

**BATMAN İLİNDEKİ SULARDA RADON
KONSANTRASYONUNUN TAYİNİ**

MEHMET SUAT ALP

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nevzat DAMLA

**2014
Her hakkı saklıdır**

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BATMAN İLİNDEKİ SULARDA RADON
KONSANTRASYONUNUN TAYİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET SUAT ALP

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nevzat DAMLA

Eylül 2014

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BATMAN İLİNDEKİ SULARDA RADON
KONSANTRASYONUNUN TAYİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET SUAT ALP

Enstitü Anabilim Dalı : **FİZİK**

Bu tez 05.09.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Ali YILMAZ
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Nevzat DAMLA
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Veyis TÜRÜT
Üye



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. İbrahim Y. ERDOĞAN
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren kendisini akademisyen olarak örnek olarak benimsediğim, hem bilimsel anlamda hem de insani değerler bakımından kendisinden çok şey öğrendiğim, tez konusunun belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar her aşamada bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, deneysel çalışmaların yapılması ve yorumlanması esnasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, danışmanım Doç. Dr. Nevzat DAMLA hocama, göstermiş olduğu yakın ilgi ve vermiş olduğu destek ve emeğinden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum. Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi Rektörlüğüne ve Batman Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

Bu çalışma Batman Üniversitesi 2010K120610 numaralı DPT projesi kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen anne ve babama, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşime ve biricik oğluma özellikle teşekkürü bir borç bilirim.

Mehmet Suat ALP

Bingöl 2014

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL ARAŞTIRMALAR	5
2.1. Radyoaktivite.....	5
2.1.1. Radyoaktif Bozunma ve Bozunum Türleri.....	6
2.1.1.1. Alfa Bozunumu.....	7
2.1.1.2. β^- bozunumu (Negatron Bozunumu).....	7
2.1.1.3. β^+ bozunumu (Pozitron Bozunumu).....	8
2.1.1.4. Elektron Yakalama Olayı.....	9
2.1.1.5. İç Dönüşüm (IC).....	10
2.1.1.6. Gama Işını Yayınlanması.....	11
2.1.1.7. İzomerik Geçiş.....	11
2.1.1.8. Nötron Yayınlanması (n-yayma).....	12
2.2. Radyoaktif Seriler.....	12
2.2.1. Doğal Seriler.....	12
2.2.1.1. Uranyum Serisi.....	12
2.2.1.2. Toryum Serisi.....	14
2.2.1.3. Aktinyum Serisi.....	15
2.2.2. Yapay Seriler.....	16

2.2.2.1. Neptinyum Serisi.....	16
2.3. Radyasyon.....	16
2.3.1. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	18
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. Işınlanma 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. Radon Gazı Özellikleri.....	23
2.4.2. Radonun Bozunum Ürünleri.....	27
2.4.3. Bina İçi Radon.....	28
2.4.4. Toprak Gazından Gelen Radon.....	30
2.4.5. İnşaat Malzemelerinden Gelen Radon.....	32
2.4.6. Sulardan Gelen Radon.....	32
2.4.7. Doğal Gazdan Gelen Radon.....	33
2.4.8. Bina İçi Radon Konsantrasyonu Azaltılması İçin Alınabilecek Tedbirler..	34
2.4.9. Radon Gazının Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	35
2.4.10. Radon ve Deprem.....	38
2.4.11. Radon Ölçüm Teknikleri.....	39
2.4.11.1. Kısa Dönem Ölçüm Teknikleri.....	39
2.4.11.1.1. Aktif Karbon Tekniği.....	40
2.4.11.1.2. Sıvı Sintilasyon Sayım Sisteminde Aktif Karbon.....	40
2.4.11.1.3. Alfa İz Detektörleri.....	40
2.4.11.1.4. Elektret İyon Odaları	42
2.4.11.1.5. Sürekli Monitörler.....	42
2.4.11.1.5.1. Alfa Sintilasyon Sürekli Radon Monitörleri.....	43
2.4.11.1.5.2. İyonizasyon Odaları Sürekli Radon Monitörleri.....	43

2.4.11.1.5.3. Katı Hal Sürekli Radon Monitörleri.....	43
2.4.11.1.6. Radon Tuzağı (Grab Sampler) Tekniği.....	43
2.4.11.2. Uzun Dönem Ölçüm Teknikleri.....	44
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	45
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	48
4.1. Materyal.....	48
4.1.1. AlphaGUARD Radon Cihazı.....	48
4.1.1.1. Detektörün Dış Yapısı.....	51
4.1.1.2. Detektörün İçyapısı.....	54
4.2. Yöntem.....	57
4.2.1. Numune Alımı.....	57
4.2.2. Su Numunelerinin Analizi İçin Ölçüm Düzenekinin Hazırlanması.....	57
4.2.3. AlphaGUARD PQ 2000PRO İle Sudaki Radon Ölçümü.....	58
4.3. Sudaki Radon Hesaplamaları.....	60
4.3.1. Ortalama Radon Konsantrasyonu Hesaplamaları.....	61
5. ÇALIŞMA BÖLGESİ.....	62
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	63
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Bq	: Becquerel
C	: Konsantrasyon değeri
Ci	: Curie
L	: Litre
m	: Metre
mL	: Mililitre
mSv	: Milisievert
n	: Nötron
Rn	: Radon
V	: Hacim
°C	: Santigrad derece
°K	: Kelvin derece
γ	: Gama
ν	: Nötrino
e^-	: Elektron
δ	: Delta
α	: Alfa
β^-	: Beta-negatif
β^+	: Beta-pozitif
MAD	: Midemizin aldığı yıllık doz miktarı
SADP	: Seçili alan difraksiyon paterni
TCP	: Topolojik sıkı paket fazlar
YED	: Yıllık Etkin Doz
YMK	: Yüzey merkezli kübik

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

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	α (alfa) bozunumu.....	7
Şekil 2.2.	β^- (negatron) bozunumu.....	8
Şekil 2.3.	β^+ (pozitron) bozunumu.....	9
Şekil 2.4.	Elektron yakalama olayı	10
Şekil 2.5.	Gama ışını yayınlanması.....	11
Şekil 2.6.	Farklı radyasyon türleri için giricilik mesafesi.....	17
Şekil 2.7.	Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri	19
Şekil 2.8.	Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri.....	20
Şekil 2.9.	Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerler.....	22
Şekil 2.10.	Radon ve radon dışındaki kaynaklardan maruz kalınan radyasyon miktarları.....	23
Şekil 2.11.	^{238}U bozunum serisinden gelen ^{222}Rn 'nin ve ürünlerinin bozunum aşamaları.....	24
Şekil 2.12.	Radon ailesinin üç temel izotopunun; (a) ^{222}Rn ; (b) ^{220}Rn ; (c) ^{219}Rn 'nin bozunum şemalar.....	25
Şekil 2.13.	Radonun binalara giriş yolları.....	29
Şekil 2.14.	Topraktaki radon geçirgenliği.....	31
Şekil 2.15.	Radon konsantrasyonunun havalandırmaya bağlı olarak değişimi.....	34
Şekil 2.16.	Radon bozunum ürünleri tarafından akciğerlerde yapılan ışınlanma.....	36
Şekil 4.1.	AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü.....	49
Şekil 4.2.	AlphaGUARD ile hava, su, toprak ve yapı malzemelerinde radon ölçümü.....	50
Şekil 4.3.	AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları.....	51

Şekil 4.4.	AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları.....	52
Şekil 4.5.	AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları.....	52
Şekil 4.6.	AlphaGUARD cihazının sol yandan görünüşü ve ebatları.....	53
Şekil 4.7.	AlphaGUARD cihazının sağ yandan görünüşü ve ebatları.....	54
Şekil 4.8.	AlphaGUARD detektörünün iyonizasyon çemberinin şematik çizimi....	55
Şekil 4.9.	AlphaGUARD'ın sinyal işleme biriminin blok diyagramı.....	56
Şekil 4.10.	Sudaki radon ölçüm düzeneği.....	58
Şekil 4.11.	Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği.....	61
Şekil 5.1.	Batman ili merkez ve ilçeleri haritası.....	62
Şekil 6.1.	²²² Rn'nın ortalama değerinin merkez ve ilçelere göre karşılaştırılması..	67
Şekil 6.2.	Yıllık Etkin ve Midenin maruz kaldığı dozun ilçelere göre karşılaştırılması.....	73

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Uranyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri.....	13
Tablo 2.2.	Uranyumun doğal izotopları.....	14
Tablo 2.3.	Toryum serisi ürünleri ve yarı ömürleri.....	14
Tablo 2.4.	Aktinyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri.....	15
Tablo 2.5.	Neptinyum serisi ürünleri ve yarı ömürleri.....	16
Tablo 2.6.	İyonlaştırıcı radyasyon birimleri ve dönüşüm faktörleri	21
Tablo 2.7.	^{222}Rn ve bozunum ürünlerinin özellikleri.....	27
Tablo 2.8.	Farklı ülkelerde ev içi ortalama radon konsantrasyonları.....	30
Tablo 2.9.	İnşaat malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri.....	32
Tablo 2.10.	Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri (etkin doz).....	37
Tablo 2.11.	Çeşitli ülkeler için radon konsantrasyon limitleri.....	37
Tablo 6.1.	Batman ili merkez içme suyu radon konsantrasyonu.....	63
Tablo 6.2.	Kozluk ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu.....	64
Tablo 6.3.	Gercüş ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu.....	64
Tablo 6.4.	Beşiri ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu.....	65
Tablo 6.5.	Sason ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu	65
Tablo 6.6.	Hasankeyf ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu.....	66
Tablo 6.7.	^{222}Rn 'nın merkez ve ilçelere göre istatistiksel değerleri.....	67
Tablo 6.8.	^{222}Rn değerlerinin literatürle karşılaştırılması.....	68
Tablo 6.9.	Batman Merkezdeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri.....	70
Tablo 6.10.	Kozluk ilçesindeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri.....	71
Tablo 6.11.	Gercüş ilçesindeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri.	71

Tablo 6.12	Beşiri ilçesindeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri.....	72
Tablo 6.13.	Sason ilçesindeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri.	72
Tablo 6.14.	Hasankeyf ilçesindeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri.....	72

BATMAN İLİNDEKİ SULARDA RADON KONSANTRASYONUNUN TAYİNİ

ÖZET

Radon (^{222}Rn) maruz kaldığımız radyasyonun yaklaşık % 50'sini oluşturan renksiz, kokusuz ve duyu organlarıyla algılanamayan radyoaktif asal bir gazdır. Yüksek dozlarda radona maruz kalındığında başta akciğer kanseri olmak üzere birçok hastalıklara sebep olmaktadır. Bundan dolayı son yıllarda canlıların en önemli ihtiyacı olan sulardaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemeye yönelik çalışmalarında önemli bir artış görülmektedir.

Bu tezin amacı, Batman ilindeki içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemek; sulardan kaynaklanan radyoaktif doz hesaplarını yaparak, Batman ilinde yaşayan insanların bu sulardan yıllık ne kadar doza maruz kaldıklarını tespit etmektir. Ayrıca Avrupa Birliği'ne giriş sürecinde olan ülkemiz için bir veri tabanı oluşturmaktır. Su örnekleri, Genitron Instruments tarafından üretilen AlphaGUARD PQ 2000PRO radon dedektörü ile analiz edilmiştir ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar uluslararası önerilen değerlerle kıyaslanmıştır.

Bu tez çalışmasında elde edilen radon konsantrasyonu değerleri $0,883 \pm 0,349$ Bq/L ile $0,195 \pm 0,103$ Bq/L arasında değişmekte ve ortalama değeri $0,455$ Bq/L olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Batman, su, radon, radyasyon, AlphaGUARD

DETERMINATION OF RADON CONCENTRATIONS IN WATERS OF BATMAN PROVINCE

ABSTRACT

Radon (^{222}Rn) is a colourless, odourless and radioactive gas that cannot be observed by human sense and which makes % 50 of radiation we are exposed to. When exposed in high doses of radon, it causes a number of illnesses notably lung cancer. Thus the number of researches on measurement to determine the ^{222}Rn concentrations in waters a vital need for all creatures has increased dramatically recently.

The aim of this study is to determine ^{222}Rn concentration in drinking waters in Batman Province and to find out how much dose people living in Batman province are exposed to it annually by calculating the radioactive dose stemming from waters. Furthermore, it is aimed to compose a data base for our country which is on the verge of entering EU. Water samples were analysed with the AlphaGUARD PQ 2000PRO radon detector produced by Genitron Instruments and the results obtained in this study were compared with the international recommended values.

The results obtained from this study for radon concentration ranged from 0.883 ± 0.349 Bq/L to 0.195 ± 0.103 Bq/L, and mean concentration was found as 0.455 Bq/L.

Keywords: Batman, water, radon, radiation, AlphaGUARD

1. GİRİŞ

Yeryüzünde yaşayan tüm canlılar radyasyonla iç içe yaşamaktadır. Kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar, su ve gıdaların içerdiği radyoizotoplar ve yapay kaynaklar, etkilendiğimiz radyasyon kaynakları olmaktadır. Radyasyon, kararsız atom çekirdeklerinin parçacıklar ya da elektromanyetik ışımlar yayımlamasıdır. Radyasyon etki açısından iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır (Akkurt 2006). Bilimsel çalışmalar uzun süre radyasyona maruz kalmanın akciğer kanseri ve diğer organ kanserleri riskini artırdığını ortaya koymuştur (Planiniç 2002).

Doğal radyoaktif kaynakların yayınladığı ışımlar doza önemli katkıda bulunur (Işık 2002). Doğal radyasyon yolu ile alınan ortalama yıllık etkin doz 2,4 mSv civarındadır (<http://www.taek.gov.tr>, 2010).

Yer kabuğunda bulunan ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra ve ^{40}K gibi elementler çok uzun yarı ömürlü doğal radyoaktif kaynaklardır. Bu kaynaklar ve bozunum ürünleri yaşadığımız topraklarda, içtiğimiz sularda, soluduğumuz havada bulunmaktadır. Çevresel ortamdaki dağılımları düzgün bir dağılım göstermez. Bu nedenle iç ve dış ışınlamalar sonucu alınan dozlar da büyük değişiklikler gözlenmektedir (Eisenbud 1997).

Radon ailesinin 35 izotopu vardır. ^{226}Ra 'nın bozunması ile oluşan doğal radyoaktif bir soy gaz olan ^{222}Rn , yarı ömrü 3,82 gün olup ailenin en uzun yarı ömürlü çekirdeğidir. Radon dendiğinde aslında ^{222}Rn izotopu kastedilmektedir. ^{222}Rn 'nin bozunumu sonucu insan sağlığı için önemli olan kısa yarı ömürlü dört radyoaktif izotop (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) oluşur. Bunların yarı ömürleri $1,64 \times 10^{-4}$ s ile 26,8 dk arasında değişmektedir (www.nndc.bnl.gov/nudat2/, 2010). Radon ürünlerinin solunum sistemindeki davranışları üzerinde yapılan çalışmalar, ürünlerin akciğerlerdeki biyolojik yarı ömrünün birkaç saatten bir güne kadar olabileceğini göstermiştir. Bu nedenle radonun bozunum ürünleri akciğer kanseri yönünden radondan daha tehlikelidir.

Topraktan havaya sızan ^{222}Rn önemli bir kapalı ortam kirletici faktör olarak belirmektedir. ^{222}Rn suda çözünebilir, dolayısıyla sudan havaya geçişi de gerçekleşir. Kapalı ortamlarda veya radyoaktif su kaynaklı havuzların bulunduğu ortamlarda yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir (Güler ve Çobanoğlu 1997). Potansiyel sağlık riski sebebiyle toprakta, havada ve suda radon konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi önem taşır. Bu amaç için farklı yerlerde ve farklı kişiler tarafından çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Akkurt (2006), Afyonkarahisar ve civarındaki termal suların radon ve radyum konsantrasyonlarını AB-5R model radon detektörü ile analiz etmiştir. Elde edilen verilerde radon konsantrasyonunu 0,085-73,62 Bq/L ve radyum konsantrasyonunu ise 0,062-2,97 Bq/L olarak bulmuştur.

Barış (2006), İzmir ilinin Çeşme ilçesinde yapmış olduğu bir çalışmada 4 tane termal sudan ve 11 tane kuyu suyundan alınan örneklerin radon konsantrasyonlarını CR-39 detektörü ile tayin edilmiştir. Termal sulardaki radon konsantrasyonu 0,073 ile 0,294 Bq/L aralığında, ortalama değeri 0,207 Bq/L olarak ve kuyu suları için bu değerleri 0,086 ile 0,493 Bq/L arasında, ortalama değeri de 0,303 Bq/L olarak hesaplamıştır.

Güloğlu (2007), Çeşme bölgesi aktif fay hatlarındaki kaplıcalarda yapılan çalışmada, 6 farklı istasyonda radon konsantrasyonlarını ölçülmüştür. Sıcak su kaynaklarında radon kolektör yöntemi ile çevresindeki topraklarda ise nükleer iz kazıma yöntemi ile belirlemiştir. Sudaki radon seviyelerini 33,24 Bq/L ile 1,38 Bq/L aralığında, topraklarda ise 2 460 iz/cm²/hafta ile 250 iz/cm²/hafta aralığında bulunmuştur.

Song et al. (2005), Çin'de dört farklı kaplıca hotelinde radon ölçümlerini NR-667A (III) radon detektörü ile gerçekleştirmişlerdir. Sıcak su kaynaklarında radon konsantrasyonunu 53,4-292,5 Bq/L ve dışarıdaki havada 17,2-190,9 Bq/m³ aralığında ölçmüşlerdir. Banyolarında kaplıca suyunun kullanıldığı odaların içerisindeki havada radon düzeyi değişimini 22-2 855 Bq/m³, banyosu olmayan odalarda ise 17-912 Bq/m³ olarak bulmuşlardır.

Vogiannis et al. (2004), Yunanistan'da kaplıcalardaki tedavi süresince radon ve ürünlerinin değişimlerini görmek amacıyla yaptıkları çalışmada, termal suların radon

konsantrasyon değişimini 10 ile 304 Bq/L aralığında hesaplamışlar. Tedavi görenler için yıllık doz değişimini 0,0067-0,1279 mSv olarak, bu değerin çalışan personel için yıllık 20 mSv olarak hesaplamışlardır.

Radolic et al. (2005), Hırvatistan'da yaptıkları bir çalışmada 9 ayrı kaplıca havuzunun jeotermal sularındaki ve havadaki radon seviyelerini belirlemiş ve ortalama değerleri sırasıyla 40,3 Bq/m³ ile 4,5 kBq/m³ olduklarını görmüşlerdir. Belli bir kaplıca için personelin aldığı etkin doz değerini yılda 0,27 mSv bulmuşlardır. Ayrıca radonun termal su havuzundan havaya transfer faktörünü $4,9 \pm 0,7 \times 10^{-3}$ olarak hesaplamışlardır.

Nikolopoulos et al. (2010), Yunanistan'daki bir kaplıcada yapılan çalışmada Nikolopoulos ve arkadaşları, radon ve ürünlerinin tedavi gören hastalar ve çalışan personel üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Alpha GUARD PQ2000 Pro ile yapılan ölçüm değerleri su örnekleri için 54 ± 10 ile 297 ± 25 Bq/L, tedavi odaları için 200-1.200 Bq/m³ değerlerinde bulunmuştur. EQF3020 ile belirlenen değerleri ise ²²²Rn için 0-3 160 Bq/m³, ²¹⁸Po 9-1 000 Bq/m³, ²¹⁴Pb 7-780 Bq/m³, ²¹⁴Bi 0-590 Bq/m³ aralığında gözlemişlerdir.

Karahan vd (2010), İstanbul'da içme suları ve yüzey suları için yaptıkları çalışmada radon konsantrasyon değerleri 0.019 Bq/L ile 0.048 Bq/L arasında değişim göstermiştir.

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

Erees vd (2006), Denizli'de depremler ile fay hattı üzerindeki termal suların radon konsantrasyonundaki değişimler arasında bağlantı kurmak amacıyla yaptıkları çalışmada konsantrasyon değerlerinin 0,67 kBq/m³ ile 25,90 kBq/m³ arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Yarar vd (2006), İzmir-Dikili civarında jeotermal bir bölgeye ait su örneklerinde radon konsantrasyonu ölçümü yapmış, 29 Bq/m³ ile 3075 Bq/m³ değerleri arasında sonuçlar elde etmişlerdir.

Yalım vd (2007), 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.

Öner vd (2009), Amasya ili ve çevresinde yaptıkları çalışmada, içme sularında radon konsantrasyonunu ölçmüşler ve değerlerin 0,42 Bq/L ile 2,4 Bq/L arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Erdoğan vd (2013), Konya ili ve çevresinde yaptıkları çalışmada, içme sularında radon konsantrasyonunu ölçmüşler ve değerlerin 0,91 Bq/L ile 12,58 Bq/L arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Yiğitoğlu vd (2010), Tokat ili ve çevresinde yaptıkları çalışmada, içme sularında radon konsantrasyonunu ölçmüşler ve değerlerin 0,5 Bq/L ile 1,3 Bq/L arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

İçme sularında ^{222}Rn konsantrasyonu tayini için birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmaların eksik olan, yani Batman ili ve çevresinde ^{222}Rn konsantrasyonunun tayini için herhangi bir çalışmanın yapılmamış olmasıdır. Bu çalışmanın amacı Batman ili ve ilçelerinde içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemek; sulardan kaynaklanan radyoaktif doz hesaplarını yaparak, Batman ilinde yaşayan insanların bu sulardan yıllık ne kadar doza maruz kaldıklarını tespit etmektir. Ayrıca Avrupa Birliği'ne giriş sürecinde olan ülkemiz için bir veri tabanı oluşturmaktır.

2. KURAMSAL ARAŞTIRMALAR

2.1. Radyoaktivite

Radyoaktivite, bir çekirdeğin bir ışın ya da parçacık yayınlıyarak 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 bozunma ve parçalanma şekli vardır. Bu olaylar, çekirdeğin parçalanma hızı, çekirdeğin yaydığı radyasyon cinsine, enerjisine bağlı olarak değişmektedir. Genelde atom numarası 83'ten büyük atomlar radyoaktiftir. Radyoaktif kelimesi, yayma anlamına gelen radyo ile sürekli anlamına gelen aktif kelimelerinden oluşur.

Radyoaktivite, 1896'yılında Henri Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel belirli floresan tuzlarının güneş ışınlarıyla aktiflendikten sonra yayınladıkları radyasyonlar üzerinde çalışırken 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 ışıktaki 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.

Becquerel'in keşfinden sonra radyasyonun özelliklerinin çalışılmasına yönelik büyük çabalar sarf edilmiştir. İlk araştırmaların birçoğu Curie'ler, William Crookes, Ernest Rutherford ve Rutherford'ın 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. Bunları bir kağıt parçası ile durdurmak mümkündür. Fakat havada yoğun iyonlaşmalara

sebeptir. Bu radyasyonlar alfa parçacıkları olarak adlandırılır. İkinci grubu teşkil edenlerin iyonlaştırma güçleri daha azdır ancak alfa parçacıklarından daha büyük girici-güce sahiptirler ve birkaç mm kalınlığındaki metal levhalardan kolayca geçebilmektedirler. Bunlara da beta parçacıkları adı verilir. Üçüncü gruptakiler de az iyonlaşmaya sebep olurlar fakat farklı maddelerin santimetrelerce kalınlığından geçebilmektedirler. Bunlar da gama 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 olmaksızın 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).

1896 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 laboratuvarlarda 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 dakikalık bir yarı ömür ile pozitron yayınlayarak bozunur (Krane 2001).

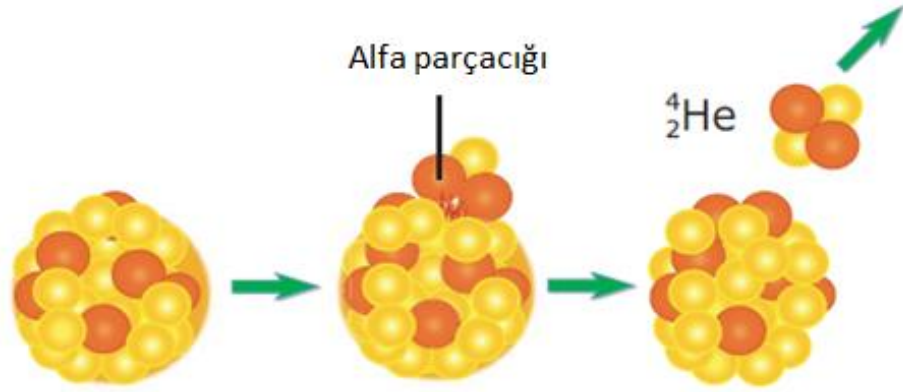
2.1.1. Radyoaktif Bozunma ve Bozunum Türleri

Kararsız atom çekirdeklerinin fazla enerjilerini vererek daha kararlı bir atom çekirdeğine dönüşmek için kendilerini yeniden düzenlemelerine Radyoaktif bozunma denir (TAEK). Kararsız atom çekirdekleri bozunurken belirli birkaç yol takip eder, bazen kararsız atom

çekirdeğin bozunması iki veya daha fazla yolla gerçekleşebilir. Bilinen radyoaktif bozunma şekilleri şunlardır:

2.1.1.1. Alfa Bozunumu

Atom numarası 83'den büyük olan yüksek atom numaralı elementlerde görünen bir bozunma olayıdır. (2.1) denkleminde verilen alfa bozunumu sürecinde bozunan çekirdeğin atom numarası 2, kütle numarası ise 4 azalır. Alfa parçacığı aslında helyum atomunun iki kere iyonlaşmış halidir ve enerjileri 4-9 MeV arasında değişmektedir. Alfa bozunumunun şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir.



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



Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük bir kısmını, momentumun korunumu gereğince alfa parçacığı alır. Alfa bozunumu ile çekirdeğin fiziksel ve kimyasal özellikleri değişir. Alfa parçacıkları madde içerisinden geçerken iyonlaşma meydana getirerek tamamen soğurulurlar ve enerjilerini kaybederler.

2.1.1.2. β^- Bozunumu (Negatron bozunumu)

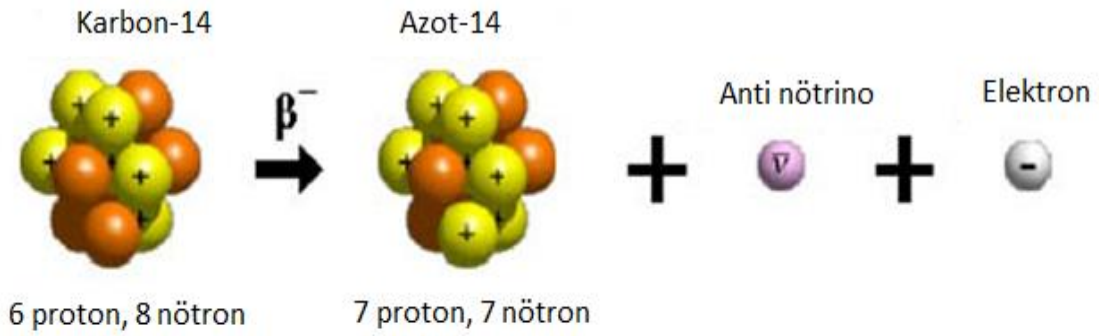
Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından meydana geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için (2.2) denkleminde görüldüğü gibi nötronlardan biri protona dönüşür yani atom numarası bir artar ve elektronlarla aynı olan

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

$$n \rightarrow p + \bar{\beta} + \bar{\nu} \quad (2.2)$$

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.

$${}^A_ZX_N \rightarrow {}^A_{Z+1}X_{N-1} + \bar{\beta} + \bar{\nu} \quad (2.3)$$



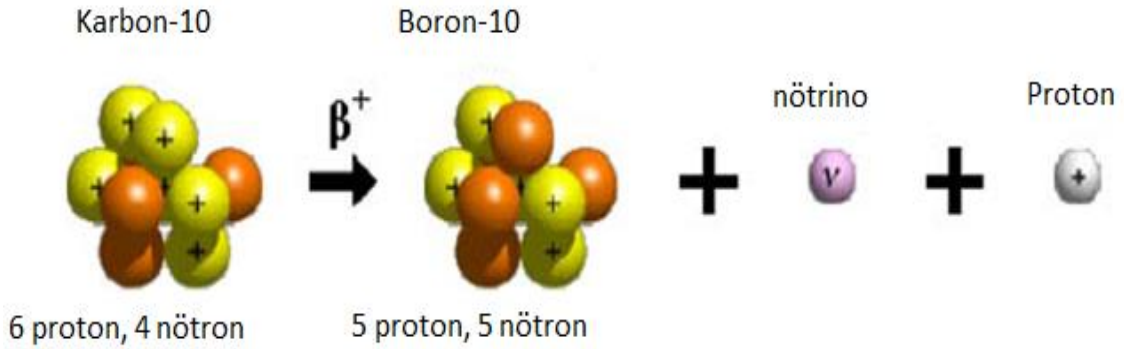
Şekil 2.2. β^- (negatron) bozunumu (Davutoğlu 2008)

2.1.1.3. β^+ Bozunumu (Pozitron bozunumu)

β^+ bozunumu, pozitif beta bozunumu veya pozitron bozunumu olarak adlandırılır ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır. 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.

$$p \rightarrow n + \bar{\beta} + \nu \quad (2.4)$$

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.

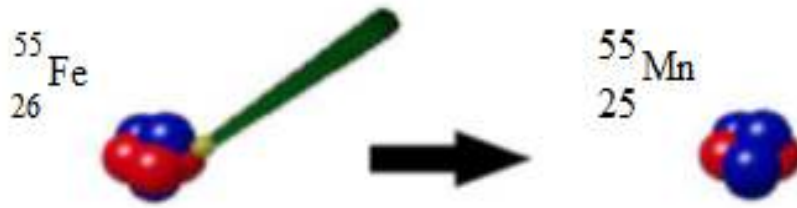


Şekil 2.3. β^+ (pozitron) bozunumu (Davutoğlu 2008)

2.1.1.4. Elektron Yakalama Olayı

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın yörüngelerde elektron çekirdek tarafından 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).





Şekil 2.4. Elektron yakalama olayı

2.1.1.5. İç Dönüşüm

Herhangi bir beta kaynağı tarafından üretilen enerjilerin sürekliliği bazı uygulamalar için uygun değildir. Örneğin bir elektron dedektörünü kalibre etmek istersek, tek enerjili elektron kaynakları kullanmak daha uygundur.

Nükleer iç dönüşüm olayı yaklaşık tek enerjili olma şartı altında dönüşüm elektronları için bir kaynak olabilir. İç dönüşüm olayı daha önce meydana gelmiş olaylarla genellikle ana türlerin beta bozunmasıyla şekillenmiş olan uyarılmış bir nükleer durumla beraber başlar.

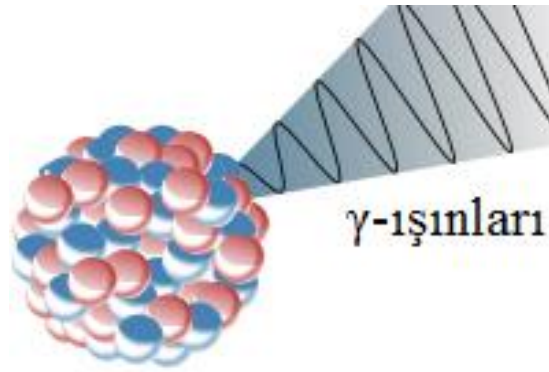
Bazı uyarılmış durumlar için gama ışını yayınlanması oldukça engellenmiş ve buna alternatif olarak iç dönüşüm olayı daha etkili olabilir. Burada E_{ex} direk olarak atomun elektron orbitallerinden transfer edilmiş nükleer uyarılma enerjisi olsun. Bu elektron aşağıdaki enerjiyle birlikte denklem (2.8)'de görüldüğü gibi görülür.

$$E_e^- = E_{ex} - E_b \quad (2.8)$$

Burada E_b elektronun orijinal kabuğunun bağlanma enerjisidir. Dönüşüm elektronları atom içinde herhangi bir kabuktan orijine doğru olduğundan uyarılmış bir nükleer seviye değişik enerjilere sahip birçok elektron grubuna sebep olabilir. Çekirdek içerisinde birden fazla dönüşüm olayının meydana geldiği bu durumda spektrum çok kompleks olabilir. Bütün bu eksikliklere rağmen, dönüşüm elektronları keV ve MeV enerji aralığında laboratuvar ölçekli yegâne tek enerjili elektron gruplarıdır (Knoll 2010).

2.1.1.6. Gama Işını Yayınlanması

Gama ışınları kısa dalga boylu elektromagnetik radyasyonlardır. Radyoaktif bir çekirdek alfa veya beta yayınlanmasından sonra çoğu zaman kararlı kalmayabilir. Yani, radyoaktif parçalanmadan sonra çekirdek uyarılmış halde kalabilir. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini hemen elektromanyetik özellikte olan bir gama radyasyonu şeklinde yayınlar ve kararlı hale gelir. Bu şekilde bozunan yarı kararlı çekirdeğin atom ve kütle numaralarında bir değişme olmaz, bu nedenle izomerik bozunma adı verilmiştir. Şekil 2.5’de gama ışını yayınlanmasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.5. Gama ışını yayınlanması (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Gama> 2008)

Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlarla kıyaslandığında çok kısadır, genellikle 10^{-9} saniyeden daha küçüktür fakat saat ve gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanması da vardır. γ -ışınlarının enerjileri 0,1 MeV ile 3 MeV arasında değişmektedir (Davutoğlu 2008). Gama ışınlarının menzilleri uzun olup maddeye nüfuz etme yetenekleri fazla olduğundan, alfa ve betalar gibi ince bir madde tabakası ile durdurulamazlar. Bu nedenle koruma için zırlama yapılması zorunludur.

2.1.1.7. 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 denir. İzomerik 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).

2.1.1.8. Nötron Yayınlanması (n-yayma)

Radyoaktif atomların bozunma olaylarında, sadece birkaç tanesi nötron yayınlar. En iyi bilinen örnek $^{87}_{35}\text{Br}$ izotopudur. Bu örnek bozunma (2.9) denklemi ile ifade edilmiştir (Özdemir 2006).



2.2. Radyoaktif Seriler

Doğada üçü doğal ve biri 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 uzun ömürlü bir element ile başlarlar ve Pb'nin bir izotopu ile son bulurlar. Radon gazının bir izotopunu içerirler ve her üç serinin bazı elemanları hem α hem de β^- çıkararak bozunurlar.

2.2.1.1. Uranyum Serisi

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

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

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
²³⁸ U	4,5 x 10 ⁹ yıl	α	²³⁴ Th
²³⁴ Th	24,1 gün	β^-	²³⁴ Pa
²³⁴ Pa	6,7 saat	β^-	²³⁴ U
²³⁴ U	2,67 x 10 ⁵ yıl	α	²³⁰ Th
²³⁰ Th	8 x 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^-	²¹⁸ At
²¹⁸ At	1,5 – 2 saniye	α β	²¹⁸ Rn
²¹⁸ Rn	0,019 saniye	α	²¹⁴ Pb
²¹⁴ Pb	26,8 dakika	β^- α	²¹⁴ Bi
²¹⁴ Bi	19,7 dakika	β^-	²¹⁴ Po
²¹⁴ Po	15 x 10 ⁻⁴ saniye	α	²¹⁰ Tl
²¹⁰ Tl	1,32 dakika	β^-	²¹⁰ Pb
²¹⁰ Pb	22 yıl	β^-	²¹⁰ Bi
²¹⁰ Bi	5 gün	β^- α	²¹⁰ Po
²¹⁰ Po	138,40 gün	α	²⁰⁶ Tl
²⁰⁶ Tl	4,2 dakika	β^-	²⁰⁶ Pb
²⁰⁶ Pb	kararlı	-	-

Doğal elementlerin en ağırlı olan uranyum 238,03 atom ağırlığına sahiptir. Atomun çekirdeğinde 92 proton, 146 nötron ve 7 katlı yörüngesinde 92 elektron bulunup atom yarıçapı 1,43 °A'dur. Ağır bir metal olan uranyumun yoğunluğu, 19,1 g/cm³'tür. Uranyum, 1132 °C'de erir ve 3818 °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 Tablo 2.2 'deki gibidir (Değerlier 2007).

Tablo 2.2. Uranyumun doğal izotopları

İzotop	Doğal Çokluk (%)	Yarı Ömür
$^{238}_{92}\text{U}$	99,28	$4,5 \times 10^9$
$^{235}_{92}\text{U}$	0,72	$0,7 \times 10^9$
$^{234}_{92}\text{U}$	0,005	$2,4 \times 10^5$

2.2.1.2. Toryum Serisi

Toryum serisi ^{232}Th ile başlar. Tablo 2.3'ten de görüldüğü gibi alfa ve beta parçacıkları yayınlamaya kurşunun bir izotopu olan ^{208}Pb 'ye dönüşür. Bu serinin kütle numaraları (4n) şeklindedir.

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

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{232}Th	$1,39 \times 10^{10}$ yıl	α	^{228}Ra
^{228}Ra	6,7 gün	β^-	^{228}Ac
^{228}Ac	6,13 saat	β^-	^{228}Th
^{230}Th	1,910	α	^{226}Ra
^{226}Ra	3,64 gün	α	^{222}Rn
^{222}Rn	5,15 saniye	α	^{218}Po
^{218}Po	0,16 saniye	α	^{218}Pb
^{218}Pb	10,6 saat	β^-	^{214}Bi
^{214}Bi	60,5 dakika	β^- α	^{214}Po
^{214}Po	3×10^{-7} saniye	α	^{210}Tl
^{210}Tl	3,10 dakika	β^-	^{206}Pb
^{206}Pb	kararlı	-	-

2.2.1.3. Aktinyum Serisi

Aktinyum serisi ^{235}U ile başlar. Alfa ve beta parçacıkları yayınlarak 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 Tablo 2.4'te verilmiştir.

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

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{235}U	7,15 x 10 ⁸ yıl	α	^{231}Th
^{231}Th	25,64 saat	β^-	^{231}Pa
^{231}Pa	3,43 x 10 ⁴ yıl	α	^{227}Ac
^{227}Ac	21,8 yıl	α β^-	^{227}Th
^{227}Th	18,4 gün	α	^{223}Fr
^{223}Fr	21 dakika	β^- α	^{223}Ra
^{223}Ra	11,68 gün	α	^{219}At
^{219}At	0,9 dakika	α β^-	^{219}Rn
^{219}Rn	3,92 saniye	α	^{215}Bi
^{215}Bi	8 dakika	β^-	^{215}Po
^{215}Po	1,83 x 10 ⁻² saniye	α β^-	^{215}At
^{215}At	10 ⁻⁴ saniye	α	^{211}Pb
^{211}Pb	36,1 dakika	β^-	^{211}Bi
^{211}Bi	2,16 dakika	β^- α	^{211}Po
^{211}Po	0,52 saniye	α	^{207}Tl
^{207}Tl	4,78 dakika	β^-	^{217}Pb
^{217}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. Tablo 2.5'ten de görülebileceği gibi bu seri ^{237}Np ile başlar ve serinin kararlı olan son elementi ^{209}Bi 'dir.

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

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayınladığı Parçacık Türü	Bozunum Ürünleri
^{237}Np	$2,0 \times 10^6$ yıl	α	^{233}Pa
^{233}Pa	27,4 gün	β^-	^{233}U
^{233}U	$1,62 \times 10^5$ yıl	α	^{229}Th
^{229}Th	7340 yıl	α	^{225}Ra
^{225}Ra	14,8 gün	β^-	^{225}Ac
^{225}Ac	10 dakika	α	^{221}Fr
^{221}Fr	4,8 gün	α	^{217}At
^{217}At	0,0185 saniye	α	^{215}Bi
^{215}Bi	47 ay	α	^{209}Tl
^{209}Tl	2,2 dakika	β^-	^{209}Pb
^{209}Pb	3,3 saat	β^-	^{209}Bi
^{209}Bi	$1,9 \times 10^{19}$ yıl	α	^{205}Tl
^{205}Tl	kararlı	-	-

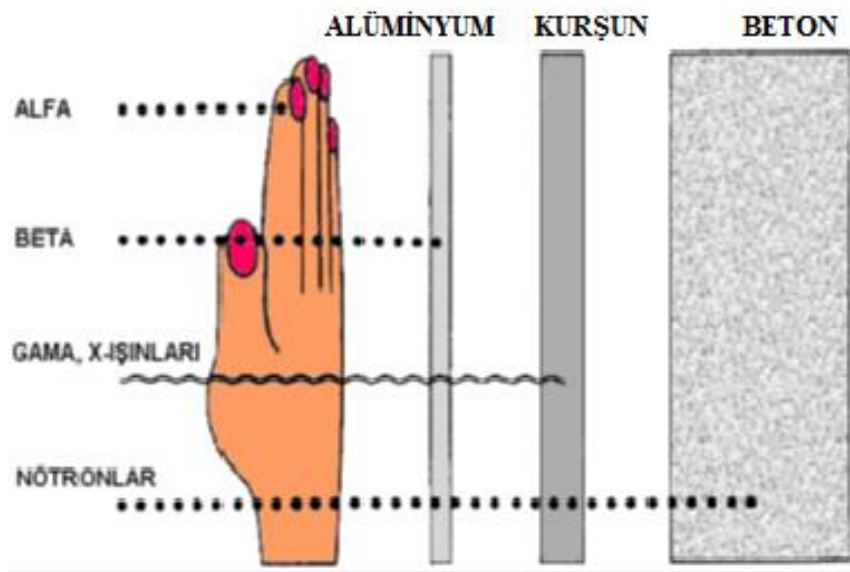
2.3. Radyasyon

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.'da farklı radyasyon türleri için giricilik mesafesi verilmiştir (Büyüksulu 2007).



Şekil 2.6. Farklı radyasyon türleri için giricilik mesafesi (Büyüksulu 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

İyonlaştırıcı radyasyon, doğrudan iyonlaştırıcı ve dolaylı yoldan iyonlaştırıcı olmak üzere ikiye ayrılır. 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.

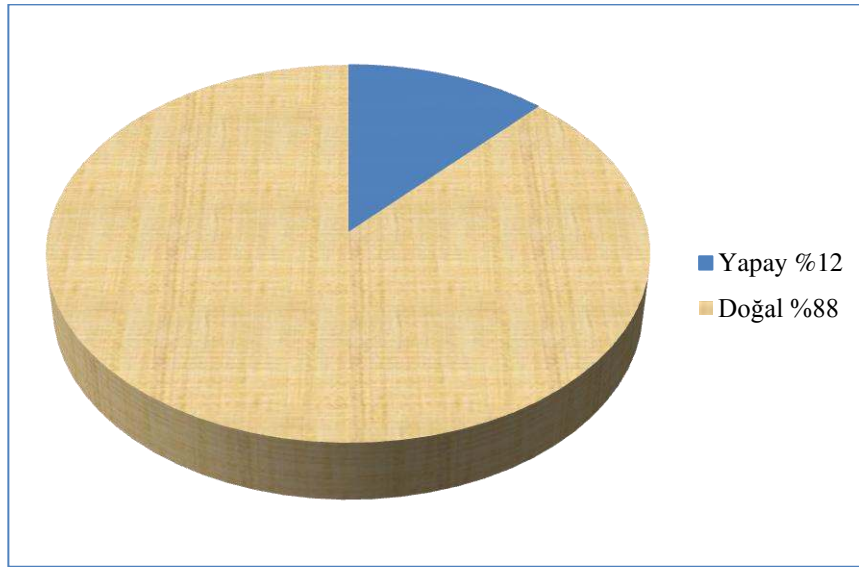
α parçacığı (${}^4_2\text{He}$), pozitif yüklü parçacıklardan oluşur. Bu ışınlar kısa menzillidirler ve bunları bir kâğıtla bile durdurmak mümkündür. Beta ışınları negatif yüklerden meydana gelmiştir. İnce kalınlıktaki bir su demeti ya da metal levha bu elektronları durdurmak için yeterlidir. Serbest 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-ışınları ise, hızlandırılmış elektronların hedef seçilen bir atomun üzerine gönderildiğinde hedef atomundaki elektronlarla etkileşerek oluşan frenlemeler sonucunda meydana geldiğinden daha düşük enerjili 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.



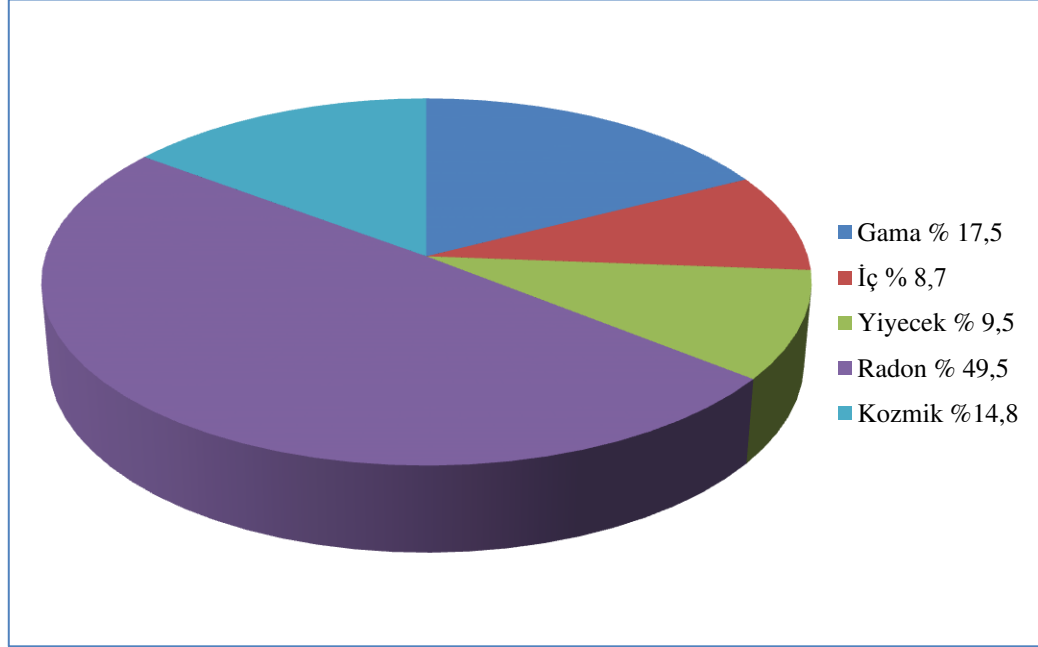
Şekil 2.7. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA 1996)

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. Dünya genelinde bu doğal

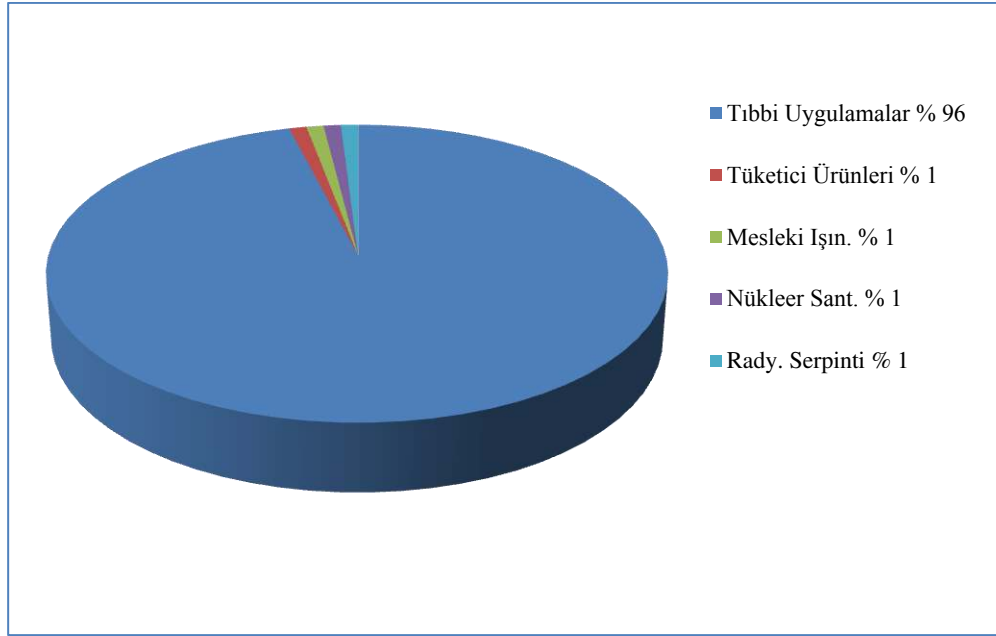
radyasyon kaynakları nedeniyle maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri Şekil 2.8’de verilmiştir.



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.



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 kaynaktan 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 Tablo 2.6’da hem SI hem de eski birimleri tanıtılmıştır.

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

Büyüklik	Yeni Birim (SI)	Eski Birim	Dönüşüm Faktörü
Işınlanma Dozu	Coulomb/Kilogram (C/kg)	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R
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)	1 Bq = $2,7 \times 10^{-11}$ 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 $2,58 \times 10^{-4}$ C'lik elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır ($1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$ ve $1 C/kg = 3876 R$ '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.

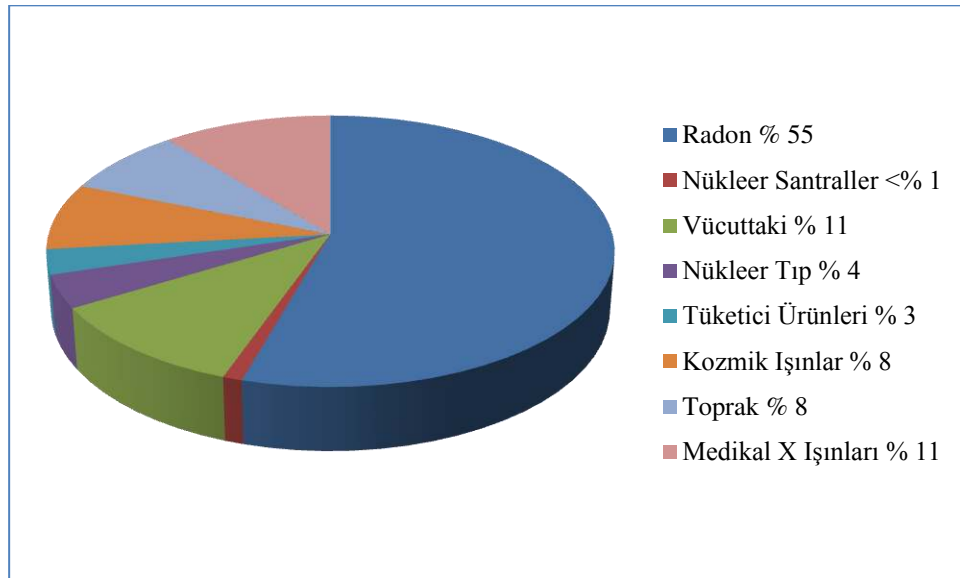
2.3.4.4. Aktivite Birimi

Aktivite için kullanılan özel birim Curie (Ci) olup, SI sistemindeki karşılığı Becquerel (Bq) dir. Curie, saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir. Bequerel, saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir, $1 Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$ 'dir.

2.4. Radon

2.4.1. Radon Gazı Özellikleri

^{222}Rn 1900 yılında E. Darn tarafından keşfedilmiş ve havadaki varlığı, ilk olarak 1901 yılında Elster ve Geitel tarafından bulunmuştur. Simgesi Rn, atom numarası 86 olan radon renksiz, kokusuz ve tatsız asal radyoaktif bir gazdır. Diğer elementlerle kimyasal tepkimeye girmez. Havadan yedi buçuk kez, hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır, $-61,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sıvılaşır ve $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de donar. Yoğunluğu 0°C 'de $9,72\text{ g/l}$ 'dir. Daha çok soğutulacak olursa yumuşak sarı bir renk vererek parlar. Sıvı hava sıcaklığı olan -195°C 'de turuncu-kırmızı arası bir renk alır. Radyoaktif radyumun (^{226}Ra) stabil özellikteki kurşuna (^{206}Pb) dönüşümü sırasında meydana gelir (Güler ve Çobanoğlu 1997). Şekil 2.10'da görülebileceği gibi radon, yeryüzünde bulunan radyasyon kaynakları içerisinde en yüksek orana sahip olan doğal radyasyon kaynağıdır.

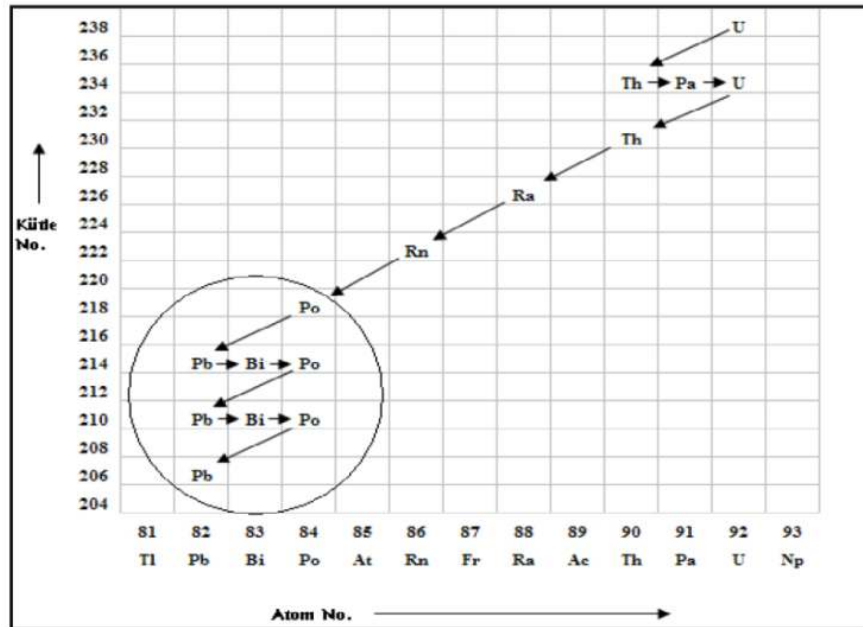


Şekil 2.10. Radon ve radon dışındaki kaynaklardan maruz kalınan radyasyon miktarları (Görür 2006)

Doğal radyasyon kaynaklarından olan ^{222}Rn , yarı ömrü 4,5 milyar yıl olan ^{238}U serisinin bir elemanıdır. Uranyum serisi içinde yer alan, yarı ömrü 1.600 yıl olan alfaaktif ^{226}Ra 'nın bozunumu sonucunda ortaya çıkmaktadır. ^{226}Ra 'nin bozunum denklemi, denklem (2.10)'da gösterildiği gibidir.



^{226}Ra , uranyum serisinin bir elemanı olduğundan toprakta, kayalarda, yapı malzemelerinde, su ve gıdalarda bulunmakta ve yeryüzünde oldukça geniş bir dağılım göstermektedir. ^{226}Ra , uzun yarı ömürlü olması nedeniyle, ^{222}Rn oluşumunda bir üreteç görevi yapar. Genellikle, kısa yarı ömürlü bozunum ürünleri (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) ile denge halinde bulunur (Thomas 1985). ^{222}Rn ve bozunum ürünleri Şekil 2.11’de görülmektedir.



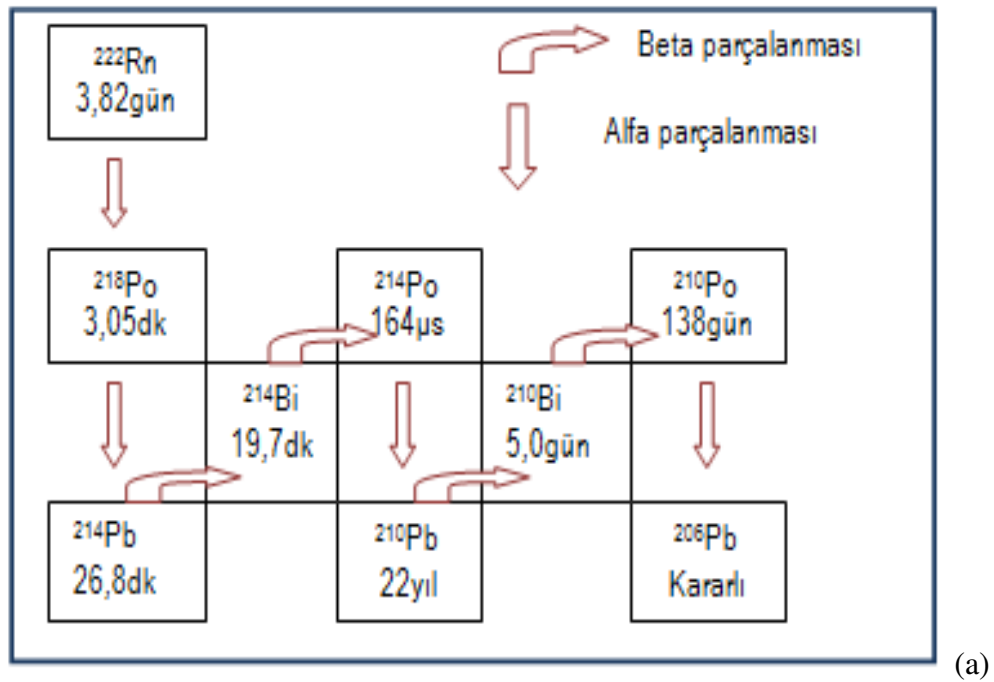
Şekil 2.11. ^{238}U bozunum serisinden gelen ^{222}Rn 'nin ve ürünlerinin bozunum aşamaları (Kapdan 2009)

35 izotopa sahip radon ailesinin üç temel izotopu ^{222}Rn , ^{220}Rn ve ^{219}Rn 'dir. Bunlar radyoaktif soy gazlar olup sırasıyla *radon*, *toron* ve *aktinon* olarak adlandırılır. *Radon* (^{222}Rn) uranyum serisinin, *toron* (^{220}Rn) toryum serisinin ve *aktinon* (^{219}Rn) ise aktinyum serisinin üyeleridir. Uranyum, toryum ve aktinyum zincirine ait ^{238}U , ^{235}U ve ^{232}Th başlangıç radyoizotopları toprakta, kayalarda ve bazı inşaat malzemelerinde çok fazla miktarda bulunmaktadır. Bu nedenle radon, toron ve aktinon tüm kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınırlar. (Durrani et al. 1997).

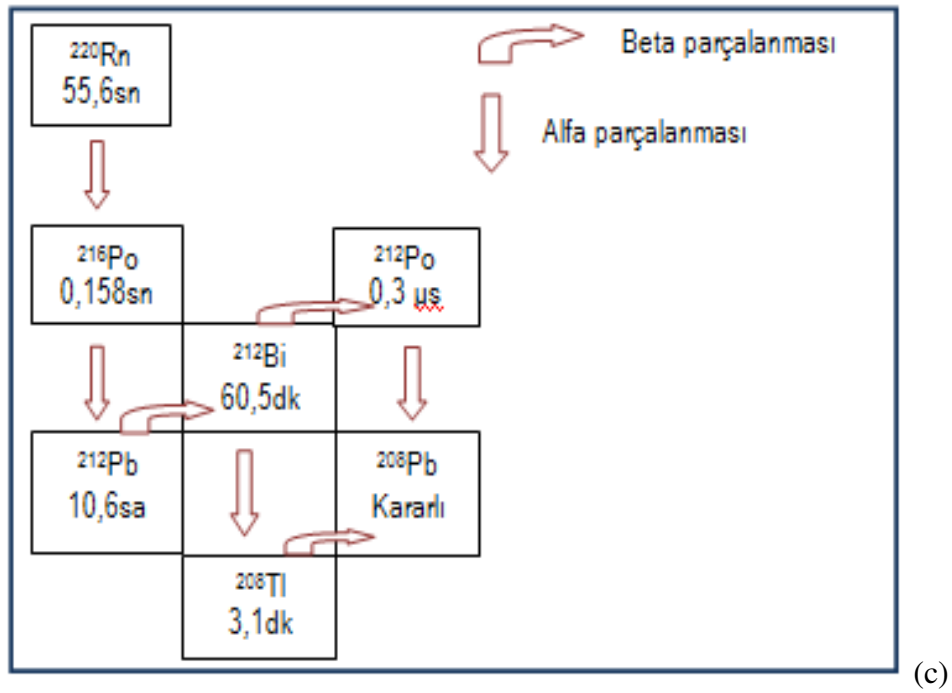
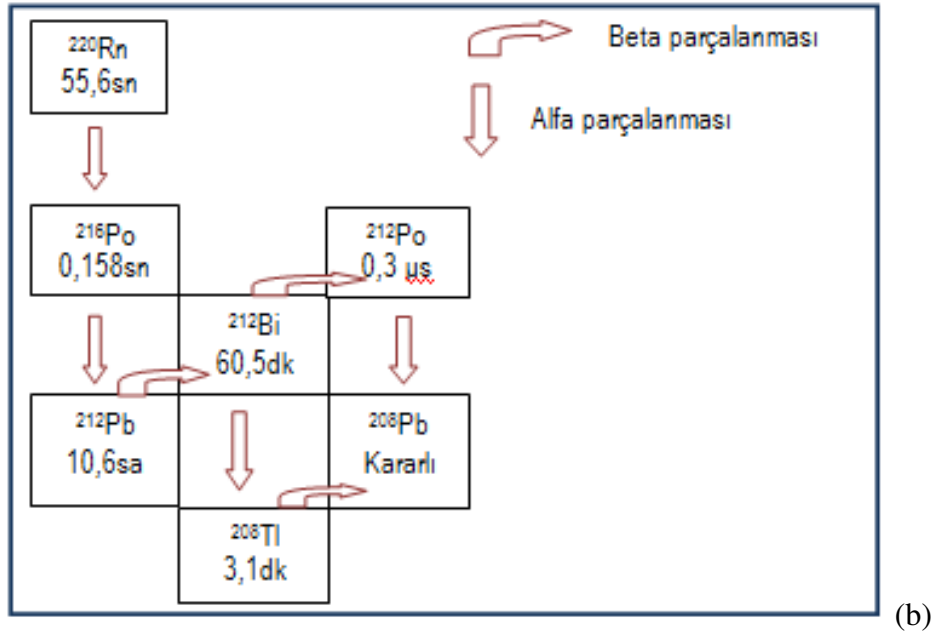
^{238}U elementinin doğadaki izotopik bolluğu diğer izotoplarına göre çok daha yüksektir. Bu nedenle ^{222}Rn ortamda diğer izotoplarına göre daha yüksek oranda bulunmaktadır. Bununla birlikte ^{222}Rn daha uzun yarı ömürlü olması nedeni ile konsantrasyon ölçümlerinde ön planda tutulmaktadır.

^{220}Rn ve ^{219}Rn ' un yarı ömürlerinin çok kısa olması nedeniyle ortam havasına karışarak oluşturabilecekleri aktivite düşüktür. Doğada ^{222}Rn , ^{220}Rn den 20 kat daha bol bulunmaktadır.

Bu izotopların bozunum şemaları şekillerde görülmektedir ve yarı ömürleri sırasıyla 3,82 gün, 55,6 sn ve 3,96 sn ortalama ömürleri ise 5,51 gün, 80,2 sn ve 5,71 sn'dir . Şekil 2.12'de radon ailesinin üç temel izotopunun; (a) ^{222}Rn , (b) ^{220}Rn , (c) ^{219}Rn 'nin bozunum şemaları görülmektedir.



Şekil 2.12. Radon ailesinin üç temel izotopunun; (a) ^{222}Rn ; (b) ^{220}Rn ; (c) ^{219}Rn 'nin bozunum şemaları (Görür 2006'dan değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 2.12. (Devam): Radon ailesinin üç temel izotopunun; (a) ^{222}Rn ; (b) ^{220}Rn ; (c) ^{219}Rn 'nin bozunum şemaları (Görür 2006'dan değiştirilerek alınmıştır)

^{222}Rn , topraktaki radyumun bozunumuyla oluştuğundan sonra atmosfere yayılır. Radonun, kuru topraktaki bozunmadan önce ortalama yayılma mesafesi yaklaşık 1 m'dir. Toprakta bulunan radonun yaklaşık % 50'si, yüzeyden 1 m derinlikte ve yaklaşık % 75'i de 2 m içinde oluşur. ^{222}Rn havadaki yayılma hızı yüksek olup radon ve ürünleri atmosferin her

yerinde bulunur. Bu nedenle radon konsantrasyonlarının yüksek olduğu bölgeler olası uranyum rezervi madenlerinin ipuçlarını vermektedir.

2.4.2. Radonun Bozunum Ürünleri

^{222}Rn 'un bozunması ile kısa yarı ömürlü ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ve ^{214}Po radyoaktif çekirdekleri meydana gelir. ^{222}Rn ve bozunum ürünlerinin özellikleri Tablo 2.7'de verilmektedir (Turner 1995).

Tablo 2.7. ^{222}Rn ve bozunum ürünlerinin özellikleri (Turner 1995'den değiştirilerek alınmıştır)

İzotop	Yarı Ömür	Bozunma Sabiti (s^{-1})	Temel Radyasyon Enerjileri (Mev)		
			α	β	γ
^{222}Rn	3,825 gün	$2,1 \times 10^{-6}$	5,49		
^{218}Po	3,06 dk	$3,79 \times 10^{-3}$	6,00		
^{214}Pb	26,8 dk	$4,31 \times 10^{-4}$		0,65	0,27
^{214}Bi	19,7 dk	$5,86 \times 10^{-4}$		3,27	0,61
^{214}Po	$1,5 \times 10^{-4}$ s	$4,62 \times 10^3$	7,69		
^{210}Pb	22,3 yıl	-	-	-	-

^{222}Rn kendisinin sağlığa olumsuz etkisi oldukça azdır denebilir. Bir soygaz olarak radon, solunum edildiğinde dikkate değer ölçüde vücut tarafından tutulmaz (Turner 1995). Çünkü radon nefes alma süresiyle kıyaslandığında daha uzun bir yarı ömre sahip bir soy gaz olduğundan yine solunum yoluyla dışarı atılır. ^{222}Rn kimyasal tepkimeye girmediği için solunum sonucu dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Dokulardaki çözünürlüğü de çok düşüktür. Sadece bir miktar radon gazı vücut sıvılarında çözünerek kan dolaşımına girmektedir. Kan dolaşımına giren radon ve bozunmasıyla oluşacak radon ürünleri çeşitli organların ışınlanmasına neden olsalar dahi bu olasılık ihmal edilebilecek düzeydedir (Fişne 2002).

Potansiyel sağlık zararı ^{222}Rn 'nin gaz olmayan radyoaktif bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. ^{222}Rn 'nin bozunum ürünlerinin bir kısmı atmosfer içindeki herhangi

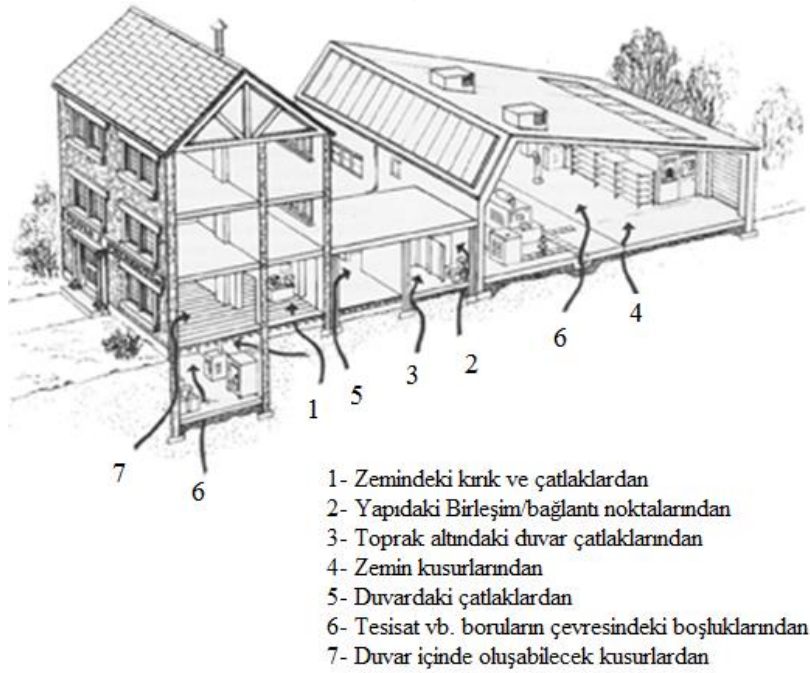
bir parçacığa tutunmak, bazıları ise serbest radyoaktif atomlar olarak kalma eğilimindedirler. Her iki şekilde de havanın içerisinde bulunan radonun bozunum ürünleri solunum yoluyla alındığında, üst solunum yollarında ve akciğerlerde kararlı hale gelinceye kadar parçalanmaya devam ederler. Bozunum ürünlerinin bazılarının saniye ile dakika mertebesinde yarılanma ömürlerinin olması nedeniyle de akciğerlerin doğal temizleme sürecinden önce bozunmaya başlarlar. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere neden olur (Fişne 2002).

2.4.3. Bina İçi Radon

İnsanlar zamanlarının yaklaşık % 90'ı gibi büyük bir bölümünü kapalı mekânlarda geçirdikleri düşünülünce, radon ve ürünlerinden kaynaklı radyasyonun zararlı etkisiyle yüz yüze olmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapılmıştır. Bazı evlerde çok yüksek konsantrasyonda radon bulunmasına rağmen bunun söz konusu ölçüm bölgesine özel istisnai bir durum olduğu düşünülmüştür. Ancak 20 yıl kadar sonra tüm dünyada değişik ülkelerde geniş ölçekli sistematik çalışmalar başlatılmıştır (Güler ve Çobanoğlu 1997).

Radonun binalara girişi toprak, binanın civarı veya altındaki kayalar, bina malzemeleri, su kaynakları, doğal gaz ve dışarıdaki hava gibi farklı kaynaklardan olmaktadır. Radon binalara, inşaatta kullanılan malzemelerdeki açıklıklar arasından ya da binanın altındaki topraktan difüzyon yoluyla girmektedir. Şekil 1.4'te radonun bina içine giriş yolları görülmektedir. Bununla birlikte binalardaki radon konsantrasyonu coğrafi yerleşime, zamana (gece-gündüz, mevsimsel), yerden yüksekliğe ve meteorolojik şartlara bağlı olarak değişmektedir. Ölçüm olmaksızın evlerde radon değerinin tahmini mümkün değildir. Binaların altında bulunan topraklardaki farklı radyum konsantrasyonları başta olmak üzere birçok faktöre bağlı olarak bina içindeki radon konsantrasyonu değişim göstermektedir. Buna bağlı olarak birbirine çok yakın mesafelerde bulunan evlerde bile farklı değerler elde edilebilmesi mümkündür (Eisenbud 1987; Harley 1990; Çelebi 1995; Güler ve Çobanoğlu 1997).

Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselerek binanın altında sıkışarak basınç oluştururlar. Topraktaki basınç evlerdeki hava basıncından genelde daha yüksektir. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar çatlak ve boşluklardan, bina içlerine Şekil 2.13’de gösterildiği gibi sızarlar (Çelebi 1995).



Şekil 2.13. Radonun binalara giriş yolları(<http://www.ekoyapidergisi.org/245-kapali-ortamlarda-hava-kalitesi-ve-bosluklu-doseme-sistemleri.html> 2013)

Radon havadan 7-8 kat daha ağırdır ve yerden genellikle 50 santimetre mesafede kalma eğilimindedir. Bu nedenle kapalı ortamdaki hava binada kalma eğilimindedir. Günümüzde artan bina yalıtım işlemi de söz konusu basınç farkının daha da artmasına neden olmaktadır (Güler ve Çobanoğlu 1997). Bununla birlikte binaların üst katlarındaki radon yoğunlukları, zemin katlardakinden daha az olmaktadır (Köksal 1997).

Norveç’te yapılan bir araştırmada, ağaçtan gelen radon gazı salınımı olmamasına rağmen, ağaçtan yapılan evlerin, diğer evlerden daha çok radon gazı içerdiği gözlenmiştir. En önemli neden ise ağaç evlerin genel olarak daha alçak ve dolayısıyla odaların toprağa daha yakın olmasıdır. Diğer taraftan Chicago’da yapılan bir araştırmada; tabanı kaplanmamış ve çıplak toprak üzerine kurulmuş evlerde, topraktaki radon yoğunluğu

normal olmakla birlikte, evlerde ölçülen radon miktarının, dış radon seviyelerinin 100 katından fazla olduğu gözlenmiştir.

Ilıman bölgelerde evlerin içindeki radon konsantrasyonunun, dışarıdaki radon konsantrasyonundan 8 kez fazla olduğu belirlenmiştir. Bugüne kadar, tropik ülkelerde bir radon seviyesi ölçümü yapılmamıştır. Bunun nedeni, bu bölgelerde havanın çok sıcak olması ve binaların daha açık bir şekilde olması nedeniyle iç ve dış radon yoğunlukları arasında fazla bir fark olmamasıdır. 1970'li yılların sonlarına doğru İsveç ve Finlandiya'daki evlerde yapılan ölçümlerde, açık havadaki radon seviyesinden 5 000 kat daha fazla radon bulunmuştur (Kapdan 2009). Tablo 2.8'de değişik ülkelerde ölçülen ortalama ev içi radon konsantrasyonları verilmektedir.

Tablo 2.8. Farklı ülkelerde ev içi ortalama radon konsantrasyonları (Bq/m³) (Akar 2010)

ABD	46	Ermenistan	104	Japonya	16
Almanya	50	Fransa	62	Mısır	9
Arjantin	37	Hindistan	57	Polonya	41
Avusturya	11	Hollanda	23	Suriye	87
Belçika	48	İngiltere	20	Tayland	44
Cezayir	30	İran	82	Türkiye	52
Danimarka	53	İtalya	75	Yunanistan	73

2.4.4. Toprak Gazından Gelen Radon

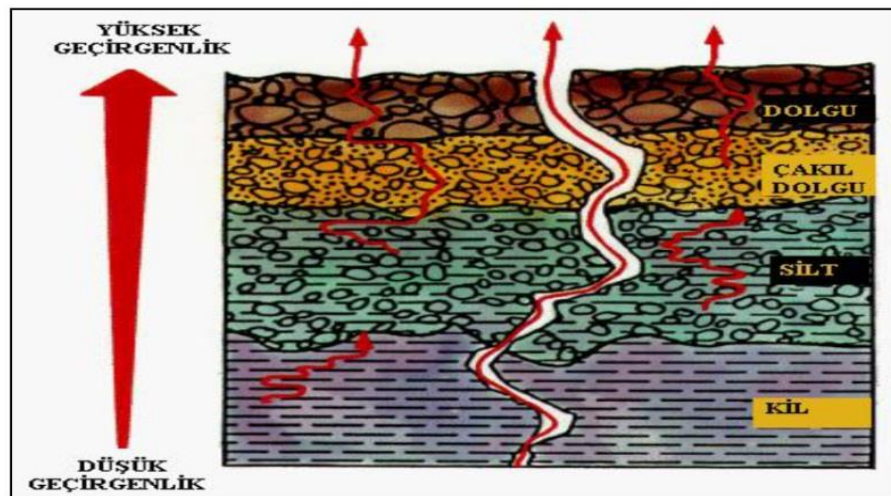
Konuta giren radonun asıl kaynağı, binanın inşa edildiği arazide bulunan toprak ve kayalardır. Radon, uranyumun mevcut olduğu tüm kayalardan ve topraktan gelmekte olup gaz olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere kaçma eğilimi göstermektedir. Radonun değişik bölgelerde salınım bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir. Aynı yerleşim bölgesinde bile zamana bağlı olarak değişim söz konusudur. Granit ve volkanik kayalar, tortul şistler en önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadır. Sedimenter topraklarda ise konsantrasyon daha düşüktür.

^{226}Ra 'nın toprakta bozunmasıyla oluşan radon gazı, önce toprak partiküllerinden hava dolu gözeneklere kaçar ve gözenekler arasından yukarılara doğru hareket ederek atmosfere geçişi gerçekleşir. Bazı radon atomları, kapalı gözeneklerin içine girerler ve buralardan kaçamazlar. Radonun çıkış hızı; toprak-hava arakesitinde birim alan başına, radyoaktivite aktarımı oranı olarak tanımlanmaktadır. Topraktan gelen aktivitenin yalnızca küçük bir yüzdesi, çatlağı olmayan 0,2 m kalınlığındaki betona aktarılır. Beton tabakada çatlak varsa, topraktan gelen aktivitenin % 25'inin yayılma yolu ile beton tabakaya aktarılacağı hesaplanmıştır.

Radon konsantrasyonları için coğrafi yerleşim önemlidir. Adalar ve Kutup Bölgesi gibi radon çıkışını sağlayan toprağın azaldığı yerleşim bölgelerinde, radon konsantrasyonu düşüktür (Kapdan 2009).

Topraktan radon salınımı:

- Topraktaki radyum konsantrasyonuna ve yayılma gücüne,
- Toprağın gözenekliliğine, geçirgenliğine ve nem içeriğine (Şekil 2.14),
- Toprağın permeabilitesine (yoğunluk, porozite, granülometrik özelliklerine),
- Toprağın durumuna (kuruluk, suyla tıkanmış olma, donma, karla örtülü olma),
- Meteorolojik koşullara (toprak ve hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgarın yönü),
- Bölgenin yüksekliğine bağlıdır.



Şekil 2.14. Topraktaki radon geçirgenliği (Kapdan 2009)

2.4.5. İnşaat Malzemelerinden Gelen Radon

Uranyum ve radyum yapı malzemesinin kökenini oluşturan toprak ve kumda bulunmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde bulunan eser miktardaki uranyum binalardaki radon düzeyini arttırıcı etkenlerden birisidir (Çelebi 1995). Bu nedenle duvarlardan sürekli olarak radon gazı çıkar ve bina içi ortamda artan bir yoğunluk oluşturur. Duvarlardan radonunun yayılımında başlıca mekanizma difüzyondur. Kullanılan çimento karışımıyla bağlantılı olarak radon miktarı değişebilmektedir (Güler ve Çobanoğlu 1997).

Tablo 2.9’da bazı inşaat malzemeleri için radyum konsantrasyonları ve radon çıkış hızları verilmektedir. Beton ve tuğla, en yaygın kullanılan inşaat malzemeleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda betondaki ^{226}Ra konsantrasyonun, tuğlaya göre daha az, ^{222}Rn çıkış oranının ise betonda tuğladan daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çelebi 1995).

Tablo 2.9. İnşaat malzemeleri içindeki ^{226}Ra ve ^{222}Rn değerleri (Çelebi 1995)

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

2.4.6. Sulardan Gelen Radon

Radon özellikle yeraltı suyu olmak üzere, suda da çözünür. Tipik olarak, musluktan akan su içindeki radonun 10.000’de biri havaya yayılır. Sudaki radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyi de artacaktır. Sularda bulunan radon ev içlerine, sular kullanıldığı zaman girer. Suyun sıcaklığı arttıkça, ortama verilen radon miktarı da artar.

Suda ölçülen radon, sadece suyun içerisinde bulunan radyumdan kaynaklanmamakta, aynı zamanda suyun geçtiği yerlerdeki toprak ve kayalarda bulunan radyumdan da ileri gelmektedir.

Evdeki alışkanlıklar ve uygulamalar; duş, çamaşır ve bulaşık makinesi gibi suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radonun salınmasına neden olur. Sudaki radon seviyesi, ev içi radon seviyesini yüksek oranda etkileyebilecek kadar önemlidir. Bazı bölgelerde evlere ulaşan sular özel kuyulardan gelir. Yer altı sularındaki radon konsantrasyonu, yüzeysel sulardan daha yüksektir. İnşaat malzemesinden gelen ışınlamalara, yüzeysel sulardan katkı % 0,2, yeraltı sularından ise % 20'dir (Anonim 1982).

Ev içi havasına, musluk suyundan radon transferi çalışmalarında bir günde kişi başına ortalama 0,2-0,4 m³ su kullanıldığı varsayılarak, bu miktarın transfer veriminin % 0,5-0,6 olduğu rapor edilmiştir (Gesell 1980). Sudaki en yüksek konsantrasyonlar Kanada' da 14 MBq/m³, Finlandiya'da 77 MBq/m³, ABD' de 20 MBq/m³ bulunmuştur. Yapılan çalışmalar 370 Bq/L radon konsantrasyonuna sahip bir suyun, ev içi radon konsantrasyonuna katkısının 37 mBq/L olduğunu ortaya koymuştur (Anonim 1988).

2.4.7. Doğal Gazdan Gelen Radon

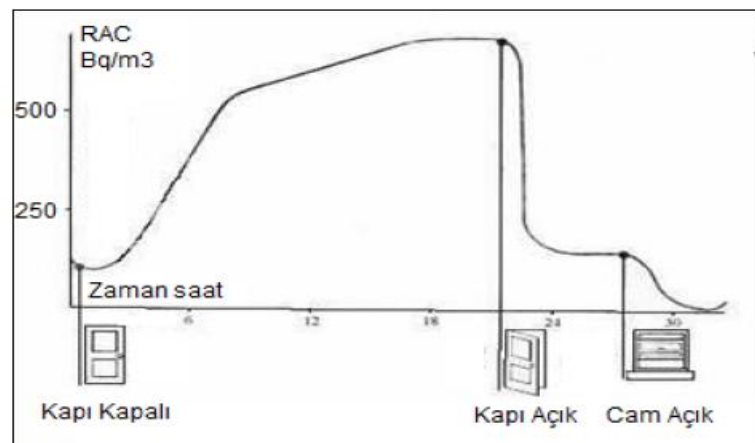
Doğal gazın endüstriyel işlemleri, saflaştırma ve hidrokarbonlardan ayırıştırma işlemleri içerir. Bu hidrokarbonların bazıları yakıt olarak kullanılırken, bazıları sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) olarak, basınç altında şişelenerek satılmaktadır. Doğal gazın üretimi ve depolanması esnasında doğal gazın bozunumu ile ortama radon gazı verilir. Doğal gazın üretim kuyularındaki radon konsantrasyonu, dedekte edilemeyen seviyelerden, 50 kBq/m³ seviyesine kadar değişik değerler vermektedir (Kapdan 2009).

Doğal gazın önemli bir ev içi radon kaynağı olduğu bilinmektedir. Doğal gaz, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığında da radon gazı ortaya çıkarak, ev içi radon seviyesini artırır. Eğer yanma ürünleri havalandırma ile dışarı atılırsa, radon kaynağı ihmal edilebilir (Çelebi 1995).

2.4.8. Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Azaltılması İçin Alınabilecek Tedbirler

Bina içi radon konsantrasyonunun azaltılması için alınabilecek tedbirler şöyle sıralanabilir:

- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Binaların, özellikle bodrum katlarının toprakla izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bodrum katların ve zemin katların tabanına şap, beton vb. dökülmelidir. Toprak ile temas eden yüzeyler sızıntıya imkan vermeyecek şekilde izole edilmelidir.
- Radon düzeyi yüksek olabileceğinden, 20 yıldan eski olan evlerde çatlaklar kapatılmalı, izolasyon ile bakımı sürekli yapılmalıdır. Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına çıkamazsa bina içindeki konsantrasyon artacaktır. Bu nedenle kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir (Şekil 2.15).
- Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi arttırılmalıdır.
- Radon kanser riskini arttırdığından, kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir.



Şekil 2.15. Radon konsantrasyonunun havalandırmaya bağlı olarak değişimi (Kapdan 2009)

2.4.9. Radon Gazının Sağlık Üzerindeki Etkileri

Uranyum madenlerindeki radon ve bozunum ürünlerinin solunması üzerine yapılan epidemiyolojik çalışmalar, uranyum madencilerinin en yüksek kanser riskine maruz meslek grubu olduğunu ortaya çıkarmıştır (Anonim 1988). Madenlerde çalışanlarda radona bağlı akciğer kanser riskinin arttığını gösteren epidemiyolojik çalışmalar özellikle kapalı ortamda radon kirliliği ile ilgili endişelerin artmasına neden olmuştur. Ancak hayvan deneyleri ve epidemiyolojik çalışmaların yapılmasına kadar radonla ilgili kesin bir risk değerlendirme şansı olmamıştır.

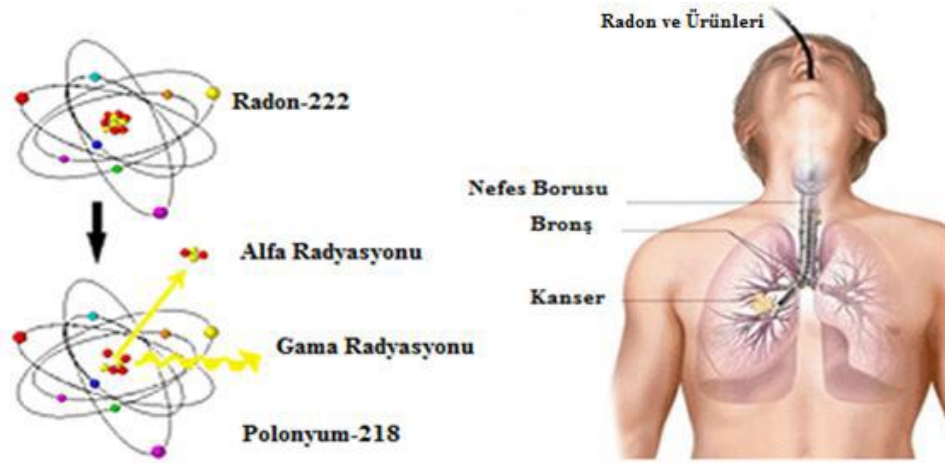
Günümüze kadar yapılan hayvan deneyleri ve epidemiyolojik değerlendirmeler radonla akciğer kanseri arasında doğrudan ilişki kurulmasını sağlamıştır (Güler ve Çobanoğlu 1997).

Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede radon ve bozunum ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41.000 akciğer kanserinden en az 2.500'ünü, ABD Halk Sağlığı Servisi yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5.000, sigara içenlerden 15 000'ini, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) 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 (Kapdan 2009).

Radon soy gaz olduğundan dolayı teneffüs edildiğinde dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak, radonun bozunum ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilirler. Bozunum ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam eder ve bozunma sürecinin her aşamasında radyasyon açığa çıkar (Çelebi 1995). Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv/yıl'dır (Anonim 1996).

Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Radyoaktif bozunmaya uğrayan radon gazı, teneffüs edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek yeni ürünlerin oluşumuna neden olur ki bunların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan alfa veya beta parçacıkları akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere neden olabilir (Şekil 2.16).

Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronşal epiteldeki radyasyon dozu artar. Bozunma ürünlerinin bazılarının alfa yayıcı olmaları nedeniyle alfa radyoaktivitesinin biyolojik etkileri önem kazanmaktadır.



Şekil 2.16. Radon bozunum ürünleri tarafından akciğerlerde yapılan ışınlama (http://www.ilradondetection.com/radon_health_effects.html 2010)

Sigara, kanser riskini arttırmaktadır. Sigara içen ve bunun yanı sıra yüksek dozda radona maruz kalmış kişilerde kansere yakalanma riski oldukça yüksektir. Sigaranın bırakılıp, maruz kalınan radon seviyesinin düşürülmesiyle kanser riski azalacaktır. Ancak, sigara içiminin az bilinen bir zararı da içindeki radyoaktif maddelerin soluma yoluyla insan vücuduna alınmasından kaynaklanmaktadır.

Uluslararası Radyasyon Korunma Komitesi radona maruz kalma konusunu inceleyerek “Evde ve işte Radon-222’ye karşı korunma” konusunda 65 nolu bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda radona maruz kalma sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiş ve yıllık doz için bir eylem seviyesi tespit edilmiştir (Tablo 2.10). Eylem seviyesinin, 3-10 mSv arasında sınırlandırılması tavsiye edilmiştir. Bu doz değerlerine karşılık gelen radon

konsantrasyonu evler için 200–600 Bq/m³ (evde geçirilecek süre 7000 saat ve denge faktörü 0,4 alınarak), iş yerlerinde ise 500-1500 Bq/m³ arasında bir değer tespit edilmesi önerilmiştir (Kapdan 2009).

Tablo 2.10. Evlerde ve işyerlerinde radon ve ürünleri için önerilen eylem seviyeleri (etkin doz) (Çelebi 1995)

Eylem Seviyesi (Etkin doz)	3 mSv/yıl	10 mSv/yıl
Evler için Eylem Seviyesi (Radon Konsantrasyonu)	200 Bq/m ³	600 Bq/m ³
İş Yeri için Eylem Seviyesi (Radon Konsantrasyonu)	500 Bq/m ³	1500 Bq/m ³

Radonun asıl kaynağının uranyum olması nedeniyle radon konsantrasyonu yerkabuğu üzerinde bölgeden bölgeye değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle farklı ülkeler için izin verilen radon konsantrasyonlarının limit değerleri de değişiklikler göstermektedir. İngiltere’de bu değer 200 Bq/m³, Avrupa ülkelerinde 400 Bq/m³, yeni inşa edilecek binalarda 200 Bq/m³, Kanada’da ise 800 Bq/m³ olarak kabul edilmiştir (Ayotte 1998). Türkiye’de ise bu değer Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’nde 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (TAEK 2000). Tablo 2.11’de çeşitli ülkeler ve uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen kapalı ortamlar için müsaade edilen radon konsantrasyonları verilmektedir.

Tablo 2.11. Çeşitli ülkeler için radon konsantrasyon limitleri (Bq/m³) (Çelebi 1995)

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

Ülkemizde ev içi radon gazı konsantrasyonları henüz yeterince ölçülmemiş olduğundan, evlerde radon gazı seviyeleri ile radonun mevsimsel ve bölgesel değişimleri bilinmemektedir. 1984 yılında Türkiye Atom Enerji Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (TAEK/ÇNAEM), Sağlık Fiziği Bölümünce “Türkiye’de Ev İçi Radon Ölçümü Projesi” kapsamında radon ölçüm çalışmaları başlatılmış olup çalışmalar halen sürdürülmektedir (Taşkın 2006).

2.4.10. Radon ve Deprem

Depremlerin önceden saptanması konusunda yapılan çalışmalarda, depremlerin istatistiksel analizleri ve jeofiziksel öncüler olarak bilinen iki temel öncü yöntem ortaya konmuştur. Yeraltından sızan Radon yoğunluğundaki değişimler jeofiziksel öncüler arasında yer almaktadır. Rusya, Japonya ve Çin’de yapılan çalışmalar radon gazıyla sismik faaliyetler arasında doğrudan bir ilişki olduğunu saptamıştır. Radon sızıntısının, aktif faylar üzerinde daha fazla olduğu; atmosferik koşullara ve sismik faaliyetlere bağlı değişiklikler gösterdiği de bilinenler arasındadır. Yer kabuğundaki gerilmeler nedeniyle oluşacak genleşmeler, kayalardan yeraltı su sistemine radon geçişinin artmasına; bu yüzden de, sismik faaliyet başlamadan önce, çevredeki kuyu ve kaynak sularındaki radon yoğunluğunda bir artış gözlenmesine neden olmaktadır. Fay hattı üzerine çok sayıda açılan kuyularda radon gazı değişimlerinin aktif yöntemlerle kesintisiz izlenmesi, depremi önceden saptamada en etkin yöntemdir. Radon ölçümleri fay hattı üzerindeki toprakta veya fay hattı üzerinde bulunan kuyu sularında yapılmalıdır.

Deprem araştırmalarına yönelik çalışmaların özellikle çevredeki kuyu ve kaynak sularında yapılmasıyla çok daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi, radon konsantrasyonu yıllarca kararlı bir şekilde artış göstermiş, deprem öncesi artış hızlanmış deprem esnasında aniden düşmüştür. Depremler için yapılan radon değişim gözlemleri, yeraltı sularında sürekli izleme sisteminin oluşturulmasına öncülük etmiştir.

2.4.11. Radon Ölçüm Teknikleri

Günümüzde kullanılan pek çok radon ölçüm tekniği bulunmaktadır. Bu ölçüm teknikleri değişik şekilde sınıflandırılabilir. Radon ve bozunum ürünlerini ölçmek için;

- Aktif ölçüm yöntemi,
- Pasif ölçüm yöntemi

olmak üzere iki temel yöntem geliştirilmiştir. Aktif ölçüm yöntemi, elektronik sistemler, pompalar, güç kaynakları gibi cihazlar gerektirmektedir. Aktif sistemde iyon odaları, sintilasyon hücreleri veya spektroskopik sayım cihazları kullanılmaktadır. Pasif ölçüm yönteminde ise termoluminesans dedektörler veya katı hal nükleer iz dedektörleri selüloz nitrat (LR-115) veya alil diglikol karbonat (Cr-39) kullanılır. Pasif alfa dedektörü kullanılarak yapılan radon dozimetreleri 3 farklı yolla oluşturulabilir:

- a-) Dedektörün önünde bulunan bir filtre üzerinde radon ürünlerinin toplandığı gaz akışlı aktif cihazlarla
- b-) Gaz akışı olmayan difüzyon yoluyla radon girişi olan ağzı kapaklı odacıklarla
- c-) Açık bir dedektör üzerinde, havadaki radon ve ürünlerinden gelen alfa parçacıklarının kaydedildiği pasif aygıtlarla.

Radon ölçüm teknikleri, ölçüm sonuçlarının alınma süresine bağlı olarak ise;

- Kısa dönem ölçüm teknikleri
- Uzun dönem ölçüm teknikleri

olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir (Anonim 1987).

2.4.11.1. Kısa Dönem Ölçüm Teknikleri

Kısa dönem ölçümlerde amaç bir an önce sonuçları almaktır. En sık kullanılan kısa dönem ölçüm teknikleri aktif kömür, alfa iz dedektörleri, sıvı sintilasyon sayım sisteminde aktif kömür, elektret iyon odaları, radon tuzağı örnekleri ve sürekli monitörleridir (Anonim 1987).

2.4.11.1.1. Aktif Karbon Tekniği

Bu teknik bir adsorblayıcı ortamda (kömür gibi) radon gazının adsorbe olmasına ve daha sonrada bu malzemenin analiz edilmesiyle radonun bozunum ürünleri olan ^{214}Pb ve ^{214}Bi '  n yayımladığı gama ışınlarının aktivitelerinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Durrani ve Ilic 1997). Bu sayede radon miktarı tespit edilmiş olur. Bu amaçla metal bir kap içerisine birkaç gram aktif karbon yerleştirilir. Uygun bir kapakla metal kap kapatılır. Metal kap ölüm yapılacak yere yerleştirilir ve radon yüklü havanın kömüre yani karbon yatağına difüze edebilmesi için kapağı açılır (Durrani ve Ilic 1997, Kapdan 2009). Kabin bu şekilde kalma süresi birkaç gün kadardır. Ölüm süresi sonunda kabin kapağı tekrar kapatılır ve analiz için laboratuara götürülür. Laboratuarda genellikle NaI sayıcıları kullanarak gama aktivite ölümü gerçekleştirilir (Eisenbud 1987). Kullanılan metal kaplar farklı boyutlarda ve şekillerde olabilir. Bazı metal kaplarda toron girişini engellemek ya da nemi en aza indirmek için difüzyon bariyerleri kullanılabilir (Garcia-Leon ve Madurga 1988).

2.4.11.1.2. Sıvı Sintilasyon Sayım Sisteminde Aktif Karbon

Aktif karbon tekniği gibi radon gazının aktif karbon üzerinde adsorblanması esasına dayanmaktadır. Fakat analiz için farklı bir ekipman kullanılır. Dedektör tipik olarak içerisinde 1-3 gram kömür bulunan 20 ml'lik sıvı sintilasyon şişesinden oluşur. Ölüm için sintilasyon şişesi a ılarak radonun kömüre difüze etmesi sağlanır. Difüzyon sonrasında sintilasyon şişesi tekrar kapatılır ve analiz etmek için laboratuara götürülür. Analize hazırlamak için radon yayınımlı tekniği kullanılır. Bu teknik kullanılarak kömür üzerine adsorbe olmuş radonun büyük bir kısmı sıvı sintilasyon şişesindeki özel sıvıya transfer edilir. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin   z  nd  ğ   sıvıyı içeren sintilasyon şişesi sıvı sintilasyon sayıcısına yerleştirilir ve sayım alınır (Kapdan 2009).

2.4.11.1.3. Alfa   z Detektörleri

Katı hal nükleer iz detektörleri uzun süreli radon ölümleri için kullanılmaktadır (Durrani ve Ilic 1997). Daha önce anlatıldığı üzere radon ve radonun bozunum ürünleri genelde alfa aktiftirler. Radon ve radonun bozunum ürünlerinin yayınladıkları bu alfa parçacıkları

tespit edilerek (sayılarak) radon konsantrasyonu bulunabilir. Çünkü yayınlanan alfa parçacıklarıyla radon konsantrasyonu arasında doğrudan bir orantı vardır (Garcia et al. 1988).

Bu amaçla radonun yayınladığı enerji aralığındaki özellikle alfa parçacıklarına hassas olan plastik filmler kullanılır. Alfa parçacıkları bu filmler üzerinde bir iz bırakır. Radonun bozunum ürünleri alfa parçacığı dışında beta ve gama ışınları da yayınlarlar. Fakat bu filmler büyük ölçüde beta ve gama ışınlarına hassas değildir. Beta ve gama ışınları bu filmler üzerinde iz bırakmazlar (Durrani ve Ilic 1997). Alfa parçacıklarının bu filmler üzerinde bıraktıkları izler daha sonra kimyasal iz kazıma yöntemiyle açığa çıkartılarak mikroskop yardımıyla sayılır. Gerekli hesaplamalardan sonra radon konsantrasyonu belirlenir.

Kullanılan filmler selüloz nitrat, selüloz asetat, polikarbonat, allil diglikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmıştır. Kimyasal iz kazıma esnasında alkali (NaOH ya da KOH) ya da asit çözeltileri (HF veya HNO₃) kullanılır (Durrani ve Ilic 1997).

Nükleer iz dedektörlerinin avantajları;

- Küçüktürler (1cm x1cm ve yaklaşık 100-500 mikrometre kalınlığında)
- Kullanılması kolaydır.
- Elektronik bir cihaza gerek yoktur.
- Taşınması kolaydır.
- İşlenmesi ve okunması kolaydır.
- Ucuzdur.
- Uzun süreli radon ölçümüne müsaittir.
- Nemden, makul seviyedeki ısıdan ve ışıktan etkilenmezler.

Nükleer iz dedektörlerinin dezavantajları ise;

- Radon konsantrasyonu yüksek değilse anlık ölçüm almaya uygun değildir.
- Düşük konsantrasyonlarda hata oranı yüksektir (Durrani ve Ilic 1997).

2.4.11.1.4. Elektret İyon Odaları

Elektret, kalıcı elektriksel yük gösterebilen bir dielektrik malzemedir. Çelik bir kap içerisine elektret malzemesi (teflon gibi) yerleştirilir. Bu güçlü bir elektrostatik alan oluşturur. Kabin tabanındaki küçük bir giriş radon gazının içeri girmesini sağlar. Radon ve radonun bozunum ürünleri bozunduğu zaman alfa, beta ve gama ışınları yayımlayabilirler. Bu parçacıklar hava içerisinde ilerlerken havadaki oksijen, azot gibi atomlarla çarpışırlar ve kap içerisinde iyonize parçacıklar üretirler. Bu iyonlar elektret tarafından oluşturulmuş olan elektrik alan tarafından çekilerek toplanır ve elektretin toplam yükü değişir (Durrani ve Ilic 1997). Bu değişimden yararlanarak radon konsantrasyonu bulunur.

2.4.11.1.5. Sürekli Monitörler

Radon ölçümleri için kullanılan üç çeşit sürekli radon monitörü vardır. Bunlar; alfa sintilasyon, iyonizasyon odası ve katı hal dedeksiyonudur.

Sürekli radon monitörlerinin avantajları;

- Çoğu çeşidi taşınabilirdir.
- Sahada sonuç almak mümkündür.
- Radon konsantrasyonunun gerçek zamanlı değişimi görülebilir.
- Ölçüm aralıklarında esneklik sağlar.

Sürekli radon monitörlerinin dezavantajları;

- Pahalı sistemlerdir.
- Bazı modelleri büyük ve ağırdır.
- Düzenli kalibrasyon gereklidir.
- Yetişmiş elemana ihtiyaç vardır.
- İyonizasyon odası sürekli monitörü bazı durumlarda neme karşı hassas olabilir (Çile 2004).

2.4.11.1.5. 1. Alfa Sintilasyon Sürekli Radon Monitörleri

Bir alfa sintilasyon hücresi ile foto çoğaltıcı tüp sayım sistemine bağlı zamanlama devresi ve kontrol sisteminden meydana gelir. Pasif difüzyon yoluyla ya da aktif difüzyon yoluyla hava numuneleri alınır. Belirli bir zaman aralığı için alınan sayımlar hafızaya kaydedilir ve bir sonraki zaman aralığı için yeni sayım alınır. Ve bu şekilde devam eder. Kısa dönem alınan bu sonuçlar zamanla radon konsantrasyonunun değişimini yansıtır.

2.4.11.1.5. 2. İyonizasyon Odaları Sürekli Radon Monitörleri

Bir elektrometre ve veri kaydedicisine bağlı iyonizasyon odasından meydana gelir. Pasif difüzyon ya da aktif difüzyonla alınan hava numunesi dedektöre yollanır. Radonun bozunum ürünleri elektrostatik olarak yok edilir ve böylece dedektöre girmesi engellenir. Radon, iyonizasyon odasının hacmi içerisinde bozunur ve iyonlar oluşturur. Bunlar elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bu sinyaller sayılır, yüklenir, elektrometre ve data kaydedici tarafından görüntülenir.

2.4.11.1.5. 3. Katı Hal Sürekli Radon Monitörleri

Difüzyon örnekleme esasına dayanır. Alfa bozunumuna hassas bir katı hal silikon dedektörü kullanılır. Sürekli alınan verilerin yazıcıyla çıkışı alınır ve böylece radon konsantrasyonu görüntülenmiş olur. Diğer sürekli ölçüm monitörlerine göre daha az duyarlı olmasına rağmen kullanımı kolay ve nispeten ucuz olmaları nedeniyle tercih edilebilmektedir.

2.4.11.1.6. Radon Tuzağı (Grab Sampler) Tekniği

Bu teknikte Lucas Hücresi olarak da bilinen bir alfa sintilasyon hücresi ve bir veya iki fototüp kullanılır. Sintilasyon hücresinin duvarları ZnS(Ag) fosfor ile kaplanmıştır. Sintilasyon hücresi bir veya iki vanalı olabilir. Hava numunesi toplamak için bu vana (veya vanalar) açılır. Numune alındıktan sonra vana kapatılarak radonun bozunum ürünleriyle radyoaktif dengeye gelebilmesi için yaklaşık olarak dört saat beklenir. Bu süre sonunda sintilasyon hücresi sayım için fototübün ağzına yerleştirilir. Radon ve

radonun bozunum ürünlerinin yayınladığı alfa parçacıkları sintilasyon hücresinin duvarlarındaki ZnS ile etkileşimi sonucu çıkan pulslar (elektrik sinyalleri) sayılır ve gerekli hesaplamalar yapılarak radon konsantrasyonu belirlenir (Garcia et al. 1988).

2.4.11.2. Uzun Dönem Ölçüm Teknikleri

Radon seviyesi günden güne, mevsimden mevsime göre değişebileceği için yıllık ortalama radon seviyesini tespit edebilmek adına uzun dönem radon ölçümü gerçekleştirilir. En sık kullanılan uzun dönem ölçüm teknikleri alfa iz dedektörleri ve elektret iyon dedektörleridir.

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:

Erees vd (2006), Denizli’de depremler ile fay hattı üzerindeki termal suların radon konsantrasyonundaki değişimler arasında bağlantı kurmak amacıyla yaptıkları çalışmada konsantrasyon değerlerinin $0,67 \text{ kBq/m}^3$ ile $25,90 \text{ kBq/m}^3$ arasında değiştiği tespit etmişlerdir.

Yalım vd (2007), yaptıkları bir çalışmada Afyonkarahisar ili ve çevresindeki fay hattı boyunca bazı kuyu sularındaki radon konsantrasyonunu ölçmüşler ve değerlerin $0,7 \text{ Bq/L}$ ile $31,7 \text{ Bq/L}$ arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Tarım vd (2011), Bursa’daki kuyu suları ve çeşme sularındaki radon konsantrasyonlarının değişimlerini çalışmışlardır. Radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları, kuyu suları için $1,46\text{-}53,64 \text{ Bq/L}$, çeşme suları için $0,91\text{-}12,58 \text{ Bq/L}$ aralığında bulmuşlardır.

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

Lima ve Bonotto (1996), Brezilya’da yılında yer altı sularında radon konsantrasyonunu ölçmüş ve $25,47 \text{ Bq/L}$ ile $784,11 \text{ Bq/L}$ arasında değişen konsantrasyon değerleri elde etmişlerdir.

Alabdul'aly (1999), Suudi Arabistan'da şebeke sularında yapılan radon ölçümleri 0,15 Bq/L ile 5,71 Bq/L arasında değişim gösterirken, yeraltı sularında bu değerler 0,89 Bq/L ile 35,44 Bq/L arasında gözlemlenmiştir.

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

Comsa et al. (2008) Romanya'da yüzey suları, kuyu suları ve kaynak sularında radon konsantrasyonu ölçümleri yapmışlardır. Yüzey sularında 0,5 kBq/m³ ile 10 kBq/m³, kuyu sularında 0,6 kBq/m³ ile 112,6 kBq/m³ ve kaynak sularında 2 kBq/m³ ile 129,3 kBq/m³ değerleri arasında sonuçlar elde etmişlerdir.

Saç vd (1994), kollektör yöntemini kullanarak İzmir ilinin içme ve kullanım sularında ²²²Rn ve ²²⁶Ra konsantrasyonunu belirlemistir. Buna göre ²²²Rn konsantrasyonu düşük aktivite - 5,8 Bq/L arasında, ²²⁶Ra konsantrasyonu düşük aktivite - 0,8 Bq/L arasında çıkmıştır.

Tayyeb et al. Suudi Arabistan'da Jeddah bölgesinde yaptıkları bir çalışmada radon konsantrasyonunun 1,54-9,92 Bq/L arasında olduğunu belirlemişlerdir. içme suyunun sindirimi ve havaya transferi sonucu gelen doz katkısını ise sırasıyla 4,52-26,07 mSv/yıl ve 4,31-26,07 mSv/yıl olarak hesaplamışlardır.

Geraldo et al. (2004), Brezilya'da Santos bölgesinde yaptıkları bir çalışmada içme sularındaki radon konsantrasyonunu belirlemek için makrofol polikarbon plastik dedektörler kullanmışlardır. Radon konsantrasyonu 0,30-36 Bq/L aralığında ölçülmüştür.

Gruber et al. Avusturya'da (1996), 350 içme suyunda radon ve radyoizotop analizi yapmışlar. Bu çalışmada öncelikle 205 su örneğinin analizi yapılmış, ardından konsantrasyonun yüksek çıktığı noktalarda jeolojik duruma göre (granit kayalar, jeolojik faylar) 145 örnek daha toplanmış ve analiz edilmiş. İlk yapılan ölçümlerde ortalama radon konsantrasyonu 12 Bq/L, ikincisinde ise 100 Bq/L tespit edilmiş. Radyum konsantrasyonlarının ortalaması ise belirlenebilir minimum aktivitenin altında kalmıştır.

Nikolopoulos et al. (2010), Güney Kıbrıs ve Yunanistan'da içme sularında ve kapalı ortamlarda radon seviyelerini ve bunlardan dolayı alınan yıllık dozu belirlemişlerdir. Buna göre Güney Kıbrıs'ta kapalı ortamda radon konsantrasyonunun 14-75 Bq/m³ arasında değiştiği Yunanistan'da iki şehirde yapılan ölçümlerin 1,7-161; 14-75 Bq/m³ arasında değiştiğini belirlemişler. İçme sularında ise Güney Kıbrıs'ta 0,3-20 Bq/L ve Yunanistan'daki iki şehirde 0,8-24 Bq/L arasında değiştiği belirlenmiş.

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, silindirik şeklinde yapılmıştır ve detektör besleme gerilimi (anot ve katot arası gerilim farkı) DC 750 voltur. 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.

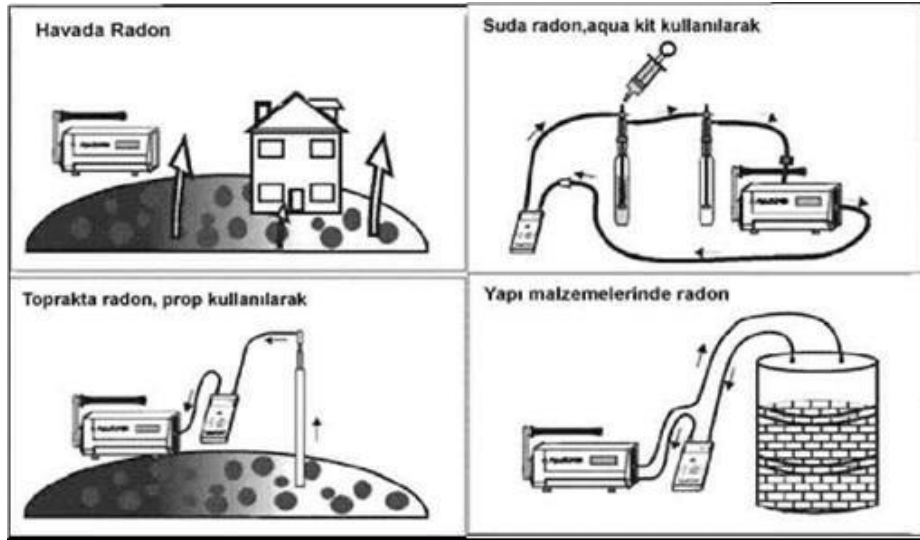
Radon konsantrasyonu ölçümü bu detektör ile $2-2 \times 10^6$ Bq/m³ aralığında yapılabilir. Bu geniş aralığa rağmen sistemin kendisinden gelen % 3 gibi bir hata payı bulunmaktadır.



Şekil 4.1. AlphaGUARD PQ 2000PRO detektörü

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

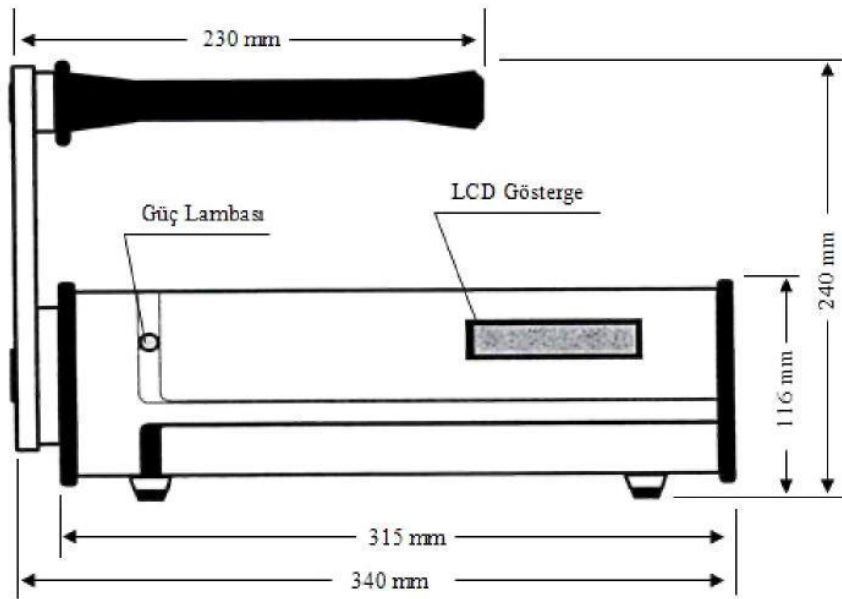
AlphaGUARD, çeşitli lokasyonlarda veri toplanması için taşınabilir bir veri toplama sistemi ve aynı zamanda toplanan verilerin saklanabilmesi için bir veri depolama sistemidir. Depolanan verilerin bilimsel yorumlarının yapılabilmesi için veri analiz yazılımı ile birlikte çalışır. Ayrıca yerinde aktif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

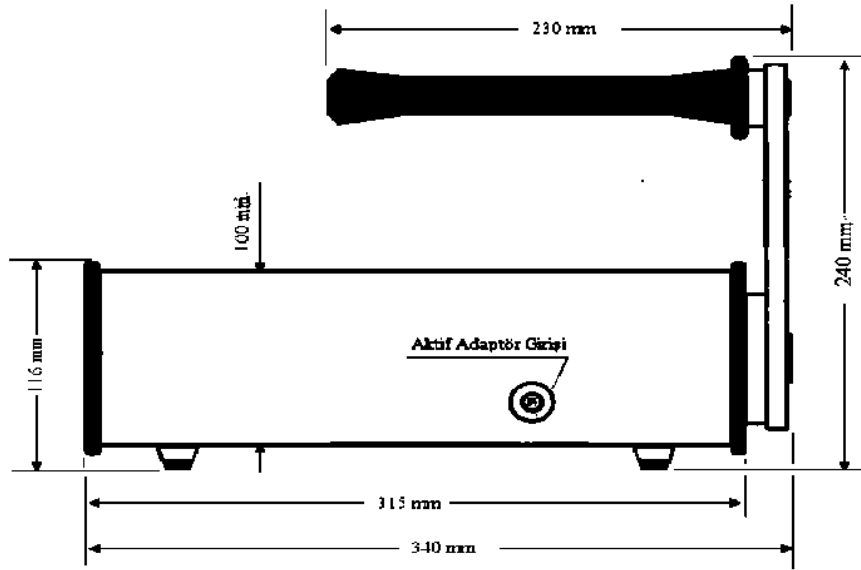
4.1.1.1. Detektörün Dış Yapısı

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).

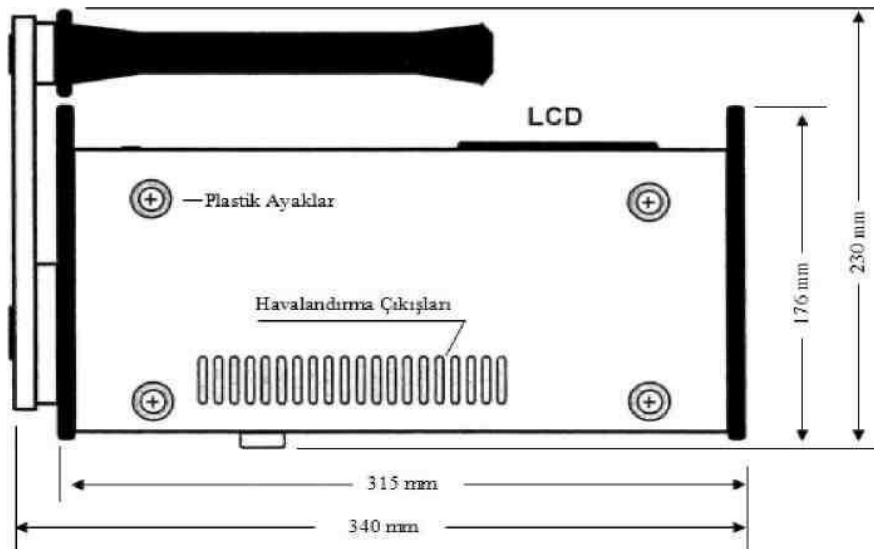


Şekil 4.3. AlphaGUARD cihazının önden görünüşü ve ebatları



Şekil 4.4. AlphaGUARD cihazının arkadan görünüşü ve ebatları

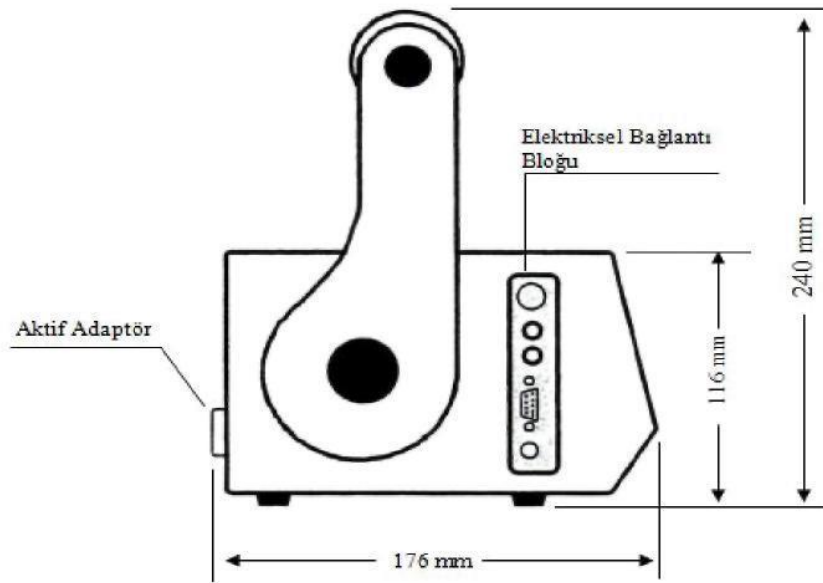
Cihazın arka kısmındaki vida yuvası plastik bir kapakla kapatılmıştır. AlphaGUARD PQ 2000PRO'da bu kapağın arkasında bulunan yuva cihazın iyonizasyon odasıyla buraya bağlanan etkin hava pompası arasındaki bağlantıyı sağlar. Yani buradan detektör içine hava girişi sağlanmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.5. AlphaGUARD cihazının alttan görünüşü ve ebatları

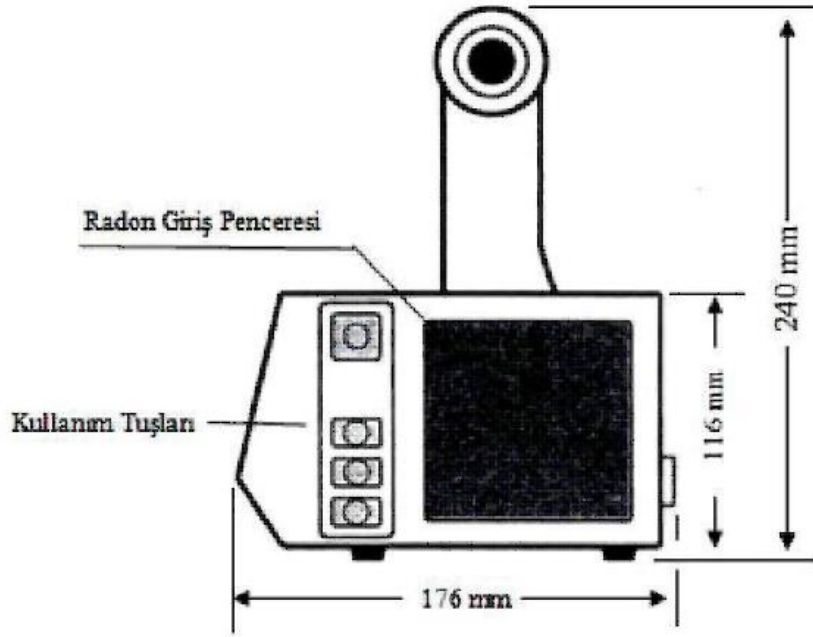
Alt kısımda alüminyum gövdenin yerle temasını kesen plastik ayaklar ve havalandırma çıkışları bulunmaktadır. İç kısımda bulunan bir fan sayesinde, özellikle uzun süreli kullanımlarda cihazın soğutulmasını sağlamak için sıcak hava buralardan dışarıya atılmaktadır (Akyıldırım 2005).

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

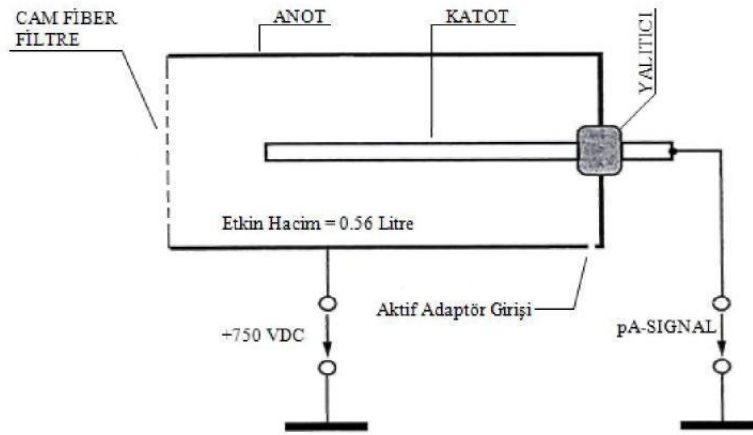
4.1.1.2. Detektörün İçyapısı

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.

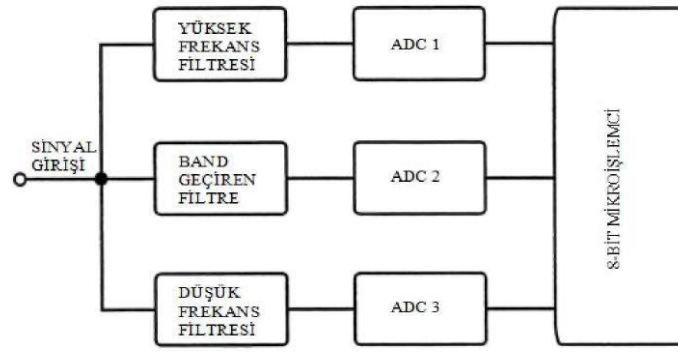
AlphaGUARD PQ 2000PRO'nun silindirik atma iyonizasyon çemberi 0,56 litrelik bir etkin hacime sahiptir. Cihaza güç verilmesiyle beraber iyonizasyon çemberinin metal iç yüzeyleri 750 voltluk bir iç gerilimle yüklenerek detektörün anodu (+ kutup) haline gelir. Buna karşılık detektörün yatay eksenine denebilecek 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 multiplletlere (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 (crosscorrelation) 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 eksenini α piki genliğini (alfa enerjisini), y eksenini zaman birimi başına meydana gelen α bozunumu ve z eksenini 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. Şişeler boşluk kalmayacak şekilde ağzına kadar doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişelerin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Numuneler Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Fizik laboratuvarına getirilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.

4.2.2. Su Numunelerinin Analizi İçin Ölçüm Düzeneginin Hazırlanması

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

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 İle 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 10 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 (4.1) denklemi kullanılarak yapılır.

$$C_{su} = \frac{C_{hava} \left(\frac{V_{sistem} - V_{örnek}}{V_{örnek}} + k \right) - C_0}{1000} \quad (4.1)$$

Burada;

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

C_{hava} : ölçüm sonucunda cihazda belirtilen konsantrasyon değeri (Bq/m³);

C_0 : arka plan (doğal fon) konsantrasyonu (Bq/m³);

V_{sistem} : ölçüm düzeneğinin dahili hacmi (1102 mL);

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

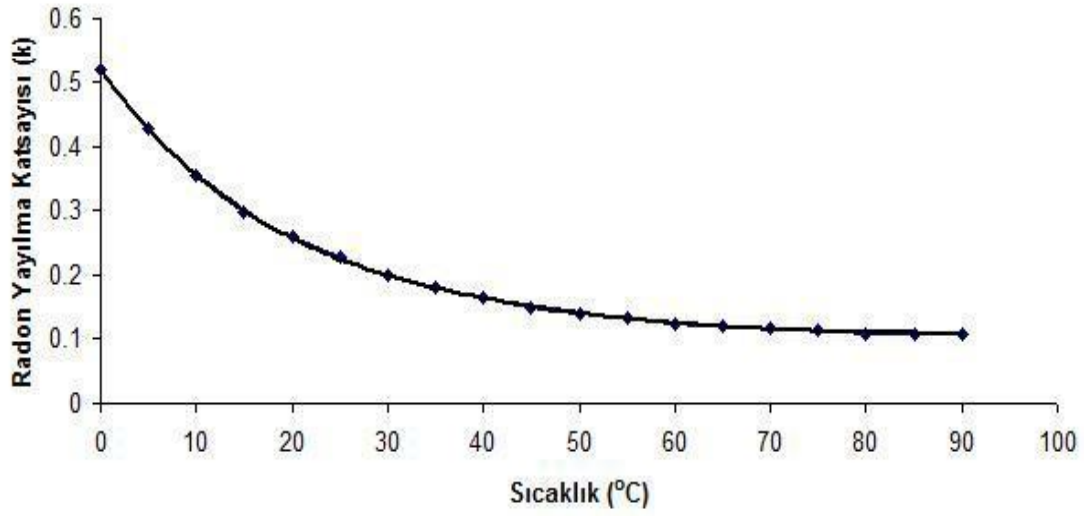
k : radon yayılma katsayısı'dır.

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 (4.2) denkleminde görüldüğü gibi k,

$$k = \frac{\text{Sıvı Fazdaki Konsantrasyon Değeri}}{\text{Gaz Fazdaki Konsantrasyon Değeri}} \quad (4.2)$$

olarak tanımlanır.



Şekil 4.11 Radon yayılma katsayısının (k) değişim grafiği

4.3.1. Ortalama Radon Konsantrasyonu Hesaplamaları

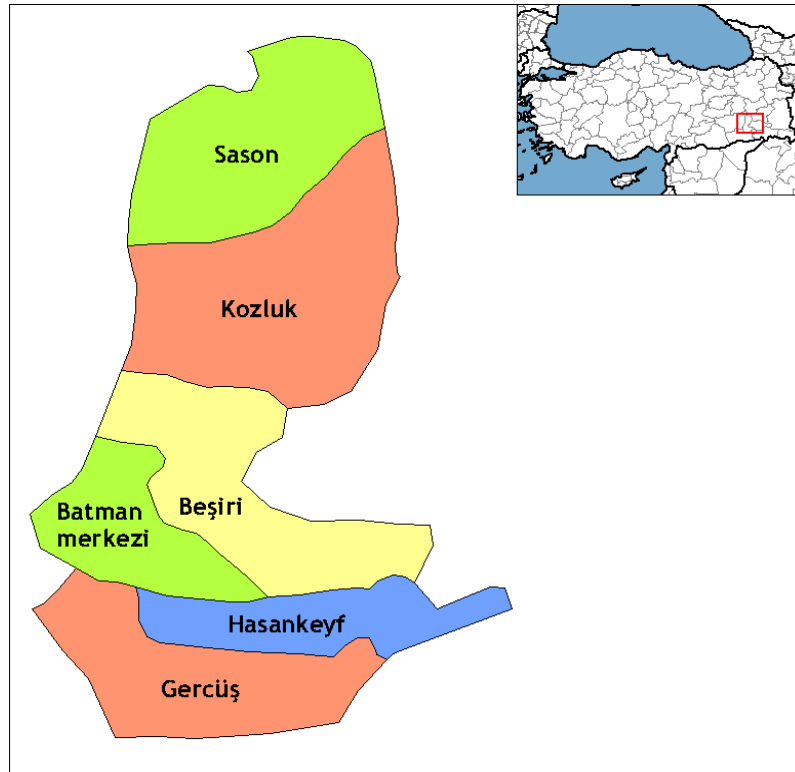
Belirli zaman aralıklarında her kaynak için 3 numune alındı. Bu numuneler için ortalama radon konsantrasyonu değerleri (4.3) denklemiyle hesaplandı.

$$\bar{X} = \sum_i^N = \frac{Xi}{N} \quad (4.3)$$

5. ÇALIŞMA BÖLGESİ

Batman ili 41 derece 10 dakika ve 41 derece 40 dakika doğu boylamları ile 38 derece 40 dakika ve 37 derece 50 dakika kuzey enlemleri arasında yer alır. Rakımı 550 m dir. Şekil 5.1’de konumu gösterilmiş olan batman kuzeyde Muş, batıda Diyarbakır, doğuda Bitlis ve Siirt, güneyde Mardin ile komşudur. Toplam nüfus 2013 yılı nüfus sayımına göre 547.581 dir (TÜİK 2013).

Batman ili merkezinden ve Kozluk, Gercüş, Sason, Hasankeyf ve Beşiri ilçelerinden içme suyu numuneleri alınmıştır. Batman ili merkez ve ilçelerinin konumu Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Batman ili merkez ve ilçeleri haritası ([http://tr.wikipedia.org/wiki/Batman_\(il\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Batman_(il)))

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Batman il merkezinde içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemek için 25 adet numune toplanmış ve ^{222}Rn konsantrasyonu değerleri Tablo 6.1’de görüldüğü gibi $0,329\pm0,123$ Bq/L - $0,883\pm0,349$ Bq/L aralığında olduğu ve ortalama değerin $0,517$ Bq/L olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.1. Batman ili merkez içme suyu radon konsantrasyonu

Batman Merkez	^{222}Rn (Bq/L)
1	$0,462\pm0,226$
2	$0,411\pm0,216$
3	$0,524\pm0,257$
4	$0,503\pm0,236$
5	$0,678\pm0,267$
6	$0,616\pm0,277$
7	$0,524\pm0,226$
8	$0,637\pm0,277$
9	$0,370\pm0,123$
10	$0,637\pm0,267$
11	$0,514\pm0,195$
12	$0,401\pm0,226$
13	$0,647\pm0,267$
14	$0,883\pm0,349$
15	$0,452\pm0,236$
16	$0,370\pm0,216$
17	$0,544\pm0,257$
18	$0,442\pm0,216$
19	$0,524\pm0,277$
20	$0,349\pm0,164$
21	$0,575\pm0,246$
22	$0,359\pm0,134$
23	$0,544\pm0,216$
24	$0,626\pm0,195$
25	$0,329\pm0,123$

Kozluk ilçesinde içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemek için 10 adet numune toplanmış ve ^{222}Rn konsantrasyonu değerleri Tablo 6.2’de görüldüğü gibi $0,195\pm0,103$ Bq/L - $0,709\pm0,277$ Bq/L aralığında olduğu ve ortalama değerin $0,398$ Bq/L olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.2. Kozluk ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu

Kozluk	^{222}Rn (Bq/L)
1	$0,195\pm0,103$
2	$0,288\pm0,154$
3	$0,288\pm0,103$
4	$0,709\pm0,277$
5	$0,308\pm0,144$
6	$0,390\pm0,195$
7	$0,534\pm0,205$
8	$0,657\pm0,216$
9	$0,216\pm0,134$
10	$0,411\pm0,175$

Gercüş ilçesinde içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemek için 8 adet numune toplanmış ve ^{222}Rn konsantrasyonu değerleri Tablo 6.3’de görüldüğü gibi $0,288\pm0,175$ Bq/L - $0,678\pm0,298$ Bq/L aralığında olduğu ve ortalama değerin $0,448$ Bq/L olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.3. Gercüş ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu

Gercüş	^{222}Rn (Bq/L)
1	$0,678\pm0,298$
2	$0,431\pm0,205$
3	$0,308\pm0,154$
4	$0,288\pm0,175$
5	$0,401\pm0,236$
6	$0,411\pm0,216$
7	$0,585\pm0,205$
8	$0,483\pm0,175$

Beşiri ilçesinde içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemek için toplanan 8 adet numunede ^{222}Rn konsantrasyonu değerleri için Tablo 6.4’de görüldüğü gibi $0,452\pm0,216$ Bq/L - $0,863\pm0,257$ Bq/L aralığında olduğu ve ortalama değer $0,633$ Bq/L olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.4. Beşiri ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu

Beşiri	^{222}Rn (Bq/L)
1	$0,822\pm0,298$
2	$0,575\pm0,236$
3	$0,596\pm0,267$
4	$0,452\pm0,216$
5	$0,555\pm0,246$
6	$0,616\pm0,226$
7	$0,863\pm0,257$
8	$0,585\pm0,205$

Sason ilçesinde içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemek için 10 adet numune toplanmış ve ^{222}Rn konsantrasyonu değerleri Tablo 6.5’de görüldüğü gibi $0,205\pm0,113$ Bq/L - $0,585\pm0,216$ Bq/L aralığında olduğu ve ortalama değer $0,375$ Bq/L olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.5. Sason ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu

Sason	^{222}Rn (Bq/L)
1	$0,277\pm0,164$
2	$0,205\pm0,113$
3	$0,288\pm0,164$
4	$0,339\pm0,175$
5	$0,308\pm0,144$
6	$0,267\pm0,144$
7	$0,514\pm0,216$
8	$0,462\pm0,205$
9	$0,503\pm0,195$
10	$0,585\pm0,216$

Hasankeyf ilçesinde içme sularındaki ^{222}Rn konsantrasyonunu belirlemek için 10 adet numune toplanmış ve ^{222}Rn konsantrasyonu değerleri Tablo 6.6'da görüldüğü gibi $0,205\pm0,195$ Bq/L - $0,380\pm0,185$ Bq/L aralığında ölçülmüş ve ortalama değer $0,293$ Bq/L olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.6. Hasankeyf ilçesi içme suyu radon konsantrasyonu

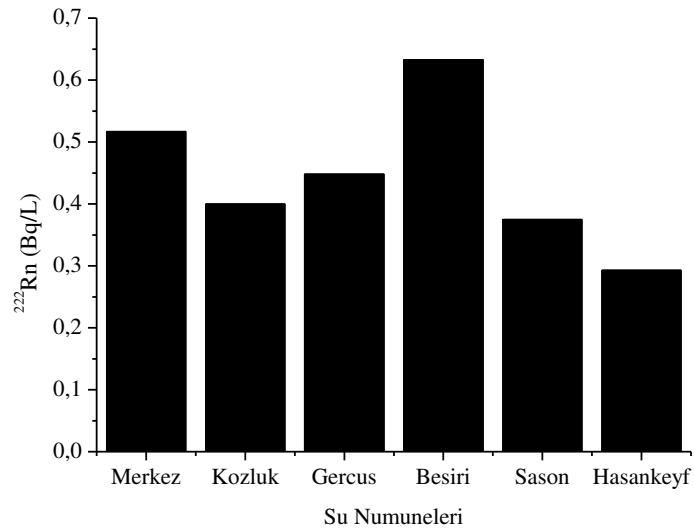
Hasankeyf	^{222}Rn (Bq/L)
1	$0,277\pm0,154$
2	$0,380\pm0,185$
3	$0,226\pm0,154$
4	$0,370\pm0,195$
5	$0,318\pm0,154$
6	$0,267\pm0,134$
7	$0,288\pm0,144$
8	$0,308\pm0,144$
9	$0,288\pm0,164$
10	$0,205\pm0,195$

Tablo 6.7 Batman ili merkezi ve ilçelerinde ölçülen radon değerleri bir arada göstermektedir. Bu tabloya göre minimum ^{222}Rn konsantrasyonu değeri Kozluk ilçesinde, maksimum ^{222}Rn konsantrasyonu değeri Batman merkezinde ölçülmüştür. Ortalama değer en düşük olduğu yer Hasankeyf en yüksek olduğu yer ise Beşiri ilçesi olmaktadır. Standart sapma en az Hasankeyf ilçesinde en çok ise Kozluk ilçesinde hesaplanmıştır. Geometrik ortalama değeri Beşiri ilçesinde maksimum Hasankeyf ilçesinde minimum olarak tespit edilmiştir.

Tablo 6.7 ^{222}Rn 'nin merkez ve ilçelere göre istatistiksel değerleri

	Merkez	Kozluk	Gercüş	Beşiri	Sason	Hasankeyf
Numune Sayısı	25	10	8	8	10	10
Minimum	0,329	0,195	0,288	0,452	0,205	0,205
Maksimum	0,883	0,709	0,678	0,863	0,585	0,380
Ortalama	0,517	0,400	0,448	0,633	0,375	0,293
Standard Sapma	0,129	0,179	0,132	0,139	0,129	0,055
Geometrik Ortalama	0,502	0,366	0,432	0,621	0,355	0,288

Şekil 6.1'de Batman ili merkez ve ilçelerindeki ^{222}Rn konsantrasyonu ölçümlerinin ortalama değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir. ^{222}Rn konsantrasyonunun ortalama değeri Beşiri ilçesinde en yüksek, Hasankeyf ilçesinde en düşük olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.1. ^{222}Rn 'nin ortalama değerinin merkez ve ilçelere göre karşılaştırılması

Radon konsantrasyonunun bazı sularda yüksek çıkması şöyle açıklanabilir;

Yeraltı suları yüzeye çıkmadan önce kayaların üzerinde hareket eder ve kayalardan parçalar koparırlar. Eğer yeraltında radyoaktif bir üründen yüksek miktarda varsa, bunun

yüzeye sular vasıtasıyla taşınması mümkün olabilir. Burada radon konsantrasyonunun yüksek çıkması daha uzun ömürlü başka bir radyoaktif maddenin bu su kaynağı çevresinde bulunabileceğini göstermektedir (Çetinkaya 2009).

Ölçülen radon konsantrasyonları ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA), BM Radyasyon Etkisi Komitesi (UNSCEAR) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın verdiği değerler ile karşılaştırıldığında, Batman ili içme sularında toplanan 71 örnekten hiç birinin USEPA'nın verdiği 11 Bq/L'yi ve UNSCEAR'ın verdiği 40 Bq/L'yi aşmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 6.8. ^{222}Rn değerlerinin literatürle karşılaştırılması

^{222}Rn konsantrasyon Bq/L	Referans	Ülke / Şehir
2,5 – 4,7	Al- Bataina et al. (1997)	Ürdün
0 - 2	Horvath et al. (2000)	Venezuela
0,39 – 0,47	Marques et al. (2004)	Brezilya
39,96	Gosink et al. (1990)	Amerika
3,9 – 6,9	Rusconi et al. (2004)	İtalya / Milan
0,3 – 20	Nikolopoulos et al. (2010)	Güney Kıbrıs
0,9 – 2,1	Tayyeb et al. (1998)	Suudi Arabistan
12	Gruber et al. (2009)	Avusturalya
1,5 – 53,6	Tarım vd (2011)	Türkiye / Bursa
0,5 – 1,3	Yiğitoğlu vd (2010)	Türkiye / Tokat
0,1 - 48,6	Şahin vd (2008)	Türkiye / Kütahya
0,42 – 2,4	Oner vd (2009)	Türkiye / Amasya
1,02 – 3,3	Baykara ve Doğru vd. (2006)	Türkiye
0,195 – 0,883	Bu çalışma (2014)	Türkiye / Batman

Tablo 6.8'de görüldüğü gibi çalışmamız yurt içinde yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırılırsa ; Batman ili Merkez ve ilçelerinde içme sularında ^{222}Rn konsantrasyonu

Baykara vd (2008), Yiğitoğlu vd (2009), Oner vd (2009) Ülkemizde yapmış oldukları ölçümlere yakın olup; Tarım vd (2012) yapmış oldukları ölçümlerden düşüktür. Ayrıca bu çalışma Rusconi et al. (2004) İtalya / Milan, Gruber et al. (2009) Avustralya ve Gosink et al. (1990) Amerika’da yaptıkları ölçümlerden düşük olduğu belirlenmiştir.

İçme sularındaki radonun sindirilmesi sonucunda, vücudumuzun aldığı toplam doza katkıda bulunur. Suyun içilmesi sonucunda vücudumuza radon gazından gelen yıllık etkin doz katkısı (YED) denklem 6.1. deki gibi hesaplandı.

$$YED = C_W \times C_{RW} \times D_{CW} \quad (6.1)$$

YED : İçme suyu nedeniyle bir yıllık sürede maruz kalınan doz.

C_W : Bir yıl boyunca kullanılan tahmini su miktarı (730 L/Y).

D_{CW} : Doz dönüşüm faktörü ($3,5 \times 10^{-9}$ Sv/Bq).

C_{RW} : Sudaki ^{222}Rn konsantrasyonu

Suyu içtiğimiz zaman doğrudan midemize gider. Sularda yapılan çalışmalarda içme suyunun içinde bulunan radon konsantrasyonu yüksekse, midede kanser riski oluşturabileceği belirtilmiştir. Buna göre sadece midemizin aldığı doz miktarını hesaplamak büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden denklem 6.2 yardımıyla midenin maruz kalacağı doz hesaplanmıştır.

$$MAD = D_W \times W_T \quad (6.2)$$

Burada MAD midemizin aldığı yıllık doz miktarı, W_T ise doz hesaplamalarında mide için kullanılan ağırlık faktörüdür ($W_T=0,12$) (Prasad 2008). Doz hesaplamalarında kullanılan doku ağırlık faktörü, 1993 yılında ICRP yayınlanan rapordan alınmıştır.

Batman ili Merkezinde yaşayan insanların bu suları kullanması sonucu maruz kalacakları YED (Yıllık Etkin Doz) ve MAD (Midenin Aldığı Doz) miktarları Tablo 6.9’da görüldüğü gibidir.

Tablo 6.9. Batman Merkezdeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri

Batman Merkez	YED ($\mu\text{Sv/Y}$)	MAD ($\mu\text{Sv/Y}$)
1	1,180	0,142
2	1,050	0,126
3	1,339	0,161
4	1,285	0,154
5	1,732	0,208
6	1,574	0,189
7	1,339	0,161
8	1,628	0,195
9	0,945	0,113
10	1,628	0,195
11	1,313	0,158
12	1,025	0,123
13	1,653	0,198
14	2,256	0,271
15	1,155	0,139
16	0,945	0,113
17	1,390	0,167
18	1,129	0,135
19	1,339	0,161
20	0,892	0,107
21	1,469	0,176
22	0,917	0,110
23	1,390	0,167
24	1,599	0,192
25	0,841	0,101

Kozluk ilçesinde yaşayan insanların bu suları kullanması sonucu maruz kalacakları YED (Yıllık Etkin Doz) ve MAD (Midenin Aldığı Doz) miktarları Tablo 6.10'da görüldüğü gibidir.

Tablo 6.10. Kozluk ilçesindeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri

Kozluk	YED ($\mu\text{Sv/Y}$)	MAD ($\mu\text{Sv/Y}$)
1	0,498	0,060
2	0,736	0,088
3	0,736	0,088
4	1,811	0,217
5	0,787	0,094
6	0,996	0,120
7	1,364	0,164
8	1,679	0,201
9	0,552	0,066
10	1,050	0,126

Gercüş ilçesinde yaşayan insanların bu suları kullanması sonucu maruz kalacakları YED (Yıllık Etkin Doz) ve MAD (Midenin Aldığı Doz) miktarları Tablo 6.11'de görüldüğü gibidir.

Tablo 6.11. Gercüş ilçesindeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri

Gercüş	YED ($\mu\text{Sv/Y}$)	MAD ($\mu\text{Sv/Y}$)
1	1,732	0,208
2	1,101	0,132
3	0,787	0,094
4	0,736	0,088
5	1,025	0,123
6	1,050	0,126
7	1,495	0,179
8	1,234	0,148

Beşiri ilçesinde yaşayan insanların bu suları kullanması sonucu maruz kalacakları YED (Yıllık Etkin Doz) ve MAD (Midenin Aldığı Doz) miktarları Tablo 6.12’de görüldüğü gibidir.

Tablo 6.12. Beşiri ilçesindeki sulara hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri

Beşiri	YED ($\mu\text{Sv/Y}$)	MAD ($\mu\text{Sv/Y}$)
1	2,100	0,252
2	1,469	0,176
3	1,523	0,183
4	1,155	0,139
5	1,418	0,170
6	1,574	0,189
7	2,205	0,265
8	1,495	0,179

Sason ilçesinde yaşayan insanların bu suları kullanması sonucu maruz kalacakları YED (Yıllık Etkin Doz) ve MAD (Midenin Aldığı Doz) miktarları Tablo 6.13’de görüldüğü gibidir.

Tablo 6.13. Sason ilçesindeki sulara hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri

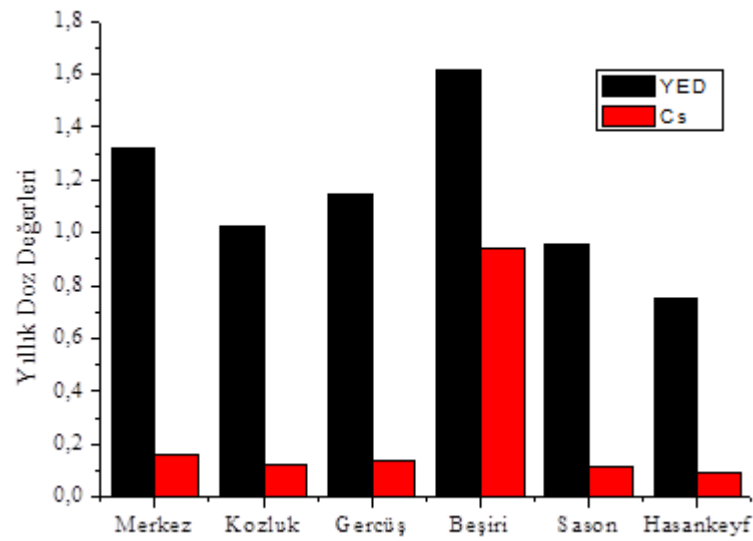
Sason	YED ($\mu\text{Sv/Y}$)	MAD ($\mu\text{Sv/Y}$)
1	0,708	0,085
2	0,524	0,063
3	0,736	0,088
4	0,866	0,104
5	0,787	0,094
6	0,682	0,082
7	1,313	0,158
8	1,180	0,142
9	1,285	0,154
10	1,495	0,179

Hasankeyf ilçesinde yaşayan insanların bu suları kullanması sonucu maruz kalacakları YED (Yıllık Etkin Doz) ve MAD (Midenin Aldığı Doz) miktarları Tablo 6.14’de görüldüğü gibidir.

Tablo 6.14. Hasankeyf ilçesindeki sularda hesaplanan Yıllık Etkin ve Midenin Doz Değerleri

Hasankeyf	YED ($\mu\text{Sv/Y}$)	MAD ($\mu\text{Sv/Y}$)
1	0,708	0,085
2	0,971	0,117
3	0,577	0,069
4	0,945	0,113
5	0,812	0,097
6	0,682	0,082
7	0,736	0,088
8	0,787	0,094
9	0,736	0,088
10	0,524	0,063

Tablolarda verilen veriler grafik olarak Şekil 6.2’de sunulmuştur. Yıllık Etkin Doz miktarı ve Midenin Aldığı Doz miktarı Beşiri ilçesinde en yüksek değer hesaplanmış, en düşük değer Hasankeyf ilçesinde belirlenmiştir.



Şekil 6.2. Yıllık Etkin ve Midenin maruz kaldığı dozun ilçelere göre karşılaştırılması

İçme sularındaki radonun sindirilmesi sonucu aldığımız dozu kıyasladığımızda, doz miktarının radon konsantrasyonuna göre değiştiği görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme sularından alınan doz miktarı için toplam dozu belirlemiştir, bu değer 0,1 mSv'dir. Bu çalışmanın sonuçlarını bu değerle kıyasladığımızda bu limitin altında kaldığı görülmektedir.

UNSCEAR tarafından 2000 yılında yayınlanan rapora göre toplam doz miktarı 2,4 mSv olarak tahmin edilmektedir. Bunun yaklaşık 1,3 mSv'i radondan kaynaklanmaktadır. Batman ili içme sularındaki radonun sindirilmesinden gelen ortalama katkının UNSCEAR tarafından rapor edilen yıllık doz miktarının altında kaldığı görülmektedir. Bu nedenle Batman ili dahilindeki sularda saptanan ^{222}Rn konsantrasyonu değerleri sağlık için herhangi bir zarar arz etmemektedir.

KAYNAKLAR

Akar, Ü., “Bursa-Çekirge Bölgesi Termal Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini”, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2010.

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

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

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

Al-Bataina, B.A., A.M., İsmail, Kullab, M.K., Abmurad, K.M. And H., Mustafa, “Radon measurements in different types of natural waters in Jordon, Radiat, Meas., 28: 1-6, 1997

Al-masri, M.S. ve R. BLACKBURN, “Radon-222 And Related Activities In Surface Waters Of The English Lake District”, Applied Radiation and Isotopes 50: 1137-1143, 1999.

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

Atakan Y., “Bol Radonlu İçmeler ve Halk Sağlığı”, <http://www.ekolojistler.org/bol-radonlu-icmeler-ve-halk-sagligi-dr.yuksel-atakan.html>, 2007.

Barış, C., “İzmir-Çeşme Yeraltı-Termal Suları Ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivite Araştırmaları”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa, s. 70, 2006.

Baykara, O. ve Doğru M., “Measurements of Radon and Uranium Concentration In Water and Soil Samples From East Anatolian Active Fault Systems (Turkey)”, Radiation Measurements 41: 362-367, 2006.

Comsa, C., M. Moldovan, T. Dicu, T. Kovacs. “Radon In Water From Transylvania (Romania)”, Radiation Measurements 43: 1423-1428, 2008.

Çelebi, N., “Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi”, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İstanbul, 1995.

Çevik, U., N. Damla, G. Karahan, N. Çelebi, A.İ. Koby. “Natural Radioactivity In Tap Waters of Eastern Black Sea Region of Turkey”, Radiation Protection Dosimetry 118 (1): 88 – 92, 2006.

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

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

Dillon, M.E., G.L. Carter, R. Arora, B. Kahn, “Rn Concentrations In Ground Water of Georgia Piedmont”, Health Physics. 60: 229 -236, 1991.

Durrani, S.A., İliç, R., “Radon Measurements by Etched Track Detectors. Applications in Radiation Protection, Earth Sciences, and The Environment”, World Scientific Publ. Co., Ltd., London, 416, 1997.

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

Eisenbud Thomas Gesell, “Environmental Radioactivity From Natural, Industrial and Military Sources”, Fourth Edition, Academic Press, 2 p. 1997.

Erees, F.S., G. YENER, M. SALK, Ö. ÖZBAL, “Measurements of Radon Content in Soil Gas and in the Thermal Waters in Western Turkey”, Radiation Measurements 41: 354-361, 2006.

Erdoğan, M., “Konya İçme Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini Makalesi”, Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 2013.

Evans, R.D., “Engineers Guide to the Elementary Behavior of Radon Daughters”, Health Physics, 38:1173-1197, 1968.

Fişne, A., Ökten, G., Çelebi, N. “Türkiye Taşköprü kurumu (TTK) yer altı maden ocaklarında radon gazı yayılımının incelenmesi”, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı. 195-196 s, Zonguldak. 2004.

Garcia M, - Leon, G. “Madurga , Hardcover, Measurements and Their Application to Environmental Radioactivity”, Proceedings 577 Pages, Published, 1988.

Geraldo “Floresta Estadual de Assis, C.P. 104 – 19802-970 – Assis, SP – Brasil CRIA – Centro de Referência em Informação Ambiental”, Av. Romeu Tórtima, 388 – 13084-520 – Campina, SP – Brasil, 2004.

Gillmore, G.K., P.S. PHILLIPS, A.R. DENMAN, D.D. GILBERTSON, “Radon in the Creswell Crags Permian Limestone Caves”, Journal of Environmental Radioactivity 62: 165-179, 2002.

Gosink, T.A., M. BASKARAN, D.F. HOLLEMAN, “Radon in the Human Body From Drinking Water”, Health Physics.59 (6): 919-920, 1990.

Gruber, V., Maringer, F. J. And Landstetter, C. “Radon and other natural radionuclides in drinking water in Austria: Measurement and assessment”, Appl. Radiat, İso 67 (5): 913-917, 2009

Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., “Radon Kirliliği. T. C. Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi” Genel Koordinatörlüğü, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:44, Ankara, 1997.

Güloğlu, A., “Çeşme Bölgesinde Aktif Fay Hatlarındaki Kaplıcalarda Radon Anomalileri ile Sismik Aktiviteler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi”, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, s. 12-23, 2007.

Haklıdır, F.S.T., “Bursa İli ve Çevresindeki Termal, Maden ve Yeraltı Sularının Jeokimyasal İncelenmesi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir. s. 282, 2007.

Horvath, A., L.O. BOHUS, F. URBANI, G. MARX, A. PIROTH, E.D. GREAVES, “Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela”, Journal of Environmental Radioactivity 47: 127-133, 2000.

<http://www.haberturk.com/saglik/haber/506412-hangi-cihaz-hangi-kanser-icin>

www.nndc.bnl.gov/nudat2/, 2010.

[http://tr.wikipedia.org/wiki/Batman_\(il\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Batman_(il))

<http://www.ekoyapidergisi.org/245-kapali-ortamlarda-hava-kalitesi-ve-boşluklu-sonar-sistemleri.html> 2013

http://www.ilradondetection.com/radon_health_effects.html 2010

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

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

İstanbul Üniversitesi, Türkiye Maden Suları – Marmara Bölgesi [Cilt: 2] VI+213+f S., Tıp Fakültesi, Hidro-Klimatoloji Kürsüsü, 1971.

Kapdan, E. “Adapazarı merkezi kış dönemi radon ölçüm ve analizleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul. 2s.,6s.,28s., 32-42s., 48-53s., İstanbul, 2009.

Karahan, G., N. ÖZTÜRK, A. BAYÜLKEN, “Natural Radioactivity in Various Surface Waters in İstanbul”, Water Research, 2010.

Knoll, G.F., “Radiation Detection and Measurement, John Wiley and Sons Inc”, Third Edition, 66-74 p.

Kochowska, E., J. MAZUR, K. KOZAK, M. JANÍK, “Radon in Well Waters in the Kraków Area”, Isotopes in Environmental and Health Studies 34: 4367-4370, 2004.

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

Lima, J.L.N., D.M. “Bonotto, Etapas analíticas para mensuraao de radonio- 222’e ona avaliaao da radioatividade das aguas de”. Aguas da Prata (sp). Geochim. Brasiliensis 10 (2): 283-295, 1996.

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

Manzoor, F., Alameer, A. S. and Tahir, S. N. A. “Exposures to ²²²Rn from consumption of underground municipal water supplies in Pakistan”, Radiat. Prot. Dosim. 130(3): 392-396, 2008.

Nikolopoulos, D., et al. "Investigation of The Exposure to Radon and Progeny in The Thermal Spas of Loutraki, Results From Measurements and Modelling", Science of The Total Environment, Attica-Greece, 408- 495-504, 2010.

Kiliç N., "Kükürtlü Kaplıcaları Atatürk Rehabilitasyon Merkezindeki Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi", Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2011.

Otwoma, D., A.O. "Mustapha, Measurement of Rn-222 Concentration in Kenyan Groundwater", Health Physics 74 (1): 91-95, 1998.

Öner, F Yalim, H. A., Akkurt, A, adn Orbay, M., "The measurement of radon concentration in drink water and the Yeşilırmak River water in the area of Amasya", Türkiye 133 (4): 223-226, 2009.

Özdemir, F.B., "Afyon ve Çevresindeki Kuyu Sularında Radon (Rn-222) Aktivitesi Tayini", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar. s. 93,2006.

Özdemir F., "Konya'nın Termal Sularında ^{222}Rn Konsantrasyonunun Değişimlerinin İncelenmesi", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

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

Prasad, G., Prasad, Y. Gusain, G.S. and Ramola, R.C., "Measurement of radon and thoron levels in soil,water and indoor atmosphere of Budhakedar in Garhwal Himalaya", India, Radiation Measurements, 43: 375–379, 2008,

Planinić, J., Radolić, V., & Lazanin, "Temporal variations of radon in soil related to earthquakes", Applied Radiation and Isotopes, Vol. 55 (2): 267–272, 2001.

Rodenas, C., J. Gomez, J. Soto, F. Maraver, "Natural radioactivity of spring water used

as spas in Spain”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 277 (3): 625-630, 2007.

Radolic, V., Vukovic, B., Smit, G., Stanic, D., Planinic, J., Radon in The Spas of Croatia. Journal of Environmental Radioactivity, 83: 191-198, 2005.

Ruscoli, R., Forte, M., Badalamenti, P., Bellinzona, S., Gallini, R., Maltese, S., Romeo, C. And Sgorbati, G. “The monitoring of tap waters in Milano: planning methots and results”, Radiat. Prot. Dosim 111 (4):373-376, 2004.

Saç, M. M., Camgöz, B., “İzmir’de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(3): 47-54, İzmir, 2005.

Sahin, L., and Cavas, M. “Natural radioactivity measurements in soil samples of central Kütahya, Turkey, Radiat, Prot. Dosim, 131 (4): 526-530, 2008.

Song, G., Zhang, B., Wang, X., Gong, J., Chan, D., Bernett, J., Lee, S.C., Indoor Radon Levels In Selected Hot Spring Hotels in Guangdong, China. Science of The Total Environment, 339: 63-70, 1994.

Taşkın, H., “İnsan Sağlığı ve Çevre Kirliliği Açısından Kırklareli İlinin Fon Radyasyonunun Belirlenmesi ve Haritalandırılması”, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 6-32, İstanbul, 2006.

Tarım, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G. And Gundogdu, O. “Evaluation of Radon Concentration in Well and Top waters in Bursa”, Radiation Protection Dosimetry, 10:1093, 1-6. 2011

TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. <http://www.taek.gov.tr>, 2010.

Tayyeb, Z.A., Kinsara, A.R. and Farid, S.M., A Study on the Radon Concentrations in

Water in Jeddah and the Associated Health Effects, Saudi Arabia, 38 (1): 97-104(8), 1998,

Turner, Medical Power and Social Knowledge kitabı. 1995

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

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

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

Villalba, L., L.C. Sujo, M.E.M. Cabrera, A.C. Jimenez, M.R. Villalobos, C.J.D. Mendoza, L.A.J. Tenorio, I.D. "Rangel, E.F.H. Peraza, Radon Concentrations in Ground and Drinking Water in the State of Chihuahua, Mexico", Journal of Environmental Radioactivity 88: 139-151, 2005.

Vogiannis, E., Nikolopoulos, D., Louizi B A., Halvadakis, C.P., "Radon Variations During Treatment in Thermal Spas of Lesbos Island (Greece)", Journal of Environmental Radioactivity, 75: 159-170, 2004.

Yalım, H.A., A. Sandıkçioğlu, 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, 2007.

Yarar, Y., T. Günaydı, N. Çelebi, Determination of Radon Concentrations of the Dikili Geothermal Area in Western Turkey. Radiation Protection Dosimetry 118(1): 78-81, 2006.

Yiğitoğlu, I., Öner, F Yalım, H. A., Akkurt, A., Okur, A. And Ozkan, A. "Radon onseration in water in the region of Tokat city in Turkey Radiat", Prot. Dosim. 141 (2): 358 – 362, 2010.

Zelensky, A.V., M.G. Buzinny, I.P. Los., “Measurements of Ra, Rn and U in Ukrainian Groundwater Using Ultra-Low-Level Liquid Scintillation Counting”, 405-411, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Batman / Kozluk'ta doğdu. İlk ve ortaokulu Batman'da, liseyi Batman Fatih Lisesi'nde tamamladı. 1999 yılında Selçuk Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünü kazandı. 2004 yılında Selçuk Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2010 yılında Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2014 yılında Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında, Batman İlindeki Sulara Radon Konsantrasyonunun Tayini konulu tez çalışmasını tamamlayarak Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programından mezun oldu. Evli ve bir çocuk babasıdır.