güvenlik şişesinin üst yan başlığı pompanın 'IN' başlığına 400 mm uzunluğundaki tüp ile bağlanır.

3) Pompanın 'OUT' başlığı 500 mm uzunluğundaki tüp ile

AlphaGUARD'nin 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 1102 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 4.10'da verilen ölçüm düzeneği kurulur.

2) AlphaGUARD sayacı açılır ve ölçüm modu '1 min FLOW (1 dakikalık akış mod)' 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 '0.5 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, detektör içine düzenek içindeki hava ile sürüklenmektedir ve havanın da bu değere katkısı gerçekleşmektedir. Bu nedenle numunenin içindeki radon konsantrasyonu hesabı aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılır.

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

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 (1102 mL);

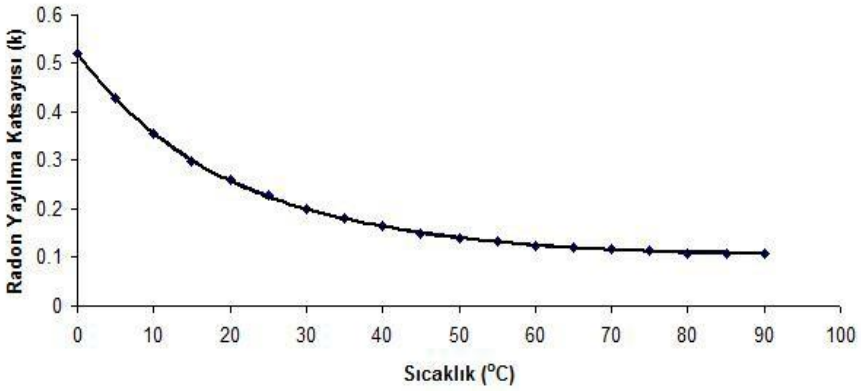
V_{sample} : su örneğinin hacmi (100 mL);

k : radon yayılma katsayısı'dır.

Radon yayılma katsayısı (k), sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermekte ve artan sıcaklık değerlerine karşılık azalmaktadır (Şekil 4.11). Bunun nedeni sıcaklık artışı ile radon gazının sıvı fazdan gaz faza geçişinin hız kazanmasıdır. Burada k,

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

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. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE JEOLOJİK YAPISI

5.1. Çalışma Bölgesi ve Numune Alma İşlemi

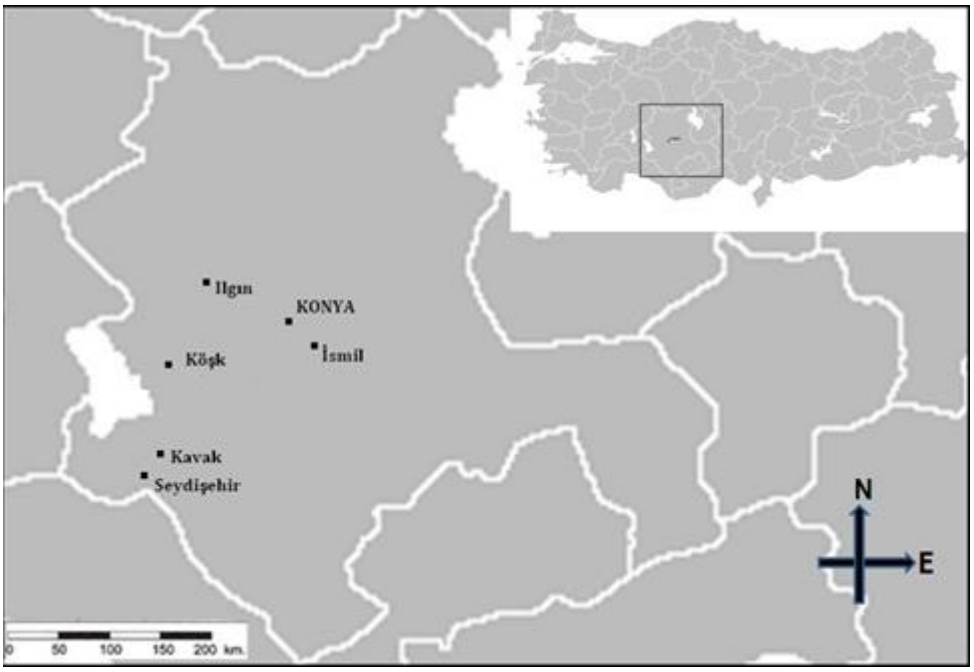
Konya 38,873 km^2 alana sahip (göller hariç) bir ildir ve tahmini nüfusu 2 milyondur. Koordinatları enlem ve boylam olarak $36^o41´$ - $39^o16´$ Kuzey ve $31^o14´$ - $34^o26´$ Doğudur. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1050 m'dir (Governorship of Konya, 2013). Konya zengin termal su kaynaklarına sahiptir. Konya bölgesinin en önemli termal su bölgeleri haritada gösterilen Ilgın (numune 1-4), Köşk (numune 5-6), Seydişehir (numune 7-9) ve İsmil (numune 10) termal bölgeleridir. Ilgın, Köşk ve İsmil termal bölgeleri sağlık turizmi için bazı otellere sahiptir. Bu otellerin yanı sıra Seydişehir'de sağlık turizmi için yeni bir termal bölge yapılması planlanmaktadır. Bu bölgenin en popular ve en çok talep gören termal tesisleri Ilgın'da bulunmaktadır. Bu bölgede yoğun dışa vuran mineral ve termal sular vardır. Her yıl birçok insan ortopedik, romatizmal, ve nörolojik hastalıklarına çare bulmak amacıyla Ilgın'da bulunan termal suları kullanmaktadırlar.

Su numuneleri, kabarcık ve radon kaçışını önlemek için 500 ml polietilen tereftalat (PET) şişe içine tamamıyla dolduruldu ve kapağı hızlı bir şekilde sıkıca kapatıldı. Numuneler kaynaklardan toplandıktan sonra hızlı bir şekilde radon konsantrasyonu seviyesini belirlemek için Selçuk Üniversitesi Nükleer Fizik Laboratuarına getirildi.

5.2. Termal Bölgelerin Jeolojik Yapısı

Ilgın, jeotermal sular açısından zengin bir bölge olup, Konya ilinin bir ilçesidir ve Konya'nın kuzey-batısında yer alır. Ilgın termal bölgesi aktif fay hatlarına sahip bir bölgedir (numune 1-4). Su başta meteor karaktere sahiptir ve jeotermal eğimli bir ısı kaynağıdır. Ilgın bölgesindeki termal su akiferi Permiyen çağda mermerler tarafından ve Pliyosen çağda da kireçtaşlarından oluşmuştur. Bu bölgedeki jeotermal sistem kuzeyden güneye yönelik bir ters fay tarafından yönetilir. Örneklerin toplandığı ikinci jeotermal bölge ise Konya'nın Hüyük ilçesine bağlı Köşk kasabasında bulunur ve Konya ilinin güney-batısında Dördüncül Çağa (Kuvaterner) ait tortullar üzerinde yer almaktadır (numune 5-6). Ayrıca bu termal bölge normal faya sahiptir. Bu fay 1 km'den daha kalın şistler ve metamorfik

hematitleri bol sayıda içeren kuvarsitlere sahip Sultandağı oluşumu ile genç tortulların arasında bir sınırdır. Zedef tarafından yapılan çalışmada Sultandağı oluşumu iyi bilinen damarlı demir oluşumları ile ilişkilendirildi (Zedef V. 1997).



Şekil 5.1. Örnekleme alanı

Diğer numuneler ise (numune 7-9) Konya'nın 85 km güney-batısında yer alan Seydişehir ilçesindeki termal su kaynaklarından toplandı. Normal bir fay tarafından kontrol edilen Seydişehir bölgesinden toplanan üç numuneden birincisi Seydişehir'in şehir merkezinde bulunan Ilıcatepe mevkisindeki termal kaynaktan (numune 7), diğer numuneler ise (numune 8-9) Seydişehir'in Kavak köyünde bulunan kaynaklardan toplanmıştır. Bu bölgede bulunan fay Mezosoyik çağa ait Middle Taurid kuşaklar ile Tersiyer çağa ait traverten oluşumları arasında bir bağlantıdır. Bu traverten oluşumu, ancak genç alüvyonlar ve ekstra oluşumsal çakıltaşı ile kaplıdır. Son numune (numune 10), Konya'nın güney-doğusunda yer alan İsmil jeotermal bölgesine aittir. Bu bölgede, Paleozoyik çağdaki mermerler rezervuar kayaçları olarak işlem görür ve jeotermal sistem yine bir fay tarafından kontrol edilir (Zedef V. 1987; Zedef V. 1997).

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Sonuçlar

Her bir kaynaktan çıkan suyun radon konsantrasyon seviyeleri üç kez ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 6.1. ve Çizelge 6.2.'de verilmektedir. İlkbahar mevsiminde radon konsantrasyon seviyesi 0.10 ± 0.11 $kBq.m^{-3}$ ile 70.34 ± 3.35 $kBq.m^{-3}$ değerleri arasında, yaz mevsiminde ise 0.63 ± 0.03 $kBq.m^{-3}$ ile 36.53 ± 4.68 $kBq.m^{-3}$ aralığında değişmektedir. Ilgın'dan alınan örneklerin birinde (numune 2) ilkbahar ve yaz mevsimlerinden sırasıyla 70.34 $kBq.m^{-3}$ ve 36.53 $kBq.m^{-3}$ olmak üzere en büyük radon konsantrasyonu seviyesi belirlenmiştir. Bulunan bu sonuçlardan yola çıkılarak, jeolojik yapı ve aktif fay bölgeleri radon konsantrasyon seviyeleri ile ilişkilidir. İlkbahar ve yaz mevsimine bağlı en düşük radon içeriği sırasıyla 0.60 $kBq.m^{-3}$ ve 0.67 $kBq.m^{-3}$ değerleri ile Seydişehir bölgesinden alınan 8.numune için ölçülmüştür. Eğer Ilgın bölgesinden alınan örnekler için (numune 1-4) sonuçları çıkartacak olursak, termal su kaynağındaki radon seviyesi ile derinlik arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Ilgın'dan alınan örnekler için bu bağlantı gözlenmemiştir. Bu farklılık bu bölgedeki ters fayın yüksek aktivitelerinden kaynaklanabilir. Bu örneklerin pH ve elektriksel iletkenlikleri ölçülmüştür. Bu örneklerin radon içeriği ile pH ve elektriksel iletkenlikler arasında bir ilişki gözlenmemiştir.

Türkiye'nin farklı bölgelerine ait termal sularındaki radon seviyeleri ölçülmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Konya bölgesindeki termal sular için belirlenen radon aktivite seviyeleri şimdiye kadar belirlenen maksimum ve minimum radon değerleri arasında yer almaktadır. Örnek olarak Bursa bölgesindeki termal suların radon aktiviteleri 2.51 - 82.55 $kBq.m^{-3}$ (Gurler O. ve ark. 2010), Batı Anadolu termal suları için 0.14 – 5.77 $kBq.m^{-3}$ (Erees FS. Ve ark. 2006) ve Afyonkarahisar şehri için 0.09 – 44.57 $kBq.m^{-3}$ (Akkurt A. 2006) olarak rapor edilmiştir. Ayrıca diğer farklı ülkelerde de termal su ve yer altı sularının radon aktivite seviyelerinin belirlenmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekildedir. Yunanistan 10 - 304 $kBq.m^{-3}$ (Vogiannis E. et al, 2004), Venezuella 1 - 576 $kBq.m^{-3}$ (Horvath A. et al, 2000) ve İspanya 824 $kBq.m^{-3}$ (Soto J. et al, 1995) 'dan elde edilen

değerler Konya için elde edilen değerlerin oldukça üzerindedir. Türkiye ve farklı ülkelerdeki yer altı sularının radon aktivite seviyeleri için elde edilen bulgular; 3.20 $kBq.m^{-3}$ ile 22.70 $kBq.m^{-3}$ değerleri arasında Afyonkarahisarda (Yalim HA. ve ark. 2007), 1.44 $kBq.m^{-3}$ ile 27.45 $kBq.m^{-3}$ değerleri arasında Konya'da (Erdogan M. ve ark. 2013), 1.80 $kBq.m^{-3}$ ile 52.70 $kBq.m^{-3}$ değerleri arasında İtalya'nın Mt. Etna alanında değişmekte (D'Alessandro W. et al, 2003) ve Meksika'daki Chihuahua eyaletinde 7.00 $kBq.m^{-3}$ ile 34.20 $kBq.m^{-3}$ değerleri arasında değişmektedir (Villalba L. et al, 2005).

	İlkbahar		**Yaz**	
Örnek Kod	Radon Aktivitesi ($kBq.m^{-3}$±SH)	Etkin Doz (nSv)	Radon Aktivitesi ($kBq.m^{-3}$±SH)	Etkin Doz (nSv)
1	31.75 ± 4.13	4.57	16.82 ± 0.96	2.42
2	70.34 ± 3.55	10.13	36.53 ± 4.68	5.26
3	17.17 ± 2.54	2.47	15.81 ± 0.65	2.28
4	14.31 ± 1.67	2.06	16.0 ± 0.68	2.30
5	3.23 ± 0.28	0.47	3.25 ± 0.17	0.47
6	1.86 ± 0.29	0.27	0.95 ± 0.06	0.14
7	2.93 ± 0.20	0.42	3.15 ± 0.37	0.45
8	0.60 ± 0.11	0.09	0.67 ± 0.03	0.10
9	1.21 ± 0.05	0.75	0.89 ± 0.14	0.13
10	6.84 ± 0.33	0.98	1.34 ± 0.53	0.20

Çizelge 6.1. Konya bölgesindeki termal su kaynaklarının ilkbahar ve yaz mevsimlerinde soluma için etkin dozları ve ^{222}Rn aktivite konsantrasyonları.

Örnek Kod	Elektriksel İletkenlik ($mS.cm^{-1}$)	pH	Derinlik (m)
1	1.03	6.15	300.5
2	1.08	5.31	130.0
3	1.02	6.56	130.0
4	1.08	6.50	-
5	1.25	5.88	350.0
6	1.22	5.67	112.0
7	0.86	7.80	395.0
8	2.50	7.73	182.0
9	2.52	9.10	317.0
10	3.83	7.20	bilinmiyor

Çizelge 6.2. Konya bölgesindeki termal su kaynaklarının elektriksel iletkenliği, pH ve derinliği.

Sudaki radondan dolayı radyasyona maruz kalma, suyun içme yoluyla tüketilmesi ve termal sudan havaya geçen radon gazının solunması şekillerinde olmaktadır. Radon gazının sudan havaya geçişi birçok faktöre bağlıdır (Xinwei L. 2006; Gurler O. ve ark. 2010). UNSCEAR raporlarına göre, sudaki 10 $kBq.m^{-3}$ değerindeki ^{222}Rn'nin 1 $Bq.m^{-3}$ lik kısmı havaya karışmaktadır ve bu durum da ev içi (indoor) havadaki radon konsantrasyon seviyesine katkı yapmaktadır (UNSCEAR, 2000). Termal sudaki radon konsantrasyonun ev içindeki havaya ortalama katkısı Çizelge 1'de verilen radon konsantrasyon çizelgesinden kolaylıkla elde edilebilir. Buna göre termal sudan kaynaklanan kapalı ortam (indoor) radon konsantrasyonlarındaki artış sırasıyla ilkbahar mevsiminde 0.06 ± 0.01 $Bq.m^{-3}$ ile 7.03 ± 0.36 $Bq.m^{-3}$ aralığında, yaz mevsiminde 0.07 ± 0.01 $Bq.m^{-3}$ ile 3.65 ± 0.47 $Bq.m^{-3}$ aralığındadır. Ev içi havadaki etkin dozun hesabı için, havanın soğurduğu dozdan etkin doza dönüşüm katsayısı hesaba katılmalıdır. Ayrıca, bu katsayıya ilave olarak ev içi (kapalı ortam) meşguliyet faktörü hesaba katılmalıdır. UNSCEAR raporuna göre, dönüşüm faktörü 1 $Bq.m^{-3}$ için 9 $nSvh^{-1}$ değerindeki dozdur (UNSCEAR, 2000). Bu rapora göre, dönüşüm faktörü birim hava hacmi içindeki birim ^{222}Rn aktivitesi için yetişkinler tarafından alınan etkin dozu gösterir. Ayrıca bu raporda ev içi (kapalı ortam) denge faktörü için 0.4, ev içi (kapalı ortam) meşguliyet faktörü de 0.8 olarak hesaba katılmıştır (Xinwei L. 2006; Gurler O. ve ark. 2010). Bu termal suların bir tedavi seansı genellikle yaklaşık 30 dakika sürer. Bu nedenle kapalı ortamdaki radonun solunmasına bağlı etkin doz hesabı 30 dakikalık bir tedavi seansı için yapılmıştır (Çizelge 1). Hesaplanan etkili dozlar ilkbahar mevsiminde 0.09 nSv ile 10.13 nSv aralığında, yaz mevsimi için 0.10 nSv ile 5.26 nSv aralığında değişmektedir (Gurler O. ve ark. 2010). Türkiye'nin Bursa ili Çekirge termal bölgesindeki sular için hesaplanan radon solunmasına bağlı etkin doz aralığı, tedavi başına 0.36 nSv – 11.89 nSv olarak hesaplanmıştır.

6.2. Tartışma

Konya bölgesinde, farklı derinliklere sahip olan termal su kaynaklarının radon içeriğinin ilk ölçümleri gerçekleştirildi. Bu ölçümlerin sonuçlarına göre, termal sulardaki radon aktivite seviyeleri ile sıcak su kaynaklarının derinlikleri arasında zayıf bir ilişki olduğu görülmektedir. Ölçümlerde, radon konsantrasyonlarının en yüksek seviyesi Konya'nın Ilgın termal bölgesinde bulunmuştur. USEPA içme amaçlı kullanılan sular için sudaki radon konsantrasyonunu güvenlik sınırı 11.11 $kBq.m^{-3}$ olarak tavsiye etmektedir (USEPA, 1991). Ancak, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme amaçlı kullanılan sular için radon konsantrasyon seviyesinin maksimum değerini 100 $kBq.m^{-3}$ olarak tavsiye etmektedir (WHO, 1993). USEPA tavsiye raporlarına göre, sadece Ilgın termal bölgesindeki termal su numunelerinin belirlenen radon seviyeleri, içmek için güvenlik sınırının üzerinde yer almaktadır (USEPA, 1991). Diğer taraftan WHO' nun tavsiye raporları dikkate alınırsa, tüm su örneklerinin içme amaçlı kullanım için güvenli olduğu görülmektedir (WHO, 1993). Sonuç olarak, bu bölgedeki termal su kaynakları içme amaçlı kullanımdan ziyade tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle Ilgın bölgesindeki termal su örneklerinin radon konsantrasyon düzeylerinin halk sağlığı için tehlikeli bir durum oluşturmadığını düşünmekteyiz.

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.

Ali N, Khan EU, Akhter P, Khan F, Waheed A. Estimation of Mean Annual Effective Dose Through Radon Concentration in the Water and Indoor Air of Islamabad and Murree. Radiat Prot Dosim. 2010;141:183-191.

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

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

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

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

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.

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.

D'Alessandro W, Vita F, Groundwater Radon Measurements in the Mt. Etna Area. J Environ Radioact. 2003;65:187-201.

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.

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

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.

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

Gurler O, Akar U, Kahraman A, Yalcin S, Kaynak G, Gundogdu O. Measurements of Radon Levels in Thermal Waters of Bursa Turkey. Fresenius Environ Bull. 2010;19:3013-3017.

Hamada H. Estimation of Groundwater Flow Rate Using the Decay of Rn-222 in a Well. J Environ Radioact. 2000;47:1-13.

Horvath A, Bohus LO, Urbani F, Marx G, Piroth A, Greaves ED. Radon Concentrations in Hot Spring Waters in Northern Venezuela. J Environ Radioact. 2000;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, Ozturk N, Bayulken A. Natural Radioactivity in Various Surface Waters in Istanbul, Turkey. Wat Res. 2000;34:4367-4370.

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

Konya Valiliği; [22 Nisan 2013]. İnternet adresi: http://www.konya.gov.tr/.

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.

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.

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

Savidou A, Zouridakis N. Measurement of Radon Concentration in Northern Greece Ground Water. Fresenius Environ Bull. 2001;10:411-413.

Schubert M, Buerkin W, Pena P, Lopez AE, Balcazar M. On-Site Determination of the Radon Concentration in Water Samples: Methodical Backgraund and Results from Laboratory Studies and a Field-Scale Test. Radiat Meas. 2006;41:492-497.

Schubert M, Paschke A, Lau S, Geyer W, Knöller K. Radon as a Naturally Occurring Tracer for the Assessment of Residual NAPL Contamination of Aquifers. Environ. Pollut. 2007;145: 920-927.

Schubert M, Schmidt A, Lopez A, Balcazar M, Paschke A. In Situ Determination of Radon in Surface Water Bodies by Means of a Hydrophobic Membrane Tubing. Radiat Meas. 2008;43:111-120.

Schubert M, Schmidt A, Müller K, Weiss H. Using Radon-222 as Indicator for the Evaluation of the Efficiency of Groundwater Remediation by in Situ Air Sparging. J Environ Radioact. 2011;102:193-199.

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).

Soto J, Fernandez PL, Quindos LS, Gomez-Arozamena J. Radioactivity in Spanish Spas. Sci Total Environ. 1995;162:187-192.

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.

Xinwei L. Analysis of Radon Concentration in Drinking Water in Baoji (China) and the Associated Health Effects. Radiat Prot Dosim. 2006;121:452-455.

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

Virk HS, Singh B. Radon Anomolies in Soil-Gas and Groundwater as Earthquake Precursor Phenomena. Tectonophys. 1993;227:215-224.

Vogiannis E, Nikolopoulos D, Louizi A, Halvadakis CP. Radon Exposure in the Thermal Spas of Lesvos Island-Greece. Radiat Prot Dosim. 2004;111:121-127.

Yalcin S, Gurler O, Tarim UA, Incirci F, Kaynak G, Gundogdu O. Measurements of Radon Concentration in Drinking Water Samples from Kastamonu (Turkey). Isot Environ Healt Stud. 2011;47:438-445.

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

Zedef V. Selki-İmrenler-Çamlıca (Beyşehir) Yöresinin Jeolojisi, Kil ve Demir Zuhurları. [dissertation]. Konya: University of Selcuk; 1987.

Zedef V. Sultandağı Formation: A Possible Example for Banded Iron Formations in Central Anatolia. Selçuk University Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi. 1997;12:34-40.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fatih ÖZDEMİR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : ELAZIĞ / 01.04.1987
Telefon : 0(532)5212195

e-mail : fatih.ozdmir@yahoo.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise :	Hasan Coşkun Lisesi, BURSA	2004
Üniversite :	Selçuk Üniversitesi , KONYA	2010
Yüksek Lisans :	Selçuk Üniversitesi , KONYA	2014
Doktora :		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-2014	Denizbank A.Ş.	Uzman Yrd.

UZMANLIK ALANI

Nükleer Fizik Bilim Dalı

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR VE BİLDİRİLER

Mehmet Erdogan, Fatih Ozdemir, Nuretdin Eren (2013) Measurement of radon concentration levels in thermal waters in the region of Konya, Turkey, Isotopes in Enviromental and Health Studies, 49:4, 567-574, DOI: 10.1080/10256016.2013.815182.

‘’International Scientific Conference People Buildings and Enviroment 2012’’ uluslar arası, ‘’Measurement of Radon Levels in Thermal Waters of Konya, Turkey’’ isimli sözlü bildiri (PBE 2012, Czeck Republich).

‘’Konya’nın Ilgın ilçesindeki jeotermal sularda ^{222}Rn düzeylerinin araştırılması’’ Mehmet Erdogan, Fatih Ozdemir. ADIM FİZİK GÜNLERİ – II, isimli sözlü bildiri (Pamukkale Üniversitesi, 2012).

‘’Konya’nın Ilgın ilçesindeki jeotermal ve doğal kaynak sularda ^{222}Rn konsantrasyonunun belirlenmesi’’ Fatih Ozdemir, Mehmet Erdogan. İZMİR GENÇ FİZİKÇİLER KONGRESİ, isimli poster bildirisi (Ege Üniversitesi, 2012).